

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В ДЕКАБРЕ 1957 ГОДА, ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

№ 2 (398)
2022

Журнал включен в "Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук"

Журнал представлен в Научной
электронной библиотеке (НЭБ)
и имеет импакт-фактор РИНЦ

Журнал включен в Междуна-
родные базы данных: SCOPUS и
CAS(pt), индексирующие
научные издания

Электронный вариант журнала
размещен на сайте
<http://ttp.ivgpi.com>

Издание Ивановского государственного политехнического университета

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Е.В. РУМЯНЦЕВ (д.х.н., ректор).

Заместитель главного редактора:

Н.Л. КОРНИЛОВА (д.т.н., проф.).

Редакционная коллегия (Россия):

А.А. БИКБУЛАТОВА (к.т.н., проф.), М.В. БОЛСУНОВСКАЯ (к.т.н., проф.), Н.А. ГРУЗИНЦЕВА (д.т.н., проф.), Б.Н. ГУСЕВ (д.т.н., проф.), Т.Р. ДЕБЕРДЕЕВ (д.т.н., проф.), Г.П. ЗАРЕЦКАЯ (д.т.н., проф.), Н.Ю. КАЗАКОВА (д.т.н., проф.), Е.Н. КАЛИНИН (д.т.н., проф.), А.М. КИСЕЛЕВ (д.т.н., проф.), М.В. КИСЕЛЕВ (д.т.н., проф.), К.И. КОБРАКОВ (д.т.н., проф.), Ж.Ю. КОЙТОВА (д.т.н., проф.), А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ (д.т.н., проф.), В.Е. КУЗЬМИЧЕВ (д.т.н., проф.), Н.А. КУЛИДА (д.т.н., проф.), А.Г. МАКАРОВ (д.т.н., проф.), Л.Ю. МАХОТКИНА (д.т.н., проф.), В.Е. МИЗОНОВ (д.т.н., проф.), А.П. МОРЫГАНОВ (д.т.н., проф.), Е.Н. НИКИФОРОВА (д.т.н., проф.), О.И. ОДИНЦОВА (д.т.н., проф.), Н.В. ПЕРЕБОРОВА (д.т.н., проф.), А.Б. ПЕТРУХИН (д.э.н., проф.), А.Ф. ПЛЕХАНОВ (д.т.н., проф.), К.Э. РАЗУМЕЕВ (д.т.н., проф.), Л.В. РЕДИНА (д.т.н., проф.), П.Н. РУДОВСКИЙ (д.т.н., проф.), В.Е. РУМЯНЦЕВА (д.т.н., проф.), А.В. СИЛАКОВ (д.э.н., проф.), Н.А. СМИРНОВА (д.т.н., проф.), Г.Г. СОКОВА (д.т.н., проф.), Е.Я. СУРЖЕНКО (д.т.н., проф.), М.Н. ТИТОВА (д.э.н., проф.), О.В. ТОЛОЧКО (д.т.н., проф.), А.В. ТРУЕВЦЕВ (д.т.н., проф.), Н.М. ФИЛИМОНОВА (д.э.н., проф.), А.В. ФИРСОВ (д.т.н., проф.), В.В. ХАММАТОВА (д.т.н., проф.), С.Ю. ХАШИРОВА (д.х.н., проф.), С.В. ХЕЙЛО (д.т.н., проф.), О.Г. ЦЫРКИНА (д.т.н., проф.), Ю.С. ШУСТОВ (д.т.н., проф.), С.С. ЮХИН (д.т.н., проф.)

Международная редакционная коллегия:

ADOLPHE С. DOMNIQUE (д.т.н., Франция), GERŠAK JELKA (д.т.н., Словения), UDVAL LODOI (д.т.н., Монголия), Е.В. ВАНКЕВИЧ (д.э.н., Беларусь), А.А. КУЗНЕЦОВ (д.т.н., Беларусь), С.В. ЛОМОВ (д.т.н., Бельгия), Д.Б. РЫКЛИН (д.т.н., Беларусь), С.Ш. ТАШПУЛАТОВ (д.т.н., Узбекистан), Н.Н. ЯСИНСКАЯ (д.т.н., Беларусь)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

*В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ (д.с.н., проф.), А.В. ДЕМИДОВ (д.т.н., проф.),
А.Р. НАУМОВ (д.х.н., проф.), М.Г. БАЛЫХИН (д.э.н., проф.).*

Ответственный секретарь *Е.Н. КАЛИНИН*

*Адрес редакции: 153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21.
Тел.: (4932) 41-75-02.
E-mail: ttp@ivgpu.com
<http://ttp.ivgpu.com>*

Издание зарегистрировано в Министерстве печати РФ. Регистрационный №796. Сдано в набор 01.04.2022. Подписано в печать 31.04.2022. Формат 60x84 1/8. Бум. кн.-журн. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 44,18; Усл. кр.-отт. 44,43. Заказ 4723.

Тираж 400 экз.

"Известия вузов. Технология текстильной промышленности"
Издание Ивановского государственного политехнического университета
153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21
E-mail: ttp@ivgpu.com

Издательско-полиграфический комплекс "ПресСто"
153025, г. Иваново, ул. Дзержинского, 39, строение 8
Тел. 8-930-330-26-30
E-mail: pressto@mail.ru

© "Известия вузов. Технология текстильной промышленности", 2022

Ministry of Science and Higher Education
of Russian Federation

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

**TEXTILE
INDUSTRY
TECHNOLOGY**

Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti

PEER-REVIEWED SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

ESTABLISHED IN DECEMBER OF 1957, 6 ISSUES PER YEAR

**№ 2 (398)
2022**

The journal is included in the "List of the leading peer-reviewed journals and publications issued in the Russian Federation, in which the major scientific results of dissertations for the degrees of doctor and candidate of sciences should be published"

The journal is presented in the
Scientific Electronic Library and
has an RSCI impact factor

The journal is included in the
Scopus and CAS(pt) bibliographic
databases

The on-line version of the journal
is available at
<http://ttp.ivgpu.com>

Published by Ivanovo State Polytechnical University

EDITORIAL BOARD

Chief editor: E.V. RUMYANTSEV (*d.ch.s., rector*).
Deputy of chief editor: N.L. KORNILOVA (*d.en.s., prof.*).

members:

Editorial board (Russia):

A.A. BIKBULATOVA (*k.en.s., prof.*), M.V. BOLSUNOVSKAYA (*k.en.s., prof.*), N.A. GRUZINTSEVA (*k.en.s., prof.*),
B.N. GUSEV (*d.en.s., prof.*), T.R. DEBERDEEV (*d.en.s., prof.*), G.P. ZARETSKAYA (*d.en.s., prof.*),
N.Yu. KAZAKOVA (*d.en.s., prof.*), E.N. KALININ (*d.en.s., prof.*), A.M. KISELEV (*d.en.s., prof.*),
M.V. KISELEV (*d.en.s., prof.*), K.I. KOBRAKOV (*d.en.s., prof.*), Zh.Yu. KOYTOVA (*d.en.s., prof.*),
A.R. KORABELNIKOV (*d.en.s., prof.*), V.E. KUZMICHEV (*d.en.s., prof.*), N.A. KULIDA (*d.en.s., prof.*),
A.G. MAKAROV (*d.en.s., prof.*), L.Yu. MAKHOTKINA (*d.en.s., prof.*), V.E. MIZONOV (*d.en.s., prof.*),
A.P. MORYGANOV (*d.en.s., prof.*), E.N. NIKIFOROVA (*d.en.s., prof.*), O.I. ODINTSOVA (*d.en.s., prof.*),
N.V. PEREBOROVA (*d.en.s., prof.*), A.B. PETRUKHIN (*d.ec.s., prof.*), A.F. PLEKHANOV (*d.en.s., prof.*),
K.E. RAZUMEEV (*d.en.s., prof.*), L.V. REDINA (*d.en.s., prof.*), P.N. RUDOVSKY (*d.en.s., prof.*),
V.E. RUMYANTSEVA (*d.en.s., prof.*), A.V. SILAKOV (*d.ec.s., prof.*), N.A. SMIRNOVA (*d.en.s., prof.*),
G.G. SOKOVA (*d.en.s., prof.*), E.Ya. SURZHENKO (*d.en.s., prof.*), M.N. TITOVA (*d.ec.s., prof.*),
O.V. TOLOCHKO (*d.en.s., prof.*), A.V. TRUEVTSEV (*d.en.s., prof.*), N.M. FILIMONOVA (*d.ec.s., prof.*),
A.V. FIRSOV (*d.en.s., prof.*), V.V. KHAMMATOVA (*d.en.s., prof.*), S.Yu. KHASHIROVA (*d.ch.s., prof.*),
S.V. KHEYLO (*d.en.s., prof.*), O.G. TSYRKINA (*d.en.s., prof.*), Yu.S. SHUSTOV (*d.en.s., prof.*),
S.S. YUKHIN (*d.en.s., prof.*).

International editorial board:

ADOLPHE C. DOMINIQUE (*d.en.s., France*), GERŠAK JELKA (*d.en.s., Sloveniya*), UDVAL LODOI (*d.en.s., Mongoliya*),
E.V. VANKEVICH (*d.ec.s., Belarus*), A.A. KUZNETSOV (*d.en.s., Belarus*), S.V. LOMOV (*d.en.s., Belgium*),
D.B. RYKLIN (*d.en.s., Belarus*), S.Sh. TASHPULATOV (*d.en.s., Uzbekistan*), N.N. YASINSKAYA (*d.en.s., Belarus*)

EDITORIAL COUNCIL

V.S. BELGORODSKY (*d.soc.s., prof.*), A.V. DEMIDOV (*d.en.s., prof.*),
A.R. NAUMOV (*d.ch.s., prof.*), M.G. BALYKHIN (*d.ec.s., prof.*)

Executive secretary E.N. KALININ

Address: 153000, Ivanovo, Sheremetev av., 21.
Tel.: +7(4932)41-75-02.
E-mail: ttp@ivgpu.com
[http:// ttp.ivgpu.com](http://ttp.ivgpu.com)

Registered with the Ministry of Printing of Russian Federation. Registration no. 796. Passed for typesetting on 01.04.2022.
Signed for printing on 31.04.2022. Format 60×84 1/8. Book/journal paper. Offset printing. 44.18 conventional sheets.
44.43 conventional. Order 4723.

Circulation of 400.

"Proceedings of higher education institutions. Textile Industry Technology"

Published by Ivanovo State Polytechnical University
153000, Ivanovo, Sheremetev av., 21
E-mail: ttp@ivgpu.com

Publishing-printing complex "PresSto"
153025, Ivanovo, Dzerzhinskogo, 39, building 8
Tel. 8-930-330-26-30
E-mail: presssto@mail.ru

УДК 332

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_5

**ПОТЕНЦИАЛ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ДЛЯ ПЕРЕХОДА И РАЗВИТИЯ НА ИНДУСТРИЮ 4.0**

**THE POTENTIAL OF THE TEXTILE INDUSTRY
FOR TRANSITION AND DEVELOPMENT TO INDUSTRY 4.0**

Е.С. ЛОВКОВА, Т.Н. КАШИЦЫНА, Н.М. ФИЛИМОНОВА

E.S. LOVKOVA, T.N. KASHITSINA, N.M. FILIMONOVA

(Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Всероссийский научно-исследовательский институт труда
Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации)

(Vladimir State University named after Alexander and Nikolai Stoletovs,
All-Russian Scientific Research Institute of Labor)

E-mail: nikishinaes@yandex.ru; kashicina @yandex.ru

Статья посвящена исследованию концепции Индустрии 4.0, ее месту в современном обществе. Рассмотрены основные тенденции четвертой промышленной революции. Определен производственный потенциал текстильной промышленности, способствующий внедрению и развитию Индустрии 4.0 в современных условиях цифровизации экономики. Рассмотрен ключевой вопрос, связанный с перспективами дальнейшего развития текстильной промышленности. Повышением эффективности использования ресурсного потенциала является разработка новых инструментов функционирования и управления отраслью в условиях четвертой промышленной революции.

The article is devoted to the study of the concept of Industry 4.0, its place in modern society. The main trends of the fourth industrial revolution are considered. The production potential of the textile industry has been identified, contributing to the introduction and development of Industry 4.0 in modern conditions of digitalization of the economy. The key issue related to the prospects for further development of the textile industry. Increasing the efficiency of using its resource potential is the development of new tools for the functioning and management of the industry in the conditions of the fourth industrial revolution.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, четвертая промышленная революция, потенциал, технологии, развитие.

Keywords: Industry 4.0, the fourth industrial revolution, potential, technology, development.

Четвертая промышленная революция – термин, появившийся в 2016 г. [1...14]. Он характеризуется конвергенцией и взаимодополняемостью новых технологических областей, включая нанотехнологии, биотехнологии, новые материалы и передовые технологии цифрового производства (ADP). Внедрение технологий ADP в процессы промышленного производства привело к появлению концепции Индустрии 4.0, также известной как "Умное производство".

В России сформирована стратегия развития информационного общества на 2017-2030 гг., она относит цифровизацию экономики к одному из важнейших национальных интересов. Развитие цифровизации способствует поддержанию конкурентоспособности страны. Индустрия 4.0 предполагает внедрение в профессиональную деятельность людей облачных и мобильных технологий, цифровых коммуникаций и 3D-печати. Особого внимания заслуживает взаимодействие инновационных технологий промышленной Индустрии 4.0 и легкой промышленности. Легкая промышленность на протяжении веков является локомотивом экономики во многих странах. Сейчас вклад легкой промышленности в ВВП России составляет около 1,4%. Мала доля российского производства в легкой промышленности, которая составляет всего 20%. Почти вся продукция, которая потребляется на внутреннем рынке, на 80% импортная. За последние 25 лет отрасль сократилась более чем в 10 раз, сократился также и ассортимент выпускаемого оборудования. В легкой промышленности преобладает использование устаревшего оборудования. Исчерпание производственных ресурсов ведет к невозможности увеличения объемов производства. Поэтому наиболее эффективным методом решения проблем легкой промышленности является внедрение инновационных технологий в произ-

водство. Внедрение инноваций невозможно без продвижения информационных технологий. Естественно, информационные технологии охватывают не только производство, они являются также и частью культуры общества, поддерживая социальные и правовые нормы, ценностные установки, а также политические течения. Очень многое в продвижении цифровой экономики зависит от государства, поскольку оно формирует стратегические цели развития страны. Цифровая экономика характеризуется наличием электронной коммерции, интернет-рекламой, электронным банкингом, а также производством необходимого оборудования для обслуживания этой огромной системы цифровой экономики.

Технологии Индустрии 4.0 предполагают увеличение производительности труда и повышение эффективности компаний. Еще в 1980-е годы прошлого столетия существовали прогнозы относительно развития информационных технологий. Информационная революция преобразит отраслевую структуру экономики за счет изменения возможностей производителей, клиентов, а также поставщиков. Благодаря Индустрии 4.0 расширяются перспективы лидерства в конкуренции, идет трансформация структуры цепочки стоимости, изменяются ресурсы и компетенции, которыми располагает компания.

Таким образом, актуальными в настоящее время являются вопросы внедрения и развития Индустрии 4.0, представляющей собой новый этап в организации и контроле производственной цепочки создания стоимости.

Понятие Индустрия 4.0 в научной литературе является новым, пока еще не сформировано единого понимания данного понятия, но в некоторых источниках представлены интересные подходы развития концепции четвертой промышленной рево-

люции [3], [4], [6]. Клаус Шваб, выделяет три основных блока Индустрии 4.0: физический, цифровой и биологический [5]. В отечественной литературе Индустрия 4.0 рассматривается в исследованиях Шукалова А.В., Заколдаева Д.А., Жаринова И.О., Гуторович О.В., Тарасова И.В., Гурьянова А.В. и других. Несмотря на имеющиеся научные исследования, считается, что многие аспекты содержания концепции Индустрии 4.0 требуют уточнения, поэтому цель данного исследования заключается в выявлении производственного потенциала, способствующего экономическому росту и улучшению благосостояния людей.

Индустрия 4.0 характеризуется слиянием технологий и размыванием границ между разными мирами: физическим, биологическим и цифровым. Это, в свою очередь, обусловлено появлением тенденций на рынке Индустрии 4.0. Во-первых, с проникновением в повседневную жизнь цифровой экономики растет количество инвестиций в новые технологии. Индустрия 4.0 подразумевает увеличение инвестиционных потоков в нематериальные активы, например, базы данных, техническую документацию, патенты на технологические процессы. Во-вторых, в период с 2018-2021 гг. фиксируется рост количества слияний стратегических альянсов. Ведь с каждым годом растет конкуренция в борьбе за ресурсы, в том числе и технические. В гонке за ресурсы выживает сильнейший. Многие фирмы не выдерживают конкуренции и уходят с рынка, а какие-то компании поглощают более крупные организации. В промышленном секторе можно наблюдать картину слияния мелких и средних предприятий с более крупными, результатом поглощения которых является образование холдинга.

Индустрия 4.0 способствует росту рынка продаж и решений по автоматизации. В XXI веке увеличивается количество рынков и объемов продаж всех технологий [2].

Индустрия 4.0 затрагивает многие аспекты жизни человека, и соответственно формируется тенденции ее развития в будущем. Одним из самых важных вопросов, которые касаются Индустрии 4.0, является

этический вопрос. С появлением в жизни человека информационных технологий меняется и его роль в обществе, а биоинженерия изменит представления человека об окружающем мире. Еще одна уникальная задумка человечества – создание клонов. Генная инженерия, в свою очередь, может наделить людей супервозможностями.

Еще одной важной тенденцией Индустрии 4.0 является появление кибербезопасности. И успех многих компаний будет зависеть от ее умения управлять базами данных, это значит вовремя их обрабатывать и защищать. Сейчас осуществляется очень много кибератак не только на предприятия, но и на простых граждан. Согласно данным компании InfoWantch, в прошлом году в сеть утекло более 14 млрд. конфиденциальных данных. С каждым годом наблюдается рост утечки информации. Так, количество слитой информации по сравнению с 2018 г. увеличилось на 10%, а в России – более чем на 40% [3]. Чтобы защитить данные пользователей, многие IT-специалисты всего мира разрабатывают различные схемы в борьбе с кибермошенничеством, например, использование диспетчера паролей, настройка многофакторной аутентификации, установка антивирусного программного обеспечения. Чтобы было меньше кибератак и самим пользователям нужно быть осторожными, в частности, не распространять информацию о себе и своих близких в социальных сетях, избегать ненужных загрузок и неизвестных сайтов.

Одной из интереснейших тенденций Индустрии 4.0 являются облачные вычисления, их еще называют туманными или пограничными. Облачные вычисления – технология, в которой данные и иные компьютерные ресурсы, мощности предоставляются пользователю как Интернет-сервис. Предоставление пользователю услуг как Интернет-сервис является ключевым.

К достоинствам облачных вычислений можно отнести: гибкость, выражающуюся в неограниченности вычислительных ресурсов, за счет использования систем виртуализации, низкую стоимость, которая способствует снижению расходов на обслу-

живание виртуальной инфраструктуры, доступность. Облачные вычисления не привязаны к конкретному месту, они доступны везде, где есть интернет и браузер.

Важной тенденцией Индустрии 4.0 заслуженно является искусственный интеллект. Он является двигателем прогресса во многих отраслях производства. Главными целями искусственного интеллекта является создание систем, способных анализировать информацию, обрабатывать ее и хранить. Вторая цель заключается в создании существа, способного мыслить, думать, чувствовать как человек. Искусственный интеллект создается во благо человечества, чтобы упростить его жизнь. В промышленном масштабе наблюдается тенденция увеличения количества предприятий, где используется искусственный интеллект. Согласно данным газеты "Известия", в России искусственный интеллект к концу 2020 г. использовали 68% компаний крупного и среднего бизнеса [4]. На многих российских предприятиях применяются технологии 3D-печати, используются роботы для рутинной работы, например, упаковка и сортировка товара. С одной стороны, искусственный интеллект упрощает жизнь людям и предприятиям, делая ее более комфортной, а деятельность более эффективной и результативной, но, с другой стороны, искусственный интеллект несет в себе риски. Прежде всего – это сокращение рабочих мест.

Следующей тенденцией искусственного интеллекта является физическое и когнитивное развитие человека. Эта тенденция ориентирована на улучшение условий жизни лиц с ограниченными возможностями. Еще в XIX веке человек, ломая ногу или руку, становился инвалидом на всю жизнь, не имея возможности свободно передвигаться, заниматься любимым видом спорта. Сейчас эту проблему можно решить при помощи специально созданного приспособления – протезов, которые фиксируют суставы в нужном месте, помогая человеку свободно передвигаться и заниматься своим хобби. Кроме того, искусственный интеллект активно используется в хирургии, помогает анализировать слож-

ные медицинские данные, ставить диагнозы, давать рекомендации по лекарствам, которые стоит принимать пациентам.

Еще одной важной тенденцией искусственного интеллекта является робототехника. Благодаря роботам можно повысить точность выполняемых операций, кроме того, можно понизить производственные затраты. Роботы помогают увеличить скорость и объем производства. Благодаря робототехнике можно внедрить в производственный процесс более высокие стандарты качества и минимизировать последствия влияния человеческого фактора. Роботы также высвобождают время для сотрудников, чтобы они могли сосредоточиться на других неповторяющихся или важных задачах. Но, с другой стороны, чтобы робот работал эффективно, необходимо задать качественный алгоритм действия, иначе на производстве будет много брака, некачественной продукции. Кроме того, роботами сложно управлять в непредвиденных ситуациях, и они непригодны для творческой работы.

Индустрия 4.0 в текстильной промышленности остается одним из основных путей успешного развития данной отрасли. Он открывает огромный потенциал для экономического роста и улучшения благосостояния людей, а также защиты окружающей среды.

Особого внимания заслуживает взаимодействие легкой промышленности и инноваций Индустрии 4.0, способного в разы увеличить развитие отрасли. Развитие возможно при взаимодействии следующих составляющих:

- глобального сотрудничества и общего взгляда на то, как технологии меняют нашу экономическую, социальную, культурную и индивидуальную жизнь;

- компании должны инвестировать в свою техническую инфраструктуру и возможности анализа данных. Все предприятия должны стремиться быть умными, связанными организациями, иначе они скоро отстанут от конкурентов;

- развивать лидеров, обладающих навыками управления организациями.

Переход российской текстильной промышленности из производства, основанного на IT-технологиях и автоматизации, в новейшее производство киберфизических систем возможно, так как для этого имеется производственный потенциал (рис.1). Производственный потенциал страны в конечном итоге зависит от потенциала организации.



Рис. 1

Инвестиционный и научно-технический потенциалы предприятий способствуют быстрому реагированию при принятии управленческих решений на технологические изменения внешней среды. Данные виды потенциалов включают в себя: технологические знания, ресурсы и навыки, которые способствуют внедрению и использованию нового оборудования и технологий, автоматизации производства и повышения квалификации занятых, а также дальнейшему совершенствованию своей технологической компетенции и деловой активности.

Производственный потенциал связан с опытом, обучением на практике и поведением предпринимателей, связанных с производством. Формирование данных видов потенциалов для организации является необходимостью для организации основы, требующейся для дальнейшего совершенствования технологий.

Представленная система производственного потенциала текстильной промышленности, необходимая для перехода на Индустрию 4.0, представляет собой четыре взаимосвязанных потенциала в макросистеме. Научно-технический потенциал направлен на обеспечение формирования инноваций, которые будут использоваться в производстве; образовательный потенциал направлен на создание и использование научно-технических инноваций; инвестиционный потенциал характеризуется возможностью введения в производственную практику применения научно-технических инноваций и их диффузии; потенциал потребительского сектора направлен на заинтересованность потребителя использовать инновационный продукт и формировать новые потребности, которые способствуют инициированию дальнейшей деятельности других потенциалов.

При реализации перехода текстильной промышленности на Индустрию 4.0 особое внимание необходимо уделять анализу производственного потенциала. Основными приоритетами для данной отрасли станут исследования в области материального производства в текстильной и легкой промышленности. Чтобы повысить энергоэффективность, необходимо активно применять современные методики интеллектуальных систем мониторинга, диагностики и автоматического управления оборудованием.

Существует несколько ключевых причин, по которым технологии Индустрии 4.0 будут все чаще использоваться производителями текстильной промышленности:

- экономическая эффективность: Решения для мониторинга оборудования, стратегии прогнозного технического обслуживания и другие передовые операционные технологии помогут производителям сократить время простоя, увеличить пропускную способность и в целом снизить затраты на поставку качественных деталей;

- демократизация данных: Наряду со многими другими отраслями промышленности, производство пострадало от разрозненных данных не только между отдельными подразделениями организации, но и

на разных уровнях (то есть машинный уровень, заводской уровень, корпоративный). Подключенная операция обеспечивает доступ к различным источникам данных и, если все сделано правильно, обеспечивает простой способ использования этих данных для эффективного принятия решений;

– оперативная гибкость: Способность быстро реагировать на колебания спроса, тенденции в области новых продуктов, дефицит навыков и другие непредсказуемые проблемы являются ключевым фактором для любого производителя. При наличии правильной технологии у производителей больше шансов успешно развернуться в трудную минуту;

– документация и прослеживаемость: Благодаря оцифрованной информации через облако можно хранить практически неограниченное количество производственных данных. Это означает, что вся собранная вручную информация может быть преобразована в цифровую систему сбора данных, которую можно использовать для чего угодно – от обучения новых работников до создания передовых алгоритмов с использованием исторических данных. Возможности не ограничены до тех пор, пока данные хранятся и доступны таким образом, чтобы создавать решения;

– сохранение клиентов: Власть среди поставщиков и потребителей по-прежнему направлена на клиента, при этом растут ожидания в отношении качества услуг и продуктов. Чтобы удовлетворить эти растущие требования, производители будут вынуждены использовать технологии для поддержки настройки, разработки продукта, послепродажного обслуживания и многого другого.

ВЫВОДЫ

Таким образом, перед регионами и страной стоит задача перевода науки и инноваций на инновационно-практическую систему. Но способность извлечь выгоду из Индустрии 4.0 будет зависеть от наличия (и доступности) передовых технологий, а также от правильного уровня и сочетания

навыков и производственных возможностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьянов А.В., Заколдаев Д.А., Жаринов И.О. Маршруты сквозного автоматизированного проектирования документации изделий приборостроения на предприятиях "Индустрии 3.0" и "Индустрии 4.0" // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2018, № 1–2 (115–116). С. 167...174.
2. Гуторович О.В. Четвертая промышленная революция и ее возможные последствия // Дискурс. – 2018, № 6. С. 11...17.
3. Ингеманссон А.Р. Актуальность внедрения концепции "Индустрия 4.0" в современное машиностроительное производство // Научные технологии в машиностроении. – 2016. Т.1, № 7. С. 45...48.
4. Левенцов В.А., Радаев А.Е., Николаевский Н.Н. Аспекты концепции "Индустрия 4.0" в части проектирования производственных процессов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2017. Т.10, № 1. С.19...31.
5. Отчет о промышленном развитии за 2020 год, Краткое сообщение № 5: Распространение передовых технологий цифрового производства (ADP): неоднородный ландшафт. Вена: ЮНИДО. [Электронный ресурс] https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO_IDR20_Russian.epub (дата обращения: 02.09.2021).
6. Тарасов И.В. Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития // Стратегии бизнеса – 2018, № 6. С.62.
7. Утечки данных 2019: статистика и масштабы. [Электронный ресурс]. <https://vc.ru/services/103616-utechki-dannyh-2019-statistika-tendencii-kiberbezopasnosti-i-mery-po-snizheniyu-riskov-vzloma> (дата обращения: 17.08.2021)
8. Четвертая промышленная революция / К. Шваб — "Эксмо", 2016 — (Top Business Awards) ISBN 978-5-699-90556-0 стр. 138
9. Что такое искусственный интеллект и как он работает. [Электронный ресурс]. <https://b-mag.ru/10-tendencij-i-innovacij-industrii-4-0-povlijajut-na-jekonomiku-v-2021-2022-godu/> - (дата обращения: 17.07.2021)
10. Шваб К. Четвертая промышленная революция / пер. с англ. Москва: Эксмо, 2016. 138 с. [Электронный ресурс]. http://ncrao.rsvpu.ru/sites/default/files/library/k._shvab_chetvertaya_promyshlennaya_revolyuciya_2016.pdf (дата обращения 22.04.2020).
11. Шева Г., Хюзиг С., Гумерова Г.И., Шаймиева Э.Ш. От Индустрии 3.0 к Индустрии 4.0: основные понятия, измерения и компоненты Индустрии 4.0 // Инвестиции в России. – 2019, № 9 (296). С. 32...40.
12. Шукалов А.В., Заколдаев Д.А., Жаринов И.О. Алгоритмы проектирования механосборочного производства предприятий Индустрии 3.0 и Индустрии

4.0 // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2018, № 3–4 (117–118). С. 148...154.

13. Шукалов А.В., Заколдаев Д.А., Жаринов И.О. От Индустрии 3.0 к Индустрии 4.0: обзор инноваций // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2018, № 11–12 (125–126). С. 153...159.

14. Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., Ten Hompel M., Wahlster W. Industrie 4.0 Maturity index. Managing the digital transformation of companies (acatech STUDY), Munich: Herbert Utz Verlag. – 2017.

REFERENCES

1. Gur'yanov A.V., Zakoldaev D.A., Zharinov I.O. Marshruty skvoznogo avtomatizirovannogo proektirovaniya dokumentatsii izdeliy priborostroeniya na predpriyatiyakh "Industrii 3.0" i "Industrii 4.0" // Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu. – 2018, № 1–2 (115–116). S. 167...174.

2. Gutorovich O.V. Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya i ee vozmozhnye posledstviya // Diskurs. – 2018, № 6. S. 11...17.

3. Ingemansson A.R. Aktual'nost' vnedreniya kontseptsii "Industriya 4.0" v sovremennoe mashinostroitel'noe proizvodstvo // Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii. – 2016. T.1, № 7. S. 45...48.

4. Leventsov V.A., Radaev A.E., Nikolaevskiy N.N. Aspekty kontseptsii "Industriya 4.0" v chasti proektirovaniya proizvodstvennykh protsessov // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki. – 2017. T.10, № 1. S.19...31.

5. Otchet o promyshlennom razvitii za 2020 god, Kratkoe soobshchenie № 5: Rasprostranenie peredovykh tekhnologiy tsifrovogo proizvodstva (ADP): neodnorodnyy landshaft. Vena: YuNIDO. [Elektronnyy resurs] https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO_IDR20_Russian.epub (data obrashcheniya: 02.09.2021).

6. Tarasov I.V. Industriya 4. 0: ponyatie, kontseptsii, tendentsii razvitiya// Strategii biznesa – 2018, № 6. S.62.

7. Utechki dannykh 2019: statistika i masshtaby. [Elektronnyy resurs].<https://vc.ru/services/103616-utechki-dannyh-2019-statistika-tendencii-kiber-bezopasnosti-i-mery-po-snizheniyu-riskov-vzloma> (data obrashcheniya: 17.08.2021)

8. Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya / K. Shvab — "Eksmo", 2016 — (Top Business Awards) ISBN 978-5-699-90556-0 str. 138

9. Chto takoe iskusstvennyy intellekt i kak on rabotat. [Elektronnyy resurs]. <https://b-mag.ru/10-tendencij-i-innovacij-industrii-4-0-povlijajut-na-jekonomiku-v-2021-2022-godu/> - (data obrashcheniya: 17.07.2021)

10. Shvab K. Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya / per. s angl. Moskva: Eksmo, 2016. 138 s. [Elektronnyy resurs]. http://ncrao.rsvpu.ru/sites/default/files/library/k_shvab_chetvertaya_promyshlennaya_revolyuciya_2016.pdf (data obrashcheniya 22.04.2020).

11. Sheve G., Khyuzig S., Gumerova G.I., Shaymieva E.Sh. Ot Industrii 3.0 k Industrii 4.0: osnovnye ponyatiya, izmereniya i komponenty Industrii 4.0 // Investitsii v Rossii. – 2019, № 9 (296). S. 32...40.

12. Shukalov A.V., Zakoldaev D.A., Zharinov I.O. Algoritmy proektirovaniya mekhanosborochnogo proizvodstva predpriyatij Industrii 3.0 i Industrii 4.0 // Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu. – 2018, № 3–4 (117–118). S. 148...154.

13. Shukalov A.V., Zakoldaev D.A., Zharinov I.O. Ot Industrii 3.0 k Industrii 4.0: obzor innovatsiy // Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu. – 2018, № 11–12 (125–126). S. 153...159.

14. Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., Ten Hompel M., Wahlster W. Industrie 4.0 Maturity index. Managing the digital transformation of companies (acatech STUDY), Munich: Herbert Utz Verlag. – 2017.

Рекомендована кафедрой менеджмента ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Поступила 25.04.22.

ВЕКТОРЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

VECTORS OF THE DIGITAL TRANSFORMATION OF THE TEXTILE INDUSTRY

В.Г. ЛАРИОНОВ, Е.Н. ШЕРЕМЕТЬЕВА, А.В. БАЛАНОВСКАЯ

V.G. LARIONOV, E.N. SHEREMETYEVA, A.V. BALANOVSKAYA

(Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(Национальный исследовательский университет),
Самарский государственный экономический университет)

(Bauman Moscow State Technical University,
Samara State University of Economics)

E-mail: vallarionov@yandex.ru; lena_scher@mail.ru; balanovskay@mail.ru

В статье рассматриваются тенденции и динамика развития легкой промышленности РФ. Влияние современной внешней среды проявляется через взрывной рост новых подходов к управлению, информационных технологий и перевод всех процессов в цифру. Данные факторы привели к необходимости пересмотра стратегий развития данной отрасли, быстрой смене парадигмы и адаптации к новым условиям с целью использования открывающихся возможностей.

Для современных предприятий легкой промышленности формирование стратегических направлений основано на идее цифровой трансформации. В основе цифровой трансформации текстильной промышленности находится инновационный подход к организации производства, используемым технологиям, разработке и продвижению производимой продукции и управлению человеческими ресурсами. Первым проектом, планируемым для реализации, является проект "Умное производство". Следующим проектом должен стать "Цифровой инжиниринг". Немаловажным является реализация проекта "Продукция будущего". На решение проблем обеспеченности квалифицированными трудовыми ресурсами направлен проект "Новая модель занятости". Цифровая трансформация текстильной промышленности создаст предпосылки к достижению цели технологической независимости. Реализация проектов развития текстильной отрасли позволит увеличить количество рабочих мест, переквалифицировав их в высокотехнологичные, использующие достижения в сфере цифровизации.

The article discusses the trends and dynamics of the light industry of the Russian Federation. The influence of the modern external environment is manifested through the explosive growth of new approaches to management, information technology and the transfer of all processes to digital form. Data on the factors influencing the need to increase the risk of industry development lead to a rapid growth of the paradigm and adaptation to new conditions with the use of opportunities.

For modern light industry enterprises, the formation of strategic directions is based on the idea of digital transformation. At the heart of the digital transformation of the textile industry is an innovative approach to the organization of production, the technologies used, the development and promotion of manufactured products

and human resource management. The first project planned for implementation is the "Smart Manufacturing project". The next project should be "Digital Engineering". The implementation of the project "Products of the Future" is also important. The project "New Model of Employment" is aimed at solving the problems of providing qualified labor resources. The digital transformation of the textile industry will create prerequisites for achieve the goal of technological independence. The implementation of projects for the development of the textile industry will increase the number of jobs, retraining them into high-tech, using achievements in the field of digitalization.

Ключевые слова: цифровая трансформация, "умное производство", цифровой инжиниринг, цифровой двойник, продукция будущего, новая модель занятости.

Keywords: digital transformation, smart manufacturing, digital engineering, digital twin, products of the future, new employment model.

Проблемы развития легкой промышленности в нашей стране решаются достаточно давно. Легкая промышленность играет важную социальную роль для равномерного и поступательного развития государства. В развитие экономики СССР вклад текстильной промышленности был очень велик, фактически это был драйвер развития. В настоящее время произошли коренные изменения и в технологических возможностях отрасли, и в используемом сырье. Изменился геополитический расклад сил для развития текстильной отрасли. На долю текстильной промышленности сегодня приходится 1% в объеме промышленного производства, тогда как в 1991 г. на ее долю приходилось 12%.

Тенденции и динамика развития легкой промышленности в Российской Федерации соответствуют мировым тенденциям. Для более развитых стран характерен импорт потребительской продукции и снижение поддержки текстильной промышленности на уровне государства. Аналогичная тенденция наблюдается и в странах с сырьевой экономикой, к которым относится Россия.

Развивающиеся страны сосредоточили на своей территории и сырьевые ресурсы, и дешевую трудовую силу. Мировой рост данной отрасли прежде всего вызван общим ростом численности населения Земли и возрастающими потребностями в продукции предприятий, а также с улучшающимися показателями благосостояния и, как

следствие, покупательской способности жителей многих стран.

Еще одним важным фактом является переход к использованию синтетических и смесовых тканей, спрос на которые будет и дальше увеличиваться. Смесовые ткани занимают более 70% рынка, и спрос на них растет в среднем на 7% в год. Изделия из смесовых и синтетических тканей обеспечивают максимальную функциональность, комфортность и качество при минимальной цене. Собственная сырьевая база данных тканей в нашей стране отсутствует. Исторически российская промышленность была ориентирована на возделывание натурального сырья: лен, шерсть, шелк. В настоящее время на продукцию из натуральных тканей приходится не более 10%. Безусловно, текстильная отрасль входит в список отраслей, которым оказывается поддержка, так закупается спецодежда для государственных нужд, госструктур и сотрудников силовых ведомств, но уровень поддержки недостаточен.

Индекс производства в целом по промышленному производству за последние 7 лет имеет тенденцию к незначительному увеличению. Аналогично возрастает индекс производства и по обрабатывающей промышленности. Индексы производства по отдельным видам экономической деятельности ОКВЭД2 Российской Федерации, рассчитанные в % к предыдущему году, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Код вида деятельности по ОКВЭД2	Наименование вида деятельности по ОКВЭД2	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
BCDE	Промышленное производство (промышленность)	100,2	101,8	103,7	103,5	103,4	97,9	105,3
C	Обрабатывающее производство	99,9	101,1	105,7	103,6	103,6	101,3	105,0
13	Производство текстильных изделий	99,4	114,9	107,1	102,5	101,8	109,7	107,5
13.1	Подготовка и прядение текстильных волокон	81,7	98,7	95,8	91,9	93,4	98,3	92,5
13.2	Производство текстильных тканей	102,7	115,5	119,8	107,0	91,9	104,7	107,4
13.3	Отделка тканей и текстильных изделий	123,5	200,7	72,9	58,1	121,1	107,1	110,3
13.9	Производство прочих текстильных изделий	100,9	109,5	107,7	105,6	106,1	112,9	108,2
14	Производство одежды	82,5	105,9	117,7	106,8	103,5	100,3	103,0
14.1	Производство одежды, кроме одежды из меха	79,6	105,5	120,2	116,0	105,0	100,7	102,8
14.2	Производство меховых изделий	84,6	93,6	100,0	90,8	88,9	90,6	100,6
14.3	Производство вязаных и трикотажных изделий одежды	98,4	109,9	109,6	65,8	94,1	98,9	106,5
15	Производство кожи и изделий из кожи	97,8	107,5	110,2	95,7	98,4	88,1	111,4
15.1	Дубление и отделка кожи, производство чемоданов, сумок, шорно-седельных изделий из кожи; выделка и крашение меха	112,7	112,3	99,5	84,3	102,3	91,2	119,6

Примечание. https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial?print=1

Современные подходы к трансформации текстильной промышленности, вызванные изменением условий хозяйствования и функционирования организаций, наличие высокотехнологичных разработок, которые уже внедрены в деятельность организаций других отраслей и могут быть адаптированы к потребностям текстильной промышленности, интерес государства к развитию обрабатывающей промышленности, все это, безусловно, создает предпосылки для возможного качественного скачка в развитии отрасли. Данные про-

цессы активно развиваются на предприятиях текстильной промышленности многих стран [1]. Единые стратегические подходы создают условия для оказания адресной помощи предприятиям текстильной промышленности и выделения средств на решение общепромышленных проблем на уровне государства.

Ситуация пандемии Covid-19 и необходимость выживания вызвали к жизни кооперирующие цепочки между производителями, производителями и смежниками, производителями и торговыми площад-

ками. Российские производители постепенно внедряются и в мировые цепочки поставок, что позволяет развивать экспортные поставки продукции текстильной промышленности на мировой рынок.

При всех позитивных факторах не стоит забывать и о том, что большинство предприятий находится в убыточном состоянии, оборудование очень изношено, не хватает высококвалифицированного персонала, способного адаптироваться к быстрым изменениям среды. Влияние внешней среды так и продолжит себя проявлять в форме геополитических рисков, негативных сценариев развития сырьевых рынков, усиления международной конкуренции.

Государство не менее сильно влияет на возможности развития текстильных предприятий. Экономика развивается по крайне инерционному сценарию, возможности выделения финансовых ресурсов очень ограничены, а административные барьеры устраняются очень медленно.

Совокупность указанных факторов оказывает сильнейшее влияние на развитие текстильной промышленности. Руководству предприятий необходимо, несмотря на сложившиеся условия, использовать открывающиеся возможности цифровой трансформации для обеспечения стабильного развития в стратегической перспективе с целью достижения конкурентоспособности на российском и международном рынках.

В Российской Федерации есть потенциальные возможности для развития текстильной промышленности. Необходимо продвигать молодые российские бренды, формируя имидж качественных, доступных, модных и безопасных товаров. Данный подход в сочетании с государственной поддержкой и цифровой трансформацией позволит выйти на устойчивый путь развития предприятий текстильной промышленности и отрасли в целом и существенно увеличить свой вклад в общий объем производства в стране. Развитие может быть обеспечено даже с учетом серьезных различий в уровне развития цифровых технологий предприятий и их поддержки на региональном и федеральном уровнях [2].

Методы

Исследование проводилось с использованием общепринятых методов исследования. В основе выявления закономерностей и тенденций развития лежат методы познавательного действия, такие как диалектика, наложение теоретического материала на практику применения, формирование доказательной базы. Использовались дедуктивные и индуктивно-дедуктивный методы, ставились проблемы и проводился анализ с целью выявления и разрешения противоречий. Кроме этого, методы применялись в качестве операций, действий. К таким методам относятся сравнение, конкретизация и обобщение.

Большая часть выводов строилась с применением метода статистического исследования. Применение данного метода позволило выявить закономерности в развитии отрасли текстильной промышленности и спрогнозировать тенденции на ближайшую перспективу.

Результаты и обсуждение

Перед текстильной промышленностью стоит задача в короткий период осуществить качественную цифровую трансформацию своей деятельности на основе новых технологий для обеспечения конкурентоспособности в долгосрочной перспективе.

Это необходимо не только для улучшения способов производства и увеличения производительности, гибкости, но и для оптимизации цепей поставок и использования преимуществ, открывающихся с переходом на массовую кастомизации легкой промышленности [3].

В основе цифровой трансформации текстильной промышленности находится инновационный подход к организации производства, используемым технологиям, разработки и продвижению производимой продукции и управлению человеческими ресурсами [4].

Фактически стоит вопрос о формировании эффективной экосистемы на основе отечественного программного и аппаратного обеспечения, позволяющей решать ключевые проблемы всей отрасли, к которым относятся:

- длительный процесс разработки продукции и вывода ее на рынок;
- низкая производительность трудовой деятельности;
- нерациональное использование сырьевых, материальных, финансовых и других ресурсов;
- высокая себестоимость производства и готовой продукции;
- устаревшее оборудование и недостаточные производственные мощности;
- высокая доля брака;
- рост затрат на содержание и эксплуатацию материально-технического комплекса;
- отсутствие выстроенных эффективных кооперационных цепочек.

В реализации данного направления важным является и то, что построение любой экосистемы очень тесно взаимосвязано с производственной деятельностью, основанной на инновационном подходе [5].

Первым проектом, планируемым для реализации, является проект "Умное производство". Проект позволит обеспечить более эффективное использование сырья, материалов, основных производственных фондов.

В процессе реализации проекта предприятия текстильной промышленности должны получить расширение технологических, производственных и сбытовых возможностей. У руководства будет формироваться массив данных, необходимых для принятия решений по внедрению новых технологий, наличию свободных мощностей, рационализации использования материальных и сырьевых ресурсов для снижения себестоимости и в конечном счете отпускной цены на продукцию. Управленческие решения будут приниматься на основе предикативной аналитики, в основную деятельность должны быть внедрены технологии интернета вещей.

Следующим проектом должен стать "Цифровой инжиниринг". Данный проект направлен на повышение коммерциализации производства. Уменьшение сроков разработки продукции и выход с ними на площадки маркетплейсов федерального значения, охватывающих всех производителей

товаров потребления и потребителей, сможет создать устойчивые цепочки взаимодействия. Производители и покупатели продукции текстильной отрасли, вне зависимости от местонахождения, масштабов производства, масштабов потребления, смогут напрямую взаимодействовать, что позволит значительно увеличить эффективность производственной и сбытовой деятельности предприятия и конкурентоспособность как выпускаемой продукции, так и предприятия в целом.

Одной из наиболее часто применяемых цифровых технологий становится цифровой двойник. Предприятие получает цифровую копию, созданную в виртуальной среде и отражающую ведение всех бизнес-процессов предприятия на основе применения специализированного программного и аппаратного оборудования. Современный подход к построению цифрового двойника предприятия позволит выстроить процессы планирования и прогнозирования и повысить эффективность управленческой деятельности и скорость реакции на изменения во внешней среде. Основная задача технологии заключается в предоставлении возможности руководству принимать управленческие решения не в условиях неопределенности, а на основе обширного аналитического материала, с учетом прошлого опыта и тенденций развития.

Проблемы высокой доли брака и неадаптивного производства позволят решить проект "Продукция будущего". Основная идея заключается в таком выстраивании технологического процесса и технологической линии, который бы позволил в очень короткие сроки иметь возможность перенастроить производственный процесс под запросы конкретного заказчика. Кастомизация производства легкой промышленности позволит обеспечить одновременное использование преимуществ, получаемых от механизированного и автоматизированного производства с гибкостью и мобильностью ателье [6].

Конвейерное производство с гибкими настройками в зависимости от потребностей заказчика позволит сократить производственные потери и повысить эффектив-

ность использования производственных мощностей. Важным для данного вопроса является организация системы ремонтного обслуживания, основанная на принципах "ремонт по состоянию", а наличие предиктивной аналитики у руководства позволит в короткие сроки организовать данный процесс.

Проблемой современных организаций являются трудовые ресурсы. Скорость изменения внешней среды и условий жизнедеятельности настолько велика, что работники не всегда успевают к ней адаптироваться. С учетом цифровой трансформации работники предприятия должны обладать широким кругом новых цифровых компетенций. На решение данных проблем направлен проект "Новая модель занятости".

Совместно с цифровой трансформацией предприятия изменяется и природа труда. Он становится максимально интеллектуальным, производственные процессы автоматизируются, технологии строятся на использовании высокоэффективных цифровых сервисов. Для этого важно обеспечить создание обучающих программ для формирования новых компетенций у работников.

В условиях нового уклада остро встал вопрос формирования новых компетенций сотрудников, их обучение и переобучение. Большинство компаний придерживаются мнения, что формировать и развивать нужные организации навыки должны сами компании. Только треть респондентов считает, что заниматься саморазвитием должны сотрудники, потому что это способствует поддержанию их профессионально уровня и отражается на востребованности и успешности трудовой деятельности. Такой результат был получен в процессе опроса, проведенного IBM, в котором участвовали 5600 руководителей глобальных компаний [7].

Современные крупные компании, в основном международные, уже сейчас активно используют различные оцифрованные образовательные программы и курсы обучения, как правило, это делается бесплатно. Например, в Google повсеместно внедрили онлайн-обучение сотрудников

цифровым навыкам. Обучающая платформа представляет собой интерактивную площадку, на которой сотрудник, в соответствии со своим индивидуальным учебным планом, направленным на устранение пробелов в знаниях, может обучаться в комфортном для него темпе. Разрабатываются и различные профильные курсы и обучающие программы в сфере информационных технологий [8].

Развитие обучающих программ для сотрудников текстильной промышленности на основе применения онлайн-платформ, технологий и сервисов является не менее актуальным. Реализация проекта позволит решить проблему низкой производительности труда и нерационального использования трудовых ресурсов.

Создание большой экосистемы предприятий текстильной отрасли позволит накопить массив статистических данных о результатах функционирования каждого участника процесса и разрабатывать различные модели межотраслевого взаимодействия, программы поддержки на основе использования технологий обработки больших данных и искусственного интеллекта. В основе процессов находятся интегрированные информационные системы [9]. Наличие единых платформ оказания услуг, в том числе и государственных, при помощи специализированных цифровых сервисов позволит повысить эффективность коммуникаций на всех уровнях управления, каждого отдельного предприятия, отрасли и государства в целом. Кроме этого, будет возможно построение траекторий развития, которые позволят формировать адресные программы поддержки предприятий.

Цифровая трансформация текстильной промышленности создаст предпосылки к достижению цели технологической независимости. Российские разработки, апробированные предприятиями, получают возможность выйти на рынок современных информационных технологий и программного обеспечения и конкурировать на глобальном рынке. Отрасль текстильной промышленности получит ускоренное технологиче-

ское развитие и сможет обновить производственные мощности. В случае необходимости обеспечения безопасности информационного обмена будет применена технология блокчейн [10]. Модернизация процессов управления, в том числе и трудовыми ресурсами, приведет к росту производительности труда и его качеству. Реализация проектов развития текстильной отрасли позволит увеличить количество рабочих мест, переквалифицировав их в высокотехнологические, использующие достижения в сфере цифровизации.

Производимая высокотехнологичная продукция будет соответствовать эстетичным, эргономичным, экологичным требованиям, требованиям качества и комфортности. Возможность быстрой адаптации под меняющуюся внешнюю среду и моду увеличит загрузку оборудования.

Виртуальные испытания и моделирование продукции и процессов позволят сократить период разработки продукции и обеспечат выход на рынок в короткие сроки, необходимые для обеспечения повышенного уровня продаж.

Данный подход и результаты работы современных предприятий текстильной промышленности могут существенно увеличить внутренний спрос и создать армию потребителей отечественной продукции.

ВЫВОДЫ

Современные подходы к трансформации текстильной промышленности, вызванные изменением условий хозяйствования и функционирования организаций, наличие высокотехнологичных разработок, которые уже внедрены в деятельность организаций других отраслей и могут быть адаптированы к потребностям текстильной промышленности, интерес государства к развитию обрабатывающей промышленности, все это, безусловно, создает предпосылки для возможного качественного скачка в развитии отрасли. Единые стратегические подходы создают условия для оказания адресной помощи предприятиям текстильной промышленности и выделения средств на решение общепромышленных про-

блем на уровне государства. Развитие в данном направлении повлечет за собой необходимость обеспечения информационной безопасности. Решение этого вопроса потребует отдельных подходов [11]. Индустриализация 4.0 существенно изменила важность формирования политики, направленной на уменьшение рисков и угроз любой сферы деятельности [12].

Ситуация пандемии Covid-19 и необходимость выживания вызвали к жизни кооперирующие цепочки между производителями, производителями и смежниками, производителями и торговыми площадками. Российские производители постепенно внедряются и в мировые цепочки поставок, что позволяет развивать экспортные поставки продукции текстильной промышленности на мировой рынок.

При всех позитивных факторах не стоит забывать и о том, что большинство предприятий находятся в убыточном состоянии, оборудование очень изношено, не хватает высококвалифицированного персонала, способного адаптироваться к быстрым изменениям среды. Влияние внешней среды так и продолжит себя проявлять в форме геополитических рисков, негативных сценариев развития сырьевых рынков, усиления международной конкуренции. Выстраивание производственных поставок для предприятий легкой промышленности продолжает быть проблемой [13].

Государство не менее сильно влияет на возможности развития текстильных предприятий. Экономика развивается по крайне инерционному сценарию, возможности выделения финансовых ресурсов очень ограничены, а административные барьеры устраняются очень медленно.

Совокупность указанных факторов оказывает сильнейшее влияние на развитие текстильной промышленности. Руководству предприятий необходимо, несмотря на сложившиеся условия, использовать открывающиеся возможности цифровой трансформации для обеспечения стабильного развития в стратегической перспективе с целью достижения конкурентоспособности на российском и международном рынках. Уже сейчас активно внедряются

технологии, позволяющие формировать различные сценарии, касающиеся интеллектуального проектирования, интеллектуальной обработки, интеллектуального управления, интеллектуального мониторинга и интеллектуального планирования [14].

В Российской Федерации есть потенциальные возможности для развития текстильной промышленности. Необходимо продвигать молодые российские бренды, формируя имидж качественных, доступных, модных и безопасных товаров. Данный подход в сочетании с государственной поддержкой и цифровой трансформацией позволит выйти на устойчивый путь развития предприятий текстильной промышленности и отрасли в целом и существенно увеличить свой вклад в общий объем производства в стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sarikaş A., Oz Ceviz N.. Digital Transformation In The Textile Industry // Social Mentality And Researcher Thinkers Journal. – 2021, 7(54). P.3700...3709. DOI: <http://dx.doi.org/10.31576/smryj.1292>.
2. Гретченко А.А. Сущность цифровой экономики, генезис понятия "цифровая экономика" и предпосылки ее формирования в России // Наука и практика Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. – 2018, №3. С. 23...37.
3. Gnezdova J.V., Barkovskaya V.E., Ramazanov I.A., Latortsev A.A., Kalugina S.A. Nonuniformity of Digital Transformation of Industry // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 10(2), 2019, P. 1733...1739. <http://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JType=IJCIET&VType=10&IType=2>.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 6 ноября 2021 г. № 3142-р Стратегическое направление в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности. <http://static.government.ru/media/files/Yu4vXEtpvMyDVAw88UuBGB3dGER6r8zP.pdf>.
5. Sheremetyeva E.N., Gorshkova L.A., Mitropolskaya-Rodionova N.V. Management of Innovative Ecosystems in a Digital Transformation of the Economy Economic Systems in the New Era: Stable Systems in an Unstable World. Lecture Notes in Networks and System. Springer. 2021. P.417...423. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60929-0>.
6. Сауди Д.Р., Махмудова Ф.М. Преимущества цифровизации легкой промышленности // Универсум: Технические науки: электрон. научн. журн. – 2020, № 1(70). С.108-116 URL: <http://univer-sum.com/ru/tech/archive/item/8688>.

7. Обучение цифровым навыкам: глобальные вызовы и передовые практики: аналитический отчет. – М.: Корпоративный университет Сбербанка, 2018. Текст : электронный // Образовательный портал Республики Марий Эл. – URL: <http://edu.mari.ru/school/DocLib3/Функциональная%20грамотность/Глобальные%20навыки.pdf>.

8. Цифровые навыки сотрудников: 6 главных вызовов для HR в области обучения. – Текст: электронный // Тренинг-центр "Компетенции" Алексея Широкопояса: [официальный сайт]. – URL: http://obzory.hr-media.ru/cifrovye_navyki_sotrudnika_6_vyzovov_dlya_hr.

9. Balanovskaya A.V., Volkodaeva A.V., Vshivkov A.V. Role of Integrated Information Systems For Modern Organizations. - Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. V. 160 LNNS. P. 520...528.

10. Agrawal, Tarun Kumar, Kumar, Vijay, Pal, Rudrajeet, Wang, Lichuan, & Chen, Yan. Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. Computers & Industrial Engineering, 154, 107130.2021. DOI:10.1016/j.cie.2021.107130.

11. Volkodaeva A.V., Balanovskaya A.V., Rustenova E.A. Trends in Information and Communication Technologies Development in Context of Economy digitalization. - Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. V. 304. P. 583...592.

12. Derigent, William, Cardin, Olivier, & Trentesaux, Damien. Industry 4.0: contributions of holic manufacturing control architectures and future challenges // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2021.32(7), P.1797...1818. DOI:10.1007/s10845-020-01532-x.

13. Faridi, Muhammad Shakeel, Ali, Saqib, Duan, Guihua, & Wang, Guojun. Blockchain and IoT Based Textile Manufacturing Traceability System in Industry 4.0. Paper presented at the International Conference on Security, Privacy and Anonymity in Computation, Communication and Storage. Security, Privacy, and Anonymity in Computation, Communication, and Storage. – 2020. P.331...344. DOI:10.1007/978-3-030-68851-6_24.

14. Zheng, Pai, Wang, Honghui, Sang, Zhiqian, Zhong, Ray Y, Liu, Yongkui, Liu, Chao, Xu, Xun. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. Frontiers of Mechanical Engineering, 2018.13(2),P. 137...150. DOI: 10.1007/s11465-018-0499-5.

REFERENCES

1. Sarikaş A., Oz Ceviz N.. Digital Transformation In The Textile Industry // Social Mentality And Researcher Thinkers Journal. – 2021, 7(54). P.3700...3709. DOI: <http://dx.doi.org/10.31576/smryj.1292>.
2. Gretchenko A.A. Sushchnost' tsifrovoy ekonomiki, genезis ponyatiya "tsifrovaya ekonomika" i predposylki ee formirovaniya v Rossii // Nauka i praktika Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta im. G.V. Plekhanova. – 2018, №3. S. 23...37.

3. Gnezdova J.V., Barkovskaya V.E., Ramazanov I.A., Latortsev A.A., Kalugina S.A. Nonuniformity of Digital Transformation of Industry // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 10(2), 2019, P. 1733...1739. <http://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JType=IJCIET&VType=10&IType=2>.
4. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 6 noyabrya 2021 g. № 3142-r Strategicheskoe napravlenie v oblasti tsifrovoy transformatsii obrabatyvayushchikh otrasley promyshlennosti. <http://static.government.ru/media/files/Yu4vXEIPvMyDVAw88UuBGB3dGEr68ZP.pdf>.
5. Sheremetyeva E.N., Gorshkova L.A., Mitropolskaya-Rodionova N.V. Management of Innovative Ecosystems in a Digital Transformation of the Economy Economic Systems in the New Era: Stable Systems in an Unstable World. Lecture Notes in Networks and System. Springer. 2021. P.417...423. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60929-0>.
6. Saidi D.R., Makhmudova F.M. Preimushchestva tsifrovizatsii legkoy promyshlennosti // Universum: Tekhnicheskie nauki: elektron. nauchn. zhurn. – 2020, № 1(70). S.108-116 URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/8688>.
7. Obuchenie tsifrovym navykam: global'nye vyzovy i peredovye praktiki: analiticheskiy otchet. – M.: Korporativnyy universitet Sberbanka, 2018. Tekst : elektronnyy // Obrazovatel'nyy portal Respubliki Mariy El. – URL: <http://edu.mari.ru/school/DocLib3/Funktional'naya%20gramotnost'/Global'nye%20navyki.pdf>.
8. Tsifrovye navyki sotrudnikov: 6 glavnykh vyzovov dlya HR v oblasti obucheniya. – Tekst: elektronnyy // Trening-tsentr "Kompetentsii" Alekseya Shirokopyasa : [ofitsial'nyy sayt]. – URL: http://obzory.hr-media.ru/cifrovye_navyki_sotrudnika_6_vyzovov_dlya_hr.
9. Balanovskaya A.V., Volkodaeva A.V., Vshivkov A.V. Role of Integrated Information Systems For Modern Organizations. - Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. V. 160 LNNS. P. 520...528.
10. Agrawal, Tarun Kumar, Kumar, Vijay, Pal, Rudrajeet, Wang, Lichuan, & Chen, Yan. Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. Computers & Industrial Engineering, 154, 107130.2021. DOI:10.1016/j.cie.2021.107130.
11. Volkodaeva A.V., Balanovskaya A.V., Rustenova E.A. Trends in Information and Communication Technologies Development in Context of Economy digitalization. - Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. V. 304. P. 583...592.
12. Derigent, William, Cardin, Olivier, & Trentesaux, Damien. Industry 4.0: contributions of holonic manufacturing control architectures and future challenges // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2021.32(7), P.1797...1818. DOI:10.1007/s10845-020-01532-x.
13. Faridi, Muhammad Shakeel, Ali, Saqib, Duan, Guihua, & Wang, Guojun. Blockchain and IoT Based Textile Manufacturing Traceability System in Industry 4.0. Paper presented at the International Conference on Security, Privacy and Anonymity in Computation, Communication and Storage. Security, Privacy, and Anonymity in Computation, Communication, and Storage. – 2020. P.331...344. DOI:10.1007/978-3-030-68851-6_24.
14. Zheng, Pai, Wang, Honghui, Sang, Zhiqian, Zhong, Ray Y, Liu, Yongkui, Liu, Chao, Xu, Xun. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. Frontiers of Mechanical Engineering, 2018.13(2),P. 137...150. DOI: 10.1007/s11465-018-0499-5

Рекомендована кафедрой прикладного менеджмента (Институт Менеджмента ФГАОУ ВО "СГЭУ"). Поступила 28.03.22.

ИНДУСТРИЯ 4.0: ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

INDUSTRY 4.0: APPROACHES AND PROSPECTS FOR USE IN LIGHT INDUSTRY

Л.Б. ЗОРИН, Н.В. ЗОРИНА, В.А. ХОЛОПОВ

L.B. ZORIN, N.V. ZORINA, V.A. KHOLOPOV

(Российский технологический университет – РТУ МИРЭА)

(Russian Technological University – MIREA)

E-mail: 1rm5482@bk.ru; 2zorina_n@mail.ru; 3holopov@gmail.com

Изменения, связанные с технологическим прогрессом, происходящие в мире затрагивают все отрасли, отрасль легкой промышленности не является исключением. На состояние отрасли оказала негативное влияние пандемия COVID-19. В статье рассматриваются с концептуальной точки зрения процессы изменений, происходящие на промышленных предприятиях, вызванных Индустрией 4.0. Использование преимуществ, которые дает применение концепции Индустрия 4.0 для цифровой трансформации производства, позволит модернизировать отрасль, чтобы защитить ее от влияния негативных факторов, связанных с нестабильностью спроса, демографией, дефицитом ресурсов. Для устойчивого развития отрасли легкой и текстильной промышленности, а также модной индустрии необходимо разработать технологии адаптации механизмов функционирования предприятий отрасли к внедрению сквозных технологий цифровой экономики, таких как технология беспроводной связи и промышленного Интернета, облачных вычислений, распределенных вычислений, киберфизических систем, аналитики на основе больших данных и машинного обучения, распределенного реестра, виртуальной и дополненной реальности, применения киберфизических систем. В статье рассматриваются способы организации современного производства на основе подходов Индустрии 4.0. Описываются подходы к трансформации производства на основе моделей "цифровой", "умной" и "виртуальной" фабрик и определяются обеспечивающие их технологии. Модель устойчивого производства соответствует типу виртуальной фабрики, а реализацию такой модели можно представить в виде интеграции распределенной сети акторов - предприятий участников цепочки создания стоимости. В качестве модели комбинированной архитектуры современного предприятия предлагается использовать модель с многослойной архитектурой: слой данных, технологический слой, слой представления. Предлагается систему, которая будет функционировать на основе такой бизнес-модели, классифицировать как сложную систему с нелинейным поведением. В качестве методологии для исследования такого рода систем предлагается использовать методы системного анализа и математического моделирования, в том числе имитационного моделирования, а для создания адаптивной системы промышленного предприятия предлагается использовать параметризованную модель для представления цифровых двойников. В статье отмечается роль коллаборации ведущих университетов и

высокотехнологичных предприятий для подготовки интеллектуально-креативной молодежи в качестве кадров для инноваций. Определяются направления будущих исследований и ставятся исследовательские задачи для проведения цифровой трансформации (Digital Transformation) производства. Фабрика будущего – это конвергенция цифровой, умной и виртуальной фабрики.

In this article, from a conceptual point of view, the processes of changes occurring in industrial enterprises caused by Industry 4.0 are considered. For the sustainable development of the light and weaving industry, as well as the fashion industry, it is necessary to develop technologies for adapting the functioning mechanisms of industry enterprises to the introduction of end-to-end technologies of the digital economy: wireless communication technology and industrial Internet, cloud computing, distributed computing, cyber-physical systems, analytics based on big data and machine learning, distributed registry, virtual and augmented reality, cyber-physical systems. The methods of organizing modern production based on the approaches of Industry 4 are considered. In the form of models of "digital", "smart" and "virtual" factories, and the supporting technologies are determined. As a model of the combined architecture of a modern enterprise, it is proposed to use a model with a multilayer architecture. The role of the collaboration of leading universities and high-tech enterprises for the training of intellectual and creative youth as personnel for innovation is noted. The directions of future research are determined and research tasks are set for the digital Transformation of production.

Ключевые слова: легкая, текстильная промышленность, современное производство, Индустрия 4.0, технологические изменения, цифровое производство, цифровая трансформация, цифровые двойники, умная фабрика, виртуальная фабрика.

Keywords: light and textile industry, advanced manufacturing, Industry 4.0, technological changes, digital manufacturing, digital transformation, digital twins, smart factory, virtual factory.

Введение

Будущее экономики определяется мегатрендами, которые затронули такие сферы, как глобализация, бережливое потребление, растущая скорость изменений, цифровизация коммуникаций, социальная трансформация, технологии и инновации. Отрасль промышленного производства не исключение, на нее оказывают влияние и демография, и дефицит ресурсов, изменения климата, динамические изменения в применяемых технологиях и используемые инновации и еще ряд факторов [1].

Для предприятий важно, чтобы новая продукция поступала на рынки в кратчайшие сроки и соответствовала запросам потребителей, а меняющиеся рынки требуют гибкости и рационального и эффективного

использования ресурсов и энергии, и все это без ущерба для качества производимой продукции. Современное цифровое предприятие может быстрее реагировать на потребности рынка и получать конкурентное преимущество [1], [2].

Легкая, текстильная промышленность и модная индустрия – одни из самых устойчивых отраслей в мире. Только в 2020 г. рынок модной индустрии сократился на четверть, до 1,71 триллиона рублей. Текстильная промышленность, швейное производство, массмаркет, платформы для электронной коммерции представляют собой единую бизнес-систему, центральным элементом которой является модная индустрия. Соответственно падение покупательского спроса влияет на положение

всей легкой и текстильной промышленности в целом. Кризис, вызванный пандемией, негативно повлиял на динамику потребления и разрушил производственные связи [3], [4]. Для нивелирования негативных факторов требуется разработать концепцию долговременного устойчивого развития на основе перспективной устойчивой бизнес-модели для этих отраслей, этому на сегодняшний день способствует ряд факторов. В качестве внутреннего фактора можно назвать действия государства, которое дало возможность увеличить долю внутреннего продукта за счет квот на закупки госкомпаниями 251 вида отечественных товаров в 2021 - 2023 гг. и не меньше 50...90 процентов от всех закупок.

В качестве внешнего фактора можно назвать достижение зрелости технологиями, например, такими как технология беспроводной связи и промышленного Интернета, облачных вычислений, распределенных вычислений, киберфизических систем, аналитики на основе больших данных и машинного обучения, распределенного реестра, виртуальной и дополненной реальности, которые обеспечивают сквозную цифровизацию при создании гибкого цифрового производства в соответствии с концепцией Индустрии 4.0 [4], [5]. Некоторые из этих технологий вошли в "Дорожные карты" развития сквозных цифровых технологий в РФ и были утверждены президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности в октябре 2019 г.

Основные принципы Индустрии 4.0

Провозглашение четвертой промышленной революции как концепции Индустрии 4.0 предусматривает новый подход к организации производства, диктующий переход от автоматизированного производства (англ. – Computer-integrated Manufacturing, предыдущего этапа развития промышленности, именуемого теперь как "Индустрия 3.0") к функционированию производственных систем с использованием интернет-технологий, обеспечивающих ком-

муникации между людьми, машинами и продуктами, и также от традиционных централизованных структур управления фабриками и промышленными предприятиями к децентрализованным формам управления [6]. По сути, Индустрия 4.0 представляет из себя системный подход к организации производства, который представляет интеллектуальную интеграцию людей и машин в реальном времени с объектами и системами информационных и коммуникационных технологий ("цифровизация") для обеспечения гибкого и динамического управления сложными системами [6], [7].

Фактически для современного предприятия, функционирующего в соответствии с принципами Индустрии 4.0 создание сетей стоимости происходит через интеграцию киберфизических систем, используемых на производстве и в логистике и применение интернета вещей в промышленных процессах (промышленный интернет вещей). Это взаимодействие влияет на все этапы для цепочки создания стоимости товара или услуги, а также на модели ведения бизнеса, предоставляемые услуги и на всю производственную среду в целом.

Современные системы промышленной автоматизации состоят из ряда физических компонентов, представляющих собой промышленное оборудование, то есть станки и технику для выполнения производственно-технологических операций, а подключенные к этим устройствам и/или встроенные в них компьютеры в сочетании с программными системами контролируют и отслеживают производственный процесс, получая и анализируя входные данные и регулируя работу по результатам произведенных вычислений [7]. Из-за увеличения внешней сложности, проистекающей из мегатрендов, описанных выше, и внутренней сложности, таких как увеличение портфелей продуктов, клиентов и поставщиков, новых материалов, производственных процессов и ИТ-систем, производственные компании должны сбалансировать внутреннюю и внешнюю сложность, чтобы оставаться конкурентоспособными. Уравновешивание увеличения ассортимента продукции и уменьшения производственных партий

усложняет централизованно управляемую производственную систему. В данном случае децентрализация управления способствует снижению сложности таких систем. Использование принципов концепции Индустрии 4.0 для производства – это фактически создание сложной интеграции киберфизических систем с системами промышленной автоматизации. Причем эта интеграция систем, столь разных по своей природе, направлена на создание производств, на которых люди и машины действуют согласованно в реальном времени.

Модернизация традиционных секторов экономики, к которым исторически относятся легкая и текстильная промышленность требует внедрения инноваций Индустрии 4.0 за счет применения новых технологий, таких как "цифровые двойники", облачные вычисления, Dig Data, хранение и обработка данных, автоматизация рабочих мест, предиктивная аналитика, мобильные технологии и цифровые коммуникации, 3D-печать, 3D-сканеры и др., которые весьма различаются между собой. Необходим переход от систем промышленной автоматизации на производстве к системам, интегрирующим всю цепочку создания стоимости, соответствующим концепции Индустрии 4.0.

В связи с этим вопрос заключается в том, какие технологии адаптации требуется разработать для механизмов функционирования предприятий легкой промышленности, чтобы внедрить сквозные технологии цифровой экономики и определить, какие из них играют первостепенную роль в цифровизации отраслей легкой и текстильной промышленности, а также модной индустрии [3].

Цифровизация производства

Цифровое производство, это общий термин, который относится к цифровым моделям, которые реплицируются аспектами конкретного физического производства, будь то фабрика или завод. Он включает в себя ряд методов и инструментов, управление которыми осуществляется с помощью интегрированных систем управления данными. Эти методы и инструменты также

включают моделирование и 3D-визуализацию.

Фабрики будущего – это и "цифровые" фабрики (Digital Factory), и так называемые "умные" фабрики (Smart Factory) и "виртуальные" фабрики (Virtual Factory). Основная цель внедрения цифровой фабрики – всестороннее планирование, постоянная оценка и улучшение реальной фабрики, которая производит продукт.

Цифровое производство фокусируется на следующем.

1. Повышение качества планирования и экономической эффективности.
2. Более короткое время выхода на рынок.
3. Четкие коммуникации.
4. Единые стандарты планирования.
5. Эффективное управление благодаря знаниям .

Для цифровой фабрики (синоним цифровое производство) основные процессы выполнения операций базируются на процессах создания продукта, его моделировании и симуляции и благодаря технологическим решениям по комплексной автоматизации. Авторы статьи [8] определяют цифровое производство как производство, которое "...должно включать в себя не только традиционные технологические процессы изготовления, но также средства численного моделирования, трехмерной визуализации, инженерного анализа и другие системы, предназначенные для разработки продукции".



Рис. 1

Преимуществом является то, что в кратчайшие сроки новая продукция проходит все этапы, начиная от проектирования и разработки, когда закладываются базовые принципы изделия, и заканчивая созданием цифрового макета (англ. Digital Mock-Up, DMU), "цифрового двойника" (Smart Digital Twin) [9]. Таким образом, производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения быстро проходит все: от стадии исследования и планирования до опытного образца или мелкой серии ("безбумажное производство", сквозная цифровизация). Для современной цифровой фабрики характерно наличие "умных" моделей производимой продукции или производственных мощностей (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.) на основе новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования Smart Digital Twin [9]. Цифровая фабрика отличается от обычной фабрики в первую очередь эффективным производством, которое характеризуется оптимизацией потерь через применение слабо интегрированных технологий. Характерные черты такого производства – наличие базовой автоматизации, роботизация, использование передовых материалов и технологий производства, наличие сенсоров, "зеленое" и адаптивное производство [7].

Другой тип производства – это так называемые фабрики будущего или "умные" фабрики. Для умной фабрики основные процессы выполнения операций базируются на конвергенции ИКТ и автоматизации, киберфизических систем и роботов [10] (рис. 1 – конвергенция фабрик будущего). Для работы "умной" фабрики используются результаты работы цифровых фабрик. Такая фабрика подразумевает наличие оборудования для автоматизированного и роботизированного производства – станков с числовым программным управлением, промышленных роботов и т. д., а также автоматизированных систем управления технологическими процессами (Industrial Control System, ICS) и систем оперативного управления производственными процессами на уровне цеха (Manufacturing Execution System, MES).

Согласно концепции Индустрия 4.0 цифровое производство использует несколько типов оборудования, связанного с Интернетом вещей (IIoT), и все они интегрированы в единую экосистему. Эта экосистема включает в себя как внутренние функции, так и внешних участников, от отделов аналитики, поставок материалов, продаж, закупок, проектирования и производства, дистрибуции, послепродажного обслуживания, а также утилизации и переработки, то есть все производственные связи от систем цепочки поставок до клиентов.

"Умные" фабрики – это фабрики, которые управляются знаниями, полученными из данных. Создание так называемой "умной" фабрики – это конкретное развертывание Индустрии 4.0 в виде модульной, саморегулирующейся (самоадаптирующейся) и цифровой интегрированной системы со всеми бизнес-функциями как внутри, так и за пределами организации производства. Интеллектуальное производство состоит из интеллектуальных сенсорных и взаимодействующих систем (кибер-физическая система) для создания контекстно-зависимых производственных процессов и интеграции этой системы на основе информационно-коммуникационных технологий по всей цепочке создания стоимости продукта, сети создания стоимости и жизненному циклу продукта. Интеллектуальная система мониторинга на основе данных с использованием технологии нейронных сетей позволит отслеживать технологические процессы на производстве и снижать количество брака [11]. Само понятие "Умная фабрика" основано на переносе идеи повсеместных (беспроводных) вычислений, представленной в 1991 г. Марком Вейзером в промышленном контексте. Для такого производства характерно создание не только цифровых двойников или виртуальных прототипов производственных процессов или изделий, но и цифровых двойников потребителей. Используемые для умного производства технологии, представленные на рис. 2, – это технологии по автоматизации, технологии цифровизации и технологии использования сетей.



Рис. 2

Благодаря предиктивной аналитике на основе анализа больших данных и машинного обучения можно будет спрогнозировать спрос, провести таргетирование рынка и определить категории пользователей для рынка сбыта, то есть осуществлять производство по запросу. Для представления готовой продукции на таком производстве характерны не онлайн витрины с фотографиями изделий, как в современных интернет-магазинах, а представленные цифровые двойники изделий. Эти цифровые двойники представляют 3D объекты и дают вполне реалистичное представление о производимой продукции для потенциальных потребителей. Например, такое программное обеспечение, как CLO 3D-design¹, позволяет не только проектировать лекала, но и создать визуализацию образа фотографического качества и видео и демонстрацию на виртуальной модели, которую можно подобрать из стандартного набора платформы или смоделировать индивидуально на свой вкус.

Умная фабрика характеризуется наличием интеллектуальной автоматизации, использованием аналитики, использованием имитационного моделирования и/или симуляции, больших данных и /или локаль-

1 программное обеспечение для проектирования одежды на основе реалистичного моделирования <https://www.clo3d.com/>

2 Advanced control – расширенный контроль, используется для удаленного мониторинга оборудова-

ных облаков, наличием IoT и систем расширенного контроля.²



Рис. 3

Используя цифровых двойников потребителей продукции и их цифровые следы, то есть сведения о предпочтениях потребителей, их стилях жизни и предыдущих покупках, предприятие сможет минимизировать возврат товаров и обеспечить степень удовлетворенности пользователя оказанной услугой или проданным товаром. Преимущества очевидны – с помощью прогнозирования потребления можно избежать затоваривания и нерациональных расходов на производство, тем самым максимизировать прибыль. Виртуальная фабрика пред-

ния, получения данных с завода, поиска и устранения неисправностей, управления состоянием оборудования.

полагает абсолютно новый менеджмент на основе распределенной производственной цепочки, виртуальную модель, которая включает сайты производителей, сложные цепочки поставок, включая логистику и материальные потоки, а также продажи и послепродажное обслуживание.

Так называемые "виртуальные" фабрики (рис. 3) – это комплексное решение по объединению цифровых и/или умных фабрик в распределенную сеть, обеспечивающее производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения. Такая фабрика подразумевает создание информационной системы управления предприятием (Enterprise Application Systems, EAS), где различные этапы создания стоимости представлены в виде глобально-распределенной цепочки поставок.

Главное отличие виртуальной фабрики от умной – это виртуальная цепочка создания стоимости. Для такой фабрики характерно наличие сети цифровых двойников, интегрированное облако, кибербезопасность, решениям E2E для больших данных, E2E аналитика (сквозная аналитика).

Фабрики будущего – это конвергенция цифровой, умной и виртуальной фабрики.

Рекомендации по организации производства с использованием сквозной цифровизации

Основной отраслью легкой промышленности является текстильная промышленность, которая представляет из себя массовое поточное производство, то есть характеризуется изготовлением отдельных видов продукции в больших количествах на узкоспециализированных рабочих местах в течение продолжительного периода. Характерные черты такого рода производства – редко изменяемая номенклатура изготавливаемой продукции, узкоспециализированные рабочие места при выполнении одной постоянно закрепленной операции, а также применение специального оборудования, небольшая трудоемкость и длительность производственного процесса. Для того рода производства характерно наличие материальных запасов как комплектующих, так и запасов готовой продукции. Такое производство будет экономически целесообраз-

ным при достаточно больших объемах выпуска продукции и устойчивом спросе на продукцию и чувствительно к колебаниям спроса на продукцию. Колебания потребительского спроса в условиях экономического кризиса, вызванного пандемией, сделали массовое производство в той нынешней бизнес-модели, которая сейчас применяется, чрезвычайно уязвимым. Для развития отрасли необходимо использовать устойчивую бизнес-модель в виде децентрализованного распределенного производства. Такой модели производства в ИКТ соответствует модель распределенной обработки данных, которая трансформировалась из традиционной "облачной" модели обработки данных IoT (Internet of Things) к распределенной обработке прямо на устройствах IIoT (промышленный интернет, англ. Industrial Internet of Things). Применение данной модели позволяет оптимизировать не только производственные процессы, но также процессы хранения и транспортировки грузов. Для успешного проведения цифровой трансформации в промышленных компаниях необходимо решить в первую очередь следующие задачи:

- ввести формат и стандарты прототипа цифрового двойника технологического изделия, промышленного производства или фабрики; такой цифровой двойник должен быть согласован со слоями информационных технологий Эталонной модели архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0).

- ввести формат и стандарты цифрового двойника профиля потребителя;

- создать соответствующую платформу или фреймворка, которая будет обеспечивать масштабируемый слой данных, доступный, с одной стороны, через API различным киберфизическим устройствам, приложениям и сервисам и, с другой стороны, через интерфейс конечным пользователям и разработчикам;

- разработать эталонную модель гибкой архитектуры предприятия.

В качестве модели комбинированной архитектуры современного предприятия предлагается использовать модель с многослойной архитектурой, где нижний слой представляют данные (Data Fabric), собран-

ные с помощью единой и согласованной инфраструктуры (уровень данных в виде сервиса доступа к распределенным данным), к которой можно получить доступ с помощью технологии интернета вещей (Internet of Things), а также благодаря средствам сбора, хранения и расширенной аналитики на основе больших данных (Big Data) с алгоритмами машинного обучения (Machine Learning) и другими методами интеллектуального анализа данных (слой приложений), а на верхнем уровне – уровне управления (слой представления) ключевую роль будет играть управление на основе данных (data-driven management).

В работе [11] отмечается, что "...в настоящее время высокотехнологичные предприятия сталкиваются со сложностями повышения инновационной активности, которые обусловлены в первую очередь необходимостью значительного финансирования, однако существенный срок возмещения не привлекает инвесторов" [12]. Для снижения рисков по разработке высокотехнологичных предприятий, а предприятия нового типа – виртуальные фабрики – можно отнести именно к такого рода производствам, имеет смысл создавать виртуальные модели будущего производства, своего рода виртуальные опытные образцы. В той же работе [11] авторы делают акцент на "...тенденции развития интеграционных связей ведущих университетов и высокотехнологичных предприятий..." и отмечают, что "...в таких коллаборациях происходит формирование и становление интеллектуально-креативной молодежи, которая может создавать инновации для высокотехнологичных производств". Созданная в РТУ МИРЭА в 2021 г. лаборатория Математического моделирования и создания компьютерных двойников роботизированного производства в составе межинститутского учебного центра "Индустрия 4.0: Цифровое роботизированное производство" как раз позволяет создавать виртуальные модели промышленного производства и проводить моделирование всего производственного цикла. Задачами лаборатории являются формирование навыков самостоятельного проектирования промышленных систем

управления, а также моделирование и создание виртуальных двойников роботизированных комплексов.

В Ы В О Д Ы

Цифровые технологии играют важную роль в поддержании работы экономик стран и общества во время пандемии, хотя ряд отраслей серьезно пострадали, в том числе отрасль легкой промышленности. Для дальнейшего научного исследования перспективным направлением является изучение подходов к организации построения заводов нового поколения. В статье рассмотрены три перспективные модели производства: цифровая фабрика, умная фабрика и виртуальная фабрика. Для каждой модели производства определены обеспечивающие технологии. В настоящее время отмечается зрелость информационных технологий, позволяющих обеспечить цифровую трансформацию производства. Для динамичного развития отрасли в будущем и получения конкурентных преимуществ необходимо создать устойчивое производство на основе создания и внедрения устойчивой бизнес-модели. Особенность устойчивой модели состоит в том, что цепочка создания стоимости должна включать не только затраты на создание продукта, но также все отношения, со всеми заинтересованными сторонами – стейкхолдерами. Такая модель соответствует типу виртуальной фабрики, а реализацию такой модели можно представить в виде интеграции распределенной сети акторов – предприятий участников цепочки создания стоимости. Систему, которая будет функционировать на основе такой бизнес-модели, можно классифицировать как сложную систему с нелинейным поведением. В качестве методологии для исследования такого рода систем предлагается использовать методы системного анализа и математического моделирования, в том числе имитационного моделирования, а для создания адаптивной системы промышленного предприятия предлагается использовать параметризованную цифровую модель объекта производства, с одной стороны, и парамет-

ризованную цифровую модель потребителя, с другой стороны. Также для проведения цифровой трансформации (Digital Transformation) производства необходимо разработать прототипы цифровых аналогов продуктов производства, машин, процессов и потребителей, определить структуру технологического стека и разработать фреймворк.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лихтеналер У. Дигитализация: совокупный эффект цифровизации и устойчивости мегатрендов // Журнал управления инновациями (ЖИМ) Том 9. №2 (2021) с.64-80, опубликовано 12 августа 2021 г., [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: https://doi.org/10.24840/2183-0606_009.002_0006

2. Фромхолд-Айзебит М., Маршалл Ф., Питерс Р., Томас П. Разрыв между оцифрованным будущим и контекстно-зависимым прошлым - Как внедрение технологий производства "Индустрия 4.0" может трансформировать немецкую текстильную промышленность // Технологическое прогнозирование и социальные изменения. — Том 166, май 2021 года, 120620 Том 166, Май 2021, [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120620>

3. Квашина И.А. Влияние пандемии Covid-19 на мировую экономику и потоки прямых иностранных инвестиций // Вестник Института экономики Российской академии наук. — 2020, №4. С.166...175. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43916760>

4. Хайтанова М.М., Лускатова О.В., Горшкова Е.В. Риски предприятий текстильной промышленности и пути их минимизации // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 2021, №2. С.28...33. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46105454>

5. Chen X. and Han T. Disruptive Technology Forecasting based on Gartner Hype Cycle. 2019 IEEE Technology & Engineering Management Conference (TEMSCON)ю — 24 June 2019. P. 1...6. URL: <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2019.8813649>.

6. Гриша Бейер и др. Индустрия 4.0: как это определяется с социотехнической точки зрения и насколько устойчиво оно включает // литературный обзор Элсивер Журнал чистого производства. — Т.259, 20 июня 2020, 120856 (опубликовано 20/06/2020) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120856> / (Дата обращения: 13.09.2021).

7. Шроуф Ф., Ордьерес Дж., Мираглиотта Дж. Умные фабрики в Индустрии 4.0: обзор концепции и подхода к управлению энергопотреблением в производстве на основе парадигмы Интернета вещей //Международ. конф. IEEE 2014 года по промышленной инженерии и инженерному менеджменту. — Селангор Дарул Эхсан IEEE, Малайзия (2014), стр. 697- 701, [Электронный ресурс]. Режим доступа: —

DOI: 10.1109 / IEEM.2014.7058728 (Дата обращения: 16.09.2021).

8. Холопов В.А., Каширская Е.Н., Кушинир А.П., Курнасов Е.В., Рагуткин А.В., Пирогов В.В. Развитие цифрового машиностроительного производства в концепции Индустрии 4.0 // 2018, Проблемы машиностроения и надежности машин. — 2018, № 4. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: <https://doi.org/10.3103/S1052618818040064>

9. Холопов В.А., Антонов С.В., Каширская Е.Н. Применение концепции цифрового двойника для решения задачи мониторинга технологического процесса в машиностроении // Междунар. российская конф. по автоматизации 2019 (РусАвтоКон). — 2019. С. 1...5, [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867800>

10. Холопов В.А., Каширская Е.Н., Шмелева А.Г. и др. Интеллектуальная система мониторинга выполнения процессов машиностроения // Журнал машиностроения и надежности. — 2019, 48. С.464...475. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: <https://doi.org/10.3103/S1052618819020079>

11. Зорина Н.В. и др. Общие принципы формирования сложных цифровых систем на основе анализа и развития конвергентных технологий Современные информационные технологии и ит-образование // Сб. научн. тр. III Междунар. науч. конф.: Конвергентные когнитивно-информационные технологии и XIII Междунар. научн.-практ. конф.: Современные информационные технологии и ИТ-образование". — М., [Электронный ресурс]. Режим доступа: — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38581935> (Дата обращения: 16.09.2021).

12. Мандыч И.А., Быкова А.В. Тренды инновационно-инвестиционного развития высокотехнологичных предприятий // Российский технологический журнал. — 2019;7(5):79-92. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.rti-mirea.ru/jour/article/view/173/173> <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-5-79-92>

REFERENCES

1. Likhtentaler U. Digitalizatsiya: sovokupnyy effekt tsifrovizatsii i ustoychivosti megatrendov // Zhurnal upravleniya innovatsiyami (JIM) Tom 9. №2 (2021) s.64-80, opublikovano 12 avgusta 2021 g., [Elektronnyy resurs]. — Rezhim dostupa: — URL: https://doi.org/10.24840/2183-0606_009.002_0006

2. Fromkhold-Ayzebit M., Marshall F., Pipers R., Tomas P. Razryv mezhdu otsifrovannym budushchim i kontekstno-zavisimym proshlym - Kak vnedrenie tekhnologiy proizvodstva "Industriya 4.0" mozhet transformirovat' nemetskuyu tekstil'nyuyu promyshlennost' // Tekhnologicheskoe prognozirovanie i sotsial'nye izmeneniya. — Tom 166, may 2021 goda, 120620 Tom 166, May 2021, [Elektronnyy resurs]. — Rezhim dostupa: — URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120620>

3. Kvashnina I.A. Vliyaniye pandemii Covid-19 na mirovuyu ekonomiku i potoki pryamykh inostrannykh investitsiy // Vestnik Instituta ekonomiki Rossiyskoy akademii nauk. – 2020, №4. С.166...175. [Elektronnyy resurs]. — Rezhim dostupa: – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43916760>

4. Khaytanova M.M., Luskatova O.V., Gorshkova E.V. Riski predpriyatiy tekstil'noy promyshlennosti i puti ikh minimizatsii // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, №2. S.28...33. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46105454>

5. Chen X. and Han T. Disruptive Technology Forecasting based on Gartner Hype Cycle. 2019 IEEE Technology & Engineering Management Conference (TEMSCON)yu – 24 June 2019. P. 1...6. URL: <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2019.8813649>.

6. Grisha Beyer i dr. Industriya 4.0: kak eto opredelyaetsya s sotsiotekhnicheskoy tochki zreniya i naskol'ko ustoychivo ono vklyuchaet // literaturnyy obzor Elsiver Zhurnal chistogo proizvodstva. – T.259, 20 iyunya 2020, 120856 (opublikovano 20/06/2020) [Elektronnyy resurs]. — Rezhim dostupa: – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120856> / (Data obrashcheniya: 13.09.2021).

7. Shrouf F., Ord'eres Dzh., Miragliotta Dzh. Umnye fabriki v Industrii 4.0: obzor kontseptsii i podkhoda k upravleniyu energopotrebleniyem v proizvodstve na osnove paradigmy Interneta ve-shchey //Mezhdunar. konf. IEEE 2014 goda po promyshlennoy inzhenerii i inzhenernomu menedzhmentu. – Selangor Darul Ekhsan IEEE, Malayziya (2014), str. 697- 701, [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: – DOI: 10.1109 / IEEM.2014.7058728 (Data obrashcheniya: 16.09.2021).

8. Kholopov V.A., Kashirskaya E.N., Kushnir A.P., Kurnasov E.V., Ragutkin A.V., Pirogov V.V. Razvitie tsifrovogo mashinostroitel'nogo proizvodstva v kontseptsii Industrii 4.0 // 2018, Problemy mashi-

nostroeniya i nadezhnosti mashin. – 2018, № 4. [Elektronnyy resurs]. — Rezhim dostupa: – URL: <https://doi.org/10.3103/S1052618818040064>

9. Kholopov V.A., Antonov S.V., Kashirskaya E.N. Primeneniye kontseptsii tsifrovogo dvoynika dlya resheniya zadachi monitoringa tekhnologicheskogo protsessa v mashinostroenii // Mezhdunar. rossiy-skaya konf. po avtomatizatsii 2019 (RusAvtoKon). – 2019. S. 1...5, Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: URL: <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867800>

10. Kholopov V.A., Kashirskaya E.N., Shmeleva A.G. i dr. Intellektual'naya sistema monitoringa vypolneniya protsessov mashinostroeniya // Zhurnal mashinostroeniya i nadezhnosti. – 2019, 48. S.464...475. [Elektronnyy resurs]. — Rezhim dostupa: – URL: <https://doi.org/10.3103/S1052618819020079>

11. Zorina N.V. i dr. Obshchie printsipy formirovaniya slozhnykh tsifrovyykh sistem na osnove analiza i razvitiya konvergentnykh tekhnologiy Sovremennyye informatsionnye tekhnologii i it-obrazovanie // Sb. nauchn. tr. III Mezhdunar. nauch. konf.: Konvergentnye kognitivno-informatsionnye tekhnologii i XIII Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.: Sovremennyye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie". – M., [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38581935> (Data obrashcheniya: 16.09.2021).

12. Mandych I.A., Bykova A.V. Trendy innovatsionno-investitsionnogo razvitiya vysokotekhnologichnykh predpriyatiy // Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal. – 2019;7(5):79-92. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: URL: <https://www.rtfj-mirea.ru/jour/article/view/173/173> <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-5-79-92>

Рекомендована кафедрой промышленной информатики Института кибернетики. Поступила 28.10.21.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ КАК ФАКТОР СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE ECONOMY AS A FACTOR OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE REGION

И.А. АСТРАХАНЦЕВА, А.А. ХОМЯКОВА

I.A. ASTRAHANCEVA, A.A. HOMYAKOVA

(Ивановский государственный химико-технологический университет)

(Ivanovo State University of Chemistry and Technology)

E-mail: xomakova@mail.ru

Представленная статья посвящена оценке влияния процессов цифровизации на социально-экономические показатели эффективности функционирования экономики региона. Цифровизация экономики региона рассматривается как процесс, включающий разработку информационных систем и технологий, и их "встраивание" в деятельность хозяйствующих субъектов, в социальные сферы жизнедеятельности населения и внутреннюю работу правительственных организаций, структур и ведомств. Проведен анализ использования сквозных цифровых технологий, формирующих процессы цифровизации, в деятельности отечественных предприятий и организаций. Охарактеризованы основные статистические показатели, используемые для оценки уровня цифровизации и социально-экономического развития региона. Проведен кластерный анализ, целью которого является выделение среди регионов Российской Федерации однородных по уровню цифровизации и социально-экономическим показателям групп. С целью выявления взаимосвязи между изменением уровня цифровизации экономики региона и эффективностью ее функционирования проведен корреляционно-регрессионный анализ. Информационная база проведенного анализа сформирована статистическими показателями социально-экономического развития субъектов Российской Федерации в период 2018-2020 гг. Проведенное исследование показало, что процессы цифровизации экономики оказывают существенное влияние на рост ВРП субъектов Российской Федерации. Внедрение сквозных цифровых технологий находится на своей начальной стадии и с разной степенью успешности осуществляется в регионах с различной отраслевой структурой производства. Выделены основные причины недостаточной активности процессов цифровизации экономики.

The presented article is devoted to assessing the impact of digital transformation on the socio-economic performance indicators of the region's economy. Digitalization of the regional economy is a process that includes the development of information systems and technologies, and their use in the activities of business entities, households and government bodies. The authors analyzed the use of end-to-end digital technologies that form digitalization processes in the activities of domestic enterprises and organizations. The main statistical indicators used to assess the level of digitalization and socio-economic development of the region are characterized. In order to identify groups of regions that are homogeneous in terms of the level of digitalization and socio-economic indicators, a cluster analysis was carried out. In order to identify the relationship between the change in the level of digitalization of

the region's economy and the efficiency of its functioning, a correlation-regression analysis was carried out. The information base of the analysis is formed by statistical indicators of the socio-economic development of the constituent entities of the Russian Federation in the period 2018-2020. The study showed that the processes of digitalization of the economy have a significant impact on the growth of the gross regional product. The introduction of end-to-end digital technologies is at its initial stage and is being carried out with varying degrees of success in regions with a different industrial structure of production. The main reasons for the insufficient activity of the processes of digitalization of the economy are identified.

Ключевые слова: экономика региона, цифровая экономика, цифровизация, цифровая трансформация, кластер.

Keywords: regional economy, digital economy, digitalization, digital transformation, cluster.

В настоящее время цифровая трансформация является одной из приоритетных задач социально-экономического, научно-технического и инновационного развития национальной экономики. Ожидаемые эффекты от цифровизации охватывают широкий спектр задач: повышение эффективности использования ресурсов организаций, увеличение степени соответствия выпускаемой продукции (работ, услуг) требованиям потребителей, повышение уровня доступности услуг для различных групп населения, рост качества выпускаемой продукции, ускорение инновационных процессов и т.п. Исходя из этого очевидным последствием цифровизации на мезоуровне национальной экономической системы должно являться улучшение социально-экономического положения региона.

Несмотря на существующий сегодня интерес к вопросам цифровой трансформации экономики, актуализированный в числе других факторов и последствиями разразившейся пандемии Covid-19, в научной литературе, а также и в нормативно-правовых документах, в этой предметной области отсутствует терминологическая определенность. Так, согласно протоколу заседания подкомиссии по цифровой экономике Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 27.09.2019 № 577, цифровая экономика – деятельность по созданию, распространению и использова-

нию цифровых технологий и связанных с ними продуктов и услуг. Представленное определение сводит функционирование цифровой экономики к сектору информационно-коммуникационных технологий и позволяет рассматривать ее как отдельный вид экономической деятельности, включающей работу электронных сервисов, ориентированных на реализацию электронных товаров и услуг, зачастую с обменом электронными деньгами между участниками электронных сделок.

Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 гг. (Указ Президента РФ от 09.05.2017 №203) дает иное определение: цифровая экономика – хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг по сравнению с традиционными формами хозяйствования. В данном случае цифровая экономика рассматривается как своеобразная инновационная форма хозяйствования, применимая к любому виду экономической деятельности хозяйствующих субъектов. По нашему мнению, в данном случае речь идет не о цифровой экономике как таковой, а о цифровой трансформации (цифровизации) бизнес-процессов организаций. Подчеркнем, что цифровая трансформация бизнес-про-

цессов организаций осуществляется не только в отношении стадии производства, но и в отношении всех остальных стадий воспроизводственного цикла: обмена, распределения и потребления.

Соглашаясь с утверждением доктора экон. наук Мацкуляка И.Д., доктора экон. наук Кулигина и группы соавторов [1] о том, что "... применение индустриальных методов в свое время привело к возникновению современной машинной индустрии, распространению и развитию на этой основе индустриальной экономики. Такая тенденция вполне возможна и относительно цифровой экономики, но только в том случае, если в производительных силах и производственных отношениях общества произойдут такие коренные перемены, которые позволят имеющейся экономике перерасти в цифровую", констатируем: цифровая экономика – это совокупность отношений, складывающихся в системе производства, распределения, обмена и потребления, опосредованных использованием цифровых технологий.

Как справедливо отмечает член-корр. РАН, д. э. н., проф. В.А. Цветков, цифровая экономика подразумевает функционирование "...автоматизированных, общающихся с внешней средой, персонализированных цифровых производств (или умных заводов и фабрик), где все устройства, машины, продукция и люди общаются между собой посредством цифровых технологий и интернета" [2]. Таким образом, необходимым условием формирования цифровой экономики является цифровизация формирующих ее отношений.

Интересен подход к определению содержания процесса цифровизации, представленный группой исследователей под руководством доктора техн. наук, проф. Гюнтер Шу (Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена), в концепции Индекса зрелости Индустрии 4.0 [3]. По мнению разработчиков проекта, цифровизация является первым этапом на пути развития Индустрии 4.0 и предполагает связанность используемых информационных систем и технологий друг с другом, что позволяет выстраивать систему ключевых биз-

нес-процессов компании. На стадии информатизации разные информационные технологии используются для более эффективного выполнения повторяющихся задач отдельно друг от друга, а возможность их коммуникации между собой означает цифровизацию [3]. Как справедливо подчеркивает Петер Верхоев и группа исследователей [4], цифровая трансформация определяет, как бизнес использует цифровые технологии, для разработки новой цифровой бизнес-модели, включая изменения в стратегии, организации, информационных технологиях, цепочках поставок и маркетинге, с целью увеличения своей капитализации. Отметим, что в указанном исследовании, обсуждая терминологию, авторы разделяют понятия:

- оцифровка (digitization) – переход от аналоговой информации к цифровой автоматизация рутинных задач в рамках существующих бизнес-процессов (например, использование цифровых форм в процессах заказа, использования цифровых приложений в процедурах бухгалтерского и управленческого учета);

- цифровизация (digitalization) – использование цифровых технологий для изменения существующих бизнес-процессов, что обеспечивает более эффективную координацию между процессами и / или создает дополнительную ценность для клиентов за счет улучшения пользовательского опыта (например, создание омниканальной модели продаж, использование чат-ботов);

- цифровая трансформация (digital transformation) – переход к новой бизнес-модели за счет внедрения новой бизнес-логики капитализации фирмы (например, переход к бизнес-модели "продукт как услуга", цифровые платформы и бизнес-модели, основанные исключительно на данных).

Цифровизация экономики, по нашему мнению, представляет собой процесс, включающий разработку информационных систем и технологий, и их "встраивание" в деятельность хозяйствующих субъектов, в социальные сферы жизнедеятельности населения и внутреннюю работу правительственных организаций, структур и ве-

домств. Отметим, что, как правило, цифровизация не предполагает механическое "вшивание" существующих бизнес-процессов в информационные системы. Задачи цифровизации чаще всего решаются через трансформацию существующих процессов, их оптимизацию и реинжиниринг. При этом обязательным условием является коммуникация встраиваемых информационных систем и технологий друг с другом.

Осуществляемая в настоящее время цифровизация отечественной экономики связана с внедрением сквозных цифровых технологий, ресурсную основу для которых формирует соответствующая информационно-коммуникационная инфраструктура (рис. 1 – основные элементы цифровизации экономики региона).

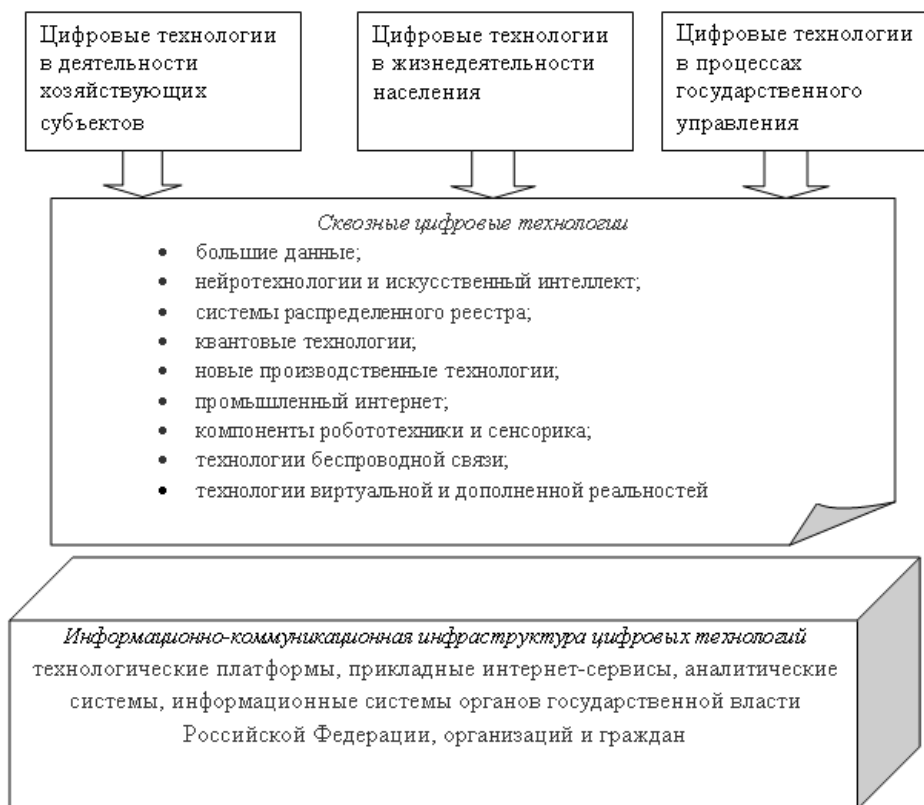


Рис. 1

Основными сквозными цифровыми технологиями, входящими в программу "Цифровая экономика Российской Федерации" (утв. распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р), являются:

– большие данные – технологии сбора, обработки и хранения структурированных и неструктурированных массивов информации, характеризующихся значительным объемом и высокой скоростью изменений (в том числе в режиме реального времени), что требует специальных инструментов и методов работы с ними;

– нейротехнологии – киберфизические системы, частично или полностью замещающие или дополняющие функционирующе-

ние нервной системы биологического объекта, в том числе на основе искусственного интеллекта;

– искусственный интеллект – комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, как минимум сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека;

– системы распределенного реестра – алгоритмы и протоколы децентрализованного хранения и обработки транзакций, структурированных в виде последователь-

ности связанных блоков без возможности их последующего изменения;

– квантовые технологии – технологии создания вычислительных систем, основанные на новых принципах (квантовых эффектах), позволяющие радикально изменить способы передачи и обработки больших массивов данных;

– новые производственные технологии – технологические процессы (включая машины, аппараты, оборудование и приборы), основанные на микроэлектронике или управляемые с помощью компьютера и используемые при проектировании, производстве или обработке продукции;

– промышленный интернет – сети передачи данных, объединяющие устройства в производственном секторе, оборудованные датчиками и способные взаимодействовать между собой и/или с внешней средой без вмешательства человека;

– компоненты робототехники – производственные системы, обладающие тремя или более степенями подвижности (свободы), построенные на основе сенсоров и искусственного интеллекта, способные контролировать свои действия, воспринимать окружающую среду и адаптироваться к ее изменениям;

– сенсорики – технологии создания устройств, собирающих и передающих информацию о состоянии окружающей среды посредством сетей передачи данных;

– технологии беспроводной связи – технологии передачи данных посредством стандартизированного радиointерфейса без использования проводного подключения к сети;

– технологии виртуальной реальности – технологии компьютерного моделирования трехмерного изображения или пространства, посредством которых человек взаимодействует с синтетической ("виртуальной") средой с последующей сенсорной обратной связью.

– технологии дополненной реальности – технологии визуализации, основанные на добавлении информации или визуальных

эффектов в физический мир путем наложения графического и/или звукового контента для улучшения пользовательского опыта и интерактивных возможностей.

Цифровые технологии в цифровой экономике могут выступать и средством, и предметом труда, являться результатом труда, а, учитывая бурное развитие технологий искусственного интеллекта и робототехники, могут и успешно вытеснить и замещать рабочую силу. Эффективное развитие рынков и отраслей (сфер деятельности) в цифровой экономике возможно только при наличии развитых платформ, технологий, институциональной и инфраструктурной сред. Экосистема цифровой экономики формируется партнерством организаций, обеспечивающим постоянное взаимодействие принадлежащих им технологических платформ, прикладных интернет-сервисов, аналитических систем, информационных систем органов государственной власти Российской Федерации, организаций и граждан.

По данным федерального статистического наблюдения по форме № 3-информ "Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг" [5] в 2020 г. технологии сбора, обработки и анализа больших данных использовали в своей хозяйственной деятельности 22,4%, технологии искусственного интеллекта – 5,4%, компоненты робототехники – 4,3%, промышленный интернет – 13,0% обследованных организаций (рис. 2).

Технологии анализа больших данных используются организациями преимущественно в процессах продаж и маркетинга (табл. 1 – доля организаций, использующих технологии анализа больших данных (составлено по данным [5])), при этом в качестве источника данных используются данные учетных систем предприятия, таких как ERP, CRM, SCM, HRIS и т.п., данные веб-сайта организации и данные, полученные из социальных сетей.

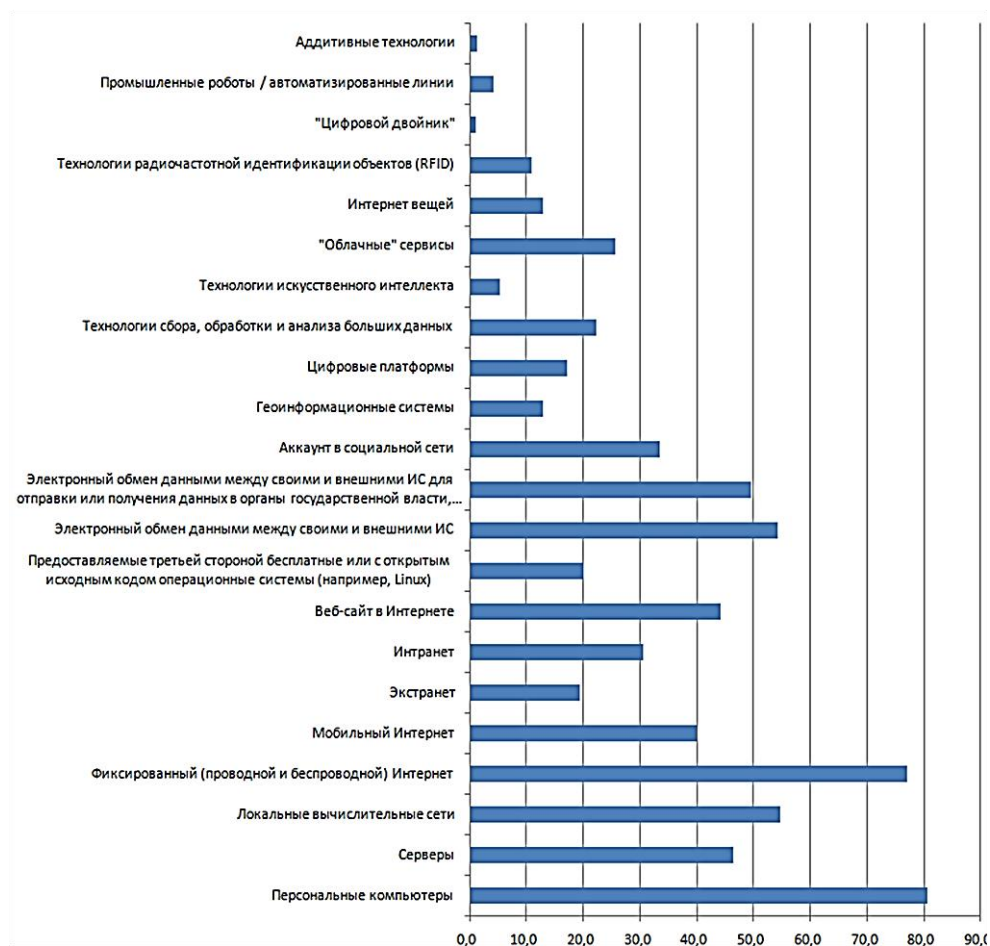


Рис. 2

Таблица 1

Источник данных	Сфера использования технологии				Не используется
	продажи и маркетинг	производственный процесс	обеспечение безопасности	другие цели	
Данные, передаваемые между различным оборудованием	1,5	2,8	1,3	0,6	93,9
Данные учетных систем предприятия	3,1	3,5	0,1	0,7	92,5
Данные геолокации	1,8	2,8	0,4	0,6	94,2
Данные веб-сайта организации	5,3	2,2	0,1	1,2	91,1
Данные операторов сотовой связи	2,2	3,2	0,2	0,9	93,4
Данные, полученные из социальных сетей	3,5	2,3	0,2	1	92,9
Дистанционное зондирование Земли	0,5	1,4	0	0,2	97,8

Технологии искусственного интеллекта используются преимущественно в производственных процессах (табл. 2 – доля организаций, использующих технологии искусственного интеллекта (составлено по данным [5])), при этом наиболее распространенными технологиями являются ин-

теллектуальный анализ данных, компьютерное зрение (технологии распознавания образов, изображений), рекомендательные системы и интеллектуальные системы поддержки принятия решений (технологии, принимающие самостоятельные решения, основанные на данных окружающей обста-

новки и используемые, например, в сервисных роботах, беспилотных транспортных средствах), автоматизация процессов, в

том числе с участием роботов (технологии, имитирующие человеческие действия для целей автоматизации

Т а б л и ц а 2

Вид технологии искусственного интеллекта	Сфера использования технологии				Не используется
	продажи и маркетинг	производственный процесс	обеспечение безопасности	другие цели	
Распознавание и синтез речи	2,1	1,2	0,1	0,1	96,4
Интеллектуальный анализ данных	0,5	3	0,1	0,1	96,2
Компьютерное зрение	0,6	2,7	0,2	0,1	96,3
Рекомендательные системы и интеллектуальные системы поддержки принятия решений	0,4	2,7	0	0,1	96,7
Автоматизация процессов	0,5	2,4	0	0,1	96,9
Технологии анализа данных, основанные на алгоритмах глубинного обучения	0,3	2,2	0	0,1	97,2
Обработка естественного языка	2,1	1,4	0	0,2	96,2

Технологии интернета вещей используются преимущественно для оптимизации потребления энергии (электрической, тепловой) на территории организации, наблюдения за активностью покупателей, отслеживания передвижения транспортных средств или продукции, автоматизации процесса производства, а также в управлении логистикой и движением продукции.

Статистические данные о состоянии процесса цифровизации российской экономики отражены в Мониторинге развития информационного общества в Российской Федерации, проводимом Росстатом. Мониторинг охватывает две группы показателей:

- показатели, отражающие такие факторы развития информационного общества, как человеческий капитал, инновационный потенциал, ИКТ-инфраструктура и доступ, экономическая среда, информационная индустрия, информационная безопасность;

- показатели, отражающие использование информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) для развития таких сфер, как электронное правительство, электронный бизнес, электронное образование, электронное здравоохранение, электронная культура, использование ИКТ домохозяйствами и населением [6].

По данным мониторинга развития информационного общества продемонстрируем динамику внедрения ИКТ в деятельности хозяйствующих субъектов (рис.3).

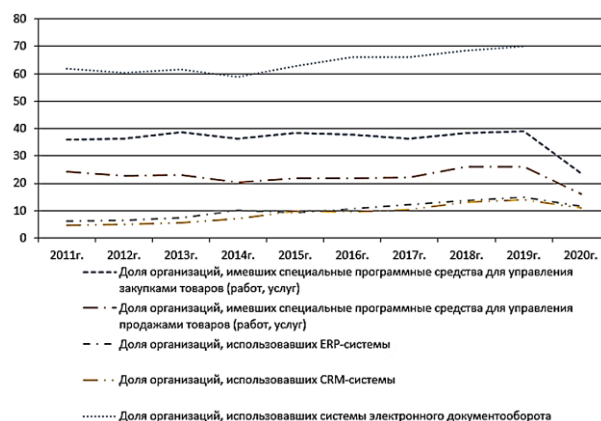


Рис. 3

Как видно из представленных на рисунке данных, подавляющее большинство обследованных организаций используют в своей хозяйственной деятельности ИКТ для автоматизации процессов документооборота, управления закупками и управления продажами. В существенно меньшей степени распространены системы управления отношениями с клиентами (CRM-системы), с помощью которых организация

собирает и накапливает информацию о различных сторонах деятельности своих клиентов, и информационные системы для идентификации и планирования всех ресурсов организации (ERP-системы), которые необходимы для осуществления продаж, производства, закупок и учета в процессе выполнения клиентских заказов. Отметим, что в целом в исследуемом периоде показатели не демонстрируют существенной динамики. В целом этот факт свидетельствует об отсутствии активных процессов цифровой трансформации в отечественной экономике. Сквозные информационные технологии постепенно встраиваются в бизнес-процессы современных организаций, однако уровень использования потенциала развития процесса цифровизации остается незначительным. Во многом такая ситуация может объясняться высокой сложностью решений, необходимостью их адаптации под особенности бизнес-процессов конкретной организации и/или необходимостью радикальной перестройки бизнес-процессов.

В контексте проводимого нами исследования интерес представляет задача оценки взаимосвязи между изменением уровня цифровизации экономики региона и эффективностью ее функционирования. В практике статистических исследований в агрегированном виде показатели цифровизации экономики представлены различными индексами. Так, Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ по данным Росстата, ОЭСР и Евростата рассчитывает и анализирует индекс цифровизации, который характеризует уровень использования определенного набора цифровых технологий, создающих стартовые условия цифровизации. Индекс рассчитывается для экономики в целом, бизнеса, финансового сектора, социальной сферы, органов власти. Индексы цифровизации для экономики и для бизнеса демонстрируют уровень использования широкополосного интернета, облачных сервисов, RFID-технологий, ERP-систем, включенность в электронную торговлю организаций предпринимательского сектора. Индексы цифровизации финансового сектора, социальной сферы и органов власти служат для оценки уровня использования широкополосного

интернета, облачных сервисов, RFID-технологий, ERP-систем. Индекс цифровизации рассчитывается как среднее арифметическое значение показателей удельного веса организаций (в общем числе организаций сегментов экономики), использующих соответствующие виды цифровых технологий [7].

Подробный сравнительный анализ индексов цифровизации представлен в исследовании группы авторов из Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого [10]. Профессор А.В. Козлов отмечает, что методика расчета интегрального показателя для всех индексов предполагает использование количественных переменных, которые берутся из открытых источников. Все исходные переменные (экзогенные факторы) преобразованы в основной (эндогенный) фактор. Итоговый показатель рассчитывается с учетом весовых коэффициентов, определяемых непосредственно создателями индекса. Среди рассмотренных индексов цифровизации можно назвать следующие.

Всемирный рейтинг цифровой конкурентоспособности (World Digital Competitiveness Ranking) рассчитывается Международным институтом управленческого развития и позволяет оценить интенсивность разработки и применения страной цифровых технологий, ведущих к трансформации государственного управления, бизнес-моделей и общества в целом. Индекс включает 51 индикатор и представляет собой среднее арифметическое трех субиндексов: Знания (Knowledge), Технологии (Technology) и Готовность к будущему (Future Readiness).

Глобальный индекс сетевого взаимодействия (Global Connectivity Index) рассчитывается компанией Huawei и позволяет оценить уровень и динамику развития ИКТ-инфраструктуры, а также проследить взаимосвязь между уровнем развития цифровых технологий в стране и экономическим ростом. Индекс рассчитывается на основе 40 индикаторов как среднее арифметическое четырех субиндексов: Спрос (Demand), Предложение (Supply), Алгоритмы взаимодействия (Experience) и Потенциал (Potential).

Индекс готовности к сетевому обществу (Network Readiness Index, NRI) характеризует уровень развития цифровых технологий и их влияние на экономический рост стран. С 2019 г. его разрабатывает Институт Портуланс (Portulans Institute). Индекс рассчитывается на основе 60 индикаторов как среднее арифметическое четырех субиндексов: Технологии (Technology), Люди (People), Управление (Governance) и Воздействие (Impact). В 2020 г. Индекс рассчитывался для 134 стран.

Индекс развития электронного правительства (E-Government Development Index) демонстрирует степень готовности стран к реализации и использованию услуг электронного правительства. Рассчитывается Департаментом по экономическим и социальным вопросам ООН (The United Nations Department of Economic and Social Affairs, UN DESA) на основе трех субиндексов: Государственные онлайн-сервисы (Online Service Index), Телекоммуникационная инфраструктура (Telecommunication Infrastructure Index) и Человеческий капитал (Human Capital Index).

Индекс экономики знаний (Knowledge Economy Index, KEI) рассчитывается международной организацией "Всемирный Банк". Индекс отражает состояние основных слагаемых экономики знаний: экономических стимулов и институционального режима, инновационной активности страны, уровня образования населения и развития ИКТ. Индекс используется для выявления "уязвимых мест" в научно-технологической и инновационной политике, а также для измерения готовности страны перейти к экономике, основанной на знаниях.

Эффективность функционирования региональной экономики также оценивается различными интегральными показателями. Так, экспертами агентства РИА Рейтинг по данным Минфина, Федерального казначейства и Росстата составлен рейтинг социально-экономического положения регионов [11]. Методика расчета рейтинга основана на агрегировании различных показателей, характеризующих социально-экономическое положение регионов. Отобранные показатели разделены на четыре группы.

1. Показатели масштаба экономики – объем производства товаров и услуг, доходы консолидированного бюджета, численность занятых в экономике, оборот розничной торговли.

2. Показатели эффективности экономики – объем производства товаров и услуг на душу населения, инвестиции в основной капитал на душу населения, доля прибыльных предприятий, уровень собираемости налогов.

3. Показатели бюджетной сферы – доходы консолидированного бюджета на душу населения, доля налоговых и неналоговых доходов в суммарном объеме доходов консолидированного бюджета, отношение госдолга к налоговым и неналоговым доходам консолидированного бюджета, отношение налоговых и неналоговых доходов консолидированного бюджета к расходам.

4. Показатели социальной сферы – отношение доходов населения к стоимости фиксированного набора потребительских товаров и услуг, уровень безработицы, ожидаемая продолжительность жизни при рождении, уровень младенческой смертности, смертность населения в возрасте 15...59 лет, доля населения с доходами ниже прожиточного минимума.

В ходе проведенного исследования нами проведен кластерный анализ, целью которого является выделение среди регионов Российской Федерации однородных по уровню цифровизации и социально-экономическим показателям групп. В качестве материала исследования нами использованы статистические данные субъектов Российской Федерации за 2019 год. Набор данных сформирован по 5 показателям и содержит 410 уникальных показателей – 82 наблюдения по 5 показателей в каждом. Основные статистические показатели, по которым проводилось исследование, следующие:

VAR 1 – ВВП на душу населения (тыс.руб.);

VAR 2 – темп роста ВВП (%);

VAR 3 – рейтинг социально-экономического развития региона (РИА рейтинг);

VAR 4 – индекс цифровизации (методика НИУ ВШЭ).

Анализ зависимости между показателями производился с помощью коэффициента корреляции (табл. 3 – парные коэффициенты корреляции).

Т а б л и ц а 3

	VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4
VAR 1	1,00	0,04	0,36	0,16
VAR 2		1,00	-0,02	-0,01
VAR 3			1,00	0,56
VAR 4				1,00

Как видно из представленных в табл. 3 значений коэффициентов корреляции, признаки VAR 3-VAR 4; имеют заметную корреляцию (для интерпретации данных использована шкала Чеддока).

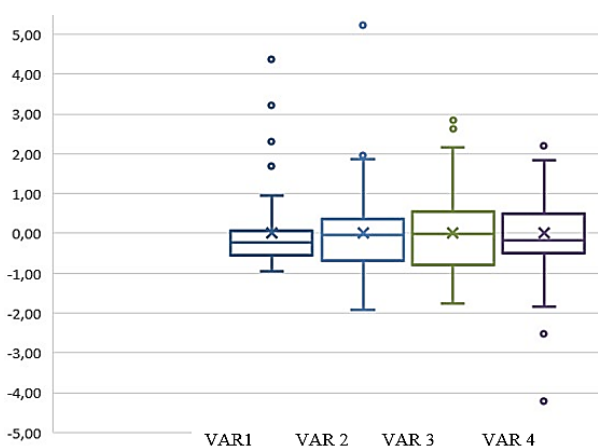


Рис. 4

Таким образом, наблюдается заметная связь между рейтингом социально-экономического развития и индексом цифровизации. Обращает на себя внимание также обратная связь между темпом роста ВРП и рейтингом социально-экономического развития, темпом роста ВРП и индексом цифровизации. Это позволяет предположить, что для регионов с высоким уровнем показателей цифровизации и социально-эконо-

мического развития не характерен значительный темп роста ВРП (такие регионы достигли определенного уровня "зрелости" и темпы роста их экономики, как правило, сравнительно не велики).

Предварительный статистический анализ каждого показателя (рис.4) произведен с помощью диаграммы размаха ("ящик с усами") (Box and Whisker Plot или Box Plot). На этапе предобработки набора данных проведена их стандартизация. У всех показателей имеются выбросы за полуторный межквартильный размах, то есть параметры сильно варьируют по различным регионам. В целом выявленная неоднородность регионов позволяет предположить возможность их кластеризации по выбранным признакам.

Кластеризация регионов по указанным параметрам была проведена с помощью метода k – средних [13].

Как видно из представленных в табл. 4 данных, исходя из критерия максимина F-статистики и р-значимости <math><0.05</math>, оптимально разбиение регионов на 4 кластера.

Результаты осуществленной в ходе исследования кластеризации регионов представлены в табл. 5 и 6 (результаты кластерного анализа и характеристики региональных кластеров: приведены средние значения показателей)).

Т а б л и ц а 4

Показатель	n=3		n=4	
	F- статистика	Р-значимость $\alpha=0,05$	F- статистика	Р-значимость $\alpha=0,05$
VAR 1	53,110	0,0000	65,283	0,0000
VAR 2	7,9271	0,0007	20,613	0,0000
VAR 3	38,141	0,0000	22,496	0,0000
VAR 4	24,669	0,0000	15,601	0,0000

Т а б л и ц а 5

Состав кластера	Характеристика
Белгородская область; Воронежская область; Калужская область; Липецкая область; Тамбовская область; Тульская область; Ярославская область; г. Москва; Вологодская область; Ленинградская область; Новгородская область; г. Санкт-Петербург; Краснодарский край; Ростовская область; Ставропольский край; Республика Башкортостан; Республика Татарстан; Пермский край; Нижегородская область; Оренбургская область; Самарская область; Свердловская область; Челябинская область; Красноярский край; Кемеровская область; Новосибирская область	<p>Высокий рейтинг социально-экономического развития и индекс цифровизации</p> <p>Отраслевой состав кластера</p> <p>В составе кластера большинство регионов формируют ВРП преимущественно продукцией обрабатывающей промышленности</p>

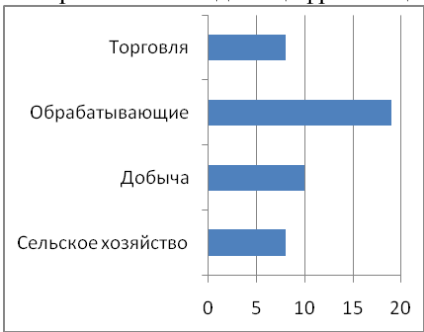
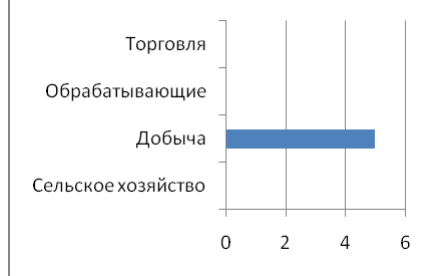
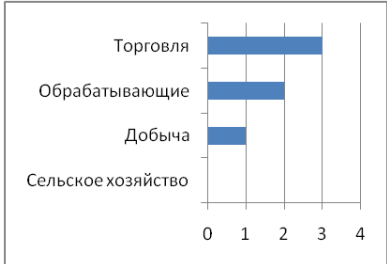
<p>Брянская область; Ивановская область; Костромская область; Курская область; Орловская область; Рязанская область; Смоленская область; Тверская область; Республика Карелия; Республика Коми; Архангельская область; Калининградская область; Псковская область; Республика Адыгея; Республика Калмыкия; Республика Крым; Астраханская область; Волгоградская область; Республика Дагестан; Республика Ингушетия; Кабардино-Балкарская Республика; Карачаево-Черкесская Республика; Республика Северная Осетия – Алания; Чеченская Республика; Республика Марий Эл; Республика Мордовия; Удмуртская Республика; Чувашская Республика; Кировская область; Пензенская область; Саратовская область; Ульяновская область; Курганская область; Республика Алтай; Республика Тыва; Республика Хакасия; Алтайский край; Иркутская область; Омская область; Томская область; Республика Бурятия; Забайкальский край; Камчатский край; Хабаровский край; Еврейская автономная область</p>	<p>Низкий ВРП, низкий рейтинг социально-экономического развития и индекс цифровизации</p>  <p><i>Отраслевой состав кластера</i></p> <p>Отраслевой состав кластера очень разнообразен. В состав кластера вошли практически все сельскохозяйственные регионы, большинство регионов добывающей и обрабатывающей промышленности</p>
<p>Тюменская область; Республика Саха (Якутия); Магаданская область; Сахалинская область; Чукотский автономный округ</p>	<p>Высокий ВРП, средний рейтинг социально-экономического развития и индекс цифровизации</p>  <p><i>Отраслевой состав кластера</i></p> <p>В состав кластера вошли только регионы добывающей промышленности</p>
<p>Владимирская область; Московская область; Мурманская область; г. Севастополь; Приморский край; Амурская область</p>	<p>Высокий темп роста ВРП, ВРП, средний рейтинг социально-экономического развития и индекс цифровизации</p>  <p><i>Отраслевой состав кластера</i></p> <p>В состав кластера вошли регионы с преобладанием обрабатывающей промышленности и торговли</p>

Таблица 6

Показатель	Кластеры			
	1	2	3	4
ВРП на душу населения (VAR1), руб.	573733	383332	1892178	547220
Темп роста ВРП (VAR 2), %	101,10	101,49	103,00	107,10
Рейтинг СЭР (PIA рейтинг) (VAR X3)	57,36	32,53	42,08	46,53
Индекс цифровизации (VAR 4)	31,04	27,07	27,40	29,17

На рис. 5 проиллюстрированы средние значения показателей в каждом кластере. Как видно из представленных данных, регионы с наиболее высоким уровнем цифровизации входят в кластер регионов с преимущественно обрабатывающей промышленностью, существенным уровнем ВРП на

душу населения и высоким рейтингом социально-экономического развития. Кластер наименее цифровизованных регионов составили сельскохозяйственные регионы с низким ВРП и низким рейтингом социально-экономического развития.

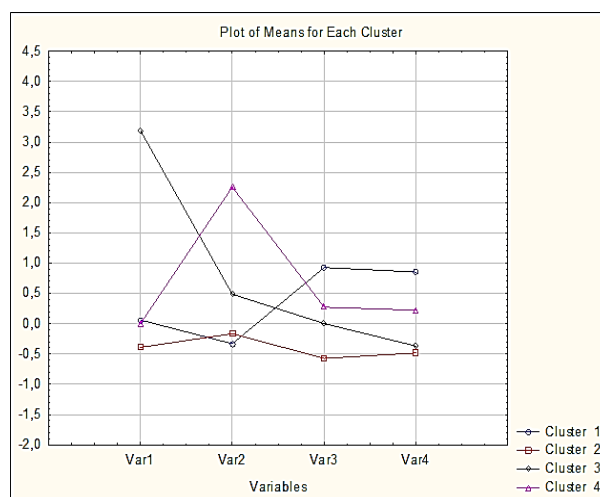


Рис. 5

Таким образом, полученные в результате кластеризации данные позволяют выдвинуть гипотезу о наличии зависимости между цифровизацией экономики и уровнем социально-экономического развития региона. При этом обращает на себя внимание тот факт, что наименее цифровизованными остаются сельскохозяйственные регионы, и, напротив, наиболее высокий уровень цифровизации характерен для регионов с преобладанием обрабатывающей промышленности.

С целью определения вклада различных факторов развития экономики региона в вариацию результирующего показателя его экономического развития в рамках проведенного исследования был осуществлен регрессионный анализ. В качестве материала исследования нами использованы статистические данные субъектов Российской Федерации за 2018-2019 гг. Набор данных сформирован по 4 показателям и содержит 656 уникальных показателей – 164 наблюдения по 4 показателя в каждом.

В ходе проведения регрессионного анализа были построены 4 типа моделей зависимости уровня социально-экономического развития региона (в качестве результирующего

показателя выбран ВРП) от следующих факторов:

X1 – затраты на внедрение цифровых технологий, млн. руб.;

X2 – стоимость основных фондов, млн. руб.;

X3 – численность рабочей силы, тыс. чел.

Анализ зависимости между показателями, проведенный с помощью коэффициента корреляции (табл. 7 – матрица парных коэффициентов корреляции), показал, что результирующий показатель имеет тесную связь со всеми предикторами.

Исходя из критерия максимизации коэффициента корреляции, наиболее адекватно зависимость отражает лог-логарифмическая модель (табл. 8 – анализ описательных статистик моделей регрессии), на 97,7% объясняющая вариацию ВРП тремя рассматриваемыми факторами:

$$\ln Y = 2.604 + 0.276 \ln X1 + 0.478 \ln X2 + 0.223 \ln X3.$$

Т а б л и ц а 7

	Y	X1	X2	X3
Y	1			
X1	0,879	1		
X2	0,960	0,864	1	
X3	0,881	0,757	0,835	1

Регрессионная статистика	Линейная зависимость	Линейно-логарифмическая зависимость	Лог-линейная зависимость	Лог-логарифмическая зависимость
Множественный R	0,973808315	0,736935638	0,868679385	0,977259503
R-квадрат	0,948302634	0,543074135	0,754603873	0,955036136
Нормированный R-квадрат	0,947333308	0,534506775	0,750002696	0,954193064
Стандартная ошибка	545816,2529	1622688,384	0,556172972	0,238071737

Данная модель показывает, что наиболее значимым фактором увеличения ВРП является ресурсная база основных фондов, при этом осуществляемые затраты на внедрение цифровых технологий также приводят к существенному увеличению величины ВРП.

Таким образом, проведенное исследование показало, что происходящие процессы цифровизации экономики оказывают прямое влияние на рост ВРП субъектов Российской Федерации. Процесс внедрения цифровых технологий находится на своей начальной стадии и с разной степенью успешности осуществляется в регионах с различной отраслевой структурой производства. Наиболее успешно цифровизация осуществляется в регионах с преимущественно обрабатывающей промышленностью, в то время как сельскохозяйственные регионы в наименьшей степени используют возможности цифровизации как драйвера экономического развития.

Среди основных причин недостаточной активности процессов цифровизации экономики следует назвать:

- низкая квалификация руководителей, не способных сформировать "цифровые компетенции" и преодолеть сопротивление изменениям со стороны сотрудников организации [8];

- риски, связанные с более широким внедрением цифровых технологий, такие как вопросы безопасности данных, отсутствие совместимости с существующими системами и недостаток контроля;

- отсутствие разработанной стратегии цифровой трансформации организации, в то время как цифровая трансформация не может являться самоцелью, она должна быть направлена на создание новых бизнес-моделей и лучшего пользовательского опыта [9];

- недостаток финансовых ресурсов, необходимых для приобретения и внедрения цифровых технологий [12].

С точки зрения государственного управления научно-технологическим развитием национальной экономики ключевым аспектом решения проблемы активизации процессов цифровизации является их финансовая поддержка в рамках либо "толкающей", либо "тянущей" модели. В первом случае перспективные цифровые технологии разрабатываются научными организациями и должны "проталкиваться" ими на рынок. Разработка подобных технологий по заказу заинтересованного предприятия характеризует "тянущую" систему организации процесса цифровизации, при которой под потребности конкретного предприятия формируется предложение. И в том и другом случае стимулирование процессов цифровизации государством может быть осуществлено посредством выделения целевого бюджетного финансирования. Выделение грантов разработчикам новых цифровых технологий поддерживает "толкающую" модель процессов цифровизации, тогда как выделение финансовых ресурсов предприятиям и организациям, заинтересованным во внедрении цифровых технологий, поддерживает "тянущую" модель процессов цифровизации. По нашему мнению, существенным риском воплощения "толкающей" модели процессов цифровизации является возникновения разрыва между разработанными цифровыми технологиями и реальными потребностями их пользователей. Указанный риск существенно увеличивается при предоставлении целевого (бесплатного и безвозвратного) бюджетного финансирования в случае, когда условия его предоставления не включают обязательную коммерциализацию разработанных технологий. В связи с этим наиболее

предпочтительным следует считать целевое финансирование проектов цифровизации предприятий и организаций, внедряющих у себя новые технологии. Однако особо подчеркнем, что, учитывая состав перечисленных причин недостаточной активности процессов цифровизации, одной лишь финансовой поддержки недостаточно: необходимо в обязательном порядке повышать цифровые компетенции руководителей организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мацкуляк И.Д., Кулигин В.Д., Мацкуляк Д.И., Нагдалиев Н.З.О. Цифровая экономика: теория, практика и перспектива // Вестник университета. – 2020, № 9. С. 106...112.
2. Цветков В.А. Цифровая экономика: проблемы развития и новые вызовы для экономической науки // Мат. Междунар. научн.-практ. конф.: Устойчивое и инновационное развитие в цифровую эпоху. Часть I., 22–23 мая 2019 г. – М.: Изд-во Московского гуманитарного университета, 2019.
3. Шу Г., Андерл Р., Гауземайер, Ю., тен Хомпель М., Вальстер В. и др. Индекс зрелости Индустрии 4.0 – Управление цифровым преобразованием компаний (acatech ИССЛЕДОВАНИЕ). – Munich: Herbert Utz Verlag 2017.
4. Verhoef P.C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Dong J.Q., Fabian N. and Haenlein M. Digital transformation: a multidisciplinary reflection and research agenda // Journal of Business Research – 2021. Vol. 122. P. 889...901.
5. Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг [Электронный ресурс] – URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/3-inform.html> (дата обращения 10.02.2022)
6. Показатели развития информационного общества в Российской Федерации [Электронный ресурс] / URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14478#> (дата обращения 10.02.2022)
7. Абдрахманова Г.И., Вишневецкий К.О., Гохберг Л.М. и др. Индикаторы цифровой экономики // Статистический сб.: Нац. исслед. ун-т И60 "Высшая школа экономики". – М.: НИУ ВШЭ, 2021.
8. Fitzgerald M., Kruschwitz N., Bonnet D. and Welch M. Embracing digital technology: a new strategic imperative // Mit Sloan Management Review. – 2014. Vol. 55, № 2. P. 1.
9. McLaughlin S.A. Dynamic capabilities: taking an emerging technology perspective // International Journal of Manufacturing Technology and Management. – 2017. Vol. 31 Nos 1...3. P. 62...81.
10. Козлов А.В., Тесля А.Б., Иващенко А.А. Формирование системы индикаторов для мониторинга процессов цифровизации национальной экономики. // Изв. вузов. Серия "Экономика, финансы и управление производством". – 2021, № 01(47). С. 97...107. DOI 10.6060/ivecofin.20214701.522

11. Рейтинг социально-экономического положения регионов [Электронный ресурс] / URL: <https://ri-rating.ru/infografika/20210531/630201353.html> (дата обращения 02.02.2022)

12. Тумин В.М., Тумин В.В., Костромин П.А. О формировании эффективных управленческих решений по перспективному развитию территорий // Изв. вузов. Серия "Экономика, финансы и управление производством". – 2019, № 01(39). С. 18...22.

13. Власкина П.А., Ермолаев М.Б. Исследование интенсивности бизнес-процессов в регионах на основе кластерного анализа // Сб. научн. тр. вузов России "Проблемы экономики, финансов и управления производством". – 2019, № 44. С. 116...119.

REFERENCES

1. Matskulyak I.D., Kuligin V.D., Matskulyak D.I., Nagdaliev N.Z.O. Tsifrovaya ekonomika: teoriya, praktika i perspektiva // Vestnik universiteta. – 2020, № 9. S. 106...112.
2. Tsvetkov V.A. Tsifrovaya ekonomika: problemy razvitiya i novye vyzovy dlya ekonomicheskoy nauki // Mat. Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.: Ustoychivoe i innovatsionnoe razvitie v tsifrovuyu epokhu. Chast' I., 22–23 maya 2019 g. – M.: Izd-vo Moskovskogo gumanitarnogo universiteta, 2019.
3. Shu G., Anderl R., Gauzemayer, Yu., ten Khompel' M., Val'ster V. i dr. Indeks zrelosti Industrii 4.0 – Upravlenie tsifrovym preobrazovaniem kompaniy (acatech ISSLEDOVANIE). – Munich: Herbert Utz Verlag 2017.
4. Verhoef P.C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Dong J.Q., Fabian N. and Haenlein M. Digital transformation: a multidisciplinary reflection and research agenda // Journal of Business Research – 2021. Vol. 122. R. 889...901.
5. Svedeniya ob ispol'zovanii tsifrovyykh tekhnologiy i proizvodstve svyazannykh s nimi tovarov i uslug [Elektronnyy resurs] – URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/3-inform.html> (data obrashcheniya 10.02.2022)
6. Pokazateli razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs] / URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14478#> (data obrashcheniya 10.02.2022)
7. Abdrakhmanova G.I., Vishnevskiy K.O., Gokhberg L.M. i dr. Indikatory tsifrovoy ekonomiki // Statisticheskiy sb.: Nats. issled. un-t I60 "Vysshaya shkola ekonomiki". – M.: NIU VShE, 2021.
8. Fitzgerald M., Kruschwitz N., Bonnet D. and Welch M. Embracing digital technology: a new strategic imperative // Mit Sloan Management Review. – 2014. Vol. 55, № 2. R. 1.
9. McLaughlin S.A. Dynamic capabilities: taking an emerging technology perspective // International Journal of Manufacturing Technology and Management. – 2017. Vol. 31 Nos 1...3. P. 62...81.
10. Kozlov A.V., Teslya A.B., Ivashchenko A.A. Formirovanie sistemy indikatorov dlya monitoringa protsessov tsifrovizatsii natsional'noy ekonomiki. // Izv.

vuzov. Seriya "Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom". – 2021, № 01(47). S. 97...107. DOI 10.6060/ivecofin.20214701.522

11. Reyting sotsial'no-ekonomicheskogo polozheniya regionov [Elektronnyy resurs] / URL: <https://riarating.ru/infografika/20210531/630201353.html> (data obrashcheniya 02.02.2022)

12. Tumin V.M., Tumin V.V., Kostromin P.A. O formirovaniy effektivnykh upravlencheskikh resheniy

po perspektivnomu razvitiyu territoriy // Izv. vuzov. Seriya "Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom". – 2019, № 01(39). S. 18...22.

13. Vlaskina P.A., Ermolaev M.B. Issledovanie intensivnosti biznes-protsessov v regionakh na osnove klasternogo analiza // Sb. nauchn. tr. vuzov Rossii "Problemy ekonomiki, finansov i upravleniya proizvodstvom". – 2019, № 44. S. 116...119.

Поступила 18.02.22.

УДК 004.6 [334+336.7+339.7]
DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_46

**ИНДУСТРИЯ 4.0 И БИЗНЕС-ЛАНДШАФТ
НА ФИНАНСОВЫХ РЫНКАХ***

**INDUSTRY 4.0 AND BUSINESS LANDSCAPE
IN FINANCIAL MARKETS**

И.В. ПАШКОВСКАЯ, Н.А. АМОСОВА, О.С. РУДАКОВА
I.V. PASHKOVSKAYA, N.A. AMOSOVA, O.S. RUDAKOVA

(Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации)

(Financial University under the Government of the Russian Federation)

E-mail: IVPashkovskaya@fa.ru; NAAmosova@fa.ru; OSRudakova@fa.ru

Актуальность темы исследования продиктована радикальными преобразованиями хозяйственной жизни в условиях четвертой промышленной революции, особенностями ее проявления в финансовой сфере, существенным влиянием "смарт"-трансформации на бизнес-ландшафт на финансовых рынках. В статье анализируется влияние методологического концепта и практики реализации стратегии Индустрии 4.0 на бизнес-ландшафт на финансовых рынках. Цель статьи – выявление основных форм и перспектив развития стратегии Индустрии 4.0 и первичная оценка основных направлений их влияния на бизнес-ландшафт на финансовых рынках. Для реализации цели написания статьи были применены методы системного, сравнительного, факторного, ситуативного и институционального анализа, методы группировок, классификации, оптимизации и графической интерпретации данных. Предпринятое исследование позволило получить следующие группы результатов: представить литературный обзор по теме исследования; уточнить категориальный аппарат темы, в частности, в отношении понятия "бизнес ландшафт на финансовых рынках"; дать первичную оценку развития в формате Индустрии 4.0 на бизнес-ландшафт на финансовых рынках; охарактеризовать институциональный срез лидерства на финансовых рынках.

The relevance of the problem being researched is dictated by the radical transformations of economic life in the context of the fourth industrial revolution, the peculiarities of its manifestation in the financial sphere, the significant influence of

* Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию ФГБОУ ВО "Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации".

"smart" transformation on the business landscape in the financial markets. The article analyzes the impact of the methodological concept and practice of implementing the Industry 4.0 strategy on the business landscape in the financial markets. The purpose of the article is to identify the main forms and prospects for the development of the Industry 4.0 strategy and an initial assessment of the main directions of their influence on the business landscape in the financial markets. To achieve the goal of the article, the methods of systemic, comparative, factorial, situational and institutional analysis, methods of grouping, classification, optimization and graphical interpretation of data were applied. The undertaken research made it possible to obtain the following groups of results: to present a literary review on the research topic; to clarify the categorical apparatus of the topic, in particular, in relation to the concept of "business landscape in financial markets"; an initial assessment of the development in the Industry 4.0 format on the business landscape in the financial markets was given; the institutional cross-section of leadership in the financial markets is characterized. The research and its results describe global processes. At the same time, a significant place in the article is devoted to the analysis of changes in the Russian financial markets.

Ключевые слова: бизнес-ландшафт, бизнес-модели, Индустрия 4.0, инновации, платформенные институты, финансовые рынки, цифровизация, экосистемы.

Keywords: business landscape, business models, industry 4.0, innovation, platform institutions, financial markets, digitalization, ecosystems.

Введение

Современные информационные технологии оказали существенное влияние на бизнес-модели финансовых институтов и бизнес-ландшафт на финансовых рынках, что привело к радикальным изменениям глобальной финансовой экосистемы.

В последнее "прорывное" десятилетие в экономической научной литературе активно исследуются общие, стыковые направления, проблемы и инструменты цифровизации реального и финансового секторов экономики [1...7], направления развития финтеха [8], [9], вопросы изменения конкуренции на финансовых рынках [10...16], монополизации [17], [18] и снижение маржинальности банковского бизнеса в цифровой экономике [19...21], проблематика цифрового доверия [22], [23], различные аспекты развития цифровых технологий и их влияния на бизнес-ландшафт на финансовых рынках [24...28].

Значительные усилия направлены на исследование функционирования платформенных институтов [29...35], экосистем и разнонаправленных результатов их

функционирования [36...38]. Интенсивно изучается трансформация бизнес-моделей финансовых институтов, в первую очередь, банков. [39], [40]. Предпринимаются попытки оценить последствия нерегулируемого использования новых технологий [41] и активизировать исследования регулирования напряженности на рынке труда в цифровую эпоху [42]. Особо остро стоит вопрос с осознанием значимости, выработкой решений о внедрении или запрещении и прогнозу возможных последствий от новых экономических и финансовых феноменов. Таких, например, как цифровые деньги центральных банков [43].

Ученые самых разных экономических школ исследуют эти процессы, но приходится констатировать нарастающее отставание получаемых научных результатов от потребностей практики. Бизнес-решения зачастую приходится принимать спонтанно, без опоры на научные рекомендации, в эвристическом режиме.

К научным исследованиям цифровой трансформации подключились все значимые отечественные, международные и

зарубежные финансовые институты. В их исследовательском портфеле научные результаты, интегрированные в рабочие и программные документы, оценивающие современное состояние финансовых, в том числе платформенных институтов и экосистем – [44...50]; анализирующие новые, малоизученные и почти непредсказуемые риски [51...53]; перспективы цифрового развития финансовых рынков [54] и первые уроки Covid-19 для регулирующих институтов [55...58].

Методы

Исходным пунктом исследования являются теоретические начала формирующейся науки о цифровых формах хозяйствования. Литературный обзор, помимо прочего, затрагивает проблемы, связанные с цифровым доверием, платформенными институтами, цифровыми технологиями и активами, цифровым неравенством и цифровым напряжением на рынке труда.

Центральным пунктом исследования выступает исследование основных форм проявления цифровой трансформации хозяйственной жизни и оценка их влияния на бизнес-ландшафт на финансовых рынках.

При написании статьи использован системный подход и методы сравнительного, факторного, ситуативного и институционального анализа, методы группировок, классификации и графической интерпретации данных.

¹ Цифровые технологии развивались вместе с развитием электроники и Интернета, ключевым событием в распространении цифровых технологий стал быстрый рост мобильных технологий. Однако лидерство банков в освоении новых технологий ослабло после мирового финансового кризиса 2008-2010гг. В то время как банки были заняты восстановлением финансовой устойчивости и переходили на более жесткие стандарты регулирования, цифровые инновации на время потеряли для банков свою актуальность. Напротив, другие участники рынка, связанные с розничной торговлей, путешествиями, предоставлением услуг связи и проч., провели революционные преобразования и создали инновационные формы бизнеса на основе платформ.

Разрыв между ожиданиями клиентов и услугами, которые могли бы предложить банки, был быстро подхвачен новыми участниками: финтехами и бигтехами. Все более широкое использование цифровых технологий привело к росту спроса на

В исследовании использованы официальные базы данных информационно-аналитического агентства Reuters, Банка России, СберБанка, банков ВТБ и Тинькофф.

Результаты и обсуждения

Цифровую трансформацию можно определить как внедрение новых и быстро меняющихся цифровых технологий для преобразования характера финансовой деятельности, компетенций и бизнес-моделей субъектов экономики. Цифровая трансформация на финансовых рынках идет, главным образом, в двух направлениях: во-первых, в отношении используемых технологий и, во-вторых, в отношении предоставляемых продуктов и услуг. Современные технологии¹ включают облако (облачные вычисления), искусственный интеллект (ИИ), аналитику больших данных, распределенные реестры блочного и не блочного типа (прежде всего, блокчейн), мобильные технологии, использование роботов-консультантов. Современные финансовые услуги затрагивают, главным образом, платежи, кредитование, управление активами и связь.

За последнее десятилетие во всем мире появилось большое количество цифровых платформ, использующих бизнес-модели, основанные на данных. Такие платформы можно разделить на торговые платформы и инновационные платформы². В цифровой экономике платформа становится важной

банковские цифровые услуги, особенно со стороны некорпоративных банковских клиентов.

Некоторые крупные банки стремятся предлагать инновационные платежи наравне с платежами новых конкурентов. Однако устаревшие технологии еще широко используются в банковской системе, что препятствует внедрению инновации в мелких и средних банках. Быстрое внедрение технологий в сфере финансовых услуг, возглавляемое небанковскими новичками, может привести к фундаментальному разрушению банковской отрасли, что в настоящее время широко обсуждается российскими и зарубежными учеными и практиками. Кроме того, платформы предлагают более успешные бизнес-модели деятельности в цифровой экономике.

² Торговые платформы- это двусторонние или многосторонние рынки, которые поддерживают обмена между различными сторонами с помощью онлайн-инфраструктуры. Они стали крупными цифровыми компаниями, такими как Amazon, Alibaba, Facebook, а также компаниями поддержки,

формой экономической организации и управления³.

Этот сдвиг в традиционных экономических отношениях может существенно повлиять на финансовый сектор, который предлагает посреднические услуги, что вынуждает остальных участников быстро пересмотреть свои конкурентные стратегии⁴.

Платформенные институты продолжают активно укреплять свои конкурентные позиции, в том числе за счет приобретения потенциальных конкурентов и установления стратегических партнерских отношений с ведущими транснациональными

ориентированными на цифровые технологии, такими как Uber. Инновационная платформа предназначена для создания среды для производителей кода и контента для разработки приложений и программного обеспечения в операционных системах, таких как Android или Linux, или технических стандартах, таких как MPEG video. Современные платформы - это новый способ сотрудничества, построенный на новых технологических условиях. Эффективность распределения ресурсов на платформе значительно выше, а операционные издержки значительно ниже, чем в большинстве традиционных бизнес-моделях.

³ Исключительной особенностью платформы является ее сетевой эффект. Сделки на платформе могут заключаться на двухсторонней или многосторонней основе. Возникающий сетевой эффект на одной стороне транзакции означает, что чем больше пользователей на одной стороне сделки платформы, тем более значимая ценность для пользователей на этой стороне. Существует перекрестный сетевой эффект между двумя сторонами транзакции, что означает, что чем больше пользователей на одной стороне рынка платформы, тем больше пользователей платформа имеет на другой стороне, и тем более высокая ценность для пользователей этой платформы. Сетевые эффекты помогают платформам быстрее развиваться и захватывать рынки, но возникают проблемы конкурентных условий на рынках, где работают платформы.

⁴ Поскольку финансовый сектор жестко регулируется, то изменения могут создать серьезные проблемы для регуляторов, которые должны сформулировать новые системы и механизмы, чтобы сохранить возможность контроля и надзора за новой системой экономических отношений. В Европе недавно было утверждено первое постановление ЕС о деятельности цифровых посредников. Банк России обсуждает приемлемые методы регулирования экосистем, которые обладают большим сетевым эффектом и конкурентными преимуществами перед остальными участниками рынка.

компаниями в традиционных отраслях, таких как автомобилестроение, полупроводниковая промышленность и розничная торговля. Рост и доминирование на рынке FAANG (Facebook, Amazon, Apple, Netflix и Google) и других технологических гигантов происходит из сетевого эффекта⁵.

На рис.1 показана клиентская база крупнейших российских и зарубежных экосистем, млн. пользователей (Источник: составлено авторами на основе данных Reuters на 1.03.20 года и сайтов российских банков [56...58]).

Закон Роберта Меткалфа, который являлся одним из разработчиков сетевой системы Ethernet, формулирует сетевой эффект платформ. Меткалф определил, что значение сети равно квадрату числа узлов сети, т.е. ценность любой сети для пользователя эквивалентна квадрату количества узлов соединения. Если в сети присутствует n пользователей, то ценность сети для каждого пропорциональна количеству остальных пользователей. По мере увеличения числа пользователей значение сети увеличивается экспоненциально. Компании, ориентированные на платформу как бизнес-модель своей деятельности, имеют очевидные преимущества в экономике, основанной на данных. Являясь одновременно инфраструктурой и средой, они могут записывать и извлекать все данные, связанные с поведением клиентов в Интернете и управлять отношениями между пользователями платформы. Эти цифровые следы, полученные в результате личной, социальной и коммерческой деятельности на различных цифровых платформах, собираются, анализируются и используются для создания "цепочки создания ценности данных", и платформа создает стоимость, основанную на информации пользователей [31].

⁵ Однако эффект обратной связи не ограничивается только сетью пользователей. Предположим, платформа связывает две сети: сеть пользователей, таких как потребители или предприятия, с сетью поставщиков товаров или услуг. Затем, если к платформе присоединится дополнительный пользователь, ценность сети для существующих пользователей необязательно сразу возрастает. Однако ценность сети поставщиков возрастает для всех поставщиков, что побуждает их присоединяться к платформам с большим числом пользователей.

Этот тип эффекта обратной связи объясняет постепенное доминирование таких платформ, как Amazon, связывающих потребителей с поставщиками товаров, Uber, связывающих пассажиров с водителями (поставщиками услуг), или Alibaba, связывающих предприятия, нуждающиеся в промежуточных товарах и услугах, с предприятиями, их поставляющими [37].

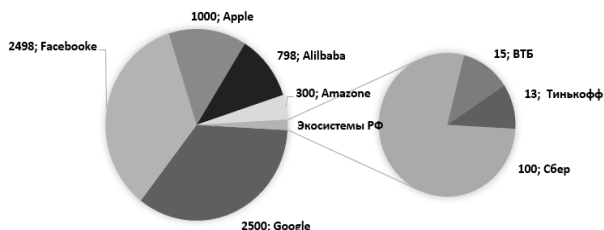


Рис. 1

Среди 20 крупнейших компаний мира по рыночной капитализации 40% имеют бизнес-модели, основанные на платформе. На семь "суперплатформ", таких как Microsoft, Apple, Amazon, Google, Facebook, Tencent и Alibaba, приходится две трети общей рыночной капитализации 70 платформ. Некоторые цифровые платформы превратились в монополистов, Google владеет 90% рынка поиска в Интернете, Facebook занимает две трети мирового рынка социальных сетей и является ведущей платформой социальных сетей в более чем 90% странах мира [33]. В Китае WeChat Tencent насчитывает более 1 миллиарда активных пользователей. Рынок

⁶ Платформы порождают новый тип монополистических отношений, когда единственный покупатель может оказывать влияние на цены тех товаров и ресурсов, которые закупает продавец [30]. Эта ситуация возникает, когда большое число поставщиков вынуждены продавать свои товары и услуги через одну или очень небольшое количество платформ, чтобы получить доступ к своим потребителям. При ограниченной переговорной силе поставщиков такая ситуация может привести к увеличению общего неравенства, а цена конечного продукта или услуги может быть завышена или понижена по решению потребителя. Например, если платформа предлагает дорогой товар или услугу, и ее в основном потребляют клиенты с высоким уровнем достатка, то более низкая цена повысит благосостояние покупателей. Между тем, доходы поставщиков, поставляющих такие товары или услуги, сократятся от занижения цен, что приведет к росту расслоения производителей, а в конечном итоге снизит платежеспособность поставщиков товаров и услуг.

Поэтому нужно учитывать, что платформы могут обеспечивать резкое повышение эффективности экономики, но это может быть кратковременный рост, за которым последует монополия рента и спад.

⁷ Доступ к большому массиву персональных данных из социальной сети может помочь разработать персонализированные методы рекламы, с которыми трудно конкурировать без такого доступа. Это также поднимает проблемы конфиденциальности,

цифровых услуг в настоящее время уже сосредоточен на нескольких крупных платформах, что в перспективе ускорит разрыв между "гипер-цифровыми" и развивающимися странами [29].

Развитие бизнеса на основе платформ может иметь как положительные, так и отрицательные последствия⁶. Эксклюзивный доступ к большому объему данных о пользователях или поставщиках в сети может укрепить рыночные позиции технологических гигантов⁷.

Самые яркие примеры экосистем в России – экосистемы СберБанка и Банка Тинькофф. Сегментная структура экосистемы СберБанка продолжает базироваться на банковском бизнесе, а новые направления деятельности банка пока не превышают 1% от его активов, что видно из рис. 2 (сегментная структура активов экосистемы СберБанка в 2020 г. (%); Источник: составлено авторами на основе данных финансовой и статистической отчетности СберБанка [57]).

методы сбора и обмена информацией между участниками рынка. Цифровая экономика порождает новый характер отношений между участниками. В 1935 году британский ученый Артур Джордж Тенсли впервые предложил концепцию экосистемы как определенного сообщества, совокупности организмов, и физической среды(биотопа), связанных с ней определенной системой отношений, единой историей и способностью к согласованному развитию [32].

Экологические идеи постепенно проникают в различные области, такие как окружающая среда, промышленность, культура, экономика и политика, поскольку экология широко используется во многих областях, таких как сельское и лесное хозяйство, начиная с 1980-х годов. Экономическая экология - это сложная экосистема с более сложной структурой и более мощными функциями, включая природу, общество и экономику.

Джеймс Мур впервые предложил концепцию бизнес-экосистемы в Harvard Business Review, согласно которой естественная экосистема используется для описания корпоративной деятельности на рынке. Он предложил рассматривать экономическую деятельность, как экосистему, где покупатели и производители занимают взаимодополняющие роли, совместно эволюционируя в направлении, задаваемом компаниями, которые находятся в центре экосистемы [34].

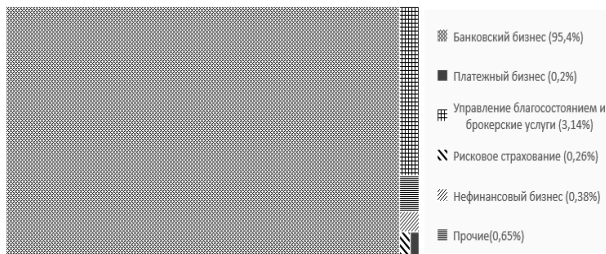


Рис. 2

Однако небанковский бизнес уже приносит Сбербанку значительные доходы, поэтому он намерен расширять эти направления деятельности. Рис.3 – сегментная структура выручки экосистемы Сбербанка в 2020г. (%) (Источник: составлено авторами на основе данных финансовой и статистической отчетности Сбербанка [57]).

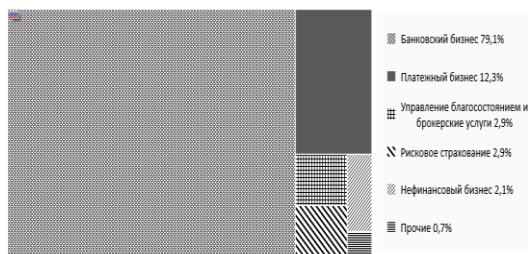


Рис. 3

Сегментная структура активов ВТБ пока базируется на системе ипотечного кредитования и имущественных торгов, поэтому можно сказать, что она является сопутствующей банковского бизнесу Группы. Рис.4 – сегментная структура активов экосистемы ВТБ в 2020г. (%) (Источник: составлено авторами на основе данных финансовой и статистической отчетности ВТБ [56]).

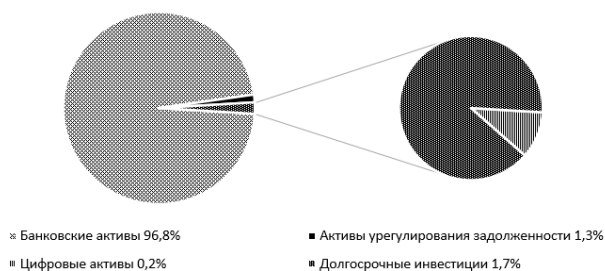


Рис. 4

⁸ Выручка от экосистемы небанковских услуг Сбербанка увеличилась на 295% в годовом исчислении в первом квартале 2021 года, что является стимулом развития этого направления деятельности крупнейшего российского кредитора, стремящегося к

В настоящее время три крупнейшие банковские экосистемы России – Сбербанк, ВТБ и Тинькофф уже доминируют на российском банковском рынке, что можно проследить на основе данных рис. 5 (доля трех крупнейших банковских экосистем в банковском секторе России на 1.05.21г. (%); Источник: составлено авторами на основе данных сайтов российских банков [56...58]).

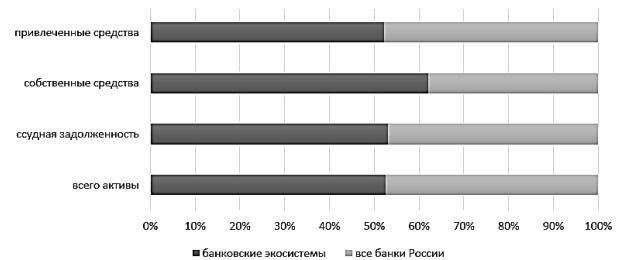


Рис. 5

Оценка уровня монополизации банковской системы России, произведенная на основе индексов Херфиндаля-Хиршмана $HHI = S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_n^2$, показала значения:

– $HHI_a = 34.4^2 + 17.2^2 + 0.9^2 = 1480,01$ (по активам Сбербанка, ВТБ и Тинькофф Банка)

– $HHI_{сз} = 35.7^2 + 16.6^2 + 0.8^2 = 1550,69$ (по ссудной задолженности),

– $HHI_{пс} = 33.5^2 + 17.8^2 + 8.7^2 = 1514,78$ (по привлеченным средствам), что в целом соответствует показателям умеренно концентрированного рынка II типа (концентрация на рынке средняя), так как $45\% < CR < 70\%$, а $1000 < HHI < 1800$. Однако это не означает, что данные показатели не изменятся в будущем в результате развития сетевых эффектов⁸.

Россия пока значительно отстает от других стран по уровню внедрения и развития информационно-коммуникативных технологий, что видно на основе международного сопоставления уровня цифрового развития и значения "Глобального индекса сетевого взаимодействия" за 2020 год.

диверсификации своей основной деятельности. Сбербанк нацелен на то, чтобы к 2030 году непрофильные виды бизнеса, от кибербезопасности до онлайн-кинотеатров, принесли ему 60% выручки [57].

Рис.6 – значение "Глобального индекса сетевого взаимодействия" Global Connectivity Index (GCI) по разделам показателей в 2020 г. (Источник: составлено авторами на основе данных сайта Глобального индекса сетевого взаимодействия (Global Connectivity Index, GCI) (Huawei) [59]).

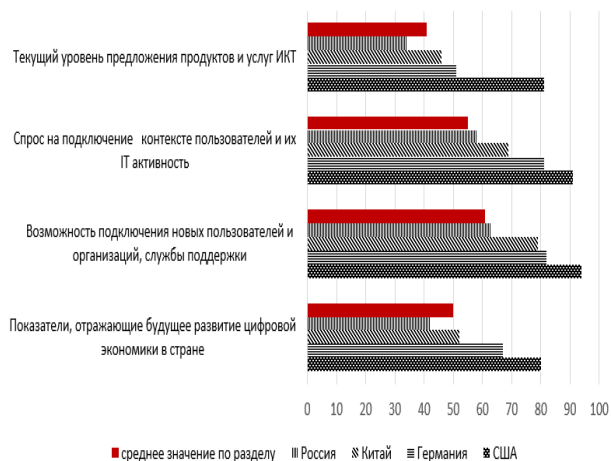


Рис. 6

Глобальный индекс сетевого взаимодействия рассчитывается компанией Huawei по 40 индикаторам цифрового развития страны, которые сгруппированы в 4 основные раздела [59]. Значение индекса по России в 2020 г. составило 50 баллов из 100, в итоге Россия находится на 42-м месте из

⁹ Основными негативными факторами развития сетевого взаимодействия в России стали незначительные инвестиции в развитие цифровых технологий, отсутствие собственного программного обеспечения сетевых систем, патентов на ИКТ, слабая защищенность интернет-серверов, плохие технологии сбора и хранения информации, отсутствие интернета вещей. При таком уровне развития информационно-коммуникативных технологий России будет сложно что-либо противопоставить международным экосистемам и площадкам. Однако в пределах России новые бизнес-модели деятельности традиционных банков могут существенно повлиять как на характере их деятельности, так и на уровень их финансовой устойчивости в результате появления новых банковских рисков. Банк России активно обсуждает с банковским сообществом вопросы ужесточения регулирования банковских вложений в непрофильные платформы и экосистемы, считая, что такие вложения непродуктивны и "замораживают" банковский капитал.

¹⁰ Полагаем, следует учитывать проблемы конкуренции на рынках платформенного бизнеса, проводить анализ условий возможных ограничений конкуренции в экономике данных, оценивать

79 стран, принявших участие в данном проекте⁹.

Современное законодательство, в том числе о конкуренции, пока основывается почти исключительно на принципах традиционной экономики и неоклассической теории цен, которые не могут объяснить сложные аспекты конкурентной борьбы в цифровую эпоху, особые отношения между экономическими субъектами, которые возникают на основе применения новых технологий¹⁰.

Можно выделить несколько новых условий, которые следует учитывать при разработке нормативных требований и регулирования деятельности участников цифрового бизнес-ландшафта. Во-первых, в современной "финансиализированной" цифровой экономике самым важным фактором создания стоимости являются будущие доходы, которые связаны с будущей ожидаемой монопольной рентой игроков цифровой экономики¹¹. Во-вторых, системы сбора и обработки персональных данных позволяют персонализировать как производство, так и распространение информации. Все чаще признается, что сбор данных играет ключевую роль в способности компаний конкурировать в Интернете вещей (IoT) или Интернете услуг (IoS). Фирмы

меняющиеся роли участников рынка, характер и сложность их взаимодействия, поскольку одни и те же агенты могут одновременно быть потребителями и производителями, в то время как их персональные данные являются основой для процесса создания стоимости [49...50].

¹¹ Это особенно четко проявляется в проектах блокчейн-технологий с первичным размещением токенов (ICO) и созданием системы краудфандинга для финансирования блокчейн-стартапов. Цифровые платформы также высоко ценятся финансовыми рынками, что не всегда соответствует их реальным денежным потокам, а больше связано с высокими ожиданиями феноменальной прибыли из-за их статуса участников, контролирующими значимые сегменты инфраструктуры цифровой экономики (например, операционные системы, поисковые системы, магазины приложений, облако). Будущее цифровое развитие и его связь с финансиализацией бросают вызов традиционному подходу построения законодательства о конкуренции, основанному на рыночной власти и способности отдельных игроков повышать цены и сокращать объем производства на существующем товарном рынке.

собирают персональные данные, привлекая пользователей, и монетизируют эти данные¹². В-третьих, важное изменение условий в цифровой среде – это переход от рынков к кибернетике¹³.

ВЫВОДЫ

1. Обзор отечественной и зарубежной научной экономической литературы по теме и актуальных документов российских и международных институтов показал, что наиболее значимыми направлениями современных исследований в выбранной предметной области являются: цифровое доверие, цифровая конкуренция, взаимосвязь финансового и реального секторов экономики в условиях диджитализации.

2. В процессе исследования было обосновано, что бизнес-ландшафт на современных финансовых рынках представляет собой результат сложной системы взаимодействий между участниками; различные траектории (петли) обратной связи могут войти или выходить из этой системы и влиять на принятие индивидуальных решений; институты, осуществляющие деятельность на финансовых рынках, являются лидерами инновационных преобразований в эконо-

мических системах и, с этой точки зрения, представляют особый интерес для всех субъектов российской экономики.

3. Первичная оценка результатов влияния методологического концепта и практики реализации оформленных и неформальных стратегий инновационного развития институтов финансового рынка показала следующее: такое влияние имеет место, является существенным и проявляется, прежде всего, а) в растущей отдаче от масштабов деятельности и охвата рынка; б) в наличии петель обратной связи, когда характер взаимодействия между участниками не является независимым и поддается манипулированию, моделированию, что в итоге может влиять на устойчивость экономических систем; в) в существовании "точек рычага", то есть "мест", где система может быть изменена самими участниками, и переломных моментов, когда система может внезапно и существенно менять свое состояние из-за изменения, даже незначительного, отдельных параметров; г) зависимость от выбранной ранее модели и стратегии, что означает, что текущие возможности системы в некотором смысле ограничены сделанным в прошлом выбором.

¹² Потребители не могут легко и без затрат избавиться от этой технологической зависимости, переключившись на альтернативные варианты, ввиду высоких затрат на переключение, а отсутствие конкуренции, обусловленное тем, что "победители" получают очевидные преимущества на рынке. Анализ данных, связанный с использованием программного обеспечения для прогнозного моделирования, также усиливает конкурентные преимущества цифровых платформ, что в конечном итоге будет кристаллизовано и в их "архитектурном преимуществе". Это поддерживает монопольное и монополистическое положение платформ в цепочке создания стоимости. В эту эпоху "массовой персонализации" основное внимание будет уделяться не только "рынкам внимания", но и разработке индивидуальных продуктов с учетом индивидуальных предпочтений потребителей. Как только будет собран определенный объем данных, эти персонализированные рынки могут склониться к монополии, если только одна платформа или экосистема обладает возможностями для сбора и анализа данных, а также для полного удовлетворения потребительского спроса.

¹³ Новые методы сбора и обработки данных являются важными факторами, меняющими правила игры. По мере того, как клиенты продолжают делать

покупки, цифровые помощники учатся давать рекомендации, причем большая часть этого "обучения" происходит полностью или в значительной степени без помощи людей, поскольку данные поступают в машины, которые постоянно обновляют свои алгоритмы. Алгоритмические фирмы собирают полные персональные данные о своих клиентах, они устраняют необходимость полагаться на децентрализованные рынки для получения знаний о предпочтениях потребителей. Предпочтения материализуются не через выбор, а алгоритмически предсказываются. Они также могут легче различать группы потребителей/пользователей, выбирая структуру цен, которая будет субсидировать одних и "облагать налогом" цены других, или предлагать персонализированные цены. Таким образом, в условиях цифровой экономики цена теряет свое центральное положение в качестве индикатора потребительских предпочтений. Цифровые платформы могут в определенной степени заменить рынки, а при наличии сильных сетевых эффектов цифровые рынки могут легко "опрокинуться". Платформы не просто сопоставляют различные группы пользователей, но становятся системами прогнозирования, способными манипулировать или влиять на выбор пользователей.

4. Институциональный срез исследования доказывает сохранение за банками лидирующих позиций на финансовых рынках, несмотря на жесткую конкуренцию с относительно новыми участниками, прежде всего, с технологическими компаниями, платформенными институтами. Полагаем, цифровое развитие банков в перспективе будет определяться их финансовыми возможностями, развитием цифровой инфраструктуры (включая законодательство), спецификой спроса (с учетом развития шеринговой экономики), цифровой грамотностью всех субъектов экономики, общим уровнем цифровизации, демографическими факторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Cœuré B.* (2019). Digital challenges to the international monetary and financial system", speech at a conference on "The future of the international monetary system, Luxembourg, 17 September 2019 / URL: <https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2019/html/ecb.sp190917~9b63e0ea23.en.html>

2. *Babus A., Hachem K.C.* (2019). Markets for Financial Innovation. NBER Working Papers 25477, National Bureau of Economic Research, Inc. / URL: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w25477/w25477.pdf

3. *Alexandre de Streel, Richard Feasey, Jan Kramer, Giorgio Monti.* Making the Digital Markets Act More Resilient and Effective, Centre on Regulation in Europe (CERRE), University of Namur, University of Passau, Tilburg Law, Economics Center (TILEC), May 2021, URL: <https://papers.ssrn.com/sol3/results.cfm>

4. *Choy B.G.* (2020) Random Interaction Effect of Digital Transformation on General Price Level and Economic Growth. Foresight and STI Governance.– V. 14, №1. P. 29...47. DOI: 10.17323/2500-2597.2020.1.29.47

5. *Абрамова М.А., Дубова С.Е., Рубцов В.В.* Финансовые и денежно-кредитные инструменты реализации национальных проектов // Экономика. Налоги. Право. – 2020. Т. 13, № 3. С. 6...16.

6. *Волкова И.О., Яковлева А.Ю.* Диагностика условий развития инновационных экосистем в энергетике // Инновации. – 2017, № 10 (228). С. 52...60.

7. *Кашицына Т.Н., Гончаренко Л.П., Амосова Н.А.* Формирование инструментария развития инновационной инфраструктуры текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №5. С. 10...14.

8. *Эскиндаров и др.* Направления развития финтех в России: экспертное мнение Финансового университета // Мир новой экономики. – 2018. Т. 12, №2. С. 6...23.

9. *Белозеров С., Соколовская Е., Ким Ю.* Финтех как фактор трансформации глобальных финансовых рынков // Форсайт. – 2020. Т. 14, № 2. С. 23...35.

10. *Александрова Л.С., Бердышев А.В., Бурякова А.О., Варнавский А.В., Гайдамака А.И., Захарова О.В., Матвеевский С.С.* Банки и финтех-компания: взаимодействие и конкуренция – М.: Русайнс, 2021.

11. *Архипова Л.С., Гагарина Г.Ю., Архипов А.М.* Конкуренция как основа экономики: концептуальные подходы к исследованию роли конкуренции. – М.: ИНФРА-М, 2021. (Научная мысль). DOI 10.12737/6813. ISBN 978-5-16-010478-2. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1233662>.

12. *Кузусева Т.В., Новицкая А.И., Вертий Т.А.* Концепция, современное состояние, перспективы сетевых форм взаимодействия в экономике. – М.: Русайнс, 2020. ISBN 978-5-4365-6732-7. URL: <https://book.ru/book/940039>.

13. *Полтарыхин А.Л.* Проблемы развития добросовестной конкуренции в эпоху цифровой экономики. – М.: Русайнс, 2021. ISBN 978-5-4365-5160-9. URL: <https://book.ru/book/936733>.

14. *Пармененков К.Н.* Управление процессом развития конкуренции и монополизации в условиях повышения конкурентоспособности России. М.: ИНФРА-М, 2018. (Научная мысль). - ISBN 978-5-16-003694-6. URL: <https://znanium.com/catalog/product/953151>

15. *Gospodarchuk G., Amosova N.* Geo-financial Stability of the Global Banking System. // Banks and Bank Systems. – 2020. Т 15, № 4. С. 164...178.

16. *Philippe Aghion, Reda Cherif and Fuad Hasanov.* Competition, Innovation, and Inclusive Growth, IMF Working Paper, WP/21/80, March 2021, URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2021/03/19/Competition-Innovation-and-Inclusive-Growth-50269>.

17. *Yan Wang, Siyuan Qi.* Competition and monopoly in digital economy ecology, Judge Business School, the University of Cambridge, UK, Working Group on E-Commerce, World Customs Organization, Renmin University, Beijing, China, URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3854529.

18. *Nicolas Petit.* Technology Giants, the Moligopoly Hypothesis and Holistic Competition: A Primer, European University Institute - Department of Law (LAW), Jun 2019, URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2856502.

19. *Cheng G., Mevis D.* (2019). What happened to profitability? Shocks, challenges and perspectives for euro area banks //The European Journal of Finance. – 2019. V. 25, №. 1. P. 54...78.

20. *Bailey A.* (2021). It's a recovery, but not as we know it Speech by Mr. Andrew Bailey, Governor of the Bank of England, Mansion House, London, 1 July 2021. / URL: <https://www.bis.org/review/r210702e.pdf>

21. *Kutzbach M., Lloro A., Weinstein J., Chu K.* (2020). How America banks: household use of banking and financial services. FDIC Survey, October 2020; / URL: <https://www.fdic.gov/analysis/household-survey/2019execsum.pdf>

22. *Лаврушин О.И.* Доверие к участникам финансового рынка: модели его оценки и повышения в условиях цифровой трансформации / Под ред. Ларионова И.В., Валенцева Н.И., Рудакова О.С., Авис О.У., Екимова Н.А., Зубкова С.В., Мешкова Е.И., Чичуленков Д.А. – М.: КноРус, 2021. ISBN 978-5-406-08841-8. URL: <https://book.ru/book/941526>
23. *Эйдис И.* Доверие как детерминант будущего спроса на технологии / Форсайт. – 2020. Т. 14, № 1. С. 60...68.
24. *Суглобов А.Е., Смирнова Е.В.* Сетевая модель российской национальной инновационной системы: формирование и развитие. – 2-е изд. – М.: РИОР: ИНФРА-М, 2020. ISBN 978-5-369-01755-5. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1045714>.
25. *Шерстобитова Т.И., Семеркова Л.Н.* Маркетинговое управление взаимодействием субъектов инновационной сферы. – М.: ИНФРА-М, 2019. (Научная мысль). www.dx.doi.org/10.12737/monography_5c6e4bc7f3e1c1.77794347. ISBN 978-5-16-014237-1. URL: <https://znanium.com/catalog/product/971769>.
26. *Морозова Ю.В., Травкина Е.В.* Цифровые технологии в российских банках: современное развитие и проблемы // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. – 2020, № 1 (80). С. 96...99
27. *Пурванто П., Кусванди К., Фатмах Ф.* Интерактивные приложения с искусственным интеллектом: факторы доверия пользователей. – 2020. Т.14, № 2. С. 64...75.
28. *Anton Korinek, Martin Schindler, and Joseph E. Stiglitz.* Technological Progress, Artificial Intelligence, and Inclusive Growth, IMF Working Paper, WP/21/166, June 2021, URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2021/06/11/Technological-Progress-Artificial-Intelligence-and-Inclusive-Growth-460695>.
29. *Neittaanmäki P., Galeieva E., Ogbechie A.* Platform Economy & Digital Platforms. – URL: <https://www.jyu.fi/it/fi/tutkimus/julkaisut/it-julkaisut/platform-economy-verk.pdf>
30. *Asadullah A, Faik I., Kankanhalli A.* Digital Platforms: A Review and Future Directions / Conference: PACIS 2018 PROCEEDINGS At: Yokohama, Japan
31. *Parker G., van Alstyne M., Choudary S.* Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy and How to Make Them Work for You. Kindle Edition, 2016, 211p.
32. *Jian Jia, Ginger Zhe Jin, Liad Wagman.* Platform as a Rule Maker: Evidence from Airbnb's Cancellation Policies, May 2021, URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3851754.
33. *Sergio Gorjón.* Digital Platforms: developments in their regulation and challenges in the financial arena, BANKODE ESPANA, Eurosistema, Analytical Articles, Economic Bulletin 4/2020 URL: https://www.bde.es/bde/en/utiles/Canal_RSS/Publicaciones/plataformas-digitales--avances-en-su-regulacion-y-retos-en-el-ambito-financiero.html.
34. *Cutolo D., Hargadon A. & Kenney M.* (2021). Competing on platforms: Recognizing and navigating the risks. Sloan Management Review, (Spring), 1-8.
35. *Neittaanmäki P., Galeieva E., Ogbechie A.* Platform Economy & Digital Platforms. – URL: <https://www.jyu.fi/it/fi/tutkimus/julkaisut/it-julkaisut/platform-economy-verk.pdf>
36. *Рудакова О.С., Маркова О.М.* Модель цифровой финансовой экосистемы в структуре инновационных банковских бизнес-моделей//Банковские услуги. – 2021, № 4/ С.9...15.
37. *Пащковская И. В.* Проблемы формирования новой экосистемы индустрии финансовых услуг // Сб. научн. ст.: Проблемы конфигурации глобальной экономики XXI века: идея социально-экономического прогресса и возможные интерпретации / Под ред. С.А. Толкачева. – Краснодар: Научно-исследовательский институт экономики Южного федерального округа, 2018. С. 317...324.
38. *Estelle Xue Liu.* Authorized for distribution by Alfredo Cuevas. Stay Competitive in the Digital Age: The Future of Banks, IMF Working Paper, European Department, WP/21/46, February 2021, URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2021/02/19/Stay-Competitive-in-the-Digital-Age-The-Future-of-Banks-50071>.
39. *Рудакова О.С.* Трансформация бизнес-моделей банков в цифровой экономике // Банковское право. – 2017, № 4. С. 50...54.
40. *Пащковская И.В.* Тенденции развития цифрового банкинга // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. – 2019, № 3(22). С. 46...52.
41. *Amosova N.A., Kosobutskaya A.Y., Luskatova O.V. & Ravohanginirina A.V.* (2021). Unregulated Use of Blockchain Technologies in the Financial Markets. In Impact of Disruptive Technologies on the Sharing Economy (pp. 180-202). IGI Global // URL: <https://www.igi-global.com/book/impact-disruptive-technologies-sharing-economy/228089#description>
42. *Пашин Н.П., Волошина И.А., Харькин В.В.* Решение проблем оценки и регулирования напряженности на рынке труда: практика и современные подходы // Рынок труда и занятость. – 2021, № 1. С.8...23.
43. *Cunliffe J.* (2021). Do we need "public money"? - speech by Jon Cunliffe Given at the OMFIF Digital Money Institute, London. Published on 13 May 2021/ URL: <https://www.bankofengland.co.uk/speech/2021/may/jon-cunliffe-omfif-digital-monetary-institute-meeting>
44. Банк России (2021). Доклад для общественных консультаций. Экосистемы: подходы к регулированию, Банк России, Москва, апрель 2021 года, URL: http://www.cbr.ru/content/document/file/119960/consultation_paper_02042021.pdf.
45. International Monetary Fund (2021). World Economic Outlook: Managing Divergent Recoveries. Washington, DC, April. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/03/23/world-economic-outlook-april-2021>

46. International Monetary Fund (2021, April). Global Financial Stability Report: Preempting a Legacy of Vulnerabilities. Washington, DC, April. / URL: <https://www.imf.org/en/Publications/GFSR/Issues/2021/04/06/global-financial-stability-report-april-2021>

47. Технологии финансовых услуг в 2020 году и в дальнейшем: революционные перемены / Доклад PwC// URL: https://www.pwc.ru/banking/publications/_FinTech2020_Rus.pdf

48. ВТБ Банк: официальный сайт. – Информационная база данных. – 2021. – URL: <https://www.vtb.ru/>.

49. СберБанк: официальный сайт. – Информационная база данных. 2021. – URL: <https://www.sberbank.ru>.

50. Тинькофф Банк: официальный сайт. Информационная база данных. – 2021. – URL: <https://www.tinkoff.ru/>

51. Глобальный индекс сетевого взаимодействия (Global Connectivity Index, GCI) (Huawei) сайт.-2021- URL: <https://www.huawei.com/minisite/gci/en/country-profile.html>.

52. Банк России (2020). Анализ системных рисков в рамках макропруденциального стресс-тестирования Аналитическая записка. - Москва. – 2021 / URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/117583/analytic_note_20201225_dfs.pdf

53. Банк России (2021) Доклад для общественных консультаций. Регулирование рисков участия банков в экосистемах и вложений в иммобилизованные активы, Банк России, Москва, июнь 2021 года, URL:

http://www.cbr.ru/content/document/file/123688/consultation_paper_23062021.pdf

54. Банк России (2021, июль). Основные направления развития финансового рынка Российской Федерации на 2022 год и период 2023 и 2024 годов. Проект для общественного обсуждения от 23.07.2021. - Москва. – 2021 / URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/124658/onrfr_project.pdf

55. Basel Committee on Banking Supervision (2021). Early lessons from the Covid-19 pandemic on the Basel reforms. July 2021 // URL: <https://www.bis.org/bcbs/publ/d521.pdf>

56. European Commission (2020a). Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on contestable and fair markets in the digital sector (digital markets act). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=COM%3A2020%3A842%3AFIN>.

57. European Commission (2020b). Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on a single market for digital services (digital services act) and amending directive 2000/31/EC. URL:<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=COM:2020:825:FIN>.

58. International Association of Deposit Insurers (2020). Deposit Insurance and Financial Inclusion: Current Trends in Insuring Digital Stored Value Products. Research Paper. Prepared by the Financial Inclusion and Innovation Technical Committee (Core Principles and Research Council Committee) // FII_for_official_publication_final_19032020.pdf; URL: [https://www.iadi.org/](https://www.iadi.org/en/assets/File/Papers/Approved%20Research%20-%20Discussion%20Papers/FII_for_official_publication_final_19032020.pdf)

[en/assets/File/Papers/Approved%20Research%20-%20Discussion%20Papers/FII_for_official_publication_final_19032020.pdf](https://www.iadi.org/en/assets/File/Papers/Approved%20Research%20-%20Discussion%20Papers/FII_for_official_publication_final_19032020.pdf)

REFERENCES

1. Cœuré B. (2019). Digital challenges to the international monetary and financial system", speech at a conference on "The future of the international monetary system, Luxembourg, 17 September 2019 / URL: <https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2019/html/ecb.sp190917~9b63e0ea23.en.html>

2. Babus A., Hachem K.C. (2019). Markets for Financial Innovation. NBER Working Papers 25477, National Bureau of Economic Research, Inc. / URL: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w25477/w25477.pdf

3. Alexandre de Stree, Richard Feasey, Jan Kramer, Giorgio Monti. Making the Digital Markets Act More Resilient and Effective, Centre on Regulation in Europe (CERRE), University of Namur, University of Passau, Tilburg Law, Economics Center (TILEC), May 2021, URL: <https://papers.ssrn.com/sol3/results.cfm>

4. Choy B.G. (2020) Random Interaction Effect of Digital Transformation on General Price Level and Economic Growth. Foresight and STI Governance. - V.14, №1.P. 29...47. DOI: 10.17323/2500-2597.2020.1.29.47

5. Abramova M.A., Dubova S.E., Rubtsov V.V. Finansovye i denezhno-kreditnye instrumenty realizatsii natsional'nykh proektov // Ekonomika. Nalogi. Pravo. – 2020. T. 13, № 3. S. 6...16.

6. Volkova I.O., Yakovleva A.Yu. Diagnostika usloviy razvitiya innovatsionnykh ekosistem v energetike // Innovatsii. – 2017, № 10 (228). S. 52...60.

7. Kashitsyna T.N., Goncharenko L.P., Amosova N.A. Formirovanie instrumentariya razvitiya innovatsionnoy infrastruktury tekstil'noy promyshlennosti // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2016, №5. S. 10...14.

8. Eskindarov i dr. Napravleniya razvitiya fintekha v Rossii: ekspertnoe mnenie Finansovogo universiteta // Mir novoy ekonomiki. – 2018. T. 12, №2. S. 6...23.

9. Belozеров S., Sokolovskaya E., Kim Yu. Fintekh kak faktor transformatsii global'nykh finansovykh rynkov // Forsayt. – 2020. T. 14, № 2. S. 23...35.

10. Aleksandrova L.S., Berdyshev A.V., Buryakova A.O., Varnavskiy A.V., Gaydamaka A.I., Zakharova O.V., Matveevskiy S.S. Banki i fintekh-kompanii: vzaimodeystvie i konkurentsia – M.: Rusayns, 2021.

11. Arkhipova L.S., Gagarina G.Yu., Arkhipov A.M. Konkurentsia kak osnova ekonomiki: kontseptual'nye podkhody k issledovaniyu roli konkurentsii. – M.: INFRA-M, 2021. (Nauchnaya mysl'). DOI 10.12737/6813. ISBN 978-5-16-010478-2. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1233662>.

12. Kugusheva T.V., Novitskaya A.I., Vertiy T.A. Kontseptsia, sovremennoe sostoyanie, perspektivy setevykh form vzaimodeystviya v ekonomike. – M.: Rusayns, 2020. ISBN 978-5-4365-6732-7. URL: <https://book.ru/book/940039>.

13. Poltarykhin A.L. Problemy razvitiya dobrosovestnoy konkurentsii v epokhu tsifrovoy ekonomiki. – M.: Rusayns, 2021. ISBN 978-5-4365-5160-9. URL: <https://book.ru/book/936733>.
14. Parmenenkov K.N. Upravlenie protsessom razvitiya konkurentsii i monopolizatsii v usloviyakh povysheniya konkurentosposobnosti Rossii. M.: INFRA-M, 2018. (Nauchnaya mysl'). - ISBN 978-5-16-003694-6. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/953151>
15. Gospodarchuk G., Amosova N. Geo-financial Stability of the Global Banking System. // Banks and Bank Systems. – 2020. T 15, № 4. S. 164...178.
16. Philippe Aghion, Reda Cherif and Fuad Hasanov. Competition, Innovation, and Inclusive Growth, IMF Working Paper, WP/21/80, March 2021, URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2021/03/19/Competition-Innovation-and-Inclusive-Growth-50269>.
17. Yan Wang, Siyuan Qi. Competition and monopoly in digital economy ecology, Judge Business School, the University of Cambridge, UK, Working Group on E-Commerce, World Customs Organization, Renmin University, Beijing, China, URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3854529.
18. Nicolas Petit. Technology Giants, the Monopoly Hypothesis and Holistic Competition: A Primer, European University Institute - Department of Law (LAW), Jun 2019, URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2856502.
19. Cheng G., Mevis D. (2019). What happened to profitability? Shocks, challenges and perspectives for euro area banks //The European Journal of Finance. – 2019. V. 25, №. 1. P. 54...78.
20. Bailey A. (2021). It's a recovery, but not as we know it Speech by Mr. Andrew Bailey, Governor of the Bank of England, Mansion House, London, 1 July 2021. / URL: <https://www.bis.org/review/r210702e.pdf>
21. Kutzbach M., Lloro A., Weinstein J., Chu K. (2020). How America banks: household use of banking and financial services. FDIC Survey, October 2020; / URL: <https://www.fdic.gov/analysis/household-survey/2019execsum.pdf>
22. Lavrushin O.I. Doverie k uchastnikam finansovogo rynka: modeli ego otsenki i povysheniya v usloviyakh tsifrovoy transformatsii / Pod red. Larionova I.V., Valentseva N.I., Rudakova O.S., Avis O.U., Ekimova N.A., Zubkova S.V., Meshkova E.I., Chichulenkov D.A. – M.: KnoRus, 2021. ISBN 978-5-406-08841-8. URL: <https://book.ru/book/941526>
23. Eydis I. Doverie kak determinant budu-shchego sprosna na tekhnologii / Forsayt. – 2020. T. 14, № 1. S. 60...68.
24. Suglobov A.E., Smirnova E.V. Setevaya model' rossiyskoy natsional'noy innovatsionnoy sistemy: formirovanie i razvitie. – 2-e izd. – M.: RIOR: INFRA-M, 2020. ISBN 978-5-369-01755-5. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1045714>.
25. Sherstobitova T.I., Semerkova L.N. Marketing-ovoe upravlenie vzaimodeystviem sub"ektov innovatsionnoy sfery. – M.: INFRA-M, 2019. (Nauchnaya mysl'). www.dx.doi.org/10.12737/monography_5c6e4bc7f3e1c1.77794347. ISBN 978-5-16-014237-1. URL: <https://znanium.com/catalog/product/971769>.
26. Morozova Yu.V., Travkina E.V. Tsifrovye tekhnologii v rossiyskikh bankakh: sovremennoe razvitiye i problemy // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta. – 2020, № 1 (80). S. 96...99
27. Purvanto P., Kusvandi K., Fatmakh F. Interaktivnye prilozheniya s iskusstvennym intellektom: factory doveriya pol'zovateley. – 2020. T.14, № 2. S.64...75.
28. Anton Korinek, Martin Schindler, and Joseph E. Stiglitz. Technological Progress, Artificial Intelligence, and Inclusive Growth, IMF Working Paper, WP/21/166, June 2021, URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2021/06/11/Technological-Progress-Artificial-Intelligence-and-Inclusive-Growth-460695>.
29. Neittaanmäki P., Galeieva E., Ogbechie A. Platform Economy & Digital Platforms. – URL: <https://www.jyu.fi/it/fi/tutkimus/julkaisut/it-julkaisut/platform-economy-verk.pdf>
30. Asadullah A, Faik I, Kankanhalli A. Digital Platforms: A Review and Future Directions / Conference: PACIS 2018 PROCEEDINGS At: Yokohama, Japan
31. Parker G., van Alstyne M., Choudary S. Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy and How to Make Them Work for You. Kindle Edition, 2016, 211r.
32. Jian Jia, Ginger Zhe Jin, Liad Wagman. Platform as a Rule Maker: Evidence from Airbnb's Cancellation Policies, May 2021, URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3851754.
33. Sergio Gorjón. Digital Platforms: developments in their regulation and challenges in the financial arena, BANKODE ESPANA, Eurosistema, Analytical Articles, Economic Bulletin 4/2020 URL: https://www.bde.es/bde/en/utiles/Canal_RSS/Publicaciones/plataformas-digitales--avances-en-su-regulacion-y-retos-en-el-ambito-financiero.html.
34. Cutolo D., Hargadon A. & Kenney M. (2021). Competing on platforms: Recognizing and navigating the risks. Sloan Management Review, (Spring), 1-8.
35. Neittaanmäki P., Galeieva E., Ogbechie A. Platform Economy & Digital Platforms. – URL: <https://www.jyu.fi/it/fi/tutkimus/julkaisut/it-julkaisut/platform-economy-verk.pdf>
36. Rudakova O.S., Markova O.M. Model' tsifrovoy finansovoy ekosistemy v strukture innovatsionnykh bankovskikh biznes-modeley//Bankovskie uslugi. – 2021, № 4/ S.9...15.
37. Pashkovskaya I. V. Problemy formirovaniya novoy ekosistemy industrii finansovykh uslug // Sb. nauchn. st.: Problemy konfiguratsii global'noy ekonomiki XXI veka: ideya sotsial'no-ekonomicheskogo progressa i vozmozhnye interpretatsii / Pod red. S.A. Tolkacheva. – Krasnodar: Nauchno-issledovatel'skiy institut ekonomiki Yuzhnogo federal'nogo okruga, 2018. S. 317...324.
38. Estelle Xue Liu. Authorized for distribution by Alfredo Cuevas. Stay Competitive in the Digital Age: The Future of Banks, IMF Working Paper, European

Department, WP/21/46, February 2021, URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2021/02/19/Stay-Competitive-in-the-Digital-Age-The-Future-of-Banks-50071>.

39. Rudakova O.S. Transformatsiya biznes-modelyey bankov v tsifrovoy ekonomike // *Bankovskoe pravo*. – 2017, № 4. S. 50...54.

40. Pashkovskaya I.V. Tendentsii razvitiya tsifrovogo bankinga // *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya ekonomiki: rossiyskiy i zarubezhnyy opyt*. – 2019, № 3(22). S. 46...52.

41. Amosova N.A., Kosobutskaya A.Y., Luskatova O.V. & Ravohanginirina A.V. (2021). Unregulated Use of Blockchain Technologies in the Financial Markets. In *Impact of Disruptive Technologies on the Sharing Economy* (pp. 180-202). IGI Global // URL: <https://www.igi-global.com/book/impact-disruptive-technologies-sharing-economy/228089#description>

42. Pashin N.P., Voloshina I.A., Khar'kin V.V. Reshenie problem otsenki i regulirovaniya napryazhennosti na rynke truda: praktika i sovremennye podkhody // *Rynok truda i zanyatost'*. – 2021, № 1. S.8...23.

43. Cunliffe J. (2021). Do we need "public money"? - speech by Jon Cunliffe Given at the OMFIF Digital Money Institute, London. Published on 13 May 2021/ URL: <https://www.bankofengland.co.uk/speech/2021/may/jon-cunliffe-omfif-digital-monetary-institute-meeting>

44. Bank Rossii (2021). Doklad dlya obshchestvennykh konsul'tatsiy. Ekosistemy: podkhody k regulirovaniyu, Bank Rossii, Moskva, aprel' 2021 go-da, URL: http://www.cbr.ru/content/document/file/119960/consultation_paper_02042021.pdf.

45. International Monetary Fund (2021). World Economic Outlook: Managing Divergent Recoveries. Washington, DC, April. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/03/23/world-economic-outlook-april-2021>

46. International Monetary Fund (2021, April). Global Financial Stability Report: Preempting a Legacy of Vulnerabilities. Washington, DC, April. / URL: <https://www.imf.org/en/Publications/GFSR/Issues/2021/04/06/global-financial-stability-report-april-2021>

47. Tekhnologii finansovykh uslug v 2020 godu i v dal'neishem: revolyutsionnye peremeny / Doklad PwC// URL: https://www.pwc.ru/ru/banking/publications/_FinTech2020_Rus.pdf

48. VTB Bank: ofitsial'nyy sayt. – Informatsionnaya baza dannykh. - 2021. – URL: <https://www.vtb.ru/>.

49. SberBank: ofitsial'nyy sayt. – Informatsionnaya baza dannykh.2021. – URL: <https://www.sberbank.ru>.

50. Tin'koff Bank: ofitsial'nyy sayt. Informatsionnaya baza dannykh. – 2021. – URL: <https://www.tinkoff.ru/>

51. Global'nyy indeks setevogo vzaimodeystviya (Global Connectivity Index, GCI) (Huawei) sayt.-2021-URL: <https://www.huawei.com/minisite/gci/en/country-profile.html>.

52. Bank Rossii (2020). Analiz sistemnykh riskov v ramkakh makroprudentsial'nogo stress-testirovaniya Analiticheskaya zapiska. - Moskva. – 2021 / URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/117583/analytic_note_20201225_dfs.pdf

53. Bank Rossii (2021) Doklad dlya obshchestvennykh konsul'tatsiy. Regulirovanie riskov uchastiya bankov v ekosistemakh i vlozheniy v immobilizovannyye aktivy, Bank Rossii, Moskva, iyun' 2021 goda, URL: http://www.cbr.ru/content/document/file/123688/consultation_paper_23062021.pdf

54. Bank Rossii (2021, iyul'). Osnovnye napravleniya razvitiya finansovogo rynka Rossiyskoy Federatsii na 2022 god i period 2023 i 2024 godov. Proekt dlya obshchestvennogo obsuzhdeniya ot 23.07.2021. - Moskva. – 2021 / URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/124658/onfr_project.pdf

55. Basel Committee on Banking Supervision (2021). Early lessons from the Covid-19 pandemic on the Basel reforms. July 2021 // URL: <https://www.bis.org/bcb/publ/d521.pdf>

56. European Commission (2020a). Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on contestable and fair markets in the digital sector (digital markets act). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=COM%3A2020%3A842%3AFIN>.

57. European Commission (2020b). Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on a single market for digital services (digital services act) and amending directive 2000/31/EC. URL:<https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/en/TXT/?uri=COM:2020:825:FIN>.

58. International Association of Deposit Insurers (2020). Deposit Insurance and Financial Inclusion: Current Trends in Insuring Digital Stored Value Products. Research Paper. Prepared by the Financial Inclusion and Innovation Technical Committee (Core Principles and Research Council Committee) // *FII_for_official_publication_final_19032020.pdf*; URL: https://www.iadi.org/en/assets/File/Papers/Approved%20Research%20-%20Discussion%20Papers/FII_for_official_publication_final_19032020.pdf

Рекомендована заседанием Департамента банковского дела и финансовых рынков. Поступила 13.12.21.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТОВАРНЫМИ ЗАПАСАМИ НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

IMPROVING THE EFFICIENCY OF INVENTORY MANAGEMENT BASED ON THE CREATION OF STATISTICAL MODELS

С.Б. ЛАПШИНОВ, Я.Э. ЖУКОВА, С.Н. СПЕРАНСКИЙ, Т. АМАРЖАРГАЛАН

S.B. LAPSHINOV, YA.E. ZHUKOVA, S.N. SPERANSKY, T. AMARJARGALAN

(Частное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования
"Институт бизнеса, информационных технологий и финансов",
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова (Ивановский филиал),
Монгольский университет технологии и дизайна)

(Private Educational Institution of Continuing Professional Education "Institute Of Business,
Informational Technologies and Financing",
Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov (Ivanovo branch),
Mongolian University of Science and Technology)

E-mail: lapshinov1974@yandex.ru; zhukovayana77@gmail.com; spiral971@mail.ru; tamarj argalan@yahoo.com

В статье рассматриваются подходы к оценке отдельных экономических показателей деятельности торгового предприятия и предложены пути по повышению эффективности управления товарными запасами при помощи статистических моделей. Используются методы построения сезонных и тренд-сезонных моделей для моделирования удовлетворения спроса с заданной вероятностью.

The article considers approaches to the assessment of individual economic indicators of a trading enterprise activity and suggests ways of improving the efficiency of inventory management using statistical models. The methods of constructing seasonal and trend-seasonal models are used to simulate demand satisfaction with a given probability.

Ключевые слова: товарный ассортимент, экономические показатели деятельности, статистические методы и модели, вероятность спроса, вероятностное прогнозирование.

Keywords: product range, economic performance indicators, statistical methods and models, demand probability, probabilistic forecasting.

Введение

В 2021 г. в экономике Российской Федерации продолжается преобладание негативных тенденций, связанных с потреблением как продовольственных, так и непродовольственных товаров. Несмотря на резкий сезонный рост цен на отдельные группы, прежде всего строительных материалов, в целом на рынке происходит стагнирование. В результате продавцы

сталкиваются с проблемами затаривания складов и образования огромного объема неликвидных позиций. Одним из решений вопросов, связанных со снижением количества неликвидных товаров в матрице торгово-логистических операторов и оптимизацией всего его ассортиментного поля, а также повышения оборачиваемости товарных запасов, является внедрение математических методов управления последними.

Крупные предприятия, особенно федеральные торговые сети, широко используют методы прогнозирования продаж и товарных запасов, моделируя поведение товарных позиций в канале продаж и нормируя их экономические показатели [1].

Для разных товарных позиций целесообразно использовать разные модели, отражающие их поведение на полке и при взаимодействии с покупателями.

В продовольственных товарах, особенно в товарах первой необходимости, спрос чаще всего подчиняется нормальному закону распределения, на основании чего можно спрогнозировать вероятность покупки данного товара в торговой точке покупателем и определить дисперсию для заданного характера кривой. При этом вероятность покупки товара колеблется около какой-то величины, следовательно, имея эти данные, можно спрогнозировать запас, перекрывающий возникающие потребности в товаре со стороны покупателя.

С непродовольственными товарами, а также продовольственными товарами не первой необходимости, такие способы прогнозирования продаж и, следовательно, товарных запасов неприменимы. Дело в характере спроса на данный товар. Например, мы идем в продуктовый магазин и покупаем молоко или кефир. Делаем мы это часто, примерно два-четыре раза в неделю. Продавцу достаточно просто спрогнозировать объем продаж в день как конверсию от покупательского трафика и держать необходимый дневной запас, обеспечивающий стабильный спрос. Кроме этого, данный товар обычно имеет низкий коэффициент сезонности, то есть продажи не зависят от времени года. Теперь представим ситуацию магазина с текстильными товарами в крупном торговом центре. Вероятность посещения данного магазина статистическим покупателем стремится к 1...2 процентам, а вероятность покупки конкретного товара еще меньше. При этом товар может обладать высокой сезонностью, то есть изменение спроса в нашей ситуации в зависимости от времени года (в настоящей работе внутринедельную и внутринедельную сезонность мы не рассматриваем). При этом на

решение о покупке могут влиять факторы, значимые для одного клиента и незначимые для другого. В этом случае имеет место спорадический спрос, обусловленный статистически незначимыми величинами и не поддающийся традиционным методам прогнозирования. Поэтому большинство непродовольственных товаров имеет характер спроса, сильно отличающийся от нормального. Продавцу достаточно точно можно спрогнозировать спрос за период, например, месяц или высокий сезон продаж, условно "май - август", и невозможно спрогнозировать спрос на конкретный день, так как не удастся определить наиболее вероятную величину продаж по данному товару, или математическое ожидание. Следствием этого является тот факт, что наиболее вероятный исход при посещении покупателем торговой точки является "не покупка" данного товара. Следовательно, для подобных товаров неприменимы такие характеристики, как средняя покупка и среднесуточная скорость продаж.

В настоящей статье рассматриваются методы, применяемые к управлению запасами товарных позиций, спрос на которые носит несистематизированный или спорадический характер и не подчиняющийся нормальному закону распределения вероятностей, обеспечивающему продавцу заданный уровень удовлетворения покупательского спроса с минимальными дефицитами и минимальным товарным запасом.

Метод исследования

Приступая к исследованию, необходимо определить основные понятия, при помощи которых будет проводиться оценка деятельности эффективности менеджерских решений в области управления товарными запасами.

Объектом исследования является процесс реализации товаров на торговом предприятии, осуществляющем оптовую и розничную торговлю текстильными изделиями.

В качестве предмета исследования выбран объем товарного запаса оптово-розничного предприятия по продаже текстильных изделий, обеспечивающий удовлетворение спроса покупателя в каждый

конкретный момент времени в зависимости от месяца продаж.

Метод исследования – вероятностное прогнозирование товарного запаса, обеспечивающего удовлетворение покупательского спроса с заданной вероятностью.

Суть метода заключается в определении вероятности исхода каждого дневного события, например: отсутствие покупки, покупка 1 штуки, покупки 2 штук и т. д. - $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$. Вероятность определяется как отношение данного исхода ко всем исходам в рамках сезонного цикла – отдельно рассчитывается для высокого сезона и низкого сезона, так как внутри данных периодов спрос изменяется нелинейно. После этого определяем суммарную вероятность того или иного исхода.

Например, если длительность сезона 6 месяцев или 183 дня, то суммарная вероятность события с нулевой продажей по конкретному товару определяется по формуле:

$$\Sigma P_0 = 1/183 \cdot N, \quad (1)$$

где N – количество исходов с нулевой продажей.

Пусть у нас в течение сезона 10 раз конкретный товар не продавался, значит суммарная вероятность событий с нулевой продажей окажется равной: $1/183 \cdot 10 = 5,46\%$, что означает, вероятность удовлетворения спроса при нулевом запасе.

Продажа одной штуки в день произошла 20 раз, следовательно суммарная вероятность события с однократной покупкой окажется равной: $1/183 \cdot 20 = 10,93\%$.

Таким образом, имея в запасе 1 единицу товара на начало дня, мы удовлетворим спрос на $5,46\% + 10,93\% = 16,39\%$.

Просуммировав таким образом вероятности всех возможных исходов событий, мы определим значения товарных остатков, которые удовлетворяют возникающий спрос. После этого можно определить величину товарных запасов, удовлетворяющих спрос на некоторых целевых значениях, например, для товаров группа "А" - 95%, группы "В" - 85% и группы "С" - 70%.

В результате мы получаем некоторую величину товарного запаса, обеспечива-

ющую удовлетворение спроса в заданных значениях для условного периода.

Внутри сезона продажи товара могут колебаться существенным образом. Поэтому для определения товарного запаса в конкретный месяц используется классическая сезонная мультипликативная составляющая. Пример моделей сезонных составляющих представлен на рис. 1 (мультипликативная сезонная составляющая) и рис. 2 (аддитивная сезонная составляющая).

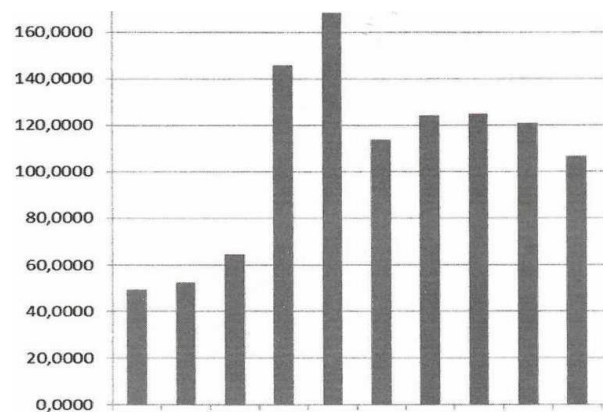


Рис. 1

Из мультипликативной модели через коэффициент мультипликации определяем коэффициенты для каждого месяца - самый низкий внутри сезона - 1 - январь, самый высокий - май - 3,40. Аддитивная модель служит для определения условно "высокого" и "низкого" сезона в течение года.

Из рис. 2 видно, что "низкий" сезон продаж, или "не сезон", приходится на январь, февраль, март, ноябрь и декабрь месяцы. Высокий сезон продаж, или сезон, на период апрель-октябрь.

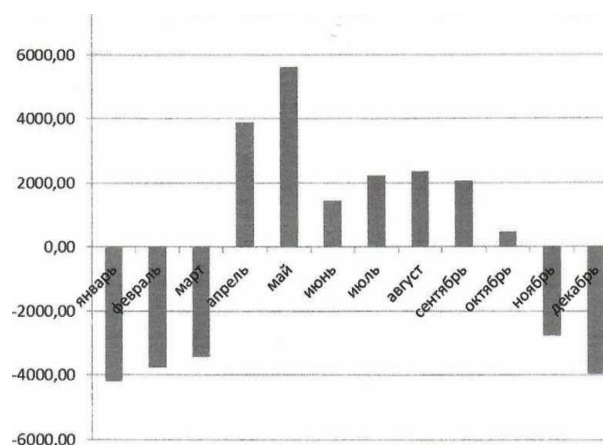


Рис. 2

Сопоставляя значение фактических продаж, соответствующее установленному нами целевому значению удовлетворения спроса с вероятностью в 95%, мы получаем, что в период низкого сезона 95% фактических продаж обеспечивает запас в 42 штуки, что соответствует самому продаваемому периоду вне сезона - ноябрю и 71 штук - самому продаваемому в высокий сезон - маю. Разделив максимальный запас на соответствующие коэффициенты, мы можем определить величину товарного запаса на каждый день в течение месяца в зависимости от сезона, всегда округляя его значения до целой величины, например "30,3" округляем до "31". Результаты приведены в табл. 1.

Таким образом, мы получаем сезонную модель управления запасами, базовым параметром оценки эффективности которой служит удовлетворение потенциального покупательского спроса с вероятностью 95%.

Данная модель обеспечивает высокий уровень эффективности прогнозирования в нормальных экономических условиях при инерционных сценариях, однако ее показатели ухудшаются при влиянии новых внешних факторов. Поэтому для ее совершенствования предлагается введение трендовой составляющей, учитывающей влияние существующих трендов текущего года, отражающихся в изменении продаж при сопоставлении месяц к месяцу.

Т а б л и ц а 1

Показатели \ Месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Коэффициент, отображающий сезонное изменение продаж	1,00	1,06	1,31	2,95	3,40	2,30	2,51	2,52	2,44	2,15	1,47	1,15
Расчетный дневной товарный запас $TZ_{расч}$	28,6	30,3	37,3	61,5	71,0	48,0	52,4	52,6	51,0	44,9	42,0	33,0
Рекомендованный дневной товарный запас, штуки	29	31	38	62	71	48	53	53	51	45	42	33

Например, если в 2020 г. продажи в январе и феврале были выше, чем аналогичные продажи в этих месяцах в 2019 г., то

подобную тенденция учитывают уже в расчете товарного запаса на апрель 2021 г., согласно формуле:

$$TZ_{расч. 042020} = (V_{п 012020} + V_{п022020}) / (V_{п012019} + V_{п 022019}) TZ_{расч. 042019}. \quad (2)$$

Как видно из формулы (2), если тенденции текущего периода имеют ниспадающий характер, мы также это учитываем, избегая возможной перетарки складов и образования "неликвидов".

Результаты и обсуждение

Результаты исследования были внедрены в 2020 г. на предприятии по изготовлению и продаже текстильных изделий.

Основной задачей было определить остатки, необходимые для снабжения существующей розничной торговой точки без потери розничных продаж, связанных с возможным дефицитом, и повысить уровень товарных запасов для оптовых клиентов.

Результаты внедрения представлены в табл. 2 (сравнительная характеристика моделей управления товарным запасом).

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Модель управления запасами	Расчетный остаток, шт.	Длительность оборота запасов, дни	Коэффициент оборачиваемости запасов
1	Ручное снабжение	37	87,5	4,2
2	Сезонная	6,93	16,64	21,9
3	Тренд-сезонная	5,16	12,57	29,0

Из табл. 2 видно, что сезонная и тренд-сезонная модели значительно улучшают коэффициент оборачиваемости товарных запасов и тем самым повышают их ликвидность.

При совместном применении ABC-анализа и установлении уровня вероятности удовлетворения покупательского спроса можно рекомендовать следующие значения:

- товары группы "А" - 95%;
- товары группы "В" - 85%;
- товары группы "С" - 70%.

ВЫВОДЫ

1. Спрос на большинство товаров имеет отличный от нормального закон распределения.

2. Большинство предприятий имеют существенный резерв для повышения ликвидности товарно-материальных запасов.

3. Несмотря на тот факт, что спрос на большинство товаров имеет спорадический характер, можно достаточно эффективно управлять товарными запасами, используя прогнозную вероятность удовлетворения спроса.

4. Статистические методы управления товарными запасами позволяют значительно улучшить финансовые показатели деятельности предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапишинов С.Б., Жукова Я.Э. Повышение эффективности управления ассортиментом торгового предприятия на основе статистических методов анализа данных // Вестник Алтайской академии экономики и права – 2020, № 5-2. С. 308...312.

2. Степанова С.М., Голощанова Л.В., Сперанский С.Н., Пахотин Н.Е. Интегральная оценка экономического потенциала промышленного предприятия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 1. С. 5...10. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_5.

3. Шахова И.Ю., Сперанский С.Н. Инвестиционный компонент в экономической безопасности региона: последствия пандемии // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2021, № 6-1. С.126...131. – DOI 10.17513/vaael.1738.

4. Ефремов Д.Е., Сперанский С.Н. Геометрические характеристики заправочной линии основы при поступательном перемещении скала по крон-

штейнам // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1997, № 1. С. 42.

5. Уткин А.И., Сперанский С.Н. Управление доходным потенциалом кластерообразующих предприятий Ивановской области // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №3. С.14...20.

6. Сперанский С.Н. Слияние и консолидация как способы оптимизации расходов и повышения эффективности управления компанией (на примере ПАО "Россети") // Сб. ст. по материалам II Всероссийской научн.-практ. конф. преподавателей, аспирантов, магистрантов Ивановского филиала Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова: Экономика регионов России: современное состояние и прогнозные перспективы, Иваново, 14–16 апреля 2020 года. – Иваново: Б. и., 2020. С.263...267.

7. Efremov D.E., Speranskii S.N., Pakhotina I.N. Interaction between the warp yarns and the backrest during complex movement // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. – 2003, № 6. P. 43...46.

REFERENCES

1. Lapshinov S.B., Zhukova Ya.E. Povyshenie effektivnosti upravleniya assortimentom torgovogo predpriyatiya na osnove statisticheskikh metodov analiza dannykh // Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava – 2020, № 5-2. S. 308...312.

2. Stepanova S.M., Goloshchapova L.V., Speranskiy S.N., Pakhotin N.E. Integral'naya otsenka ekonomicheskogo potentsiala promyshlennogo predpriyatiya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 1. S. 5...10. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_5.

3. Shakhova I.Yu., Speranskiy S.N. Investitsionnyy komponent v ekonomicheskoy bezopasnosti regiona: posledstviya pandemii // Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava. – 2021, № 6-1. S.126...131. – DOI 10.17513/vaael.1738.

4. Efremov D.E., Speranskiy S.N. Geometricheskie kharakteristiki zapravochnoy linii osnovy pri postupatel'nom peremeshchenii skala po kronshteynam // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1997, № 1. S. 42.

5. Utkin A.I., Speranskiy S.N. Upravlenie dokhodnym potentsialom klasteroobrazuyushchikh predpriyatiy Ivanovskoy oblasti // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 3. S.14...20.

6. Speranskiy S.N. Sliyanie i konsolidatsiya kak sposoby optimizatsii raskhodov i povysheniya effektivnosti upravleniya kompaniey (na primere PАО "Rosseti") // Sb. st. po materialam II Vserossiyskoy nauchn.-prakt. konf. prepodavateley, aspirantov, magistrantov Ivanovskogo filiala Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova: Ekonomika regionov Rossii: sovremennoe sostoyanie i prognoznye

perspektivy, Ivanovo, 14–16 aprelya 2020 goda. – Ivanovo: B. i., 2020. S.263...267.

7. Efremov D.E., Speranskii S.N., Pakhotina I.N. Interaction between the warp yarns and the backrest during complex movement // Izv. Proceedings of Higher

Education Institutions. Textile Industry Technology. – 2003, № 6. P. 43...46.

Рекомендована кафедрой экономики и прикладной информатики РЭУ имени Г.В. Плеханова (Ивановский филиал). Поступила 10.09.21.

УДК 331.104.2

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_64

**ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
НА РАЗВИТИЕ ТЕКСТИЛЬНО-ПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА
В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0**

**THE IMPACT OF HUMAN RESOURCES
ON THE DEVELOPMENT OF A TEXTILE AND INDUSTRIAL CLUSTER
IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0**

П.В. СИМОНИН, Н.В. КАПУСТИНА, Е.А. КОСТРОМИНА, Ю.В. КОСОЛАПОВ

P.V. SIMONIN, N.V. KAPUSTINA, E.A. KOSTROMINA, YU.V. KOSOLAPOV

**(Московский университет им. С.Ю. Витте,
Московский государственный университет
технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ),
Российский государственный университет туризма и сервиса,
Российский университет транспорта (МИИТ))**

**(S. Yu. Witte Moscow State University,
K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (PKU),
Russian State University of Tourism and Service,
Russian University of Transport (MIIT))**

E-mail: simoninp-v@mail.ru, kuzminova_n@mail.ru, ea_kostromina@mail.ru, pan_kosolapov@mail.ru

В современных российских условиях широкое распространение получила поддержка кластерного развития промышленности, улучшающего конкурентные характеристики предприятий и территорий. На основе институционально-кластерного подхода и проведенного теоретико-методологического обоснования проблемы использования человеческих ресурсов в условиях функционирования Индустрии 4.0 установлена усиленная интеграция "киберфизических систем", которую необходимо рассматривать в качестве новой парадигмы. Одновременно цифровые технологии требуют пересмотра рутин благодаря трансформации промышленной структуры, которая нуждается в использовании передовой и производительной рабочей силы по всей цепочке создания стоимости. Обосновывается получение положительных эффектов для стейкхолдеров и бизнеса от развития кластера на основе дирижистской модели, которая характеризуется охватом коллективными соглашениями и членством профсоюзов, благодаря которой создается адаптивная эффективность внутренней институциональной структуры кластера на основе коллаборации и промышленной демократии трудовых институтов. Одновременно применение цифровых технологий в обозримом будущем позволит сократить чрезмерную эксплуатацию ручного труда.

In modern Russian conditions, support for the cluster development of industry, which improves the competitive characteristics of enterprises and territories, has become widespread. On the basis of the institutional-cluster approach and the theoretical and methodological justification of the problem of using human resources in the context of the industry 4.0 functioning, the enhanced integration of "cyber-physical systems" has been established, which must be considered as a new paradigm. At the same time, digital technologies require a revision of routines due to the transformation of the industrial structure, which needs the use of advanced and productive labor throughout the value chain. The article substantiates the receipt of positive effects for stakeholders and business from the cluster development based on the dirigiste model, which is characterized by the coverage of collective agreements and trade union membership, thanks to which an adaptive efficiency of the internal institutional structure of the cluster is created on the basis of collaboration and industrial democracy of labor institutions. At the same time, the use of digital technologies in the foreseeable future will reduce the excessive exploitation of manual labor.

Ключевые слова: человеческие ресурсы, кластеры, Индустрия 4.0, цифровизация, рабочие места, институты, профсоюзы, стейкхолдеры.

Keywords: human resources, clusters, industry 4.0, digitalization, workplaces, institutions, trade unions, stakeholders.

Введение

Индустриализация способствовала росту различных отраслей промышленности, таких как текстильная промышленность, машиностроение и др. И эти изменения потребовали от рабочих новых навыков [1, с.8]. Текстильная промышленность имеет огромное социальное значение для страны, поскольку благодаря ей вырабатываются различные виды продукции [2, с.73...76]. Концепцию Индустрии 4.0 можно описать как увеличение объема оцифровки по всей цепочке создания стоимости [3, с.340]. Для этого необходим выбор наиболее эффективных способов управления человеческими ресурсами, который становится основной задачей руководства компании [4, с.51...54].

В условиях постепенного усложнения и децентрализации управления отдельными предприятиями и стремительным развитием технологий, связанных с усиленной интеграцией "киберфизических систем", используемых Индустрией 4.0 в условиях свободной, добросовестной конкуренции, возможно рассматривать эти процессы в качестве новой парадигмы в контексте использования человеческих ресурсов в масштабе кластеров. А поэтому предприятие

текстильной промышленности, как и любое другое промышленное предприятие, в процессе своей деятельности нуждается в постоянном развитии [5, с.285...287].

Методы

В этом исследовании делается попытка изучить важность эффективного использования человеческих ресурсов и оценки их влияния в рамках кластерных систем на основе раскрытия теоретико-методологических и прикладных основ и выработке соответствующих механизмов управления.

В исследовании была применена двухчастная методология. Во-первых, был использован системный подход в его самом общем виде, когда процессы рассматривались в кластерных системах с учетом общесистемных взаимодействий. Во-вторых, применялся институционально-кластерный подход и показано, что использование человеческих ресурсов прежде всего связано с трудовыми институтами Индустрии 4.0, в результате чего формируется новая парадигма развития кластера.

Результаты и обсуждения

В начале 60-х гг. XX в. признанный авторитет в исследовании человеческих ресурсов Г. Беккер обратился к проблеме инвестиций в человеческий капитал и

убедительно доказал, что крупные затраты на образование и подготовку кадров и их воспроизводство превосходят инвестиции в основные производственные фонды и технологии, обеспечивая при этом большой прирост добавленной стоимости [6, с.49...84].

Цифровые технологии преобразили промышленный и производственный мир и, чтобы идти в ногу с быстро растущими технологическими усовершенствованиями, сопровождающими Индустрию 4.0, существует колоссальная необходимость развиваться и модифицировать методы работы [7]. Четвертая промышленная революция обладает огромным потенциалом для преобразования российской промышленности [8]. Поэтому для этого важно "...создание организационных, технологических и коммуникационных условий, при которых знания и информация будут способствовать решению стратегических и тактических задач организации" [9]. Ввиду этого коммуникации являются одним из наиболее значимых инструментов повышения эффективности функционирования предприятия [10].

Важно заметить, что "...радикальные, быстрые изменения стремительно увеличивают потребность в передовой рабочей силе" [11, с. 44...45]. А поэтому очень важно "...повышение креативного уровня и качества человеческого и/или интеллектуального капитала" [12, с.95...104]. Именно

таких человеческих ресурсов недостает экономике России, поскольку "...успешная цифровизация организации будет сосредоточена на инвестициях и внедрении новейших технологий, возможно, замене ручных процессов автоматизированными ИТ-решениями" [13, с.3]. Цифровая экономика – это все виды экономической деятельности, основанные, ставшие возможными или существенно изменившиеся благодаря компьютерам, цифровым системам и микроэлектронике [14].

Иначе говоря, для развития кластера важно учитывать возможности для проведения НИОКР, специализированных и производительных человеческих ресурсов [15, с.46...47]. В свою очередь инновационная трансформация требует использования механизмов оценки эффективности проводимых изменений [16, с.29...37].

В предложенной интегрированной модели развития текстильно-промышленного кластера отражены достаточно понятные, но все же требующие определенного пояснения элементы (рис.1). Прежде всего выделяются типы управления текстильно-промышленным кластером во взаимосвязи с Индустрией 4.0. К достоинствам кластера относятся: доступность и качество специализированного сервиса, возможности для проведения НИОКР, специализированных и производительных человеческих ресурсов [17, с.47].



Рис. 1

В связи с отмеченным важно учитывать жизнеспособность любого института с учетом той модели, которая оптимальна и подходит для отдельных территорий. В российской практике более эффективным будет применение традиционной практики, которая с наибольшей апостериорной вероятностью позволит использовать дирижистскую модель и осуществить преобразующий поворот в отношении человеческих ресурсов и, в частности, отвечающей специфическим потребностям работников при активной роли государства и региональных властей в создании и развитии инновационно-ориентированных территориальных кластеров.

К сожалению, Россия и ее передовые регионы теряют кадровый потенциал науки [18, с.22]. Численность работников, профессионально занимающихся исследовани-

ями и разработками и непосредственно осуществляющих создание новых знаний, продуктов, процессов, сократилась за период 2000-2020 гг. на 18,6%, в то время как работников, участвующих в исследованиях и разработках и выполняющих технические функции, на 20,7%, вспомогательного и прочего персонала – на 29,3%. Все это указывает на недостаточную парето-эффективность использования человеческих ресурсов и человеческого капитала в промышленных кластерах (рис.2 – численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками в РФ) [19]. Знания, полученные в результате НИОКР, не являются конкурирующими, поэтому фирмы могут извлекать выгоду из инвестиций в НИОКР других фирм, даже если они находятся в разных отраслях или регионах [20].

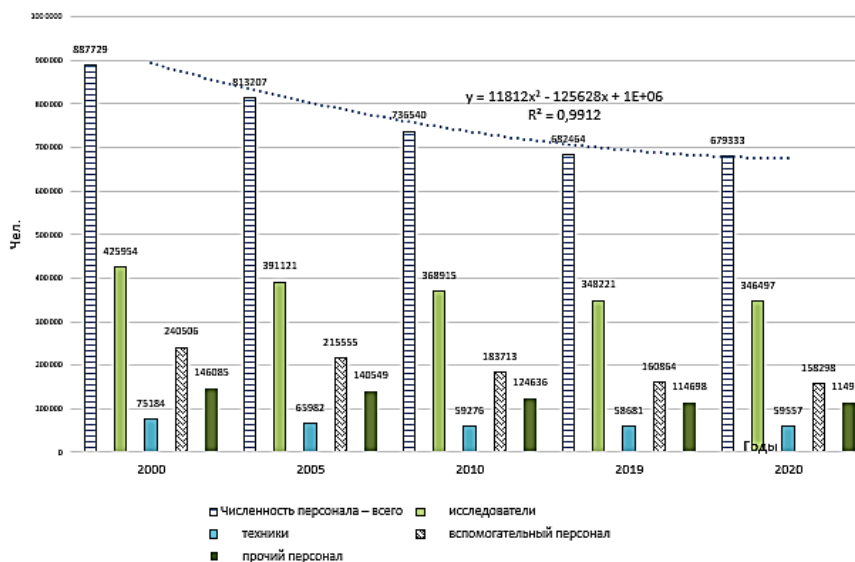


Рис. 2

Поэтому в кластерах подобного рода создаются дополнительные предпосылки для образования нематериальных активов, которые являются универсальным репозитарием для оцифровки интеллектуальной собственности, причем речь идет в большей степени не только о технологиях, но и о юридических правах или конкурентных преимуществах, которые имеются или приобретены владельцем. Европейская текстильная и швейная промышленность традиционно была регионально кластеризована.

Так, например, в настоящее время в европейской текстильной и швейной промышленности занято около 1,7 миллиона человек. Этот большой кадровый резерв нуждается в постоянном развитии и обновлении [21].

По мере развития кластеров в них формируется определенное количество членов профсоюзов (централизованный кластер: членство в профсоюзах Швеции $\chi_{п}=67,7\%$, уровень охвата коллективными соглашениями $K_{о}=89\%$; членство в профсоюзах

Российской Федерации $Ч_{п}=70,2\%$; гибридный кластер: членство в профсоюзах Германии $Ч_{п}=17,7\%$, уровень охвата коллективными соглашениями $К_{о}=57,6\%$; децентрализованный кластер: членство в профсоюзах Канады $Ч_{п}=27,2\%$, уровень охвата коллективными соглашениями $К_{о}=29,0\%$ [22]. Поэтому институты коллективной социальной защиты совместно со стейкхолдерами будут способствовать поддержанию устойчивых трудовых отношений и использования человеческих ресурсов на основе сотрудничества и промышленной демократии. В то же время в будущих исследованиях целесообразно конкретизировать и провести глубинный анализ институтов и институциональной структуры формирования, распределения и использования, а также аккумуляции человеческого капитала в промышленных кластерах.

ВЫВОДЫ

Таким образом, влияние человеческих ресурсов на развитие текстильно-промышленного кластера в условиях Индустрии 4.0 институционализирует появление кластеров трудового типа. В результате функционирования централизованного, децентрализованного и гибридного кластеров для участников социально-трудовых отношений формируется определенная модель выработки компромиссных решений и норм на основе коллективно-договорного использования человеческих ресурсов, что обеспечит реструктуризацию трудовых отношений и ослабление конфронтации сторон, наращивания человеческого капитала в производственной агломерации путем коллаборации связанных отраслей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nick H.M. van Dam (2017). The 4th Industrial Revolution & The Future of Jobs. Retrieved from <https://www.besthrcertification.org/docs/the-4th-industrial-revolution-the-future-of-jobs.pdf>
2. Ловкова Е.С., Аничкина О.А., Илюхина С.С. Развитие малого предпринимательства в текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 3. С.73...76.
3. Bayraktar Osman & Ataç Canan. (2018). The Effects of Industry 4.0 on Human Resources Management. P.340.
4. Штебнер С.В., Чубрина К.А., Лебедев И.А. Факторы экономического развития предприятий

текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 5. С.51...54.

5. Петрухин А.Б., Филимонова Н.М., Капустина Н.В. Принципы организации производственных процессов в целях повышения экономической безопасности предприятия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С.285...287.

6. Человеческое поведение: Экон. подход / Пер. с англ. / Эри С. Беккер; [Сост., науч. ред. пер., авт. послесл. Р. И. Капелюшников]. – М.: ГУ ВШЭ, 2003.

7. Gadre Monika & Deoskar Aruna. (2020). Industry 4.0 -Digital Transformation, Challenges and Benefits.

8. Gromova E. A. (2019). Digital economy development with an emphasis on automotive industry in Russia. *Espacios*. – Vol. 40, №6, 2019. P. 27. Retrieved from <https://www.http://www.revistaespacios.com/a19v40n06/a19v40n06p27.pdf>

9. Орехов Е.В. Интеллектуальные информационные системы в управлении развитием персонала // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2014, № 3 (9). С. 84...91.

10. Алексеев А.Н. Эффективность внутриорганизационных коммуникаций в промышленности // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2016, № 2 (17). С. 41...45. doi: 10.21277/2307-6135-2016-2-41-45

11. Lumi Ardelin. (2020). The Impact of Digitalisation on Human Resources Development // *Prizren social science journal*. – 4. 39-46. 10.32936/pssj.v4i3.178.

12. Салихов Б.В., Каримов А.О. Развитие интеллектуального капитала как функция когнитивного качества корпоративного доверия // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2017, № 3 (22). С.95...104. doi: 10.21777/2307-6135-2017-3-95-104

13. Swart M. The Digitalization of HR. Retrieved from <https://www.sumtotalsystems.com>

14. Бурцева Т.А., Зуева И.А. Направления совершенствования методик мониторинга реализации стратегий развития регионов в условиях цифровой информационной среды // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2018, № 4 (27). С. 43...50. doi: 10.21777/2587-554X-2018-4-43-50

15. Кластерная экономика и промышленная политика: теория и инструментарий / Под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015.

16. Кострова Ю.Б., Шибаршина О.Ю. Модель управления инновационной деятельностью компании: стратегический подход // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2020, № 2 (33). С. 29...37. doi: 10.21777/2587-554X-2020-2-29-37

17. Кластерная экономика и промышленная политика: теория и инструментарий / Под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015.

18. Хмелева Г.А. Человеческий капитал как условие формирования инновационной экономики региона. – Самара: САГМУ, 2012.

19. Федеральная служба государственной статистики. Наука и инновации. Извлечено из <https://rosstat.gov.ru/folder/14477?print=1>. Дата обращения: 22.09.2021

20. Blanco Luisa, Prieger James and Gu Ji. The Impact of Research and Development on Economic Growth and Productivity in the US States. (2013). Pepperdine University, School of Public Policy Working Papers. Paper 48.

21. Towards a 4th Industrial Revolution of Textiles and Clothing A Strategic Innovation and Research Agenda for the European Textile and Clothing Industry (2016). Retrieved from http://www.technofashion-world.com/files/2016/11/TextileETP_SIRA_public-version.pdf

22. Mundlak G. (2020). Organizing Matters Two Logics of Trade Union Representation. International Labour Organization. Retrieved from https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/-dgreports/-dcomm/-publ/documents/publication/wcms_741934.pdf

REFERENCES

1. Nick H.M. van Dam (2017). The 4th Industrial Revolution & The Future of Jobs. Retrieved from <https://www.besthrcertification.org/docs/the-4th-industrial-revolution-the-future-of-Jobs.pdf>

2. Lovkova E.S., Anichkina O.A., Ilyukhina S.S. Razvitie malogo predprinimatel'stva v tekstil'noy promyshlennosti // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 3. S.73...76.

3. Bayraktar Osman & Ataç Canan. (2018). The Effects of Industry 4.0 on Human Resources Management. P.340.

4. Shtebner S.V., Chubrina K.A., Lebedev I.A. Faktory ekonomicheskogo razvitiya predpriyatii tekstil'noy promyshlennosti // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, № 5. S.51...54.

5. Petrukhin A.B., Filimonova N.M., Kapustina N.V. Printsipy organizatsii proizvodstvennykh protsessov v tselyakh povysheniya ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatia // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, № 6. S.285...287.

6. Chelovecheskoe povedenie: Ekon. podkhod / Per. s angl. / Geri S. Bekker; [Sost., nauch. red. per., avt. poslesl. R. I. Kapelyushnikov]. – M.: GU VShE, 2003.

7. Gadre Monika & Deoskar Aruna. (2020). Industry 4.0 -Digital Transformation, Challenges and Benefits.

8. Gromova E. A. (2019). Digital economy development with an emphasis on automotive industry in Russia. Espacios. – Vol. 40, №6, 2019. P. 27. Retrieved from <https://www.revistaespacios.com/a19v40n06/a19v40n06p27.pdf>

9. Orekhov E.V. Intellektual'nye informatsionnye sistemy v upravlenii razvitiem personala // Vestnik Moskovskogo universiteta im. S.Yu. Vitte. Seriya 1: Ekonomika i upravlenie. – 2014, № 3 (9). S. 84...91.

10. Alekseev A.N. Effektivnost' vnutriorganizatsionnykh kommunikatsiy v promyshlennosti // Vestnik Moskovskogo universiteta im. S.Yu. Vitte. Seriya 1: Ekonomika i upravlenie. – 2016, № 2 (17). S. 41...45. doi: 10.21277/2307-6135-2016-2-41-45

11. Lumi Ardelin. (2020). The Impact of Digitalisation on Human Resources Development // Prizren social science journal. – 4. 39-46. 10.32936/pssj.v4i3.178.

12. Salikhov B.V., Karimov A.O. Razvitie intellektual'nogo kapitala kak funktsiya kognitivnogo kachestva korporativnogo doveriya // Vestnik Moskovskogo universiteta im. S.Yu. Vitte. Seriya 1: Ekonomika i upravlenie. – 2017, № 3 (22). S.95...104. doi: 10.21277/2307-6135-2017-3-95-104

13. Swart M. The Digitalization of HR. Retrieved from <https://www.sumtotalsystems.com>

14. Burtseva T.A., Zueva I.A. Napravleniya sovershenstvovaniya metodik monitoringa realizatsii strategiy razvitiya regionov v usloviyakh tsifrovoy informatsionnoy sredy // Vestnik Moskovskogo universiteta im. S.Yu. Vitte. Seriya 1: Ekonomika i upravlenie. – 2018, № 4 (27). S. 43...50. doi: 10.21277/2587-554X-2018-4-43-50

15. Klasternaya ekonomika i promyshlennaya politika: teoriya i instrumentariy / Pod red. d-ra ekon. nauk, prof. A.V. Babkina. – SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2015.

16. Kostrova Yu.B., Shibarshina O.Yu. Model' upravleniya innovatsionnoy deyatelnost'yu kompanii: strategicheskii podkhod // Vestnik Moskovskogo universiteta im. S.Yu. Vitte. Seriya 1: Ekonomika i upravlenie. – 2020, № 2 (33). S. 29...37. doi: 10.21277/2587-554X-2020-2-29-37

17. Klasternaya ekonomika i promyshlennaya politika: teoriya i instrumentariy / Pod red. d-ra ekon. nauk, prof. A.V. Babkina. – SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2015.

18. Khmeleva G.A. Chelovecheskiy kapital kak uslovie formirovaniya innovatsionnoy ekonomiki regiona. – Samara: SAGMU, 2012.

19. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Nauka i innovatsii. Izvlecheno iz <https://rosstat.gov.ru/folder/14477?print=1>. Data obrashcheniya: 22.09.2021

20. Blanco Luisa, Prieger James and Gu Ji. The Impact of Research and Development on Economic Growth and Productivity in the US States. (2013). Pepperdine University, School of Public Policy Working Papers. Paper 48.

21. Towards a 4th Industrial Revolution of Textiles and Clothing A Strategic Innovation and Research Agenda for the European Textile and Clothing Industry (2016). Retrieved from http://www.technofashion-world.com/files/2016/11/TextileETP_SIRA_public-version.pdf

22. Mundlak G. (2020). Organizing Matters Two Logics of Trade Union Representation. International Labour Organization. Retrieved from https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/-dgreports/-dcomm/-publ/documents/publication/wcms_741934.pdf

Рекомендована кафедрой финансов, бухгалтерского учета и экономической безопасности МГТУ имени К.Г. Разумовского (ПКУ). Поступила 08.10.21.

**ФИНАНСОВАЯ АРЕНДА (ЛИЗИНГ)
КАК ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ИНДУСТРИИ 4.0
В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**FINANCIAL LEASING
AS A TOOL FOR IMPLEMENTING THE INDUSTRY 4.0 STRATEGY
IN THE TEXTILE INDUSTRY**

И.В. ВЕРЖБИЦКИЙ

I.V. VERZHBITSKY

(Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финансовый университет))

(Financial University under the Government of the Russian Federation (Financial University))

E-mail: ivverzhbitskij2020@edu.fa.ru

В статье рассматривается вопрос необходимости обновления основных фондов текстильной промышленности и цифровизации отрасли. Актуальность темы продиктована износом основных фондов текстильной промышленности и необходимостью ее качественной трансформации. Цель статьи состоит в изучении преимуществ финансовой аренды как механизма обновления фондов текстильной промышленности. В исследовании были использованы описательные, статистические, сравнительные методы, классифицирование. Впервые приведен полный обзор мер государственной поддержки использования лизинга при обновлении основных средств.

The article discusses the issue of the need to update the fixed assets of the textile industry and digitalization of the industry. The relevance of the topic is dictated by the wear and tear of both the textile industry fixed assets and the need for its qualitative transformation. The purpose of the article is to study the advantages of financial leasing as a mechanism for renewing the assets of the textile industry. The study used descriptive, statistical, comparative methods and classification. For the first time, a complete overview of measures of state support for the use of leasing in the renewal of fixed assets is also given.

Ключевые слова: финансовая аренда (лизинг), текстильная промышленность, лизинговые компании, банковские группы, банки, Индустрия 4.0.

Keywords: finance lease, textile industry, leasing companies, banking groups, banks, industry 4.0.

Динамика развития легкой промышленности в 2018-2020 гг. демонстрировала устойчивый рост, несмотря на пандемию и спад в мировой экономике. Так, производство тканей за 2020 г. выросло на 8,5%, производство одежды и спецодежды – на 12,1%, производство нетканых материалов более чем на четверть [9, с.5]. Однако такие

результаты не должны успокаивать участников отрасли. Для гармоничного развития текстильной промышленности России необходимо техническое перевооружение и автоматизация.

Проблема автоматизации текстильной промышленности поднимается в статьях С.Е. Алдешова [2, с. 130], А.Б. Петрухина

[3, с. 28], И.И. Савельева [4, с. 13]. Авторы признают необходимость обновления устаревшей техники для преодоления отставания текстильной отрасли. Кроме того, одной из ключевых проблем текстильной отрасли на современном этапе является низкая производительность труда, о чем говорится в работе И.И. Савельева [4]. Ключом к решению данных проблем может стать цифровизация и обновление основных фондов текстильной промышленности, постепенное встраивание в Индустрию 4.0. Об этом, в частности, говорится в статье коллектива авторов под руководством Ч. Бая [5, с.15]. По мнению авторов, интернет вещей, мобильные технологии смогут наиболее благоприятным образом повлиять на целый ряд отраслей, в том числе текстильную.

Зачастую предприятия испытывают дефицит собственных средств и прибегают к тем или иным методам заемного финансирования. Услуги по предоставлению финансирования могут оказывать различные институты – кредитные организации, факторинговые компании, частные инвесторы, а также лизинговые компании, которые, как правило, входят в состав банковских групп. Приобретение имущества посредством кредита зачастую затруднено, поскольку работники кредитных организаций не всегда обладают достаточными компетенциями для реализации проектов по поставке новых основных средств. С другой стороны, в последнее время на отечественном рынке динамично развивается сегмент финансовой аренды (лизинга). В сделке лизинга лизингодатель приобретает у поставщика оборудование, которое предоставляет арендатору (лизингополучателю) во временное пользование. Наше исследование нацелено на выявление сильных и слабых сторон финансовой аренды, основных ее форм и преимуществ перед альтернативными способами привлечения финансирования для модернизации производства.

Одним из главных плюсов финансовой аренды являются многолетние наработанные связи с поставщиком имущества, возможность получения у последнего преференций, скидок, отсрочек платежа.

Также при заключении договора лизинга возможны преимущества по оптимальному подбору страховых продуктов. Зачастую при приобретении оборудования в кредит банк навязывает страховую компанию, входящую в одну банковскую группу. При лизинге имущества лизингополучатель может самостоятельно застраховать предмет лизинга у аккредитованных компаний банка.

Классическим преимуществом финансовой аренды является возможность законного снижения налоговой базы по налогу на прибыль организаций. Так, согласно Статье 259.3. НК РФ, предприятие может применять повышенный (но не более 3) коэффициент в отношении амортизируемых на его балансе основных средств, приобретенных по договору финансовой аренды. Потенциально данный механизм позволит повысить себестоимость для расчета налога на прибыль, тем самым снизив налог на прибыль к уплате.

Отметим также тот факт, что финансовая аренда представляет собой, как правило, беззалоговое финансирование, в том смысле, что для лизингополучателя не требуется залог имущества, поскольку предмет лизинга сам по себе является обеспечением по сделке.

Стоит, однако, сказать, что в настоящее время лизинговые компании достаточно настороженно смотрят на текстильное оборудование, как на предмет лизинга. Оборудование для текстильной промышленности занимает незначительное место в совокупном лизинговом портфеле по состоянию на 30.06.2021 [6]. С другой стороны, на фоне падения лизингового бизнеса в самой развитой, транспортной сфере, к доковидному 2019 году, будет расти интерес к новым нишам на рынке, в том числе к игрокам текстильной отрасли. Эксперты, например, генеральный директор группы компаний ВТБ Лизинг, Д.Е. Ивантер, полагает, что уровень проникновения лизинга в экономику страны будет усиливаться [7, с.56].

В настоящее время отдельные предложения по лизингу оборудования для текстильной промышленности предлагаются только региональными лизинговыми ком-

паниями. Так, автору удалось найти предложение по лизингу оборудования для швейной и текстильной промышленности исключительно на сайте компаний ООО "Уралпромлизинг", ООО "РГ Лизинг". В то же самое время у отечественных лизингодателей существует успешный опыт реализации подобного рода сделок. Так, АО "Газпромбанк Лизинг" успешно профинансировал в 2019 г. пять проектов швейного производства для ООО "Округ", с использованием субсидии, о которой будет сказано ниже. Продукты для льготной промышленности предлагаются на сайте АО "Сбербанк лизинг". Таким образом, говорить о том, что текстильная отрасль никак не использует инструмент лизинга не совсем правильно.

Данный тезис подтверждает также то, что в настоящее время в Российской Федерации развивается значительное количество программ по стимулированию использования лизинга в качестве механизма обновления основных фондов.

Программы лизинга оборудования, реализуемые Фондом развития промышленности, позволяют приобрести новое имущество на льготных условиях – фонд предоставляет заем на оплату аванса по лизинговой сделке. Так, при обычном, не льготном финансировании, предприятию необходимо предоставить от 10 до 49% от стоимости приобретаемого имущества, исходя из предложений по лизингу текстильного оборудования. Стоит также сказать, что текстильная отрасль в данной программе находится в преференциальном положении. Так, согласно классам ОКВЭД, предприятия, производящие одежду, текстиль, и изделия из кожи, могут получить финансирование до 90% от размера авансового платежа по сделке по льготной ставке 1% годовых. Данная льготная ставка существенно ниже ключевой ставки, в настоящее время на уровне 6,75%, а также инвестиционных кредитов, предоставляемых по ставкам не ниже 7,69 [8]. Таким образом, клиент сможет войти в сделку, имея в наличии аванс в размере от 1% от стоимости имущества! Совокупная экономия от займа также заключается в отсутствии необходимости

отвлечения значительного объема денежных средств из оборота предприятия.

Значительные меры по ускорению технического перевооружения легкой промышленности (в том числе текстильной) предприняты в 2020 г. Правительством РФ. Так, в 2020 г. вступило в силу Постановление Правительства от 2 сентября 2020 года №1340 [9]. Согласно данному документу лизингополучатели из числа предприятий легкой промышленности могут рассчитывать на скидку в размере до 50% от стоимости оборудования, полученного по договору финансового лизинга. Субсидии предоставляются Министерством промышленности и торговли. В постановлении сделан акцент именно на легкую промышленность, поскольку именно для нее установлен максимальный размер возможной скидки. В то же самое время к проектам потенциальных получателей скидок предъявляются следующие требования:

- лизингополучатель приобретает новое, не бывшее ранее в употреблении, оборудование;

- договор лизинга заключен на срок не менее 24 месяцев;

- общая стоимость инвестиционного проекта, включая НДС, составляет не менее 50 млн. руб.;

- ежегодный рост выпуска продукции лизингополучателем составляет не менее 5;

- целью инвестиционного проекта являются техническая и технологическая модернизации производства лизингополучателя.

Таким образом, приобретая даже минимально возможный размер имущества, согласно постановлению – например, 50 млн. руб., лизингополучатель может получить до 25 млн. руб. скидки, при этом растянув во времени уплату лизинговых платежей на 24 месяца. Думается, это будет одним из стимулов обновления основных фондов предприятий легкой, в том числе текстильной, промышленности.

Кроме того, ранее Правительством было выделено порядка 304 млн. руб. на предоставление субсидий с целью снижения расходов по оплате лизинговых платежей отечественным компаниям.

Программы, реализуемые корпорацией МСП, позволяют также сэкономить на стоимости лизинга имущества. Для субъектов малого бизнеса предусмотрена льготная ставка по лизинговым продуктам от региональных лизинговых компаний – 6% на имущество российского производства и 8% на продукцию иностранных предприятий (например, машин Rieter, Benninger, LTG AirEngineering (Швейцария), Savio (Италия)). Согласно классификаторам ОКВЭД участие в программе по обновлению фондов предусмотрено также и для предприятий текстильной промышленности. При этом срок лизинга можно подобрать под возможности клиента – фондом предоставляется финансирование на срок до 60 месяцев, что является одним из немногих источников столь долгосрочного финансирования для субъектов МСП. Однако к участникам льготных программ предъявляются серьезные требования – размер аванса от 10%, максимальный объем финансирования – до 200 млн. руб.

Как уже было сказано выше, для успешного развития текстильной отрасли необходимо не только обновлять устаревшие фонды, но и вводить новые мощности. Так, по мнению экспертов [3, с. 13], [4, с. 29], в отрасли наблюдается технологическая отсталость; отрасль нуждается в закупке модульных настольных машин, автоматизированных швейных машин. Для приобретения такого рода дорогостоящей техники возможно использование модели ливеридж-лизинга, о которой говорится в статье В.Д. Газмана [10]. Ливеридж-лизинг является особым видом финансирования, при котором большая часть рисков принимается не на предмет финансовой аренды, а на финансовое состояние лизингополучателя.

Росту конкурентоспособности текстильной отрасли также будет способствовать закупка в лизинг-цифровых активов. Так, в настоящее время Государственная транспортная лизинговая компания – крупнейший игрок на рынке финансовой аренды, реализует программу льготного лизинга для российского цифрового оборудования [11]. Так, для возможности приобретения по льготным условиям продукция

должна быть включена в один из следующих перечней:

- Единый реестр российской радиоэлектронной продукции

- Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных

- Реестр контрольно-кассовой техники ФНС России

Потенциальный лизингополучатель может подать заявку на сайте компании. Исходя из предлагаемых условий по сделке, возможно предоставление минимального аванса в размере 5%, срок лизинга до 15 лет включительно. Среди предлагаемых предметов лизинга – инженерные системы, программные продукты, цифровые сервисы, радиоэлектронное оборудование и платформенные решения. Ставка по лизингу находится в обратной зависимости от доли российских товаров среди предметов лизинга – чем выше доля, тем ниже ставка. Думается, что приобретение указанной техники ускорит переход отрасли в фазу Индустрии 4.0.

ВЫВОДЫ

Подводя итоги анализу лизинга как способа финансирования предприятий легкой и текстильной промышленности, можно отметить следующее. В настоящее время имеется объективная потребность в обновлении производственных фондов и цифровизации производства предприятий текстильной промышленности. В свою очередь, лизинговые компании, как самостоятельные, так и входящие в состав банковских групп, имеют потенциал для роста инвестиций в данные предметы лизинга, в том числе в целях диверсификации портфеля. Государство активно стимулирует обновление производства легкой промышленности посредством программ льготного лизинга техники и оборудования. В числе последних – программа льготного лизинга от Фонда развития промышленности, программа корпорации МСП для представителей малого бизнеса, программа скидок согласно Постановлению № 1340. Программа льготного лизинга цифровых активов, предлагаемая

ПАО "ГТЛК", является дополнением к вышечисленным. Кроме того, необходимо помнить о преференциях по налогу на прибыль, предусматривающих снижение уплаты через ускоренную амортизацию основных средств. Все это в целом дает серьезные основания полагать, что финансовая аренда (лизинг) может стать именно тем инструментом, который позволит обеспечить текстильной промышленности рывок в цифровую эру и соответствие целям стратегии развития Индустрия 4.0.

В то же самое время необходимо дальнейшее углубление проникновения такого продукта, как финансовая аренда, в сферу текстильной промышленности. Для роста вовлечения рынка лизинга в обновление фондов текстильной промышленности, на взгляд автора, необходимо сделать следующее. Во-первых, государство должно обязать все лизинговые компании, прошедшие отбор на предоставление субсидий, размещать информацию о льготных лизинговых программах в информационно-телекоммуникационной сети интернет. Так, например, делает АО "Сбербанк лизинг" в отношении программы по Постановлению от 2 сентября 2020 года №1340. Кроме того, необходимо расширить программу лизинга цифровых активов, в настоящее время распространяемую исключительно на АО "ГТЛК", предоставив право участия другим лизингодателям. Так, на наш взгляд, необходимо инициировать подписание аналогичных соглашений между Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций с другими лизинговыми компаниями с государственным участием.

Что касается стимулирования финансовой аренды в текстильной отрасли, то, на наш взгляд, необходимо откорректировать перечень мер господдержки следующими мероприятиями. Во-первых, снизить требования для субсидий по Постановлению от 2 сентября 2020 года №1340 по ежегодному росту продукции с 5 до 3%, учитывая наступивший кризис и общий спад в мировой экономике. Во-вторых, учитывая трудности в реализации инвестиционных проектов текстильной отрасли [3, с.11], представляется целесообразным снижение льготной

ставки по лизингу по программе Корпорации МСП до 4 и 6 %, вместо действующих 6 и 8%. И, в завершение, для стимулирования развития финансовой аренды и обновления основных фондов увеличить льготы, связанные с ускоренной амортизацией основных средств, разрешив применение для нового, не бывшего ранее в употреблении оборудования, коэффициента 4, вместо текущих 3. Данные изменения, на наш взгляд, будут способствовать технологической и цифровой трансформации текстильной отрасли и увеличению ее доли в ВВП России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руслегпром, официальный сайт. – Москва, 2021 – <https://www.ruslegprom.ru/wp-content/uploads/meri.pdf> (дата обращения: 05.09.2021). – Текст : электронный.
2. Алдешов С.Е., Наурызбаев К.К., Адылбекова Э.Т., Изтаев Ж.Д., Буркит А.К., Бэймишева А.Ж. Роботизация текстильной промышленности в Республике Казахстан // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 4. С. 117...123. – ISSN 0021-3497
3. Петрухин А.Б., Дмитриев Ю.А., Омаров М.М., Минин Д.Л. Инвестиционный потенциал и прогноз развития отраслей легкой и текстильной промышленности Российской Федерации // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности – 2020, № 6. С. 26...31. – ISSN 0021-3497
4. Савельев И.И., Нефедова К.А. Текстильная промышленность в условиях пандемии: опыт мировых стран и перспективы развития в России // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 3. С. 9...14. – ISSN 0021-3497.
5. Чунгуанг Бай, Патрик Далласега, Гвидо Орзес, Джозеф Саркис. Оценка технологий Индустрии 4.0: перспектива устойчивости // Международный журнал экономики производства. – 2020, № 229 (390) - <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
6. АО "Эксперт РА официальный сайт. – Москва, 2021 – https://www.raexpert.ru/researches/leasing/1h_2021/ (дата обращения: 07.09.2021). – Текст : электронный.
7. Ивантер Д.Е. Лизинг как национальный проект // Банковское дело. – 2020, № 5. С. 52...56. – ISSN 2071-4904.
8. Процентные ставки по корпоративным кредитам нефинансовым организациям на срок свыше 1 года Официальный сайт Банка России. – Москва, 2021 – https://www.cbr.ru/statistics/bank_sector/int_rat/LoansDB/ (дата обращения: 07.09.2021). – Текст: электронный.
9. Постановление Правительства РФ от 02.09.2020 N 1340 (ред. от 17.08.2021) "О внесении изменений в Правила предоставления субсидий из Федерального бюджета на стимулирование спроса и

повышение конкурентоспособности российской промышленной продукции" <http://government.ru/news/40357/> (дата обращения: 01.09.2021). – Текст : электронный.

10. Газман. В.Д. Леверидж-лизинг: финансирование крупных инвестиционных проектов // Экономический журнал ВШЭ. – 2013, № 1. С. 130...151. – ISSN 1813-8691.

11. АО "Государственная транспортная лизинговая компания" официальный сайт. – Москва, 2021 – <https://gtlk.ru/activities/tsifrovizatsiya-i-innovatsii/> (дата обращения: 07.09.2021). – Текст : электронный.

REFERENCES

1. Ruslegprom, ofitsial'nyy sayt. – Moskva, 2021 – <https://www.ruslegprom.ru/wp-content/uploads/meri.pdf> (data obrashcheniya: 05.09.2021). – Tekst: elektronnyy.

2. Aldeshov S.E., Nauryzbaev K.K., Adylbekova E.T., Iztaev Zh.D., Burkit A.K., Bəymisheva A.Zh. Robotizatsiya tekstil'noy promyshlennosti v Respublike Kazakhstan // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 4. S. 117...123. – ISSN 0021-3497

3. Petrukhin A.B., Dmitriev Yu.A., Omarov M.M., Minin D.L. Investitsionnyy potentsial i prognoz razvitiya otrasley legkoy i tekstil'noy promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 6. S. 26...31. – ISSN 0021-3497

4. Savel'ev I.I., Nefedova K.A. Tekstil'naya promyshlennost' v usloviyakh pandemii: opyt mirovykh stran i perspektivy razvitiya v Rossii // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 3. S. 9...14. – ISSN 0021-3497.

5. Chunguang Bay, Patrik Dallasega, Gvido Orzes, Dzhozef Sarkis. Otsenka tekhnologiy Industrii 4.0: perspektiva ustoychivosti // Mezhdunarodnyy zhurnal ekonomiki proizvodstva. – 2020, № 229 (390) - <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>

6. АО "Ekspert RA ofitsial'nyy sayt. – Moskva, 2021 – https://www.raexpert.ru/researches/leasing/1h_2021/ (data obrashcheniya: 07.09.2021). – Tekst : elektronnyy.

7. Ivanter D.E. Lizing kak natsional'nyy proekt // Bankovskoe delo. – 2020, № 5. S. 52...56. – ISSN 2071-4904.

8. Protsentnye stavki po korporativnym kreditam nefinansovym organizatsiyam na srok svyshe 1 goda Ofitsial'nyy sayt Banka Rossii. – Moskva, 2021 – https://www.cbr.ru/statistics/bank_sector/int_rat/LoansDB/ (data obrashcheniya: 07.09.2021). – Tekst: elektronnyy.

9. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 02.09.2020 N 1340 (red. ot 17.08.2021) "O vnesenii izmeneniy v Pravila predostavleniya subsidiy iz Federal'nogo byudzheta na stimulirovanie sprosа i povyshenie konkurentosposobnosti rossiyskoy promyshlennoy produktsii" <http://government.ru/news/40357/> (data obrashcheniya: 01.09.2021). – Tekst : elektronnyy.

10. Gazman. V.D. Leveridzh-lizing: finansirovanie krupnykh investitsionnykh projektov // Ekonomicheskiy zhurnal VShE. – 2013, № 1. S. 130...151. – ISSN 1813-8691.

11. АО "Gosudarstvennaya transportnaya lizingovaya kompaniya" ofitsial'nyy sayt. – Moskva, 2021 – <https://gtlk.ru/activities/tsifrovizatsiya-i-innovatsii/> (data obrashcheniya: 07.09.2021). – Tekst: elektronnyy.

Рекомендована заседанием Департамента банковского дела и финансовых рынков. Поступила 28.10.21.

УДК 330. 338

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_75

ПРЕДПОСЫЛКИ МОДЕРНИЗАЦИИ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЛИНГА ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

PREREQUISITES FOR MODERNIZATION OF INTERNAL CONTROLLING OF TEXTILE INDUSTRY IN THE CONDITIONS OF THE DIGITAL ECONOMY

О.Н. ЗОТИКОВА, В.А. СЕНКОВ, Н.А. ГОНЧАРОВ

O.N. ZOTIKOVA, V.A. SENKOV, N.A. GONCHAROV

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: zotikova-on@rguk.ru

Определены аспекты адаптации деятельности текстильных производств в части внутреннего контроллинга применительно к расширению

сферы цифровой экономики, что актуально для организаций. Проведено сравнение основных показателей текстильных производств за 2017-2019 годы, иллюстрирующее подъем легкой промышленности. В целях оценки использования информационно-коммуникационных технологий, состояние которых оказывает влияние на организацию и развитие внутреннего контроллинга, представлены результаты анализа этих технологий на основе статистических материалов по обследованным российским организациям по виду деятельности "Обрабатывающие производства". В выводах констатируется наличие у предприятий предпосылок для проведения модернизации внутреннего контроллинга в условиях цифровой экономики.

The aspects of adapting the activities of textile industries in terms of internal controlling in relation to the expansion of the digital economy relevant for companies, have been determined. A comparison is made of the main indicators of textile industry for 2017-2019, illustrating the rise of light industry. In order to assess the use of information and communication technologies, the state of which affects the company and development of internal controlling, the results of the analysis of these technologies based on statistics on the surveyed Russian companies by the type of activity "Process manufacturing" are presented. The conclusions stated that enterprises have the prerequisites for modernizing internal controlling in the digital economy.

Ключевые слова: затраты, контроллинг, производство текстильных изделий, технологии, рентабельность, учет.

Keywords: costs, controlling, production of textiles, technologies, profitability, accounting.

На промышленных российских предприятиях происходит трансформация управленческой деятельности в сторону разработки и реализации нововведений, включая в областях планирования, учета, внутреннего контроля и формирования отчетности. Персонал организации, заинтересованный в высоких конечных финансовых результатах, стремится найти способы повышения эффективности производства и труда. Важно участие в решении задач перехода к цифровой экономике, осуществляемой в стране [1]. Например, экономическому росту предприятий способствует увеличение числа компетентных высококвалифицированных кадров, способных успешно решать профессиональные задачи с применением современных информационно-коммуникационных технологий.

Модернизация внутреннего контроллинга – это его способность адаптироваться к изменяющимся производственным, хозяйственным, организационным, законодательным, финансовым и другим условиям и

достигать рационального решения проблем с применением достижений цифровой экономики, что способствует обеспечению социально-экономического развития предприятия.

Актуальность темы исследования объясняется необходимостью поиска методов повышения потенциала внутреннего контроллинга, использование которого способствует повышению конкурентоспособности продукции и экономическому росту предприятия. Для преодоления ошибок, допускаемых на предприятиях, рационального использования ресурсов, вскрытия и реализации внутрихозяйственных резервов важно разрабатывать и реализовывать на предприятии разнообразные формы совершенствования контроллинга на основе цифровой экономики, начиная от планирования, контроля бизнес-процессов и мотивации производительного труда.

Цель исследования состояла в выявлении предпосылок необходимости модернизации внутреннего контроллинга на

предприятиях под влиянием процессов цифровизации экономики.

Предпосылки модернизации внутреннего контроллинга текстильных производств в условиях распространения цифровой экономики на предприятиях реального сектора экономики сочетаются с решением таких первостепенных экономических задач, как:

мониторинг наличия, состояния имеющихся на предприятии ресурсов, способов планирования их использования, учета, контроля и соответствия организации контроллинга;

модернизация внутреннего контроллинга на предприятии на основе результатов его мониторинга и проекта по совершенствованию организации;

применение современных ИКТ нового поколения, используемых при обеспечении сбора, обработки и анализа информации для достижения эффективности бизнес-процессов;

подготовка систематизированных показателей контроллинга на основе апробированных форм, удобных для их восприятия и анализа, для использования при обосновании управленческих решений и разработке проектов.

Внутренний контроллинг параллельно с осуществлением управленческого учета сопровождает выполнение оперативных задач деятельности, направленных на возрастание величины прибыли предприятия.

Модернизация внутреннего контроллинга в сочетании с технологиями цифровой экономики позволяет, в частности, находить целесообразные способы предотвращения на предприятии таких нарушений, как:

сбои и узкие места бизнес-процессов;

недостача или излишек при инвентаризациях и сверках расчетов;

срыв платежной дисциплины дебиторами и кредиторами;

отсутствие объема соответствующей внутренней документации;

ошибки в формах разных видов отчетности.

Основой исследования послужили материалы национального проекта "Цифровая

экономика", федеральные и региональные программы в сфере цифровой экономики Российской Федерации и фундаментальные труды отечественных и зарубежных ученых, посвященные изучению контроллинга и цифровой экономики, их развитию на предприятиях.

Результаты, полученные авторами, основаны на анализе отечественных и зарубежных научных трудов, посвященных исследованию учеными теоретических аспектов контроллинга. Было выявлено, что точки зрения в понимании контроллинга разделяются, способствуя появлению групп концепций, в частности, ориентированных на учет, на информацию и на координацию деятельности предприятия. Использована общенаучная методология исследования, методы системного подхода, анализа статистических данных, контент-анализа публикаций по экономике.

Методы, используемые для реализации информационных и коммуникационных технологий, должны отвечать особенностям бизнеса. Успешная реализация цифровой экономики может состояться при наличии на предприятии оптимального сочетания всех видов необходимых для этого ресурсов. Можно сказать, что для этого необходимо создание инфраструктуры цифровой экономики.

К одной из важных предпосылок модернизации внутреннего контроллинга текстильных производств относится достаточная подготовленность информационной среды конкретного предприятия к осуществлению его деятельности в условиях цифровой экономики. Следует проводить мониторинг наличия и состояния ресурсного обеспечения, информационно-коммуникационных технологий.

По данным Росстата промышленное производство текстильных изделий [2, с.125] изменялось по их основным видам. Производство основных видов текстильных изделий приведено в табл. 1.

Так, выпуск тканей в России по сравнению с 2018 г. в 2020 г. увеличился на 492 млн. м², или 8,2% после сокращения в 2019 г. на 17 млн. м² или 0,3%. На уменьшение объемов производства тканей из

синтетических и искусственных волокон и нитей (включая штапельные) повлиял дефицит этих волокон на сырьевом рынке. Наблюдался прирост выпуска материалов

нетканых (кроме ватинов) в 2020 г. относительно 2018 г. на 465 млн. м², или 11,2%.

Т а б л и ц а 1

Виды продукции	2018	2019	2020
Ткани – всего, млн. м ²	5 996	5 979	6 488
в том числе:			
хлопчатобумажные	828	821	854
марля, кроме узких тканей	523	569	567
шерстяные	7,7	7,6	7,4
льняные	27,7	26,5	24,7
шелковые, тыс. м ²	124	83,9	72,1
Ткани из синтетических и искусственных волокон и нитей (включая штапельные)	460	399	407
Материалы нетканые (кроме ватинов)	4 135	4 130	4 600

При этом основные показатели работы организаций по виду экономической деятельности "Производство текстильных изделий", сведенные в табл. 2 [2, с. 124], [3, с. 331], иллюстрируют, что рост объема отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами составил порядка 22,7% в 2020 г. относительно 2017 г. Индекс производства в 2018 и 2019 гг. был ниже и в

2020 г. восстановился. Рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг) возросла на 3,5% в 2020 г. относительно 2017 г. при увеличении за этот же период сальдированного финансового результата на 5169, или 67,5%. На фоне этого среднегодовая численность работников организаций по виду экономической деятельности "Производство текстильных изделий" сократилась на 4,8 тыс. человек, или 5,3%.

Т а б л и ц а 2

Показатели	2017	2018	2019	2020
Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами ¹⁾ , млрд. руб.	203	230	239	249
Индекс производства ²⁾ , в процентах к предыдущему году	107,1	102,5	101,8	108,9
Среднегодовая численность работников организаций, тыс. человек	90,0	94,2	83,2	85,2
Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) ³⁾ , млн. руб.	7662	5252	9 541	12 831
Рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг) ³⁾ , процентов	8,3	5,8	7,2	11,8

П р и м е ч а н и е. 1) 2016 г. – 198 млрд. руб. по виду экономической деятельности; 2) 2016 г. – 114,9% по виду экономической деятельности; 3) 2017, 2018, 2019 гг. – по данным бухгалтерской отчетности.

Статистические данные свидетельствуют [4, с.481], [2, с.124], что в общем числе обследованных организаций по виду экономической деятельности "Обрабатывающие производства" увеличивается доля организаций, которые использовали информационные и коммуникационные технологии. Так, практически все обследованные организации обрабатывающих про-

изводств, применявшие информационные и коммуникационные технологии в 2019 г. [2, с.182], использовали персональные компьютеры (94,1%) и сеть Интернет (93,2%). Доля тех организаций, которые в 2019 г. использовали серверы и локальные вычислительные сети, составляла соответственно 73,7 и 74,2%. Доля организаций, имевших Web-сайт в сети Интернет, достигала

63,2%, а тех, которые использовали "облачные" сервисы, 27,6%. Ясно, что в перспективе увеличится число организаций, которые будут применять современные информационные и коммуникационные технологии.

Электронный документооборот и электронный обмен данными между своими и внешними информационными системами использовали в 2019 г. порядка 70% организаций, принадлежащих к виду

экономической деятельности "Обрабатывающие производства" [4, с.482]. Для применения информационных и коммуникационных технологий организациям необходимы финансовые средства. В табл. 3 представлены статистические сведения [2, с. 185] о распределении затрат по их структуре на информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) всего по РФ и по виду экономической деятельности "Обрабатывающие производства" в 2019 г.

Т а б л и ц а 3

Показатели	Затраты на ИКТ – всего	Из них затраты:							
		на приобретение вычислительной техники и оргтехники	на приобретение телекоммуникационного оборудования	на приобретение программного обеспечения	на оплату услуг связи	из них оплата доступа к сети Интернет	на обучение сотрудников, связанное с развитием и использованием ИКТ	на оплату услуг сторонних организаций и специалистов ИКТ (кроме услуг связи и обучения)	прочие затраты
Всего по РФ: затраты, млрд. руб.	2317	398	275	488	332	82,7	4,5	488	267
в процентах к затратам на ИКТ – всего	100	17,1	11,8	20,9	14,2	3,5	0,2	20,9	11,4
из них обрабатывающие производства: затраты, млрд. руб.	207	40,1	6,0	35,5	18,9	9,8	0,3	61,8	19,7
в процентах к затратам на ИКТ – всего	100	20,8	3,1	18,5	9,8	5,1	0,2	32,2	10,3

В структуре затрат на информационные и коммуникационные технологии организаций обрабатывающего производства приходилось 32,2% на оплату услуг сторонних организаций и специалистов ИКТ (кроме услуг связи и обучения), 20,8% – на приобретение вычислительной техники и оргтехники и – 18,5% на приобретение программного обеспечения. Всего по РФ в 2019 г. складывалась несколько иная структура затрат на ИКТ, что отражено в табл.3. Важно формировать систему контроллинга на каждом предприятии [5], [6], учитывая особенности взаимосвязи контроллинга с управленческим учетом [7], аспекты оценки факторов, влияющих на устойчивое развитие региона [8], контроля за эффективностью использования существующей

системы [9]. При этом целесообразно придерживаться концепции контроллинга экономической безопасности [10]. Аспекты контроллинга актуальны с позиции получения достоверных сведений при формировании затрат на производство, что необходимо в условиях современного конкурентного рынка и при повышении требований государства [7]. Модернизация внутреннего контроллинга может строиться на технологии адаптации к современным принципам управления промышленным предприятием [11], на проведении мероприятий по формированию и расширению применения цифровой экономики на предприятии, что сопряжено с инвестированием разработок.

Результаты анализа полученной информации необходимы для разработки и

принятия управленческих решений относительно нововведений. С помощью средств цифровой экономики, позволяющих работникам оперативно выполнять задачи, связанные с обработкой большого объема информации по эффективному использованию всех ресурсов предприятия, можно оперативнее осуществлять внутренний контроллинг.

Модернизация внутреннего контроллинга при соответствующем соблюдении методологии управления предприятием и рациональном сочетании будет составлять основу экономического роста организаций.

ВЫВОДЫ

Наметились изменения в сторону цифровизации экономики с расширением использования предприятиями информационно-коммуникационных технологий, что необходимо в процессах совершенствования планирования, учета, контроллинга, анализа, при разработке эффективных управленческих решений. Это позволяет решать технические проблемы при модернизации контроллинга в тех организациях, которые располагают подразделениями контроллинга и оснащены соответствующими ресурсами.

Модернизация контроллинга необходима в ряде случаев, связанных со спецификой системы управленческого учета исследуемой организации, поэтому рекомендуется рассматривать возможности решения проблем адаптации контроллинга к этой системе управления. При модернизации внутреннего контроллинга следует предусмотреть взаимосвязь встроенных программ производственной, бухгалтерской, управленческой, инновационной и других видов деятельности с разными видами контроля в организации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 02.03.2019 №234 (ред. от 21.08.2020) "О системе управления реализацией национальной программы "Цифровая экономика Российской Федерации" (вместе с "Положением о системе управления реализацией национальной программы "Цифровая экономика Российской Федерации"). Федеральный проект

предусматривает разработку и принятие ряда нормативных правовых актов, направленных на снятие первоочередных барьеров, которые препятствуют развитию цифровой экономики.//КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319701/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/ (дата обращения 19 июня 2021 г.).

2. Россия в цифрах. 2021: Крат.стат.сб./Росстат. – М., 2021.

3. Россия в цифрах. 2020: Крат.стат.сб./Росстат. – М., 2020.

4. Российский статистический ежегодник. 2020: Стат.сб./Росстат. – М., 2020.

5. Зотикова О.Н., Гончаров Н.А. Аспекты организации контроллинга на предприятии // Дизайн и технологии. – 2019, № 74 (116). С. 112...119.

6. Полубелова М.В., Пьянкова К.А. Организация системы контроллинга на предприятии легкой промышленности // Учет, анализ и аудит: проблемы теории и практики. – 2019, № 22. С. 169...174.

7. Зотикова О.Н., Гончаров Н.А., Сенков В.А. Оценка взаимосвязи понятий управленческого учета и контроллинга // Сб. научн. тр. кафедры коммерции и сервиса: Актуальные вопросы экономики, коммерции и сервиса. – М., 2021. С. 66...71

8. Reznichenko S.M., Takhumova O.V., Zaitseva N.A., Larionova A.A., Dashkova E., Zotikova O.N., Filatov V. V. Methodological Aspects of Assessing Factors Affecting The Sustainable Development of The Region // Modern Journal of Language Teaching Methods. – Vol. 8, Issue 11, November 2018. P. 69...79 (2018).

9. Wang T., Dunlop M.J. Controlling and exploiting the current system // Current Opinion in Biotechnology. – 2019, № 57. P. 10...16.

10. Kashtanov V., Kalinin V. Applications of information and communication technologies in the operations of industrial enterprises and the conception of economic security controlling // SHS Web of Conferences. – 2018. Vol. 55. 01021. P. 1...6.

11. Mishakov V.Yu., Beketova O.N., Bykov V.M., Krasnyaskaya O.V., Vitushkina M.G. Management technologies to adapt modern principles of industrial enterprise' management//Journal of Advanced Research in Law and Economics. – 2018. V. 9. №4(34). P.1377...1381.

REFERENCES

1. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 02.03.2019 №234 (red. ot 21.08.2020) "O sisteme upravleniya realizatsiyey natsional'noy programmy "Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii" (vmeste s "Polozheniem o sisteme upravleniya realizatsiyey natsional'noy programmy "Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii"). Federal'nyy projekt predusmatrivaet razrabotku i prinyatie ryada normativnykh pravovykh aktov, napravlennykh na snyatie pervoocherednykh bar'erov, kotorye prepyatstvuyut razvitiyu tsifrovoy ekonomiki.//Konsul'tantPlyus [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_

LAW_319701/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994e
e5633b/ (data obrashcheniya 19 iyunya 2021 g.).

2. Rossiya v tsifrakh. 2021: Krat.stat.sb./Rosstat. – М., 2021.

3. Rossiya v tsifrakh. 2020: Krat.stat.sb./Rosstat. – М., 2020.

4. Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik. 2020: Stat.sb./Rosstat. – М., 2020.

5. Zotikova O.N., Goncharov N.A. Aspekty organizatsii kontrollinga na predpriyatii // Dizayn i tekhnologii. – 2019, № 74 (116). S. 112...119.

6. Polubelova M.V., P'yankova K.A. Organizatsiya sistemy kontrollinga na predpriyatii legkoy promyshlennosti // Uchet, analiz i audit: problemy teorii i praktiki. – 2019, № 22. S. 169...174.

7. Zotikova O.N., Goncharov N.A., Senkov V.A. Otsenka vzaimosvyazi ponyatiy upravlencheskogo ucheta i kontrollinga // Sb. nauchn. tr. kafedry komertsii i servisa: Aktual'nye voprosy ekonomiki, komertsii i servisa. – М., 2021. S. 66...71

8. Reznichenko S.M., Takhumova O.V., Zaitseva N.A., Larionova A.A., Dashkova E., Zotikova O.N.,

Filatov V. V. Methodological Aspects of Assessing Factors Affecting The Sustainable Development of The Region // Modern Journal of Language Teaching Methods. – Vol. 8, Issue 11, November 2018. P. 69...79 (2018).

9. Wang T., Dunlop M.J. Controlling and exploiting the current system // Current Opinion in Biotechnology. – 2019, № 57. R. 10...16.

10. Kashtanov V., Kalinin V. Applications of information and communication technologies in the operations of industrial enterprises and the conception of economic security controlling // SHS Web of Conferences. – 2018. Vol. 55. 01021. P. 1...6.

11. Mishakov V.Yu., Beketova O.N., Bykov V.M., Krasnyaskaya O.V., Vitushkina M.G. Management technologies to adapt modern principles of industrial enterprise' management//Journal of Advanced Research in Law and Economics. – 2018. V. 9. №4(34). P.1377...1381.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 15.11.21.

УДК 677.338

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_81

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ*

IMPROVING THE EFFICIENCY OF RURAL TEXTILE PRODUCTION IN THE DIGITAL ENVIRONMENT

М.С. ОБОРИН, И.И. САВЕЛЬЕВ

M.S. OBORIN, I.I. SAVELEV

**(Пермский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова,
Пермский государственный национальный исследовательский университет",
Пермский государственный аграрно-технологический университет им. ак. Д.Н. Прянишникова,**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

**(Perm Institute (branch) of the Plekhanov Russian University of Economics,
Perm State National Research University,
Pryanishnikov Perm State Agrarian and Technological University,
Lomonosov Moscow State University)**

E-mail: matvey_uk@rambler.ru, sii-33@mail.ru

***Одним из наиболее значимых направлений российского обрабатывающего
производства является текстильная промышленность. Сектор текс-***

* Исследование проведено при финансовой поддержке экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (исследовательский проект «Применение методов сетевого анализа институциональных факторов становления и развития производственных кластеров»).

* This research was conducted with the financial support of the Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University (research project «Application of network analysis methods of institutional factors of formation and development of industrial clusters»).

тильной промышленности подвержен на сегодняшний день высокой конкуренции, с которой справляется весьма слабо, несмотря на то, что в недавнем времени данная отрасль была довольно перспективным направлением развития экономики РФ. Причиной спада производства текстильной промышленности и его эффективности является низкий технологический уровень отрасли. Целью статьи является оценка перспектив цифрового развития отрасли.

One of the most significant areas of Russian manufacturing is the textile industry. The textile industry sector is currently subject to high competition, which it copes with very poorly, despite the fact that in recent times this industry was quite a promising direction for the development of the Russian economy. The reason for the decline in the production of the textile industry and its efficiency is the low technological level of the industry. The purpose of the article is to assess the prospects for the digital development of the industry.

Ключевые слова: текстильная промышленность, комплексный подход, умные фабрики, цифровизация производства, цифровые инновации, цифровые решения.

Keywords: textile industry, integrated approach, smart factories, digitalization of production, digital innovations, digital solutions.

Динамика развития текстильной промышленности страны зависит от мирового уровня конкуренции [8]. Устойчивому и эффективному функционированию текстильных предприятий способствует тот факт, что мировой уровень текстильного рынка за последние десятилетия вырос до 4,5 процентов. Развитие мирового рынка обусловлено увеличением мирового населения, увеличением потребления на душу населения и появлением новых потребностей в инновационных текстильных изделиях. Внедрение в текстильное производство концептуально новых моделей будет способствовать его эффективному развитию, поскольку традиционные технологии утратили актуальность в условиях высокого уровня конкурентоспособности мировой экономики. Перспективные возможности развития текстильной и швейной промышленности Российской Федерации необходимо рассматривать с учетом определяющего влияния цифровых технологий как фактора конкурентоспособности [3].

Экономические перспективы долгосрочного развития компаний зависят от взаимодействия ряда ресурсных элементов производства, таких как: научно-техни-

ческая база, технологии, маркетинг, логистика, финансы, человеческие ресурсы, организация и менеджмент [2]. Основываясь на данных базовых составляющих, можно сформировать следующие прогнозные векторы для текстильных компаний, их перспективные стратегии развития и методы их реализации.

1. Промышленные научные результаты. Современные товары, изготовленные по новым технологиям. Новые методы и средства проектирования и конструирования моделей.

2. Текстильное и швейное производство, основанное на инновационных технологиях.

3. Современные направления мирового уровня отраслевой промышленности. Преобразование потребительского спроса, вызванное внедрением цифровых реформ в промышленный сектор. Современные формы товарной политики.

4. Развитие необходимых компетенций, повышение уровня квалификации, развитие экологического предпринимательства и архитектурного проектирования.

5. Этапы стратегического планирования управленческой деятельности. Методы

разработки, упрощающие адаптацию товара. Кластеризация промышленности.

6. Создание благоприятной среды для привлечения инвесторов в отрасль.

7. Целостный образ будущего предприятий текстильной промышленности. Ратификация продолжительных производственных взаимоотношений химической отрасли, сектора инновационных технологий, машиностроения, материаловедения с целью создания инновационной текстильной продукции и так далее.

Перспективное развитие текстильной промышленности напрямую связано с применением современных технологий ряда отраслей и выпуском инновационной продукции [5]. Глобальные тенденции развития текстильной промышленности в основном связаны с использованием новых инновационных продуктов, таких как: легкое композитное сырье для строительной отрасли, интеллектуальный медицинский текстиль, функциональные ткани для спецодежды, аэрокосмическое сырье, умная одежда, адаптированная к индивидуальным потребностям и так далее [9].

Устойчивым направлением на мировом рынке является ускорение темпов роста производства высокотехнологичных технических тканей, превышающих темпы роста производства традиционных тканей почти вдвое. На сегодняшний день доля технического текстиля в общем объеме мирового производства занимает до 40...50%. В нашей стране для производства технического текстиля есть все условия, поскольку в России функционирует нефтехимический комплекс, который может обеспечить население необходимым материалом. Для развития отрасли по выпуску технического текстиля необходимо сформировать полиэфирные предприятия, и в обязательном порядке обновить устаревшее оборудование производственных мощностей по производству синтетических волокон.

Требования современного глобального рынка очень высоки, и для их эффективной реализации необходимо трансформировать текстильную промышленность за счет внедрения цифровых технологий [4].

Цифровая трансформация текстильной промышленности включает следующие этапы:

- центр цифровых исследований и разработок;

- системное внедрение цифровых решений, влияющих на эффективность проектного подхода к производству продукции, обладающей ценностными характеристиками для мирового потребителя;

- автоматизированные складские помещения и интеллектуальная транспортная инфраструктура;

- электронная коммерция;

- комплекс услуг, обеспечивающий возможность удаленной работы с информационными ресурсами.

Комплекс средств, предназначенных для развития цифровизации текстильной промышленности, может быть реализован через сети передачи инновационных технологий и сети отраслевого взаимодействия и субподряда. Цифровая трансформация текстильной промышленности должна основываться на "Фабриках будущего". В нашей стране одной из программ государственной поддержки развития инновационных производственных технологий является проект "Национальная технологическая инициатива", которая ориентирована на формировании фабрик будущего. Фабрики будущего – это система сложных технологических эволюций, гарантирующих в максимально быстрые сроки реализацию проектной модели и создание инновационных и конкурентоспособных продуктов на мировом рынке. Фабрика будущего включает несколько подсистем: цифровой отдел, интеллектуальный отдел и проектно-виртуальное подразделение [10].

Фабрика будущего, функционирующая на цифровом формате, включает разработку проектной модели и формирование образца будущей продукции с помощью современных цифровых технологий, искусственного интеллекта и так далее. Благодаря современным инновационным технологическим разработкам, таким как робототехника, системы автоматизации управленческого процесса, системы объединенных

компьютерных сетей и сенсорных датчиков, процессы создания проектов продукции на данном фабричном производстве становятся в разы эффективнее и быстрее. Умная фабрика представляет собой единое информационное пространство для всех субъектов процесса создания цепочки создания стоимости, что делает этот процесс максимально прозрачным, способствует ускорению внутренней и внешней коммуникации [7].

Сегодня как в России, так и в развитых странах можно наблюдать опыт передачи современных инновационных технологий по производству текстильной продукции, которые в долгосрочной перспективе могут обеспечить широкое распространение умных фабричных производств [6]. В настоящее время уже разработаны и внедрены в производство следующие современные инновационные технологии в текстильную отрасль:

- производство, оснащенное роботами;
- формирование проектов и создание прототипа текстильных изделий на цифровой основе;
- методика изготовления объемных изделий на основе цифровых;
- изготовление тиражной печатной продукции с помощью "цифрового" оборудования;
- автоматизированное производство;
- прогнозная аналитика и технология BigData для настройки текстильных изделий;
- искусственный интеллект и системы управления заказами, ускоряющие коммуникацию с партнерами;
- электронная коммерция.

Умные фабрики основаны на платформенном подходе, который содействует интеграции всех субъектов, задействованных в создании проекта и производственной деятельности в определенную структуру [1]. Функционирование первых умных фабрик в нашей стране начинается с анализа и разработок, далее внедряются цифровые технологии по созданию проекта и прототипа текстильной продукции. Проектно-виртуальное производство позволяет снизить финансовые расходы, максимально уско-

рить процесс производства, расширять ассортимент продукции и так далее. Создание умных фабрик обуславливает формирование новых целей, предусматривающих создание единых центров НИОКР и развитие учебных заведений в контексте подготовки профессиональных специалистов, развитие современных компетенций, что обеспечит в будущем эффективное производство в междисциплинарном формате.

В Ы В О Д Ы

В Российской Федерации созданы оптимальные условия для внедрения цифровых технологий в текстильное производство, такие как научно-исследовательские центры и крупные промышленные корпорации, активно использующие современные инновационные технологии и методы расширения производства конкурентоспособной продукции на мировых рынках.

В современной информационной среде функционирование предприятий основывается на интегрированных бизнес-процессах. Необходимым условием развития текстильной промышленности является также государственное содействие субъектам процесса инновационного и технологического роста отрасли, а также развитие инфраструктур, включая кластеры и технологические платформы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Боровков А.И.* Умные технологии на службе продуктовых программ // Проектный вестник. – 2018, № 2. С. 32...36.
2. *Григорьев С.В., Якушева Т.В.* Исследование коллекционных образцов хлопчатника GOSSYPIUM HIRSUTUM L в условиях Краснодарского края // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2018. С. 126...133
3. *Ибрагимова Р.С., Головкин Д.С.* Оценка экономического потенциала текстильной промышленности на основе концепции foresight // Современные наукоемкие технологии. – 2018, № 4. С. 128...140.
4. *Истомина Е.А.* Оценка трендов цифровизации в промышленности // Вестник Челябинского государственного университета. – 2018, № 12 (422). С. 108...116.
5. *Лебедева Т.С.* О влиянии государственной поддержки фермерства на развитие овцеводства в Красноярском крае // Социально-экономический и

гуманитарный журнал Красноярского ГАУ. – 2017, № 1 (5). С. 43...53.

6. Левин Ю.А., Поletaева Л.П. Инновационное развитие хозяйственных систем: формирование цифровой экономики // *Инновации и инвестиции*. – 2017, № 11. С.7...10

7. Махмудова Ф.М. Оценка качества посадки одежды с использованием современных информационных технологий // *Образование и наука в современных реалиях*. – 2019, № 3. С. 32...36.

8. Разумеев К.Э. Современное состояние и динамика производства и переработки шерсти в мире // *Овцы, козы, шерстяное дело*. – 2018, № 4.

9. Тарасов И.В. Технологии Индустрии 4.0: влияние на повышение производительности промышленных компаний // *Стратегические решения и риск-менеджмент*. – 2018, № 2. С. 62...69.

10. Тебекин А.В., Морозов Р.В., Белясов И.С. Задачи совершенствования механизмов функционирования хозяйственных образований в легкой промышленности за счет использования технологий цифровой экономики // *Маркетинг и логистика*. – 2018, № 4 (18). С. 63...74.

REFERENCES

1. Borovkov A.I. Umnye tekhnologii na sluzhbe produktovykh programm // *Proektnyy vestnik*. – 2018, № 2. S. 32...36.

2. Grigor'ev S.V., Yakusheva T.V. Issledovanie kollektсионnykh obraztsov khlopchatnika GOSSYPI-UM HIRSUTUM L v usloviyakh Krasnodarskogo kraya // *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*. – 2018. S. 126...133

3. Ibragimova R.S., Golovkin D.S. Otsenka ekonomicheskogo potentsiala tekstil'noy promyshlennosti na

osnove kontseptsii foresight // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. – 2018, № 4. S. 128...140.

4. Istomina E.A. Otsenka trendov tsifrovizatsii v promyshlennosti // *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2018, № 12 (422). S. 108...116.

5. Lebedeva T.S. O vliyaniy gosudarstvennoy podderzhki fermerstva na razvitie ovtsevodstva v Krasnoyarskom krae // *Sotsial'no-ekonomicheskii i gumanitarnyy zhurnal Krasnoyarskogo GAU*. – 2017, № 1 (5). S. 43...53.

6. Levin Yu.A., Poletaeva L.P. Innovatsionnoe razvitie khozyaystvennykh sistem: formirovanie tsifrovoy ekonomiki // *Innovatsii i investitsii*. – 2017, №11. S.7...10

7. Makhmudova F.M. Otsenka kachestva posadki odezhdy s ispol'zovaniem sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy // *Obrazovanie i nauka v sovremennykh realiyakh*. – 2019, № 3. S. 32...36.

8. Razumeev K.E. Sovremennoe sostoyanie i dinamika proizvodstva i pererabotki shersti v mire // *Ovtsy, kozy, sherstyanoje delo*. – 2018, № 4.

9. Tarasov I.V. Tekhnologii Industrii 4.0: vliyanie na povyshenie proizvoditel'nosti promyshlennykh kompaniy // *Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment*. – 2018, № 2. S. 62...69.

10. Tebekin A.V., Morozov R.V., Belyasov I.S. Zadachi sovershenstvovaniya mekhanizmov funktsionirovaniya khozyaystvennykh obrazovaniy v legkoy promyshlennosti za schet ispol'zovaniya tekhnologiy tsifrovoy ekonomiki // *Marketing i logistika*. – 2018, №4 (18). S. 63...74.

Рекомендована кафедрой менеджмента и маркетинга ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Поступила 25.04.22.

UDC 687.016.5

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_86

**DIGITAL TWINS OF TEXTILE MATERIALS
FOR VISUALIZATION OF HISTORICAL COSTUMES**

**ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИСТОРИЧЕСКИХ КОСТЮМОВ***

A.YU. MOSKVIN, M.A. MOSKVINA, V.E. KUZMICHEV

А.Ю. МОСКВИН, М.А.МОСКВИНА, В.Е. КУЗЬМИЧЕВ

**(Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Ivanovo State Polytechnical University**

**(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Ивановский государственный политехнический университет)**

E-mail: wkd37@list.ru

Digital twins of textile materials are widely used for creating virtual clothing. Digitization allows reproduction, studying, exhibition and preservation of historical costumes in virtual environment and the accuracy of costume visualization depends on the quality of digital textiles. The article presents a method for generating digital twins of textile materials for visualization of historical costumes during the process of their reconstructions. The method reproduces the surface performance and mechanical behavior of textile materials by using two different approaches. The first nondestructive approach is based on generating digital textiles after microscopic exploration and procedural texturing of saved historical prototypes. The second approach is based on real fabric and the results obtained after its 2D scanning, non-procedural texturing and testing including destruction. The method was applied to generate six digital twins of textile materials dating to the IVth century BC and to the XIXth century. The surface appearance and mechanical behaviour of the digital twins were evaluated to prove its adequacy in terms of physical, mechanical and optical properties.

Цифровые двойники текстильных материалов широко используют для создания виртуальной одежды. Цифровизация позволяет воспроизводить, изучать, экспонировать и сохранять исторические костюмы в виртуальной среде, а адекватность виртуальных двойников костюмов зависит от качества цифровых текстильных материалов. В статье описано применение метода создания цифровых двойников текстильных материалов для визуализации исторических костюмов во время их реконструкции. Этот метод

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта № 20-47-370006.

воспроизводит внешний вид поверхности и механическое поведение текстильных материалов с использованием двух различных подходов. Первый неразрушающий подход основан на генерировании цифровых двойников после их микроскопического исследования и процедурного текстурирования сохранившихся исторических материалов. Второй подход основан на использовании современных текстильных материалов и их 2D-сканировании, непроцедурном текстурировании и тестировании, включая разрушающие методы. Разработанный метод был применен для генерирования шести цифровых двойников текстильных материалов, датированных IV веком до н.э. и XIX веком н.э. Внешний вид поверхности и механическое поведение цифровых двойников были сопоставлены с прототипами, чтобы доказать их адекватность с позиций показателей физических, механических и оптических свойств.

Keywords: virtual twin, cloth simulation, archaeological textiles, virtual try on, digital reconstruction.

Ключевые слова: цифровой двойник, симуляции текстильных материалов, археологический текстиль, виртуальная примерка, цифровая реконструкция.

Digital twins of textile materials (DTTM) are widely used in engineering, commerce and computer graphics [1]. Computer simulation allows visualization of clothing before its producing. Thus, the style and the construction of clothing can be tested and improved within the first stages of design [2]. Highly detailed virtual clothing can be seen in the movies, the advertisement and the video games and its performance relies to a large extent on the adequacy of digital textiles [3].

The goal of textile material digitization is to reproduce, firstly, the surface appearance (SA), and, secondly, its mechanical behavior (MB) similar to real clothes.

SA covers the optical properties of textiles which are visible by unaided eye, such as color, glossiness, and transparency [2]. The information how textile material looks can be obtained by means of 2D scanning, digital photography (including standard and depth-perception cameras), special devices (colorimeters, glossmeters and roughness testers) and software (texture maps generators, 2D raster and vector editors.).

MB describes the physical and mechanical properties which are forming the appearance of textile material, such as weave type, yarn thickness, twist direction, twist angle and number of yarns per unit of length. The list of prop-

erties includes tensile, bending, shearing, compression and surface friction parameters [4]. Fabric objective measurement (FOM) systems, such as Kawabata Evaluation System (KES-F), Fabric Assurance by Simple Testing (FAST), Browzwear Fabric Analyzer (FAB), CLO Fabric Kit and OPTITEX Fabric Testing Unit are used to test the parameters [5]. The test results can be applied to model the material behavior under the external forces.

Obtaining of DTTM is the important part of historical costumes digitization and reconstruction by means of CAD and digital technologies which now represent a rapidly developing research area [6,7]. But before reconstruction, historical textile materials (being precious artifacts) cannot be tested because testing machines would harm the specimens. Several methods are developed in order to reproduce historical textiles in digital form [8,10]. However, the methods do not present a clear algorithm for the reproduction the both SA and MB. Thus, new methods for generating DTTM are required.

The aim of this study is to develop a new method for generating DTTM for virtual presentation of historical costumes. This study was based on special equipment (such as electronic microscope, Epson Perfection scanner, Kawabata Evaluation System KES-F) and

software (Mari, 3D-Coat, Mudbox, Substance Designer, Clo3D, Substance Alchemist). To evaluate DTTM obtained, two experimental methods were used - the sensory analysis (in case of SA) and the graphic comparison of the overlapped clothes contours (in case of MB).

Figure 1 shows the algorithm of the developed method.

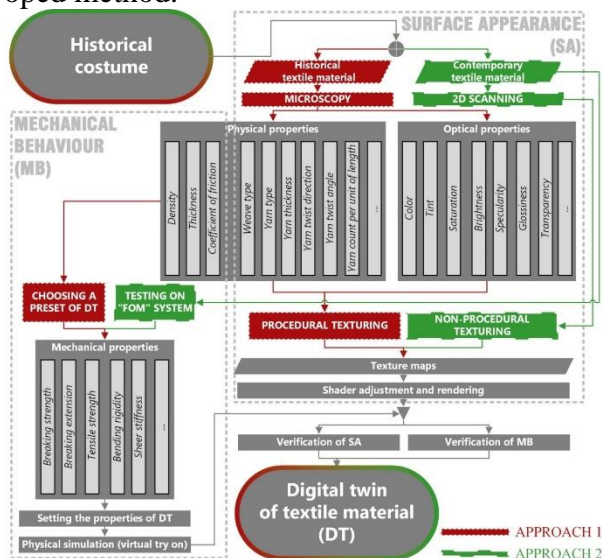


Fig. 1

As Fig.1 shows, the method incorporates two approaches. The both approaches allow reproduction of SA and MB of digital textile material. The difference between them lies in methodology and depends on availability of the specimen of textile fabric for testing.

The *first nondestructive approach* deals with the saved historical textile materials and

is based on the microscopy, the procedural texturing and other database. The microscopy is applied to measure most of the physical properties, such as yarn type, thickness, twist direction, and twist angle, and the optical ones, such as color, tint, brightness, etc. The retrieved data is used to generate texture maps in special procedural texturing software module (Substance alchemist graph). After that, the physical properties are used to choose a preset of the mechanical properties from the cloth simulation software library. This is done by choosing a DT with a similar content, density, thickness and weave and yarn types. This approach allows the MB of the material to be reproduced without testing its specimens. Thus, the first approach is applicable for archaeological and museum costumes.

The *second approach* operates with contemporary textile materials which can be considered as historical prototypes. To implement this approach, three technologies - 2D scanning, non-procedural texturing and FOM testing including destructive tests - were combined. 2D scans were converted into a set of texture maps in special software (Mari, 3D-Coat, Substance alchemist, Mudbox). After that, the specimens of the material were tested on a FOM system. The parameters of physical and mechanical properties were used to reproduce its MB. Since the second approach involves testing procedures, it can only be applied to contemporary textiles, from which the reconstructed garments should be made.



Fig. 2

To test the both approaches, two historical costumes were chosen. The first object (Fig. 2-

a – salt man 4 (Photo by Abolfazl Aali [11])) is a part of archaeological artifact so-called

Salt man 4 (circa 405-380 BCE), which was found in a collapsed mine in Northern Iran [11]. Because of the unique conservation conditions, the tunic, the trousers and the belt of the salt man which were made of woven fabrics have preserved relatively well [12]. The second object (Fig. 2- b – woman’s costume from a Russian lubok) is the reconstructed woman’s costume which is depicted in a Russian lubok print called “A dwarf and a dwarfess” dating to the mid XIXth century [13]. For its reconstruction, the contemporary textile materials were used. As Fig. 2 shows, each costume includes three textile materials.

To digitize the textile materials of Salt man 4, we applied the first approach to generate DTTM through following steps.

1. The physical and optical properties were measured by using electronic microscopy (Measurements were done by K. Grömer, Naturhistorisches Museum Vienna).

2. In order to generate texture maps, a new software module for Substance Designer was developed (Fig. 3-a). The module reproduces the historical process of weaving and dyeing by generating 2D images of weft and warp yarns, twisting or overlapping them, adding special effects and colorizing the maps. Each operation was controlled by special functions (nodes) that are connected within a single process represented as a graph. The nodes use the physical and optical parameters of historical textiles to calculate the corresponding parameters of texture maps.

3. The physical properties of real existing materials were used to chose the presets from the Clo3D library. We chose the presets of the contemporary digital textile fabrics that have the weave type, content and thread thickness similar to the saved historical ones. Table 1 shows the physical and mechanical properties of DTTM. Fig. 3-b shows the DTTM of the salt man’s textiles.

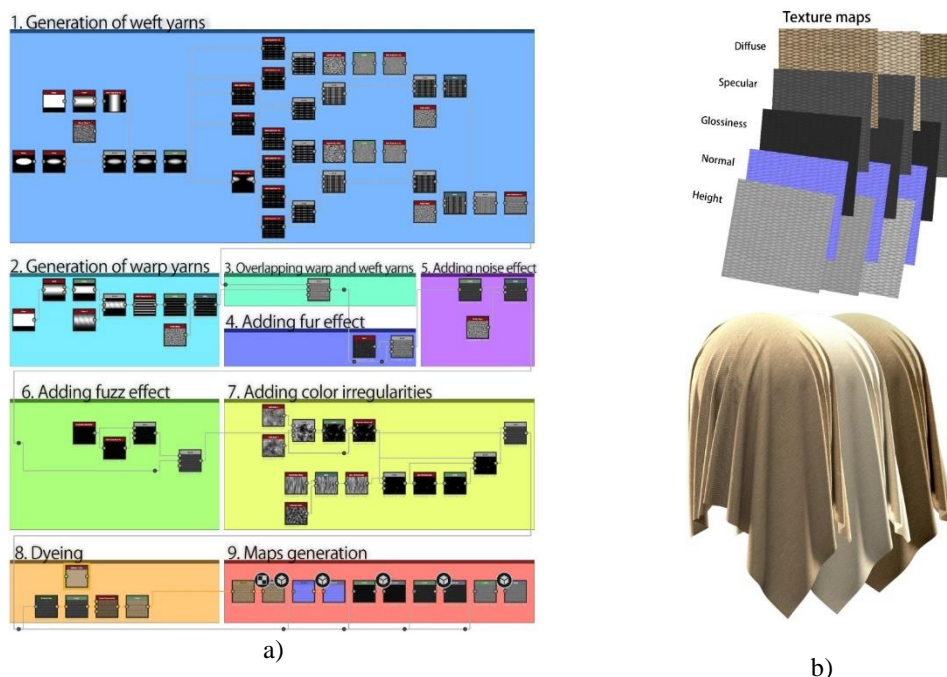


Fig. 3

Table 1

DTTM	Properties										
	Content	Density, cN/m ²	Stretch stiffness, cN/s ²		Bending stiffness, cN/mm ² /s ² /grad		Bending-bias stiffness, cN/mm ² /s ² /grad	Buckling ratio, (0-1)		Buckling stiffness, (0-1)	
			weft	warp	weft	warp		weft	warp	weft	warp
1 - Tunic	Wool	345	368706	489034	1300	1300	1300	0	0	0.20	1.0
2 - Trousers	Wool	345	368706	489034	1300	1300	1300	0	0	0.20	1.0
3 - Belt	Wool	427	512383	269877	2683	5616	3181	0	0	0.20	0.20

To digitize the textile materials of woman's costume, we applied the second approach.

1. The real existing contemporary fabrics were scanned by Epson Perfection to get the images with 1670, 6400 dpi (Fig. 4, a).

2. The scans were uploaded to Substance Alchemist software. Texture maps for each fabric were automatically generated (Fig. 4, b). We applied several commands, such as "Height scale", "Height details scale" and "Roughness value" to ensure the conformity

between the texture maps to the existing fabrics.

3. The specimens of the materials were tested by Kawabata Evaluation System KES-F such as tensile, shearing, bending, compression and surface parameters (Table 2). The parameters were converted into Clo3D units and used to control MB of the DTTM. Fig. 4 (c) shows the DTTM from which the woman's costume was made.

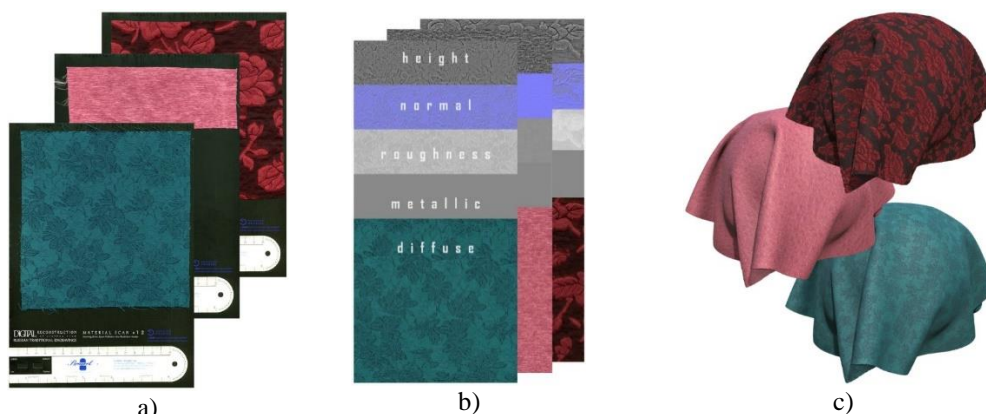


Fig. 4

Table 2

DTTM	Content	Weight, cN/m ²	Properties								Coefficient of friction		
			Tensile energy, cN.cm/cm ²		Tensile resilience, %		Shear rigidity, cN/cm.deg		Bending rigidity, cN.cm ² /cm				
			warp	weft	warp	weft	warp	weft	warp	weft	...	warp	weft
1 -Corset	Polyester	118.7	3.21	4.80	60.94	55.21	0.37	0.66	0.118	0.486	...	0.180	0.210
2-Upper dress	70% Cotton 30% Polyester	168.4	16.90	1.05	25.44	61.90	0.46	0.83	0.050	0.145	...	0.189	0.157
3-Skirt	Polyester	161.5	1.70	42.85	82.35	37.81	0.82	0.79	0.019	0.173	...	0.216	0.220

To evaluate SA, we compared them with the prototypes by sensory analysis. As can be seen in Fig. 3, b and Fig. 4, c, SA of the DTTM is similar to the real fabrics (Fig. 2). Regardless of the approach used to reproduce SA (approaches 1 and 2), DTTM match the prototypes in terms of color, tint, saturation, brightness and glossiness. The geometrical parameters of the weave and the yarns in DTs are the same as in real materials.

To evaluate MB of the DTTM, we used the DTTM to reconstruct the both costumes in virtual reality [12,13]. The dimensions of Salt man 4 garments were measured with a tape to

reproduce the new patterns in 2D CAD software. The known patterns of the women costume was digitized and vectorized in the same 2D CAD software. The accuracy of both patterns is ± 1 mm. The same parameters for cloth simulation in Clo3D software were used for both costumes: the gravitational acceleration of 9.8 m/s^2 , the time step of $0,03 \text{ s}$, the particle distance of 3 mm and the additional thickness – collision of 0.1 mm . Fig. 5, a, c shows the digital reconstructions of the costumes. We measured the deviations between the overlapped contours of the virtual twins (Fig. 5, a, c) and the real garments (Fig. 2). The contours

were extracted from the 2D images, vectorized and overlapped in 2D CAD software. Fig. 5, b, d shows the virtual twins.



Fig. 5

The virtual twin of women costume was overlapped with the photo of its real prototype. We estimated that the average deviation between two contours was 10.1 mm (the range is 0.2...23.5 mm). Such high level of virtual twin accuracy is the result of influencing by the physical and mechanical properties of real textile materials.

So, both reconstructions proved the rightness of second approach in terms of MB. We detected three major reasons that lie behind these deviations.

1) The randomness inherent for fabric draping. Digital textiles do not drape in the same way twice, just as real ones due to cloth physics computations. Many variables are used to calculate the position of each particle (vertex) on the surface of the garment several times per frame. The resulted position is calculated as the average value [1].

2) The imperfect mechanics of the virtual simulation. As Jevšnik et al. [3] mention that the mass-spring system used in particle-based models which control the behavior of virtual textiles cannot accurately represent the way in which yarns in the actual textile materials deform and interact with each other.

3) The insufficiency of physical and mechanical properties used to generate DTTM. The methods of fabric testing used in contemporary apparel industry [4] were initially developed to analyze textile materials and compare them. This is in line with works by Kuijpers et al. [2] and Sanad and Cassidy [5], which show that the existing list of characteristic values does not allow the draping process to be reproduced accurately.

CONCLUSIONS

1. A new method for digitizing textile materials of historical costumes was developed. The method uses two different approaches to generate digital twins of textile fabrics. The first approach is based on digital analogs of historical textiles, doesn't require specimens of textiles to be tested and, thus, can be applied to archaeological and historical textile materials. The second approach is based on 2D scanning, non-procedural texturing and testing on real fabric and intended for transforming similar contemporary fabrics into their digital twins to reconstruct the historical garments.

2. The method was applied to generate two DTTM dating to the IVth century BC and three DTTM dating to the XIXth century in terms of surface appearance and mechanical behaviour of the prototypes.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Keckeisen M.* Physical Cloth Simulation and Applications for the Visualization, Virtual Try-On, and Interactive Design of Garments. – Tübingen: Eberhard-Karls-Universität Tübingen, 2005.

2. *Kuijpers S., LuibleBär C., Gong H.* The measurement of fabric properties for virtual simulation: a critical review // IEEE SA industry connections, pp. 1-43. Available from https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/governance/ic-com/3D_BP_Measurement_of_fabric_properties.pdf (Accessed 15.07.2021).

3. *Jevšnik S., Kalaoglu F., Terliksiz S., & Purgaj J.* (2014). Review of Computer Models for Fabric Simulation // *Tekstilec*. – 2014. 57(4). P. 300...314.

4. *Hu J.* Fabric testing. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2008.

5. *Sanad R.A., Cassidy T.* Fabric Objective Measurement and Drape // *Textile Progress*. – 2016. 47 (4). P. 317...406.

6. *Kuzmichev V., Moskvin A., Moskvina M., Pryor J.* Research on 3D reconstruction of late Victorian riding skirts // *International Journal of Clothing Science and Technology*. – 2018. - Vol. 30 Issue: 6. - pp. 790-807. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJCST-12-2017-0192>.

7. *Wijnhoven M.A., Moskvin A.* Digital replication and reconstruction of mail armour // *Journal of Cultural Heritage*. – 2020. - №45. P. 221...233, DOI: 10.1016/j.culher.2020.04.010

8. *Cybulska M.* To see the unseen. Computer graphics in visualization and reconstruction of archaeological and historical textiles. - In: N. Mukai, ed., Computer graphics. - Rijeka: InTech, 2012. P. 213...228.

9. *Moskvin A., Kuzmichev V., Moskvina M.* Digital replicas of historical skirts // *The Journal of The Textile Institute*. – 2019. – Vol. 110 Issue 12. P. 1810...1826.

10. *Zhang S.C., Kuzmichev V.* A Method of selection the textile materials for virtual reconstruction // *IOP Conference series materials science and engineering* 811:012008. – 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/811/1/012008

11. *Aali A., Stöllner T., Abar A. and Rühli F.* The salt men of Iran. The salt mine of Douzlakh, Chehrābād // *Archäologisches Korrespondenzblatt*. – 2012. 42(1). P. 61...81.

12. *Moskvin A., Moskvina M., Kuzmichev V.* Digitale Rekonstruktion von Salzmann 4 / Tod im Salz – Eine archäologische Ermittlung in Persien: Begleitbuch, Katalog und Graphic Novel (T. Stöllner, A. Aali, and N. Bagherpour Kashani (eds.)). Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum. – 2020. №246. P. 161...164.

13. *Москвин А.Ю., Кузьмичев В.Е.* Виртуальная и материальная реконструкция костюмов, представленных на русских лубочных картинках // *Мат. XXIV Междунар. научн. конф.: Мода и дизайн: исторический опыт - новые технологии*. – СПб.: СПбГУПТД. – 2021. С. 75...78.

REFERENCES

1. Keckeisen M. Physical Cloth Simulation and Applications for the Visualization, Virtual Try-On, and Interactive Design of Garments. – Tübingen: Eberhard-Karls-Universität Tübingen, 2005.

2. Kuijpers S., LuibleBär C., Gong H. The measurement of fabric properties for virtual simulation: a critical review // IEEE SA industry connections, pp. 1-43. Available from https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/governance/ic-com/3D_BP_Measurement_of_fabric_properties.pdf (Accessed 15.07.2021).

3. Jevšnik S., Kalaoglu F., Terliksiz S., & Purgaj J. (2014). Review of Computer Models for Fabric Simulation // *Tekstilec*. – 2014. 57(4). P. 300...314.

4. Hu J. Fabric testing. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2008.

5. Sanad R.A., Cassidy T. Fabric Objective Measurement and Drape // *Textile Progress*. – 2016. 47 (4). P. 317...406.

6. Kuzmichev V., Moskvin A., Moskvina M., Pryor J. Research on 3D reconstruction of late Victorian riding skirts // *International Journal of Clothing Science and Technology*. – 2018. - Vol. 30 Issue: 6. - pp. 790-807. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJCST-12-2017-0192>.

7. Wijnhoven M.A., Moskvin A. Digital replication and reconstruction of mail armour // *Journal of Cultural Heritage*. – 2020. - №45. P. 221...233, DOI: 10.1016/j.culher.2020.04.010

8. Cybulska M. To see the unseen. Computer graphics in visualization and reconstruction of archaeological and historical textiles. - In: N. Mukai, ed., Computer graphics. - Rijeka: InTech, 2012. P. 213...228.

9. Moskvin A., Kuzmichev V., Moskvina M. Digital replicas of historical skirts // *The Journal of The Textile Institute*. – 2019. – Vol. 110 Issue 12. P. 1810...1826.

10. Zhang S.C., Kuzmichev V. A Method of selection the textile materials for virtual reconstruction // *IOP Conference series materials science and engineering* 811:012008. – 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/811/1/012008

11. Aali A., Stöllner T., Abar A. and Rühli F. The salt men of Iran. The salt mine of Douzlakh, Chehrābād // *Archäologisches Korrespondenzblatt*. – 2012. 42(1). P. 61...81.

12. Moskvin A., Moskvina M., Kuzmichev V. Digitale Rekonstruktion von Salzmann 4 / Tod im Salz – Eine archäologische Ermittlung in Persien: Begleitbuch, Katalog und Graphic Novel (T. Stöllner, A. Aali, and N. Bagherpour Kashani (eds.)). Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum. – 2020. №246. P. 161...164.

13. Moskvina A.Yu., Kuz'michev V.E. Virtual'naya i material'naya rekonstruktsiya kostyumov, predstavlenykh na russkikh lubochnykh kartinkakh // Mat. XXIV Mezhdunar. nauchn. konf.: Moda i dizayn: istoricheskiy opyt - novye tekhnologii. – SPb.: SPbGUPTD. – 2021. S. 75...78.

Рекомендована кафедрой интеллектуальных систем и защиты информации. Поступила 23.12.21.

УДК 539.434:677.494
DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_93

**РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ЦИФРОВОЙ
КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ
РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ***

**DEVELOPMENT OF CRITERIA FOR DIGITAL
QUALITATIVE ASSESSMENT OF RELAXATION
AND RESTORATION PROPERTIES
OF POLYMER TEXTILE MATERIALS FOR TECHNICAL PURPOSES**

Н.В. ПЕРЕБОРОВА

N.V. PEREBOROVA

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: ninal332@yandex.ru

Предлагаются новые критерии цифровой качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения, получаемые на основе исследования параметров-характеристик математических моделей релаксационных и восстановительных процессов указанных материалов. Разработанные критерии позволяют провести качественную оценку релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения, что значительно сокращает технико-экономические затраты на проектирование указанных материалов с заданными функциональными свойствами, так как отпадает необходимость в изготовлении опытных партий этих материалов.

New criteria for a digital qualitative assessment of the performance properties of polymer textile materials for technical purposes, obtained on the basis of a study of the parameters-characteristics of mathematical models of relaxation and recovery processes of these materials, are proposed. The developed criteria make it possible to conduct a qualitative assessment of the relaxation and recovery properties of polymer textile materials for technical purposes, which significantly reduces the technical and economic costs of designing these materials with specified functional properties, since there is no need to manufacture pilot batches of these materials.

* Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, Проект № FSEZ-2020-0005.

Ключевые слова: полимерные текстильные материалы, релаксационно-восстановительные свойства, математическое моделирование, критерии качественной оценки.

Keywords: polymer textile materials, relaxation and restorative properties, mathematical modeling, assessment of a qualitative assessment.

Введение

Разработанный на основе математического моделирования релаксационно-восстановительного процесса полимерных текстильных материалов технического назначения метод определения функционально-потребительских релаксационно-восстановительных свойств указанных материалов [1] позволяет проводить оценку их качественных характеристик по релаксационно-восстановительным параметрам.

Рассмотрим математическую модель релаксационно-восстановительного процесса полимерных текстильных материалов технического назначения [2]:

$$E_{et} = E_0 - (E_0 - E_\infty)\varphi_{et} \quad (1)$$

где в качестве релаксационной функции φ_{et} выбрана функция нормированный арктангенс логарифма (НАЛ), характеризующая интегральное распределение Коши [3]:

$$\varphi_{et} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg\left(\frac{1}{b_{не}} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon}\right), \quad (2)$$

Здесь τ_ε – характеристика среднего времени релаксации; $b_{не}$ – характеристика интенсивности релаксации; σ_t – напряжение, изменяющееся во времени t под действием деформации ε .

$$E_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} E_{et} - \quad (3)$$

модуль вязкоупругости и

$$E_0 = \lim_{t \rightarrow 0} E_{et} - \quad (4)$$

модуль упругости – два асимптотических значения модуля релаксации $E_{et} = \frac{\sigma_t}{\varepsilon}$.

Для оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения предлагается несколько разработанных критериев, которые могут быть объединены в единый интегрированный критерий в силу того, что все релаксационно-восстановительные параметры оценки свойств указанных материалов подчинены вероятностному закону Коши и включают в себя оценку их качества [4].

Для оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения предлагаются следующие критерии:

- критерий интенсивности восстановления материала после эксплуатации;
- критерий степени восстанавливаемости материала после эксплуатации;
- критерий возможности многократного восстановления материала в процессе эксплуатации;
- временной критерий восстановления функционально-потребительских свойств материала после эксплуатации;
- критерий устойчивости материала к многократному восстановлению после эксплуатации.

Количественную оценку параметров в рамках предлагаемых критериев релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения предлагается проводить в безразмерных единицах, которые могут быть описаны следующим образом [5].

1. Критерий интенсивности восстановления материала после эксплуатации

Обозначим через

$$\alpha_1 = b_{не} \quad (5)$$

безразмерную переменную, характеризующую величину интенсивности восстановления материала после эксплуатации, которая

численно равна интенсивности процесса релаксации, отвечающего за восстановление функционально-потребительских свойств рассматриваемого материала. При этом α_1 может принимать любые неотрицательные значения ($\alpha_1 \geq 0$). Чем меньше значение α_1 , тем быстрее происходит процесс восстановления материала после эксплуатации [6].

2. Критерий степени восстанавливаемости материала после эксплуатации

Обозначим через

$$\alpha_2 = \frac{E_\infty}{E_0 + E_\infty} \quad (6)$$

безразмерную переменную, характеризующую степень восстанавливаемости материала после эксплуатации. При этом α_2 принимает неотрицательные значения ($\alpha_2 \geq 0$). Чем меньше значение α_2 , тем большей степенью восстановления после эксплуатации обладает материал. Чем больше значение параметра α_2 , тем меньшей возможностью к восстановлению обладает материал [7].

3. Критерий возможности многократного восстановления материала в процессе эксплуатации

Обозначим через

$$\alpha_3 = \frac{100\%}{\varepsilon_p} \quad (7)$$

безразмерную переменную, характеризующую возможность многократного восстановления материала в процессе эксплуатации, где ε_p – значение разрывной деформации в процентах. При этом α_3 может принимать любые неотрицательные значения ($\alpha_3 \geq 0$). Чем меньше значение α_3 , тем большей возможностью многократного восстановления обладает материал. Значение $\alpha_3=0$ соответствует материалу, обладающему свойством полного многократного восстановления [8].

4. Временной критерий восстановления функционально-потребительских свойств материала после эксплуатации

Обозначим через

$$\alpha_4 = \frac{\bar{\tau}_\varepsilon}{t_1} \quad (8)$$

безразмерную переменную, характеризующую временные способности материала по восстановлению своих функционально-потребительских свойств после эксплуатации, где t_1 – некоторое значение базового времени, например $t_1 = 60$ с, $\bar{\tau}_\varepsilon$ – среднее релаксационное время, определяемое по формуле:

$$\bar{\tau}_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \tau_\varepsilon d\varepsilon. \quad (9)$$

Здесь ε_1 – наименьшее значение из интервала исследуемых деформаций, ε_2 – наибольшее значение из интервала исследуемых деформаций [9].

При этом α_4 может принимать любые неотрицательные значения ($\alpha_4 \geq 0$). Чем меньше значение α_4 , тем быстрее восстанавливается материал после эксплуатации.

Обозначим через

5. Критерий устойчивости материала к многократному восстановлению после эксплуатации

$$\alpha_5 = \frac{E_\infty}{E_0 - E_\infty} \quad (10)$$

безразмерную переменную, характеризующую устойчивость материала к многократному восстановлению после эксплуатации. При этом α_5 может принимать любые неотрицательные значения ($\alpha_5 \geq 0$). Чем меньше значение α_5 , тем большей устойчивостью к многократному восстановлению после эксплуатации обладает материал. Значение $\alpha_5 = 0$ соответствует условию полной устойчивости материала к многократному восстановлению после эксплуатации.

Ввиду того, что основные релаксационные характеристики E_0 , E_∞ , $b_{n\varepsilon}$ и τ_ε получаются с использованием математического моделирования релаксационно-восстановительных свойств на основе вероятностного распределения Коши, интегральной функцией распределения которого является функция НАЛ, то и все переменные α_1 , α_2 , α_3 , α_4 , α_5 также подчиняются вероятностному распределению Коши в силу аддитивности этого закона [10].

Вероятностное распределение Коши является достаточно близким к нормальному распределению, отличаясь от него некоторыми свойствами, например, более медленной сходимостью интегральной функции к своим асимптотическим значениям. Это свойство распределения Коши позволяет с большей достоверностью обрабатывать статистические выборки, обладающей значительной степенью рассеянности, что и характеризует выборочные совокупности релаксационно-восстановительных характеристик полимерных текстильных материалов технического назначения.

В силу сказанного следует заметить, что вероятностная релаксационная характеристика ε_p также подчинена закону Коши.

В качестве интегральных функций вероятностных распределений при исследовании релаксационных, деформационных и других свойств полимерных текстильных материалов технического назначения, кроме нормального распределения с функцией "интеграл вероятности" (ИВ) и распределения Коши с функцией НАЛ, иногда используют функцию "гиперболический тангенс" (ГТ) и "функцию Кольрауша" (ФК) [11...13].

6. Интегрированный критерий релаксационно-восстановительных свойств

Так как все введенные вероятностные

$$\frac{\sum_{k=1}^N A_{pk}}{N} = \frac{\sum_{k=1}^N (\alpha_{1k} + \alpha_{2k} + \alpha_{3k} + \alpha_{4k} + \alpha_{5k})}{N} = \bar{A}_p \rightarrow \min, \quad (12)$$

где N – число исследуемых образцов материала (объем выборки); \bar{A}_p – среднее значение релаксационно-восстановительного параметра.

Как уже отмечалось, разработанный критерий оптимизации релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения носит интегрированный характер и включает в себя оптимизацию по пяти частичным критериям релаксационно-восстановительных свойств указанных материалов, а именно по:

характеристики $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ распределены по закону Коши, то целесообразно рассмотреть новый релаксационно-восстановительный параметр

$$A_p = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5, \quad (11)$$

также распределенный по закону Коши.

Исходя из свойств слагаемых $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$, параметр A_p может принимать любые неотрицательные значения ($A_p \geq 0$), причем релаксационно-восстановительные свойства полимерных текстильных материалов технического назначения будут тем лучше, чем меньше будет значение релаксационно-восстановительного параметра A_p .

Понятно, что в идеальном случае наилучшими, с точки зрения качества материалов, функционально-потребительскими релаксационно-восстановительными характеристиками будут обладать те материалы текстильной и легкой промышленности, у которых $A_p = 0$. Однако на практике такого достичь невозможно [14].

Таким образом, критерий оптимизации релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения можно сформулировать следующим образом:

- критерию интенсивности восстановления материала после эксплуатации;
- критерию степени восстанавливаемости материала после эксплуатации;
- критерию возможности многократного восстановления материала в процессе эксплуатации;
- временному критерию восстановления функционально-потребительских свойств материала после эксплуатации;
- критерию устойчивости материала к многократному восстановлению после эксплуатации.

ВЫВОДЫ

1. На основе математического моделирования релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения были разработаны пять локальных критериев качественной оценки релаксационных и восстановительных свойств указанных материалов.

2. На основе локальных критериев качественной оценки релаксационных и восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения и с учетом аддитивности вероятностного распределения Коши был разработан комплексный интегрированный критерий оценки релаксационно-восстановительных свойств указанных материалов.

3. Разработанные пять локальных и один интегрированный критерий качественной оценки релаксационных и восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения служат средством сравнительного анализа и технологического отбора указанных материалов, обладающих заданными функциональными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Makarov A. G., Slutsker G.Y., Gofman I.V., Vasil'eva V.V. Initial stage of stress relaxation in oriented polymers. *Physics of the Solid State*. – 2016. Vol. 58, №4. P. 840...846.
2. Makarov A.G., Slutsker G.Y., Drobotun N.V. Creep and fracture kinetics of polymers. *Technical Physics*. – 2015. Vol. 60, № 2. P. 240...245.
3. Gorshkov A.S., Makarov A.G., Romanova A.A., Rymkevich P.P. Modelling of directed polymers deformation processes based on the description of the kinetics of supramolecular structures separated by energy barriers. *Magazine of Civil Engineering*. – 2013. Vol. 44, №9. P. 76...83+103...104.
4. Rymkevich P.P., Romanova A.A., Golovina I.A., Makarov A.G. The energy barriers model for the physical description of the viscoelasticity of synthetic polymers: Application to the uniaxial orientational drawing of polyamide films // *Journal of Macromolecular Science. Part B: Physics*. – 2013. Vol. 52, №12. P.1829...1847.
5. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. A version of modeling of nonlinear-hereditary viscoelasticity of polymer materials//*Mechanics of Solids*. – 2009, №44 (1). P. 122...130.
6. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M.

Predicting the nonlinear hereditary viscoelasticity of polymers // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. – 2007, №48 (6). P. 897...904.

7. Makarov A.G. Determining the analytical correlation between the standardized nuclei of relaxation and creep in textile materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2002, №2. P. 13...17.

8. Stalevich A.M., Makarov A.G. Forecasting the deformation recovery process and the reverse relaxation in polymer materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2002, №3. P. 10...13.

9. Stalevich A.M., Makarov A.G. Determining the inherent viscoelastic relaxation spectrum for synthetic filaments // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2000, №3. P. 8...12.

10. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Modeling of Deformation- Relaxation Processes of Aramid Textile Materials - the Foundation for Analyzing Their Operational Properties// *Fibre Chemistry*. – 2018. Vol. 50, №2. P. 104...107.

11. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Kozlov A.A., Konovalov A.S. Methods of simulation and comparative analysis of shadow' and deformation-reducing properties of aramide textile materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2018, №3. P. 253...257.

12. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A., Wagner V.I. Modeling and forecasting viscoelastic properties of textile materials with a complex structure // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2014, №6. P. 120...124.

13. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. The criteria of optimal selection of mathematical model of textile materials viscoelasticity // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2006, №5. P. 21...25.

14. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Klimova N.S. Improving the Competitiveness of Aramid Textile Materials Based on Mathematical Modeling and Analysis of Their Performance Properties // *Fibre Chemistry*. – 2019. №50(6). P. 569...572.

REFERENCES

1. Makarov A. G., Slutsker G.Y., Gofman I.V., Vasil'eva V.V. Initial stage of stress relaxation in oriented polymers. *Physics of the Solid State*. – 2016. Vol. 58, №4. P. 840...846.
2. Makarov A.G., Slutsker G.Y., Drobotun N.V. Creep and fracture kinetics of polymers. *Technical Physics*. – 2015. Vol. 60, № 2. P. 240...245.
3. Gorshkov A.S., Makarov A.G., Romanova A.A., Rymkevich P.P. Modelling of directed polymers deformation processes based on the description of the kinetics of supramolecular structures separated by energy barriers. *Magazine of Civil Engineering*. – 2013. Vol. 44, №9. P. 76...83+103...104.

4. Rymkevich P.P., Romanova A.A., Golovina I.A., Makarov A.G. The energy barriers model for the physical description of the viscoelasticity of synthetic polymers: Application to the uniaxial orientational drawing of polyamide films // Journal of Macromolecular Science. Part B: Physics. – 2013. Vol. 52, №12. P.1829...1847.

5. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. A version of modeling of nonlinear-hereditary viscoelasticity of polymer materials//Mechanics of Solids. – 2009, №44 (1). P. 122...130.

6. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Predicting the nonlinear hereditary viscoelasticity of polymers // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 2007, №48 (6). P. 897...904.

7. Makarov A.G. Determining the analytical correlation between the standardized nuclei of relaxation and creep in textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2002, №2. P. 13...17.

8. Stalevich A.M., Makarov A.G. Forecasting the deformation recovery process and the reverse relaxation in polymer materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2002, №3. P. 10...13.

9. Stalevich A.M., Makarov A.G. Determining the inherent viscoelastic relaxation spectrum for synthetic filaments // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2000, №3. P. 8...12.

10. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Modeling of Deformation- Relaxation Processes of Aramid Textile Materials - the Foundation for Analyzing Their Operational Properties// Fibre Chemistry. – 2018. Vol. 50, №2. P. 104...107.

11. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Kozlov A.A., Kononov A.S. Methods of simulation and comparative analysis of shadow' and deformation-reducing properties of aramide textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. –2018, №3. P. 253...257.

12. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A., Wagner V.I. Modeling and forecasting viscoelastic properties of textile materials with a complex structure // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2014, №6. P. 120...124.

13. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. The criteria of optimal selection of mathematical model of textile materials viscoelasticity // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2006, №5. P. 21...25.

14. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Klimova N.S. Improving the Competitiveness of Aramid Textile Materials Based on Mathematical Modeling and Analysis of Their Performance Properties // Fibre Chemistry. – 2019. №50(6). P. 569...572.

Рекомендована кафедрой интеллектуальных систем и защиты информации. Поступила 23.12.21.

УДК 681.518.3

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_98

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРЫВНОЙ МАШИНЫ НА ОСНОВЕ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

METHODOLOGY OF CONSTRUCTION OF TENSIONING MACHINE INFORMATION-MEASURING SYSTEM BASED ON CLIENT-SERVER TECHNOLOGY

С.В. ЗАХАРКИНА, О.М. ВЛАСЕНКО, А.А. КАЗНАЧЕЕВА

S.V. ZAKHARKINA, O.M. VLASENKO, A.A. KAZNACHEEVA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: zakharkina-sv@rguk.ru

В статье обоснована необходимость разработки современной информационно-измерительной системы на лабораторном оборудовании. Предложена клиент-серверная архитектура такой системы. В рамках создания методики поставлены и решены следующие задачи: модернизация состава

элементов измерительной системы; разработка сервера опроса для сбора данных измерений; организация их хранения в виде объектно-реляционной базы данных; создание графического пользовательского интерфейса для удаленного мониторинга системы. Разработанный алгоритм и программная реализация сервера позволяют выполнять накопление и хранение данных для их последующего анализа, а также осуществлять вывод полученных измерений на графический пользовательский интерфейс в виде WEB-браузера на любое компьютерное или цифровое устройство по запросу оператора в реальном режиме времени.

In article the necessity of developing a modern information-measuring system on laboratory equipment is substantiated. A client-server architecture of such a system is proposed. As part of the creation of the methodology, the following tasks such as modernization of the composition of the elements of the measuring system; development of a polling server for collecting measurement data; organization of their storage in the form of an object-relational database; creation of a graphical user interface for remote monitoring of the system were set and solved. The developed algorithm and software implementation of the server allow accumulating and storing data for their subsequent analysis, as well as outputting the obtained measurements to a graphical user interface in the form of a WEB-browser to any computer or digital device at operator's request in real time.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, сервер сбора данных, разрывная машина, API-интерфейс, тензодатчик.

Keywords: information-measuring system, data collection server, tensile testing machine, API-interface, strain gauge.

С развитием современных компьютерных технологий существенно изменились стандарты измерений текстильных материалов. Однако на сегодняшний день в научно-исследовательских институтах и в высших учебных заведениях применяются установки с измерительными приборами, которые не позволяют быстро и точно проводить исследования, предполагают ручную обработку результатов эксперимента: построение графиков, анализ и сравнение показаний. В то же время существуют и активно используются готовые решения в области электронно-цифровых измерений текстильных материалов. На рынке представлено большое количество установок со встроенными автоматизированными информационными измерительными системами (ИИС). Тем не менее, машину со встроенной электронно-цифровой системой измерений покупать не всегда рентабельно, так как она имеет относительно высокую стоимость, и существует сложность

обоснования такой покупки при наличии действующей в организации старой машины. Еще один минус заключается в том, что встраиваемые системы привязаны к персональному компьютеру (ПК), на котором хранятся данные вычислений.

Задача совершенствования оборудования и методов исследования деформационных характеристик материалов для швейных изделий, обусловленная необходимостью повышения точности и скорости получения показателей свойств материалов, а также уменьшения материалоемкости эксперимента остается актуальной. При этом отдельное внимание необходимо уделить организации системы сбора, хранения и дистанционной передачи информации пользователю.

Известно, что ткани, трикотажные и нетканые материалы в швейных изделиях подвергаются растяжению, изгибу и сжатию. Деформационные показатели механических свойств являются одним из основ-

ных факторов, по которому выбирают материал для того или иного вида изделия, рассчитывают элементы конструкции с необходимыми прибавками. А также это является важным моментом при определении технологической цепочки производства швейных изделий [1], [2].

Выделяют несколько характеристик механических свойств материалов. Основными являются прочность при растяжении и разрывное удлинение материала, нормированные по ГОСТ. Данные характеристики определяют в результате проведения испытаний на разрывных машинах, методом одноосного растяжения. По результатам эксперимента получают массив данных, строят графики, при этом в большинстве случаев вся обработка данных и оценка проводится вручную [2], [3].

Основной метод исследования характеристик деформаций предполагает медленное растяжение на разрывной машине до заданного параметра с постоянной скоростью деформирования. По полученным данным измерения строят диаграмму растяжения [4].

В зарубежных трудах описаны испытательные устройства, использующие методы оценки механических свойств тканей KES (система оценки Кавабаты) и FAST (проверка качества ткани путем простого тестирования). Однако получаемые по этим методам данные и построенные эмпирические кривые зависимости напряжения от деформации не всегда применимы для построения адекватных моделей поведения тканей [5], [6], [8], [9].

Отечественные разрывные машины в основном имеют следующую комплектацию: неподвижный и подвижный зажимы, силоизмерительное устройство. Подвижный зажим приводится в движение с помощью электродвигателя [3]. Такое простое устройство, тем не менее, позволяет варьировать скорости нагружения и менять величину нагрузки, что позволяет проводить испытания для широкого ряда материалов. Однако исследования занимают продолжительное время и требуют активного участия человека для фиксации и обработки результатов эксперимента.

Среди иностранных аналогов можно отметить такие машины, как QC-501M2F, 502M2F, 503M2F (Cometech, Тайвань) с нагрузкой больше 100 кН, серию разрывных машин Instron 59xx (Illinois Tool Works Inc, США). Они имеют встроенные микроконтроллер измерительной системы и экран управления, позволяющий калибровать, управлять и демонстрировать результаты измерения микроконтроллера. Недостатком данных машин является локальное хранение данных: на флешке микроконтроллера или связанного с измерительным прибором ПК.

В данной работе предлагается методика разработки информационно-измерительной системы (ИИС) для разрывной машины типа PT-250M-2 (PM-200) на основе клиент-серверной технологии с автоматизированным сбором данных, хранением и последующей дистанционной передачей результатов измерения по запросу оператора на любое компьютерное или цифровое устройство: планшет, мобильный телефон, персональный компьютер и т.п.

Машина PT-250M-2 предназначена для определения разрывного усилия и удлинения образцов различных тканей в лабораториях и НИИ текстильной промышленности. Сервопривод машины вырабатывает кинетическую энергию, которая преобразуется в усилие нагрузки, воздействующей на испытываемый материал. Ряд методов основан на деформировании материала до разрушения, при этом перемещение активной траверсы контролируется вручную или автоматически. Движение подвижной траверсы вверх и вниз производится с помощью винтовых и направляющих колонн, закрепленных на основании машины. Нагрузка измеряется с помощью тензометрического датчика.

Основными узлами и механизмами машины являются остов, привод, маятниковый силоизмеритель, захваты.

Основной измеряемый параметр, снимаемый непосредственно со шкалы разрывной машины – разрывное усилие (нагрузка) F_p , Н. Нагрузка представляет собой максимальное усилие, которое выдерживает ма-

териал перед разрывом. Как уже было сказано выше, значения разрывных нагрузок для разных видов материалов прописаны в ГОСТ, они являются важным фактором оценки механических деформационных свойств материалов.

На прочность материала влияет его структура: плотность, вид переплетения и т.п. Для оценки прочности материала рассчитывают удельное разрывное усилие на одну нить по основе (утку) для ткани, или на петельный ряд (столбик) в трикотажном полотне:

$$F_{уд} = \frac{F_p}{n},$$

где n – число структурных элементов на ширине пробы.

Важными показателями деформационных свойств текстильных материалов являются абсолютное и относительное разрывное удлинение при растяжении.

Абсолютное разрывное удлинение (ℓ_p , мм) – это изменение длины испытуемого образца перед разрывом. Оно определяется непосредственно на разрывной машине.

Относительное разрывное удлинение (ϵ_p , %) – это расчетный параметр, который определяется как отношение абсолютного разрывного удлинения к начальной длине материала ℓ_0 :

$$\epsilon_p = \frac{\ell_p}{\ell_0}.$$

По результатам испытаний строят диаграмму "усилие-удлинение".

Для решения задачи модернизации информационно-измерительной системы с возможностью дистанционной передачи данных эксперимента для существующей разрывной машины разработана следующая методика:

- проведена замена некоторых элементов измерительной системы, добавлены модули для передачи данных;

- разработан сервер опроса для сбора данных от измерительных устройств;

- организована база данных для хранения полученных измерений;

- создан графический пользовательский интерфейс (ГПИ) для отображения измеренных данных.

Ниже приведено описание этапов реализации данной методики.

Для технической реализации ИИС была осуществлена замена тензодатчика для получения выходного электрического сигнала. Сервер данных реализован на одноплатном микрокомпьютере Raspberry Pi. Для подключения тензодатчика к Raspberry Pi в систему добавили модуль аналогового ввода-вывода MB110-224.1ТД (ОВЕН, Россия), который позволяет преобразовать сигналы от мостового тензометрического датчика в значение нагрузки, и передать результаты измерения в сеть по протоколу Modbus RTU с использованием интерфейса RS-485. Модуль MB110-224.1ТД имеет один измерительный канал. Архитектура ИИС показана на рис. 1.

Как было сказано выше, на Raspberry Pi был реализован сервер опроса, который представляет собой программу (скрипт), запрашивающую данные с измерительного устройства и передающую их в базу данных. База данных системы разработана в программе PostgreSQL. PostgreSQL – это мощная объектно-реляционная система управления базами данных (СУБД), которая позволяет реализовать безопасное хранение и масштабирование различных сложных структур данных. Это оказывается возможным благодаря открытому исходному коду, использованию стандарта языка SQL в сочетании с большим количеством дополнительных функций.

За осуществление доставки исполняемого кода с серверного устройства до клиентской программы, инициирующей запрос к серверу, отвечает WEB-сервер, который расположен непосредственно на устройстве [9]. Для того, чтобы после установки приложения пользователю не требовалось дополнительных настроек для реализации WEB-сервера, использовалась технология DOCKER.

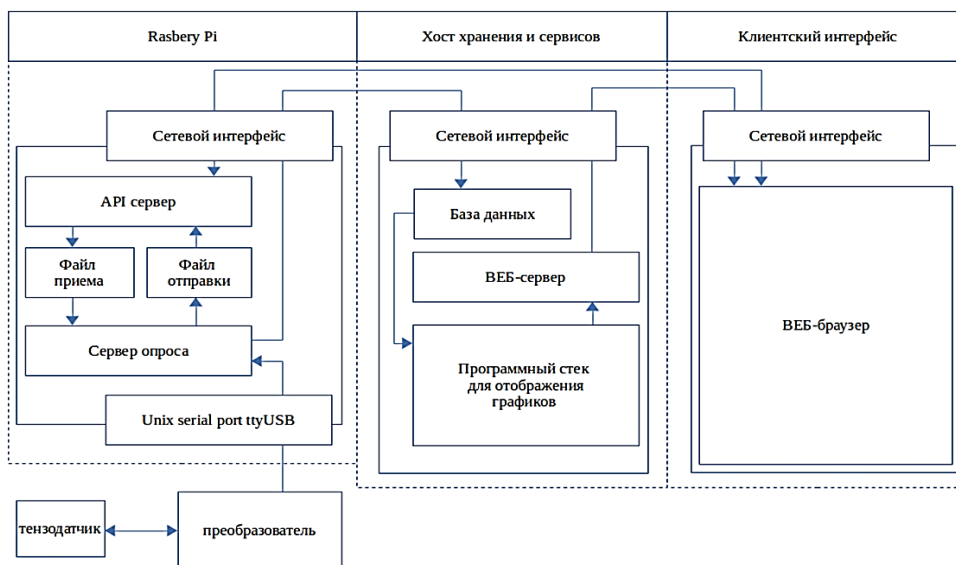


Рис. 1

DOCKER – это открытая платформа для разработки и запуска приложений. Она представляет собой программное обеспечение, которое дает возможность на определенном участке памяти изолированно установить необходимую операционную систему, версию Java, настроить переменные окружения, установить различные зависимости и дать доступ к системе только при определенных условиях [11].

Для возможности удаленного мониторинга разработан ГПИ в виде WEB-интерфейса. Для его реализации был применен интерфейс Application Programming Interface (API). Данный интерфейс включает в себя методы взаимодействия между компьютерными программами: наборы классов, процедур, функций, структур и констант. Что важно и удобно, данный ин-

терфейс входит в описание ряда интернет-протоколов (например, RFC), программных каркасов [10] и стандартов вызовов функций операционной системы. Он может быть реализован как сервис операционной системы или в виде отдельной программной библиотеки.

В качестве формата передачи данных был использован *текстовый формат обмена данными* JavaScript Object Notation (JSON), основанный на языке JavaScript (рис. 2 – графический пользовательский интерфейс для дистанционной передачи данных модернизированной системы). Таким образом, ГПИ представляет собой WEB-страницу с функционалом start/stop (рис. 2-а). На рис. 2-б показан запуск сервера опроса.

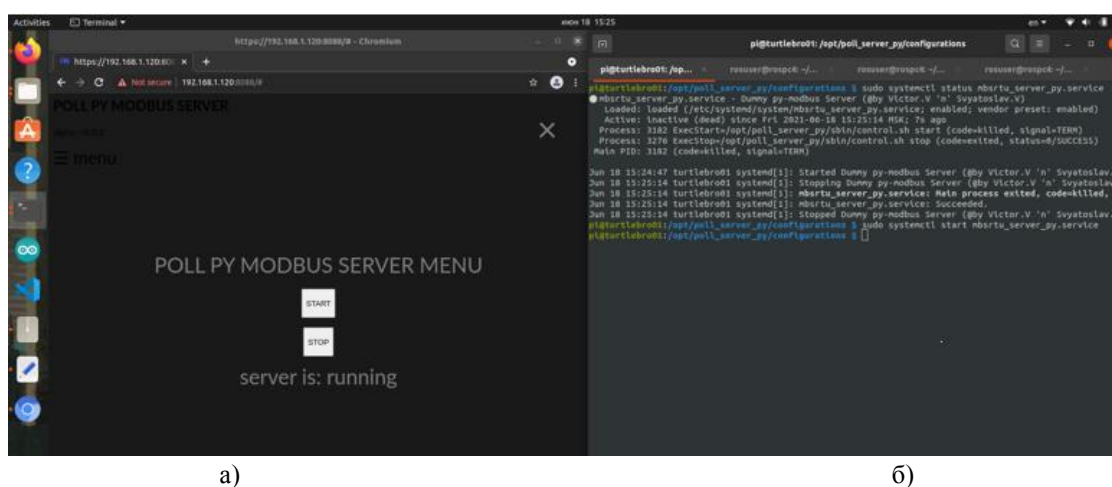


Рис. 2

На рис. 3 приведен один из вариантов получения данных в виде таблицы с результатами измерений.

timestamp	value	qual
15:24:48.15503	-1509.5498046875	true
15:24:48.995614	-1511.2437744140625	true
15:24:49.849903	-1509.813232421875	true
15:24:50.792286	-1513.0380859375	true
15:24:51.716644	-1509.6627197265625	true
15:24:52.628881	-1513.3016357421875	true
15:24:53.559388	-1513.0758056640625	true
15:24:54.401615	-1510.8924560546875	true
15:24:55.29992	-1510.729248046875	true
15:24:56.220451	-1512.0343017578125	true
15:24:57.156818	-1512.486083984375	true
15:24:58.057058	-1512.1220703125	true
15:24:58.899418	-1511.946533203125	true
15:24:59.731655	-1512.046875	true

Рис. 3

ВЫВОДЫ

1. Разработанная информационно-измерительная система на базе Raspberry Pi существенно улучшает качество проводимых экспериментов. Такая система позволяет быстро и точно в режиме реального времени получать результаты измерений и передавать их в базу данных для хранения и дальнейшего анализа.

2. Спроектированный графический пользовательский интерфейс в виде WEB-браузера позволяет выводить результаты измерений на любых устройствах, таких как планшет, мобильный телефон или персональный компьютер.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Липатова Л.А.* Разработка методов оценки и исследование формовочной способности многослойных композиционных текстильных материалов: Дис....канд. техн. наук. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, – 2017.

2. *Шеромова И.А., Старкова Г.П., Новикова А.В.* Исследование и учет деформационных свойств высокоэластичных материалов при проектировании одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, № 2С. С. 28...32.

3. *Жихарев А.П., Краснов Б.Я., Петропавловский Д.Г.* Практикум по материаловедению в производстве изделий легкой промышленности. – М.: Академия, 2008.

4. Пат. 2251094 РФ, МПК7 G 01 N 3/08. Устройство для испытания волокнистых материалов на растяжение / Н.А. Макарова, В.Ю. Мишаков, Б.А., Бузов и др.; заявка № 2004106021/28; заявл. 02.03.2004; опубл. 27.04.2005. Бюл.№ 12.

5. *M. Duhovic D. Bhattacharyya* Simulating the deformation mechanisms of knitted fabric composites

// Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – Vol. 37, Issue 11, November 2006, P.1897....1915

6. *Taibi E.H., Hammouche A., Kifani A.* Model of the Tensile Stress-Strain Behavior of Fabrics // Textile Research Journal. – Vol: 71 issue: 7, July 1, 2001. P.582...586.

7. *Сэм Ньюман.* Создание микросервисов. – O'Reilly Media, Inc. 2015.

8. *Власов В.О., Захаркина С.В., Галкин А.В.* Модернизация информационно-измерительной системы разрывной машины РМ-250 // Сб. тр. кафедры автоматики и промышленной электроники. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021.

9. *Piotr Szablewski.* Deformation of Cotton Weft-Knitted Fabric Subjected to Tensile Loads. January 2017 // Journal of Natural Fibers. – Vol.14. №4. P. 530...540.

10. *Хабарова Е.Б., Фомина О.П., Заваруев В.А.* Исследование влияния нагрузок на физико-механические свойства трикотажных полотен. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 1. С. 89...94.

11. *Орлов А.В., Пашин Е.Л.* Оценка деформации волокон и нитей при испытании на разрывной машине копрового типа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 2. С. 41...46.

REFERENCES

1. *Lipatova L.A.* Razrabotka metodov otsenki i issledovanie formovochnoy sposobnosti mnogosloynnykh kompozitsionnykh tekstil'nykh materialov: Dis....kand. tekhn. nauk. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, – 2017.

2. *Sheromova I.A., Starkova G.P., Novikova A.V.* Issledovanie i uchet deformatsionnykh svoystv vysokoelelastichnykh materialov pri proektirovanii odezhdy // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2008, № 2S. S. 28...32.

3. *Zhikharev A.P., Krasnov B.Ya., Petropavlovskiy D.G.* Praktikum po materialovedeniyu v proizvodstve izdeliy legkoy promyshlennosti. – М.: Akademiya, 2008.

4. Pat. 2251094 RF, МПК7 G 01 N 3/08. Ustroystvo dlya ispytaniya voloknistykh materialov na rastyazhenie / N.A. Makarova, V.Yu. Mishakov, B.A., Buzov i dr.; zayavka № 2004106021/28; zayavl. 02.03.2004; opubl. 27.04.2005. Byul.№ 12.

5. *M. Duhovic D. Bhattacharyya* Simulating the deformation mechanisms of knitted fabric composites// Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – Vol. 37, Issue 11, November 2006, P.1897....1915

6. *Taibi E.H., Hammouche A., Kifani A.* Model of the Tensile Stress-Strain Behavior of Fabrics // Textile Research Journal. – Vol: 71 issue: 7, July 1, 2001. P.582...586.

7. *Sem N'yuman.* Sozdanie mikroservisov. – O'Reilly Media, Inc. 2015.

8. *Vlasov V.O., Zakharkina S.V., Galkin A.V.* Modernizatsiya informatsionno-izmeritel'noy sistemy

razryvnoy mashiny RM-250 // Sb. tr. kafedry avtomatiki i promyshlennoy elektroniki. – M.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2021.

9. Piotr Szablewski. Deformation of Cotton Weft-Knitted Fabric Subjected to Tensile Loads. January 2017 // Journal of Natural Fibers. – Vol.14. №4. P. 530...540.

10. Khabarova E.B., Fomina O.P., Zavaruev V.A. Issledovanie vliyaniya nagruzok na fiziko-mekhanicheskie svoystva trikotazhnykh poloten. // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 1. S. 89...94.

11. Orlov A.V., Pashin E.L. Otsenka deformatsii volokon i nitey pri ispytanii na razryvnoy mashine koprovnogo tipa // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 2. S. 41...46.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 30.09.21.

УДК 677.019

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_104

**ПОИСК ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ЦИФРОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ***

**FINDING WAYS TO IMPROVE THE DIGITAL PRESENTATION
OF TEXTILE MATERIALS FOR DETECTING DEFECTS**

*Т.Ю. КАРЕВА, Д.А. МИРОШНИЧЕНКО, Г.И. ТОЛУБЕЕВА,
М.В. БОЛСУНОВСКАЯ, А.В. БОЙКОВ, А.В. ЛОДЫШКИН*

*T.Yu. KAREVA, D.A. MIROSHNICHENKO, G.I. TOLUBEEVA,
M. V. BOLSUNOVSKAYA, A.V. BOIKOV, A.V. LODYSHKIN*

**(Ивановский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики",
ООО "ВизиумТекс")**

**(Ivanovo State Polytechnical University,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
National Research University Higher School of Economics,
LTD "VisiumTex")**

E-mail: pti@ivgpu.com, ktju@bk.ru, nkorn@ivgpu.com

В статье рассмотрена возможность использования нейросетевых технологий для автоматизированного поиска дефектов текстильных материалов. Представлен разработанный лабораторный стенд, на котором проводится фотосъемка образцов для формирования обучающей выборки. Проведен ряд исследований по влиянию различных видов освещенности материала при получении изображения с камеры. Выполнено исследование по влиянию

* Исследование выполняется при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям в рамках научного проекта СЦТ-92697 «Разработка программно-аппаратного комплекса обнаружения и классификации дефектов тканей с использованием нейросетевых технологий».

изменения угла наклона камеры относительно образца ткани. Предложены различные варианты по устранению нежелательного искажения на изображениях.

The article discusses the possibility of using neural network technologies for the automated search for defects in textile materials. A developed laboratory stand is presented, where samples are photographed to form a training sample. A number of studies have been conducted on the influence of various types of illumination of the material when obtaining an image from the camera. A study was performed on the effect of changing the camera angle relative to the fabric sample. Various options for eliminating the undesirable image distortion are proposed.

Ключевые слова: дефекты текстильных материалов, контроль качества, обработка изображений, нейронная сеть.

Keywords: defects of textile materials, quality control, image processing, neural network.

Одной из главных задач в развитии текстильной и легкой промышленности является повышение качества выпускаемой продукции. При этом наиболее актуальным, на данный момент, становится автоматизация производственных процессов с целью уменьшения затрат человеческого труда [1]. В настоящее время одним из наименее автоматизированных и компьютеризированных этапов технологической цепочки на предприятиях остается определение сортности и выявление дефектов текстильных материалов. В большинстве случаев используется ручной труд, где заняты десятки человек и тратится огромное количество рабочего времени. Автоматизировать процесс контроля качества возможно, как известно, при помощи современных IT-технологий в области программно-аппаратных средств вычислительной техники и использовании средств технического зрения [2...4].

Коллективом авторов решается задача по разработке программно-аппаратного комплекса для распознавания дефектов на движущихся рулонных материалах большой ширины с различным видом оформления поверхностей. Реализовать такую сложную систему обработки данных позволяет глубокое машинное обучение, основанное на полном наборе собранных данных, и не требующее формирования признаков для выявления дефектов. При таком виде машинного обучения чаще всего используются сверточные ней-

ронные сети, особенно при обработке оптических изображений, что обеспечивает высокий показатель точности, составляющий около 99%. Достижение такого уровня происходит за счет большой обучающей выборки на собранном наборе данных. В нашем случае – это фотографии образцов текстильных материалов с дефектами, полученные на специально сконструированном для этих целей лабораторном стенде, включающего линейную видеокамеру Basler acA2440-35uc и специализированное освещение, установленные на расстоянии 50 сантиметров от поверхности образца текстильного материала, общий вид которого представлен на рис. 1.

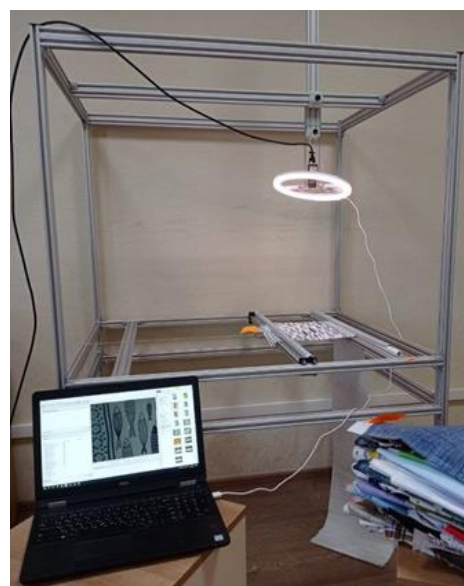


Рис. 1

Для корректного определения местоположения и вида дефекта текстильного материала к получаемым с камеры изображениям предъявляются особые требования по их качеству. На фотографиях должны четко просматриваться все нити, что необходимо для обнаружения структурных дефектов. При поиске дефектов важным является недопущение на изображениях появления дополнительных искажений, вызываемых при фотосъемке материала [5]. Известно, что цифровые изображения, сформированные различными оптоэлектронными системами, могут искажаться под действием помех различного характера [6]. Вызваны они могут быть любыми составляющими компонентами камеры: осветительная система может вызвать неравномерность освещенности предмета; оптическая система может создавать оптические искажения, называемые абберациями; матрицы фотоприемников излучения с зарядовой связью могут создавать помехи, называемые электронным шумом. Это обычно связано с несовершенством технических средств и точности их изготовления. На изображениях искажаются формы предметов, линии, окружности, проявление которых может быть как неравномерно, так и по всей площади снимка. Все это затрудняет и визуальный анализ изображений человеком, и их цифровую обработку программным комплексом [7].

При проведении фотосъемки у значительной части фотографий образцов тканей с дефектами проявилось искажение в виде полос разного размера и направления с оттенком желтого и зеленого цветов, как видно на рис. 2.



Рис. 2

Анализ литературных источников [8], [9], показал, что такие искажения изображений представляют собой оптическую абберацию и шумы квантования, устранить которые возможно либо путем изменения условий фотосъемки, либо использованием другой фотоаппаратуры [10]. Для корректной работы разрабатываемого программно-аппаратного комплекса появление этих помех недопустимо, так как такие искажения изображений очень похожи на настоящие дефекты текстильных материалов.

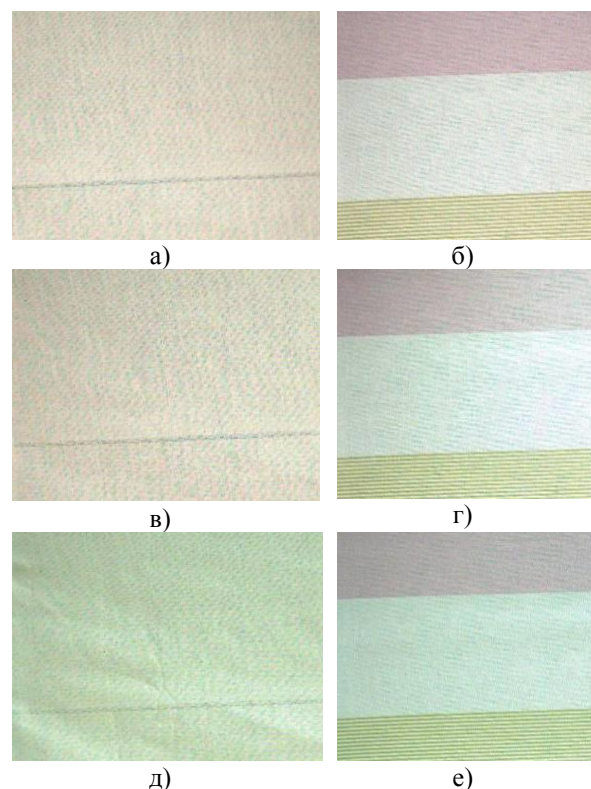


Рис. 3

Исследовано влияния освещенности на проявление оптических искажений. Для этого фотографирование образцов осуществлялось с использованием разных источников света: со стандартным освещением, с дополнительным источником света и без использования освещения. При этом исследованы фотографии образцов тканей как до отделочного процесса, на суровье (рис. 3 - а, в, д), так и после процесса печати (рис. 3 - б, г, е).

При использовании стандартного освещения для фотосъемки (рис. 3 - а, б) на

изображениях возникают самые яркие искажения. Подключение дополнительного источника света (рис. 3 - в, г) не только не влияет на уменьшение помех, но и дополнительно добавляет блики и изменения цвета рисунка. Отсутствие освещения (рис. 3 - д, е) также не приводит к устранению искажений, к тому же заметно ухудшается видимость нитей, что недопустимо. Эксперимент показал, что изменение освещения не устраняет помехи на изображениях.

Исследовано влияние цветовой температуры освещения на образце ткани с печатным рисунком, фотографирование которого осуществлялось при теплом освещении (цветовая температура 3200 К) (рис. 4-а) и при двух источниках света с цветовой температурой 3200 К и 5500 К (рис. 4-б). Эксперимент показал, что при изменении цветовой температуры освещения искажения становятся более выраженными. Таким образом, проведенные исследования показали, что любые настройки освещенности при фотосъемке образца не устраняют проблему появления помех на изображениях.

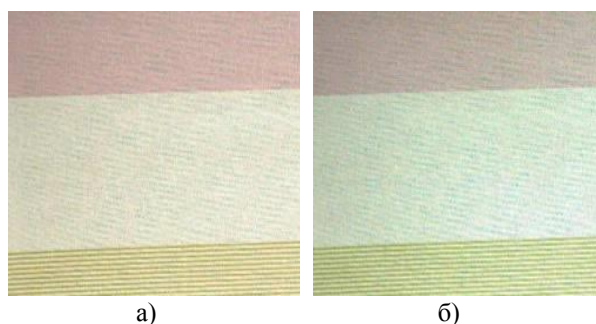


Рис. 4

Рассмотрено влияние угла наклона камеры относительно образца ткани. Для этого технически изменено положение установки камеры на стенде и проведено фотографирование образцов. На рис. 5 представлены полученные камерой изображения, на которых видно, что изменение угла приводит к уменьшению искажений.

Однако данный способ использовать нежелательно, так как возникают трудности в определении принадлежности дефекта к системе нитей (основы или утка), что ведет к неправильному определению вида дефекта, а следовательно, и сорта ткани.



Рис. 5

В связи с вышесказанным нами рассматриваются другие варианты решения выявленной проблемы, а именно: изменение фокусного расстояния; обработка готового изображения; наложение фильтров при фотографировании (в частности, черно-белого); фотографирование с более близкого расстояния; изменение типа устройства захвата изображения.

ВЫВОДЫ

Для формирования обучающей выборки, состоящей из набора фотографий текстильных материалов с дефектами, разработан лабораторный стенд, на котором осуществляется фотографирование тканей. Выполнена фотосъемка образцов, показавшая невозможность получения качественного изображения при стандартных настройках камеры и ее первоначальном положении. Проведен ряд экспериментов по определению влияния наличия освещения и его цветовой температуры на проявление искажений, показавший неэффективность таких настроек фотосъемки. Рассмотрена возможность изменения угла наклона камеры относительно образца ткани, результат которой показал уменьшение помех, однако использование такого метода нежелательно из-за трудностей в определении принадлежности дефекта к системе нитей основы или утка. Предложены другие варианты решения проблемы по возникновению помех на изображениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тесленко И.Б., Дигилина О.Б., Савельев И.И., Селезнев П.С. Цифровые технологии в организации текстильного производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №4. С. 153...157.

2. *Silvestre-Blanes J., Albero-Albero T., Miralles I., Pérez-Llorens R., Moreno J.* A public fabric database for defect detection methods and results // *Autex Research Journal*. – 19 (4), 2019. P. 363...374.

3. *Ершов С.В., Реймер В., Калинин Е.Н., Грис Т.* Разработка системы компьютерного зрения для измерения направленности волокон в плетеных структурах // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2019, №5. С. 204...208.

4. *Карелина Е.Б., Бальхин М.Г., Донник И.М., и др.* Разработка интеллектуального комплекса для адаптивного управления технологическими процессами текстильной промышленности с применением нейросетевых регуляторов // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2019, №4. С. 144...148.

5. *Goyal A.* Automation in fabric inspection, in *Automation in Garment Manufacturing* // *Woodhead Publishing*. – 2018. P.75...107.

6. *Старовойтов В.В.* Получение и обработка изображений на ЭВМ. – Минск: БНТУ, 2018.

7. *Селянкин В.В., Скороход С.В.* Анализ и обработка изображений в задачах компьютерного зрения. – Таганрог: ЮФУ, 2015.

8. *Сойфера В.А.* Методы компьютерной обработки изображений. – М.: Физматлит, 2001.

9. *Шапиро Л., Стокман Дж.* Компьютерное зрение. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006.

10. *Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю.* Компьютерная обработка и распознавание изображений. – С-П: СПбГУ ИТМО, 2008.

REFERENCES

1. *Teslenko I.B., Digilina O.B., Savel'ev I.I., Seleznev P.S.* Tsifrovye tekhnologii v organizatsii tekstil'nogo proizvodstva // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2019, №4. S. 153...157.

2. *Silvestre-Blanes J., Albero-Albero T., Miralles I., Pérez-Llorens R., Moreno J.* A public fabric data-base for defect detection methods and results // *Autex Research Journal*. – 19 (4), 2019. P. 363...374.

3. *Ershov S.V., Reymer V., Kalinin E.N., Gris T.* Razrabotka sistemy komp'yuternogo zreniya dlya izmereniya napravlenosti volokon v pletenykh strukturakh // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2019, №5. S. 204...208.

4. *Karelina E.B., Balykhin M.G., Donnik I.M., i dr.* Razrabotka intellektual'nogo kompleksa dlya adaptivnogo upravleniya tekhnologicheskimi protsessami tekstil'noy promyshlennosti s primeneniem neyrosetevykh regulyatorov // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2019, №4. S. 144...148.

5. *Goyal A.* Automation in fabric inspection, in *Automation in Garment Manufacturing* // *Woodhead Publishing*. – 2018. P.75...107.

6. *Starovoytov V.V.* Poluchenie i obrabotka izobrazheniy na EVM. – Minsk: BNTU, 2018.

7. *Selyankin V.V., Skorokhod S.V.* Analiz i obrabotka izobrazheniy v zadachakh komp'yuternogo zreniya. – Таганрог: YuFU, 2015.

8. *Soyfera V.A.* Metody komp'yuternoy obrabotki izobrazheniy. – М.: Физматлит, 2001.

9. *Shapiro L., Stokman Dzh.* Komp'yuternoe zrenie. – М.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2006.

10. *Fisenko V.T., Fisenko T.Yu.* Komp'yuternaya obrabotka i raspoznavanie izobrazheniy. – S-P: SPbGU ITMO, 2008.

Рекомендована заседанием Инженерингово центра текстильной и легкой промышленности ИВГПИУ. Поступила 20.12.21.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
НА ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕТКАНОГО ПОЛОТНА**

**THE MATHEMATICAL MODELING
OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS
ON THE MANUFACTURING PROCESS OF NONWOVEN FABRIC**

*Г.С. КЕНЖИБАЕВА, Т.Н. СУЛЕЙМЕНОВА, М.Н. ИМАНКУЛОВА,
Д.Д. ДАЙРАБАЙ, Ж.У. НЫШАНБАЕВА, М.Т. СИХИМБАЕВА*

*G.S. KENZHIBAYEVA, T.N. SULEIMENOVA, M.N. IMANKULOVA,
D.D. DAIRABAY, ZH.U. NYSHANBAEVA, M.T. SIKHIMBAYEVA*

(Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Республика Казахстан)

(M.Auezov South-Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan)

E-mail: mariya.imankulova@mail.ru

В данной статье рассмотрены проблемы и перспективы текстильной и легкой промышленности Республики Казахстан в производстве нетканых материалов. Изучен процесс изготовления нетканого материала из неоднородной мериносовой шерсти. Сочетания свойств войлока возможно за счет использования специфических свойств шерстяного сырья путем выбора режимов технологических параметров, оборудования и методов исследований. Изучены физико-механические характеристики войлочного материала. Эксперименты проводились на базе Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова и ТОО "Шымкент-Кашемир" с применением современной разрывной машины ПЖУ-12. При решении поставленных задач было учтено, что основными параметрами изготовления нетканого материала являются температура воды при валке, время валки и свойлачиваемость, характеристики которых были рассмотрены в качестве факторов при планировании эксперимента. В статье проведено математическое моделирование влияния технологических параметров на процесс изготовления нетканого полотна с использованием показателей физико-механических свойств. Проведенный анализ результатов опытов дает значительное улучшение физико-механических свойств войлока.

This article discusses the problems and prospects of the textile and light industry of the Republic of Kazakhstan in the production of nonwovens. The process has been researched of manufacturing non-woven material from heterogeneous merino wool. Combinations of felt properties are possible due to the use of specific properties of wool raw materials by selecting modes of technological parameters, equipment and research methods. The physical and mechanical characteristics of felt material have been researched. The experiments were conducted on the basis of the South Kazakhstan University named after M. Auezov and Shymkent-Cashmere LLP with the use of a modern bursting machine, a PZHU-12 device. When solving the tasks, it was taken into account that the main parameters of the manufacture of nonwoven fabric are the water temperature during the roll, the roll time and the felting, the characteristics of which were considered as factors in the planning of

the experiment. The article presents mathematical modeling of the influence of technological parameters on the manufacturing process of non-woven fabric using indicators of physical and mechanical properties. The analysis of the experimental results gives a significant improvement in the physical and mechanical properties of felt.

Ключевые слова: эксперимент, валяние, войлок, легкая промышленность, физико-механические свойства, методы.

Keywords: experiment, felting, felt, light industry, physical and mechanical properties, methods.

Введение

В мировой индустрии моды и текстиля наряду с внедрением новейших технологий, популяризацией синтетических тканей нового поколения идет обращение к исторически сложившимся накопленным достижениям отдельных народов. Появился новый взгляд на натуральные материалы, орнаменты, вышивку и другие виды рукоделия, используемые для изготовления традиционных вещей, например, из войлока, являющийся одним из самых старых, традиционных и экологических материалов. Войлок – это нетканый материал, производимый из валяной шерсти. Преимуществами войлочных изделий являются – возможность изготовления формоустойчивых объемных деталей без швов; формирование пакета материалов с заданными свойствами при уменьшении толщины и количества используемых прикладных материалов; снижение материалоемкости и трудоемкости изготовления. С обретением независимости появилась возможность возродить национальные традиции с использованием технологии в легкой и текстильной промышленности. В Казахстане утрачено производство шерстяной пряжи и шерстяных полотен [1]. Развитие традиционной культуры и ориентация на модернизацию форм прикладного искусства призваны повысить конкурентоспособность промышленности с сохранением национальных особенностей.

Целью данной работы является исследование разработки научно обоснованных методов технологии изготовления нетканого полотна с прогнозированием наилучших свойств, многосторонний анализ рынка нетканого полотна в Казахстане [2]. Отсюда

вытекают нижеследующие задачи: проанализировать развитие и применение нетканого полотна в легкой промышленности; изучить способы изготовления войлока по технологии мокрого валяния; исследовать влияние параметров технологического процесса на свойства войлока с применением методов математического моделирования.

Казахстанская легкая и текстильная промышленность имеют большой потенциал для успешного развития данных отраслей, учитывая более низкие показатели затрат при производстве, близость к сырью и потенциальным рынкам сбыта производимой продукции, привлекательный инвестиционный климат, развитую транспортную инфраструктуру. Изучая статистические данные за 2020 г., можно сказать, что в объеме производства легкой промышленности – текстильное производство Республики Казахстан занимает основную долю – 55%, или 71 млрд. тенге, что выше аналогичного периода прошлого года на 18% [3]. В текстильном производстве основную долю занимают такие регионы, как: г. Шымкент (25%, или 17,7 млрд. тенге) и Туркестанская область (31%, или 31 млрд. тенге).

Со стороны государства поддержка предприятий текстильной промышленности оказывается в рамках системных мер, направленных на обрабатывающую промышленность, таких как продвижение экспорта продукции, стимулирование повышения производительности труда, продвижение товаров на внутреннем рынке, реализацию Единой программы поддержки и развития бизнеса "Дорожная карта бизнеса 2020". Будет увеличен объем производства текстильной продукции на 6%, в том числе

хлопчатобумажной пряжи на 50%, ткани на 14%, ковров на 19%, одежды на 11%, кожи на 30,4% [3].

Авторы данной статьи произвели математическое моделирование, которое позволяет прогнозировать наилучшие физико-механические свойства при изготовлении нетканого полотна. При изготовлении экспериментальных образцов в качестве сырья использовалась 100%-ная шерсть из неоднородных волокон. Для разрабатываемого способа изготовления полотна из войлока основным сырьем являются волокна шерсти, а именно мериносовые волокна, так как они обладают наибольшей валкостью. Шерсть мериноса является более тонкой, легкой и упругой, чем шерсть другой породы овец. Известно, что изделия из 100%-ной мериносовой шерсти обладают высокой гигроскопичностью. Шерсть овец этого вида имеет уникальное свойство впитывать до трети влаги от своего объема. Благодаря этому тело человека, одетое в одежду из такой шерсти, всегда находится в сухом тепле [7]. Сравнение результатов исследования опытных образцов из разного вида волокон и изучение их свойств показало, что волокна мериносовой шерсти лучше остальных поддаются валке и при их свойлачивании материал имеет более равномерную

толщину, что является немаловажным фактором для внешнего вида изделия. Для изготовления образцов была выбрана 100%-ная тонкая шерсть мериноса толщиной 20 микрон.

Методы

В процессе работы использованы: научные, логические, объективные методы исследования. Принципами познания стали методы анализа и научного объяснения, предполагающие расчленение целостного на составные элементы для изучения и объяснения их в отдельности как части единого целого. Были изучены следующие физико-механические характеристики войлочного материала: разрывная нагрузка, удлинение при разрыве, жесткость, упругость. Эксперименты проводились на базе Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова и ТОО "Шымкент-Кашемир", использовалась современная разрывная машина ПЖУ-12. При решении поставленных задач было учтено, что основными этапами изготовления нетканого материала являются температура воды при валке, время валки и свойлачиваемость, характеристики которых были рассмотрены в качестве факторов при планировании эксперимента и приведены в табл. 1 (основные факторы при планировании эксперимента).

Т а б л и ц а 1

Образец	Температура воды, °С	Свойлачиваемость, мин	Время валки, мин
1	65	5	100
2	55	5	70
3	60	5	100
4	55	5	40
5	65	5	70
6	60	5	40

Методы измерения и испытания образцов тканей из войлочного материала показали, что в ходе тестирования образцов войлока были приняты во внимание стандарты ISO и ГОСТ Республики Казахстан, требуемые для проведения полного факторного эксперимента. Для проведения экспериментов подбираются шаблоны для образцов войлока. Образцы вырезаются из полотна, которое было высушено в течение определенного времени и при определенной температуре, расположенного на расстоянии

более 1 м от конца. Вырезанные образцы с краями, параллельными длине и ширине войлока, не менее 400x400 мм. Для войлочных деталей и мелкоштучных изделий допускается проведение испытаний по физическим, механическим и химическим параметрам (за исключением определения линейных размеров и плотности) на точечных образцах войлока, из которого изготовлены эти детали или штучные изделия. Линейные размеры войлока, войлочных деталей и штучных войлочных изделий определя-

ются с помощью измерительной металлической линейки или измерительной металлической рулетки. Измерения должны проводиться по согласованию между заинтересованными сторонами. Если результаты теста неудовлетворительны хотя бы по одному из показателей, проводится повторное испытание на удвоенном количестве точечных образцов, взятых из той же партии [4].

В соответствии с задачами, вытекающими из цели данной статьи, исследование влияния технологических параметров процесса изготовления войлочного материала на их физико-механические свойства является обязательным. Проведен анализ изменения геометрических свойств полуфабрикатов в процессе изготовления войлока. Во время свойлачивания и в начальный период валки под действием многократно повторяющихся механических сил образуются отдельные группы или узлы взаимно переплетенных волокон. Дальнейший ход процесса

валяния направлен на сближение или сжатие этих узлов, что приводит к образованию однородного плотного продукта [5]. Для каждого образца был проведен статистический анализ. В этом типе анализа изменения физических и механических свойств войлока определяются в соответствии со шкалой изменения цвета. Каждый из рассмотренных факторов влияет на увеличение свойств. В каждом образце толщина практически не меняется. Разрывная нагрузка, жесткость, удлинение и упругость увеличиваются пропорционально количеству факторов. Образцы дают возможность сравнивать и определять наиболее благоприятные факторы, такие как температура воды и необходимое время для изготовления рулона войлочной одежды [6].

В табл. 2 показано влияние толщины холста, температуры воды и времени валки на физико-механические свойства войлочных образцов.

Таблица 2

№ образца	Разрывная нагрузка, ср., даН	Жесткость, ср., сН	Упругость, ср., %	Удлинение при разрыве, ср.	
				мм	%
1	23,5	31,1	63	85	53,5
2	16,5	13,8	60,5	75	46,6
3	21,3	29,7	62	84	53,4
4	15,77	12,5	60	74	46,5
5	18,3	20,11	58	94	58,8
6	14,6	10,5	57	83	52,3

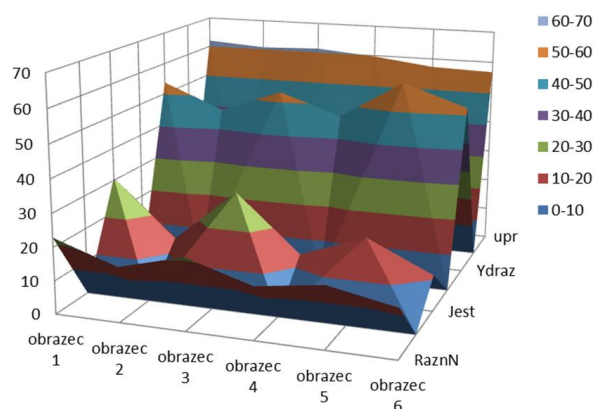


Рис. 1

В ходе эксперимента был получен сравнительный статистический анализ образцов полотна и проведено математическое моделирование. Полученные результаты позволяют нам сделать выбор параметров про-

цесса изготовления материала в зависимости от требований, предъявляемых к полотну. Трехмерные графики отражают изменения физических и механических свойств: упругости, удлинения при разрыве, жесткости и разрывной нагрузки (рис. 1). Основываясь на результатах испытаний образцов, можно предсказать, что наилучшие сочетания свойств материала имеют образцы с номерами 1 и 3, образец 5 показывает удовлетворительные свойства, образцы 2,4,6 показывают наименьший результат.

Результаты и обсуждение

По результатам эксперимента было установлено, что упругость образца увеличивается вместе с увеличением времени валки. Толщина готового войлока, показатели жесткости и разрывной нагрузки уве-

личиваются как с увеличением времени валки, так и с увеличением толщины полотна. Влияние технологических факторов на удлинение при разрыве образцов имеет несколько иной характер. Она увеличивается с увеличением толщины холста, но уменьшается с увеличением времени валяния, вероятно, потому, что длительная прокатка приводит к ориентации волокон по толщине холста. Основным регулятором свойств выбранных зон является толщина полотна, и время валяния увеличивается, обеспечивая увеличение разрывной нагрузки, насколько позволяет жесткость [7].

Изготовление образцов осуществлялось с соблюдением следующих параметров технологического процесса: толщина полотна 14,5 мм, температура воды 60°C, продолжительность валки полотна от 40 до 100 мин. При формировании войлока мокрым валянием слой шерстяных волокон укладывался во взаимно-перпендикулярном направлении. Затем процесс осуществляли путем укладки, прокатки, формования, сушки и влажно-тепловой обработки при температуре 130...150°. При укладке и прокатке шерстяные волокна сцепляются, что приводит к повышению прочности и стабильности формы материала изделия [8].

Для экспериментов было изготовлено 6 образцов войлока. Шесть образцов изготовлены с использованием натурального войлока, цветного войлока. Значения разрывной нагрузки значительно увеличились в образцах с номерами 1,3,5 и превысили 20 даН. Самый низкий результат, менее 14 даН, показали образцы № 6, 4, 2. По результатам испытаний на относительное удлинение было установлено, что удлинение при разрыве значительно увеличилось в образцах № 1 и 5 и превысило 85 мм. Наименьший результат, менее 75 мм, показали образцы № 2 и 3. Упругие параметры значительно увеличились в образцах № 1 и 3. Наименьшую упругость, менее 60%, показал образец № 6. В ходе испытания на жесткость было выявлено, что показатели жесткости значительно увеличились в образцах под номерами 1, 3 и превысили 25 сН. Наименьшую жесткость, менее 15 сН, пока-

зали образцы № 6 и 4. По результатам испытаний образцов было выявлено, что наилучшими сочетаниями свойств материала обладают образцы под номерами 1 и 3. Таким образом, исходя из характеристик образцов, было выявлено, что для повышения прочности необходимо выбирать образцы со временем валки 100 мин и температурой валяния 65°C [9].

Анализ результатов испытаний позволяет говорить о том, что время раскатки и температура воды влияют на физико-механические свойства при изготовлении одежды из войлока. На основании полученных результатов установлено, что каждый из рассмотренных факторов влияет на увеличение свойств. Толщина почти не изменилась. Разрывная нагрузка, жесткость, удлинение и упругость увеличиваются пропорционально количеству факторов.

В Ы В О Д Ы

Исследование показало влияние параметров процесса изготовления на геометрические и физико-механические свойства войлочных изделий. Это позволяет нам обоснованно выбирать методы обработки, температуру воды и необходимое время валки для изготовления войлочных полотен. Результаты проведенных исследований показали значительное улучшение свойств войлока [10]. Нами выявлено, что повышение качества валяных изделий требует учета особенностей промышленного изготовления валяльно-войлочных изделий, что делает актуальной разработку научно-обоснованного метода математического моделирования и изготовления нетканого полотна.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. <https://qazindustry.gov.kz/ru/article/sostoyanie-tekstilnoi-promyshlennosti-a-kazahstane-perspektivy-razvitiya>
2. <https://tebiz.ru/mi/analiz-rynka-netkanogo-polutna-v-kazahstane>
3. <https://primeminister.kz/ru/news/v-2021-godu-budut-zapushcheny-tri-novyh-proekta-kotorye-velichat-obemy-proizvodstva-obrabatvyvayushchey-otrasli-miir-162536>

4. ISO 314-72 Войлок, войлочные детали, штучные войлочные изделия. Правила приемки и методы испытаний.

5. Effect of Recycled PET Fibers on the Performance Properties of Knitted Fabrics Abdurrahman Telli1, Nilgün Özdil // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – V. 10, Iss. 2. 2015. P.47...60.

6. *Прасолов А.В.* Динамические модели с запаздыванием и их приложения в экономике и инженерии. – 2010.

7. *Алпатов Ю.Н.* Математическое моделирование производственных процессов. – СПб.: Лань, 2018.

8. *Аксенова А. А.* Войлок. – Минск; Харвест, 2011.

9. *Барабанов Г.Л., Борщев Е.Н., Смирнов Г.П., Тюменев Ю.Я.* Физико-механические методы производства нетканых материалов и валяных войлочных изделий. – М.: Легпромбытиздат, 1994.

10. *Белгородский Б.С., Кирсанова Е.А., Жихарев А.П.* Инновации в материалах индустрии моды. – М.: МГУДТ, 2010.

REFERENCES

1. <https://qazindustry.gov.kz/ru/article/sostoyanie-tekstilnoi-promyshlennosti-a-kazahstane-perspektivy-razvitiya>

2. <https://tebiz.ru/mi/analiz-rynka-netkanogo-polotna-v-kazahstane>

3. <https://primeminister.kz/ru/news/v-2021-godu-budut-zapushcheny-tri-novyh-proekta-kotorye-uvelichat-obemy-proizvodstva-obrabatyvayushchey-otrasli-miir-162536>

4. ISO 314-72 Voylok, voylochnye detali, shtuchnye voylochnye izdeliya. Pravila priemki i metody ispytaniy.

5. Effect of Recycled PET Fibers on the Performance Properties of Knitted Fabrics Abdurrahman Telli1, Nilgün Özdil // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – V. 10, Iss. 2. 2015. P.47...60.

6. *Prasolov A.V.* Dinamicheskie modeli s zapazdyvaniem i ikh prilozheniya v ekonomike i inzhenerii. – 2010.

7. *Alpatov Yu.N.* Matematicheskoe modelirovanie proizvodstvennykh protsessov. – SPb.: Lan', 2018.

8. *Aksenova A. A.* Voylok. – Minsk; Kharvest, 2011.

9. *Barabanov G.L., Borshchev E.N., Smirnov G.P., Tyumenev Yu.Ya.* Fiziko-mekhanicheskie metody proizvodstva netkanykh materialov i valyanykh voylochnykh izdeliy. – M.: Legprombytizdat, 1994.

10. *Belgorodskiy B.S., Kirsanova E.A., Zhikharev A.P.* Innovatsii v materialakh industrii mody. – M.: MGUDT, 2010.

Поступила 17.11.21.

УДК 677.025.5

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_115

3D-ПЕЧАТЬ ГИБКОГО ТКАНОГО АНАЛОГА ПО FDM-ТЕХНОЛОГИИ***3D PRINTING OF A FABRIC ANALOG USING FDM-TECHNOLOGY***А.П. ГРЕЧУХИН, А.Т. ХАБИБУЛЛОЕВ, П.Н. РУДОВСКИЙ, М.Д. РУДКОВСКИЙ**A.P. GRECHUKHIN, A.T. KHABIBULLOEV, P.N. RUDOVSKIY, M.D. RUDKOVSKIY*

(Костромской государственной университет)

(Kostroma State University)

E-mail: a_grechuhin@ksu.edu.ru

3D-печать по технологии FDM может быть использована для печати аналогов текстильных изделий. Особенность строения тканых изделий должна быть учтена на этапе проектирования (создания 3D-моделей), так как необходимо создавать дополнительные зазоры для обеспечения подвижности имитирующих текстильную нить элементов. Для печати использовался пластик Flex (термопластичный полиуретан) в комбинации пластиком PVA (поливиниловый спирт). 3D-модель материала построена таким образом, чтобы после растворения PVA пластика структура материала максимально соответствовала текстильной ткани. В зависимости от диаметра сопла экструдера принтера дополнительные зазоры могут различаться для обеспечения подвижности элементов в напечатанном изделии.

3D printing using FDM technology can be used to print analogs of textile products. The peculiarity of the woven products structure should be taken into account at the design stage (creating 3D models), since it is necessary to create additional gaps to ensure the mobility of the elements imitating the textile thread. For printing, Flex plastic (thermoplastic polyurethane) was used in combination with PVA plastic (polyvinyl alcohol). The 3D model of the material is constructed in such a way that after the dissolution of the PVA plastic, the structure of the material corresponds to the textile fabric as much as possible. Depending on the diameter of the nozzle of the printer extruder, additional gaps may vary to ensure the mobility of elements in the printed product.

Ключевые слова: 3D-печать, 3D-модель, ткань, материал поддержки, термопластичный полиуретан, поливиниловый спирт, PVA.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-20089, <https://rscf.ru/project/22-29-20089/>

Keywords: 3D printing, 3D model, fabric, support material, thermoplastic polyurethane, polyvinyl alcohol, Flex, PVA.

Современные технологии изготовления материалов позволяют эффективно заменять традиционные технологические процессы. В области технологии создания тканей появляется возможность использовать 3D-печать для создания аналогов тканых изделий. Основные преимущества 3D-печати заключаются в возможности использовать большее количество материалов и их комбинаций, а также в возможности создания более разнообразных 3D-структур. 3D-печать позволяет намного быстрее получить опытный образец изделия.

В данном направлении существует большое количество ограничений и технических сложностей, однако их решение позволит существенно расширить возможности по созданию новых материалов.

В исследовании [1] авторы рассматривают цикл создания аналога текстильного материала на 3D-принтере. Приведена методика печати полотна с поддержкой различного типа, используя FDM- и SLA-технологии 3D-печати. Существуют различные подходы к воссозданию 3D-структуры текстиля с помощью 3D-печати методом FDM.

С помощью FDM 3D-печати возможно формировать изделие в различных направлениях, так как используются различные вариации материала поддержки. Два наиболее логичных способа – это способ послойного формирования изделия перпендикулярно плоскости полотна [1] и вдоль, чтобы выдавливаемый пластик формировал изогнутую линию нити [2]. У каждого решения есть и положительные, и отрицательные стороны. Например, при формировании вдоль нитей изделие будет иметь большую прочность, но при этом увеличивается. При формировании изделия в направлении, перпендикулярном плоскости полотна, наоборот. Выбор пластика для печати определяется требованиями к изделию. Это могут быть пластики, стойкие к химическим средам (для фильтров), или для бытового применения с различными дисперсными наполнителями. Важный параметр напечатанного 3D-изделия – аналога ткани – это

гибкость и подвижность структуры. На достижение этих целей направлено множество работ, опубликованных в последнее время.

Для придания изделию гибкости необходимо, чтобы формируемые системы "нитей" не склеивались между собой. Этого можно достичь использованием соответствующей техники построения 3D-модели изделия. В работе [3] проектируются изделия с различной геометрией и приводятся результаты их испытаний. Появляются новые подходы к печати гибких аналогов текстильных материалов [4], [5]. В работе [5] был разработан новый метод печати текстильных поверхностей, объединяющий различные материалы во взаимосвязанную гибкую структуру.

В то же время существуют возможности по 3D-печати гибкой текстильной нитью, однако это требует разработки специального оборудования [6], [7]. Правильная комбинация и материала, и структуры позволяет создавать самые реалистичные 3D-структуры – аналоги текстиля [8].

За счет различной комбинации технологических параметров возможно получение 3D-печатных форм аналогов ткани различного строения [9], которые можно формировать из различных материалов. В работах [3...9] использовались твердые пластики для печати изделий.

Как показано в [10...12], для обеспечения подвижности структуры, близкой к тканой недостаточно использовать только материалы с малой жесткостью.

Полноценный аналог ткани остается все еще проблемой для 3D-печати. Это связано с материалом для печати, технологией печати и со способами создания 3D-моделей для печати.

Поэтому основной задачей представленного исследования является получение материала методом 3D-печати с набором свойств, которые позволили бы охарактеризовать его как аналог ткани.

Основными свойствами аналога однослойной ткани, который может быть напечатан на 3D-принтере, являются:

- малое сопротивление изгибу (гибкость),
- возможность незначительно растягиваться,
- слабое сопротивление сдвигу в плоскости ткани (подвижность структуры),
- малая толщина,
- пористость.

Эти свойства определяют текстильное изделие (ткань или трикотаж).

Не все свойства требуются для достижения необходимых эксплуатационных показателей. В этом и заключается будущее 3D-печати применительно к созданию аналогов текстильной ткани или трикотажа. С помощью 3D-печати возможно получить требуемый набор свойств, “отключив” остальные.

В настоящей работе для создания опытного образца использовалась наиболее распространенная технология 3D-печати – FDM (fused deposition modeling) с печатью двумя материалами. Один материал – основной, предназначен для формирования материала изделия, а второй – растворимый используется для заполнения зазоров между системами “нитей”.

Для отработки технологии 3D-печати аналога ткани использовался пластик – термопластичный полиуретан в комбинации с пластиком – поливиниловым спиртом (PVA).

Термопластичный полиуретан может деформироваться более чем на 50% в отличие от других пластиков для 3D-печати. 3D-модель материала построена таким образом, чтобы после растворения PVA пластика основная структура материала максимально соответствовала структуре ткани. Для печати использовался 3D-принтер Picaso Designer X Pro.

Для создания геометрической модели ткани полотняного переплетения использовали ПО Компас - 3D. Форма поперечного сечения нити принималась по рекомендациям из работы [13].

- размеры образца – 100×50 мм;
- плотности по основе и утку – 30 нит/10 см;
- поперечник нитей основы по вертикали 1 мм, по горизонтали – 2,4 мм.

Для обеспечения подвижности “нитей” в образцах за счет зазоров между ними поперечные размеры одной из систем “нитей” уменьшались до 0,8 и 0,6 мм в соответствующих вариантах. Сечения ткани вдоль нитей одной из систем показаны на рис. 1 (а – поперечник нитей по вертикали 0,6 мм, б – поперечник нитей по вертикали 0,8 мм).

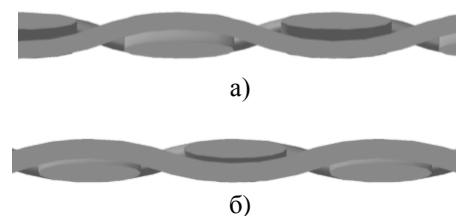


Рис. 1

Для формирования задания на 3D-печать использовалась программа Polygon X.

Зазор между нитями при 3D-печати формировался PVA пластиком. При моделировании использовали подходы, изложенные в работе [14].

Использовали следующие параметры печати (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Диаметр сопла, мм	0,3
Высота слоя, мм	0,1
Плотность заливки, %	100
Ширина периметров и линий заполнения, мм	0,36
Кратность слоев заливки	1

Вид изделия после печати последнего слоя растворимого пластика показан на рис. 2-а (зазор между нитями 0,2 мм, 2 слоя растворимого материала) и рис. 2-б (зазор между нитями 0,4 мм, 4 слоя растворимого материала). На рис. 2 обведены зоны печати просветов между нитями по вертикали (а – зазор 0,2 мм, б – зазор 0,4 мм).

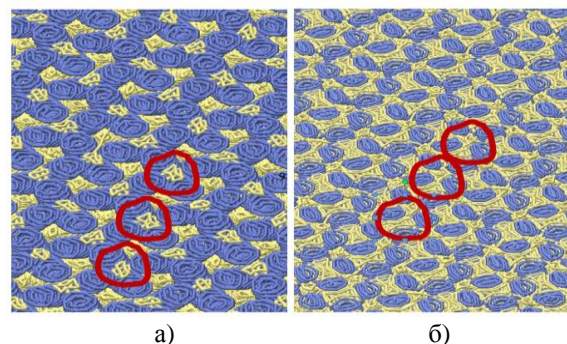


Рис. 2

Внешний вид материала до удаления растворимого пластика показан на рис. 3.



Рис. 3

После завершения 3D-печати полученное изделие погружалось в теплую воду на 20 мин для растворения пластика моделирующего зазоры между "нитьями" и просушивалось при комнатной температуре.

Полученные образцы растягивались усилием 10 сН под углом 45° к направлению "нитей".

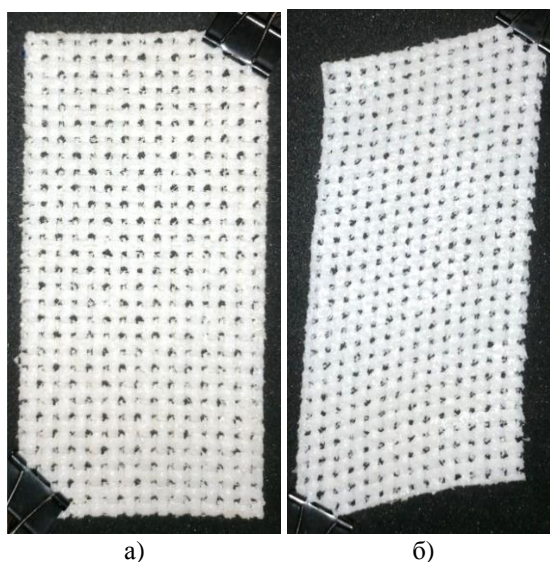


Рис. 4

Вид деформированных образцов показан на рис. 4. Как видно из приведенных рисунков, изделие, напечатанное с зазором 0,2 мм, практически не деформируется, то есть не имеет подвижности структуры,

характерной для ткани. Это связано с тем, что при малом заполнении зазора между системами нитей происходит их склеивание.

Характер деформации образца, напечатанного с зазором между системами нитей 0,4 мм, соответствует характеру деформации ткани.

Внешний вид изделия в смятом состоянии представлен на рис. 5.

Этот образец способен к образованию складок, то есть ведет себя аналогично ткани (рис.5 – зазор между системами нитей 0,4 мм).

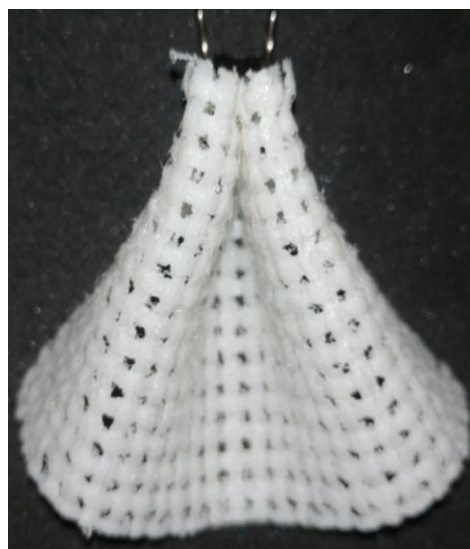


Рис. 5

Таким образом, предлагаемая технология получения аналога ткани путем 3D-печати позволяет получить изделие, приближенное к ткани по параметрам гибкости и подвижности структуры.

ВЫВОДЫ

1. 3D-печать по технологии FDM двумя материалами, один из которых предназначен для моделирования зазоров между системами нитей, позволяет получить изделие, аналогичное ткани по параметрам гибкости и подвижности структуры.

2. Экспериментально установлено, что для создания подвижности между системами нитей зазор между нитями разных систем при печати должен составлять не менее 0,4 мм.

1. *Melnikova R., Ehrmann A. and Finsterbusch K.* (2014). 3D printing of textile-based structures by fused deposition modelling (FDM) with different polymer materials. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 62:012018. doi: 10.1088/1757-899X/62/1/012018.

2. *Haruki Takahashi and Jeeun Kim.* 3D Printed Fabric: Techniques for Design and 3D Weaving Programmable Textiles. In Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (2019). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 43-51. DOI: 10.1145/3332165.3347896.

3. *Spahiu T., Canaj E., Shehi E.* 3D printing for clothing production. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2020: 15:43-51. DOI:10.1177/1558925020948216.

4. *Forman Jack et al.* DefeXtiles: 3D Printing Quasi-Woven Fabric via Under-Extrusion. Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. 2020: 1222-1233. DOI:10.1145/3379337.3415876.

5. *Uysal R., Stubbs J.* A new method of printing multi-material textiles by fused deposition modelling (FDM). Tekstilec 2019; 62(4): 248–257.

6. *Scott E. Hudson.* 2014. Printing teddy bears: a technique for 3D printing of soft interactive objects. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14), 459–468. DOI: 10.1145/2556288.2557338.

7. *Huaishu Peng, Jennifer Mankoff, Scott E. Hudson and James McCann.* Layered Fabric 3D Printer for Soft Interactive Objects. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (2015), 1789–1798. DOI: 10.1145/2702123.2702327.

8. *Beecroft M.* 2016. 3D printing of weft knitted textile based structures by selective laser sintering of nylon powder. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 137, (July 2016), 2017. DOI: 10.1088/1757-899X/137/1/012017.

9. *Gürcüm BH, Börklü HR, Seezer K. et al.* Implementing 3D printed structures as the newest textile form. J Fashion Tech Text Eng 2018; S4: 19. DOI:10.4172/2329-9568.S4-019.

10. *Alexandra Ion, Robert Kovacs, Oliver S. Schneider, Pedro Lopes, and Patrick Baudisch.* 2018 Metamaterial Textures. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18). ACM, New York, NY, USA, Article 336, 12 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173910>.

11. *Julian Panetta, Qingnan Zhou, Luigi Malomo, Nico Pietroni, Paolo Cignoni, and Denis Zorin.* 2015. Elastic Textures for Additive Fabrication. ACM Trans. Graph. 34, 4, Article 135 (July 2015), 12 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/2766937>.

12. *Christian Schumacher, Bernd Bickel, Jan Rys, Steve Marschner, Chiara Daraio, and Markus Gross.* 2015. Microstructures to Control Elasticity in 3D Printing. ACM Trans. Graph. 34, 4, Article 136 (July 2015), 13 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/2766926>.

13. *Гречухин А.П., Рудовский П.Н.* Развитие теории строения и формирования однослойных тканей. – Кострома, 2017.

14. *Гречухин А.П., Зайцев Д.В., Ушаков С.Н., Рудовский П.Н.* Методика построения трехмерной модели ткани из углеродных нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 3. С.140...144.

R E F E R E N C E S

1. *Melnikova R., Ehrmann A. and Finsterbusch K.* (2014). 3D printing of textile-based structures by fused deposition modelling (FDM) with different polymer materials. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 62:012018. doi: 10.1088/1757-899X/62/1/012018.

2. *Haruki Takahashi and Jeeun Kim.* 3D Printed Fabric: Techniques for Design and 3D Weaving Programmable Textiles. In Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (2019). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 43-51. DOI: 10.1145/3332165.3347896.

3. *Spahiu T., Canaj E., Shehi E.* 3D printing for clothing production. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2020: 15:43-51. DOI:10.1177/1558925020948216.

4. *Forman Jack et al.* DefeXtiles: 3D Printing Quasi-Woven Fabric via Under-Extrusion. Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. 2020: 1222-1233. DOI:10.1145/3379337.3415876.

5. *Uysal R., Stubbs J.* A new method of printing multi-material textiles by fused deposition modelling (FDM). Tekstilec 2019; 62(4): 248–257.

6. *Scott E. Hudson.* 2014. Printing teddy bears: a technique for 3D printing of soft interactive objects. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14), 459–468. DOI: 10.1145/2556288.2557338.

7. *Huaishu Peng, Jennifer Mankoff, Scott E. Hudson and James McCann.* Layered Fabric 3D Printer for Soft Interactive Objects. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (2015), 1789–1798. DOI: 10.1145/2702123.2702327.

8. *Beecroft M.* 2016. 3D printing of weft knitted textile based structures by selective laser sintering of nylon powder. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 137, (July 2016), 2017. DOI: 10.1088/1757-899X/137/1/012017.

9. *Gürcüm BH, Börklü HR, Seezer K. et al.* Implementing 3D printed structures as the newest textile form. J Fashion Tech Text Eng 2018; S4: 19. DOI:10.4172/2329-9568.S4-019.

10. *Alexandra Ion, Robert Kovacs, Oliver S. Schneider, Pedro Lopes, and Patrick Baudisch.* 2018 Metamaterial Textures. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18). ACM, New York, NY, USA, Article 336, 12 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173910>.

11. Julian Panetta, Qingnan Zhou, Luigi Malomo, Nico Pietroni, Paolo Cignoni, and Denis Zorin. 2015. Elastic Textures for Additive Fabrication. *ACM Trans. Graph.* 34, 4, Article 135 (July 2015), 12 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/2766937>.

12. Christian Schumacher, Bernd Bickel, Jan Rys, Steve Marschner, Chiara Daraio, and Markus Gross. 2015. Microstructures to Control Elasticity in 3D Printing. *ACM Trans. Graph.* 34, 4, Article 136 (July 2015), 13 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/2766926>.

13. Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N. *Razvitie teorii stroeniya i formirovaniya odnosloynnykh tkaney.* – Kostroma, 2017.

14. Grechukhin A.P., Zaytsev D.V., Ushakov S.N., Rudovskiy P.N. *Metodika postroeniya trekhmernoj modeli tkani iz uglerodnykh nitey // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2017, № 3. S.140...144.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования тканей и трикотажа. Поступила 08.04.22.

УДК 667.07:766.017

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_121

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ
И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

**MODERN TECHNOLOGIES FOR OBTAINING TEXTILE MATERIALS
WITH SPECIAL PROPERTIES AND THEIR FIELDS OF APPLICATION**

А.М. КИСЕЛЕВ, Е.В. РУМЯНЦЕВ, О.И. ОДИНЦОВА, В.Е. РУМЯНЦЕВА

A.M. KISELEV, E.V. RUMYANTSEV, O.I. ODINTSOVA, V.E. RUMYANTSEVA

(Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Ивановский государственный химико-технологический университет,
Ивановский государственный политехнический университет)

(St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design,
Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: color_textiles@mail.ru; odolga@yandex.ru; varrim@gmail.com

Представлен обзор современных инновационных технологий модификации, колорирования и облагораживания текстильных материалов и изделий с улучшением их качества и сообщением новых свойств, в том числе за счет использования наноразмерных систем и нанотехнологических процессов. Показано изменение комплекса свойств объектов при переходе к нанометровым системам, а также применение наноразмерных систем и нанотехнологий для сообщения специальных свойств текстильным материалам. Обобщены успехи нанотехнологий в области текстильного производства. Приведен обзор "косметических" тканей на основе целлодекстрина в форме наноконтейнера, в полость которого инкорпорированы наночастицы веществ заданного функционального назначения. Описаны коллоидные растворы, содержащие наночастицы серебра, обладающие высокой антибактериальной активностью для обработки материалов медицинского назначения. Рассмотрены свойства ткани из модифицированного полиэфирного волокна "Trevira CS", используемой для оформления интерьеров общественных помещений и салонов транспортных средств. Представлены достижения в области "электронного" текстиля ("Е-текстиль") и новшества в области получения "тканей-хамелеонов". Отражены разработки "биометрических боевых одежных комплексов" за рубежом и специального текстиля,

способного к изменению окраски под воздействием внешних энергетических факторов в России. Рассмотрен процесс модификации текстильных материалов при помощи нанесения нанопокровов методом магнетронного ионно-плазменного распыления наночастиц металлов. Охарактеризованы материалы с селективным высвобождением лекарственных средств и высокотехнологичные биологически активные изделия технического и медицинского назначения на основе льна и льнонаноконструктов. Описаны текстильные материалы, модифицированные препаратами на основе нанодисперсий и наномульсий. Приведены биомиметические системы, которые можно рассматривать как новые материалы, полученные в результате реализации стратегии "воспроизводящего синтеза".

A review of modern innovative technologies for modifying, coloring and refining textile materials and products with improving their quality and imparting new properties, including the use of nanoscale systems and nanotechnological processes, is presented. A change in the complex of objects properties during the transition to nanometer systems is shown, as well as the use of nanoscale systems and nanotechnologies to impart special properties to textile materials. The progress of nanotechnologies in the field of textile production is summarized. A review of "cosmetic" tissues based on cellodextrin in the form of a nanocontainer, in the cavity of which nanoparticles of a given functional purpose substances are incorporated, is given. Colloidal solutions containing silver nanoparticles with high antibacterial activity for processing medical materials are described. The properties of the fabric made of modified polyester fiber "Trevira CS", used for interior design of public spaces and vehicle interiors, are considered. Achievements in the field of "electronic" textiles ("E-textile") and innovations in the field of obtaining "chameleon fabrics" are presented. The developments of "biometric combat clothing complexes" abroad and special textiles capable of changing color under the influence of external energy factors in Russia are reflected. The process of modifying textile materials by applying nanocoatings by magnetron ion-plasma sputtering of metal nanoparticles is considered. Materials with selective release of drugs and high-tech biologically active products for technical and medical purposes based on flax and flax nanocomposites are characterized. Textile materials modified with preparations based on nanodispersions and nanoemulsions are described. Biomimetic systems are presented, they can be considered as new materials obtained as a result of the implementation of the "reproducing synthesis" strategy.

Ключевые слова: текстиль, отделочные технологии, модификация, "Е-текстиль", метод магнетронного ионно-плазменного распыления, наночастицы металлов, "ткани-хамелеоны", целлодекстрин, наноконтейнер, наноконструкты, нанодисперсии, наномульсии, биомиметические системы, стратегии "воспроизводящего синтеза", специальные свойства изделий, области применения.

Keywords: textiles, finishing technologies, modification, "E-textile", magnetron ion-plasma sputtering, metal nanoparticles, "chameleon fabrics", cellodextrin, nanocontainer, nanocomposites, nanodispersions, nanoemulsions, biomimetic systems, "reproducing synthesis" strategies, special properties of products, areas of application.

В настоящее время, когда остро стоит вопрос о производстве отечественной конкурентоспособной продукции, необходим синтез традиционных (механических, химических) и инновационных (нано-, био-, информационных и когнитивных) технологий, который может служить основой для создания интеллектуального текстиля с улучшенными, принципиально новыми и специальными свойствами.

Фокусирование и сочетание процессов физики, химии, биологии на масштабном

размерном уровне 1...100 нм открывает новые закономерности в организации и функционировании объектов, имеющих особую структуру и расширяет спектр областей применения различных, в том числе текстильных, материалов с новыми, в ряде случаев уникальными, свойствами. По данным табл. 1 можно проследить, как изменяются или возникают новые свойства при переходе к наноразмерным системам [1].

Т а б л и ц а 1

Свойства	Характеристика нанообъекта
Механические	Сверхвысокая прочность вследствие усиления межмолекулярных взаимодействий между частицами ультрамалого размера
Оптические	Формирование структурной окраски по оптическому механизму при размере частиц, соизмеримом с длиной волны света
Химические, диффузионные	Резкое повышение концентрации взаимодействующих частиц и скоростей реакций Увеличение скорости диффузии частиц в соответствии с законом Стокса-Эйнштейна
Каталитические	Усиление каталитической активности и скорости катализа вследствие увеличения рабочей поверхности катализатора
Электрические	Возможна обратная трансформация в системе "диэлектрик-проводник"
Квантово-электронные	Возникновение "туннельного эффекта" – основы микро- и нанозлектроники и микроскопии
Теплозащитные	Усиление теплоизолирующего эффекта, благодаря увеличению внутренней поверхности и объема воздуха в микропорах материала

В индустрии текстиля и одежды на первый план выдвигаются инновации, способные сообщить им новые потребительские и специальные свойства (самоочищение, защита от излучений, мембранные и электропроводные эффекты, терморегулирование, ароматизация, гидрофильно-липофильный баланс, лечебные функции и др.). Использование нанотехнологий дает возможность сообщить текстильному материалу улучшенные качества: мягкость, гидро- и олеофобность, противозагрязняемость, "память формы", структурную окраску, способность к мониторингу состояния организма и окружающей среды, защитные функции и др.

К успехам нанотехнологий в области текстильного производства можно отнести:

- электроформование нановолокон, наполнение волокон наночастицами с образованием нанокомпозитов;
- обработка текстильного материала низкотемпературной плазмой с модифика-

цией его поверхности на наноразмерном уровне;

- использование нанодисперсий и наноэмульсий для отделки текстиля с сообщением комплекса улучшенных свойств;
- формирование нанопокровов и получение нанокомпозитов, в том числе с образованием слоев жидких полимеров с применением методов послойного отложения, золь-гель технологии и нанесения из газовой фазы.

В моделях современной одежды используются самоочищающиеся ткани, способные к отторжению загрязнений без ухудшения основных потребительских свойств. Эффект самоочищения тканей достигается фотокаталитической деструкцией органических соединений, а также посредством формирования на поверхности материала нанопористых пленок на основе кремнийорганических соединений или политетрафторэтилена.

Для производства одежды с комфортным пододежным пространством разработаны специальные "дышащие" ткани с мембранным эффектом, способные к быстрому поглощению и десорбции влаги с поверхности волокнистого материала.

Определенный интерес представляют так называемые "косметические" ткани на основе целлюлодекстрина в форме наноконтейнера, в полость которого инкорпорированы наночастицы веществ заданного функционального назначения (отдушки, парфюмерные средства, витамины, лекарственные препараты и др.) с обеспечением фиксации наноконтейнера на текстильном материале. Изготовление наноконтейнера целесообразно осуществлять из хитозана, который смягчает кожу, предохраняет ее от обезвоживания, а в нужный момент разрушается в результате механического воздействия или нагревания с выделением активных соединений. Например, высокий противощелочный эффект достигается при введении в хитозановую капсулу ретинола.

Текстильные материалы с терморегулируемыми свойствами можно получать при включении в их структуру микрокапсул с активным полимером, способным к изменению фазового состояния в зависимости от температуры окружающей среды. При понижении температуры такой полимер находится в твердом агрегатном состоянии и выполняет функцию защиты от холода, а при повышенной – переходит в жидкую фазу и способствует охлаждению организма посредством облегчения выделения тепла.

В последние десятилетия распространенным направлением является использование наночастиц металлов (Ag, Cu, Pd, W, Vi, Co, Ni, Ti, Fe и др.) для придания текстильным материалам антимикробных и некоторых других свойств [2...5].

В настоящее время имеется достаточно много информации о применении наноразмерных систем и нанотехнологий для модификации, колорирования и сообщения специальных свойств текстильным материалам, о чем свидетельствуют данные табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Наименование процесса (объекта)	Сущность процесса	Достижимый эффект
Полимеры (волокна и ткани)	Структурирование тканей с помощью наночастиц. Синтез полимеров и волокон с заданными свойствами МЭМС и НЭМС-датчики контроля текстильных материалов	Получение полимеров и волокон нового поколения, создание интеллектуального текстиля
Интеллектуальный ("умный") текстиль	Текстильный материал с наночастицами и нанопокрывтиями, на основе которого создаются изделия с новыми свойствами	"Электронный" и терморегулируемый текстиль, одежда с мониторингом состояния организма и окружающей среды, токопроводящие ткани, тканевые солнечные панели и др.
Биосовместимая одежда	Создание биоактивного текстиля обработкой наноразмерными биоактивными препаратами (энзимы, бактериальные культуры и др.)	Биомиметические материалы, конструирование текстиля с помощью микроорганизмов, биомаркеры и др.
Нанопокрывтия (нанопленки) для текстиля	Создание нанопленок особой структуры на поверхности текстильного материала при импрегнировании нанодисперсиями и наноземлюльсиями	Комплексные эффекты специальных видов отделки, самоочистения, защиты от излучений и др.
Производство и контроль текстиля	Повышение точности, скорости и надежности регулирования физико-химических, биологических и производственно-технологических процессов	Интеграция НЭМС-датчиков, акустических систем, нанофабрик синтеза и биосинтеза, нанокатализ полимеризационных процессов, спецдатчики контроля качества текстильных материалов
Новые материалы	Наномодификация с целью получения новых видов текстильных материалов с широким спектром функционального назначения	Спецматериалы для военнослужащих, силовых структур и служб, ткани на основе нанотрубок, металлизированные ткани, резины, пластики, композиционные материалы и др.

Структурная окраска (окраска без красителя)	Образование окраски по оптическому механизму на основе явлений интерференции, дифракции и рассеяния световых лучей	Радужные и опалесцирующие эффекты окраски при прохождении света через наноразмерные слои диоксида кремния и оксидов металлов с различными значениями коэффициента преломления
Антимикробный текстиль	Использование наночастиц серебра и других металлов для биоцидной отделки текстильных материалов	Защита человека от бактерий, грибков, вирусов и заболеваний
"Электронный" текстиль	Токопроводящие волокна и нити, кодированные тканые структуры, электрохромные красители, токопроводящие печатные составы, защитные экраны	Термоизолированная одежда, мобильная связь, интернет, одежные дисплеи, навигация, мониторинг состояния человека и окружающей среды и др.
"Ткани-хамелеоны"	Применение термохромных красителей для трансформации цвета при изменении их структуры, чувствительной к изменениям температуры	Изменение цвета текстильного материала (одежды) при изменении температуры окружающей среды
Оптические эффекты одежды	Внедрение в структуру текстиля (одежды) микропроцессоров, способных к излучению света в темноте, оптоволоконная техника, люминесцентные красители	"Сигнальная" одежда с люминофорами, изменение линий одежды посредством "невидимых линий" и "виртуального камуфляжа"
Одежда с прогнозом погоды ("Cloth-Climate control")	Формирование структуры текстильного материала, содержащего нанодатчики, фиксирующие значения температуры, влажности и атмосферного давления	Планирование использования одежды в зависимости от погодных условий. Спецодежда обслуживающего персонала метеостанций
Термоодежда	Внедрение в структуру текстильного материала микротрубок с активным терморегулятором, изменяющим фазовое состояние в зависимости от температуры окружающей среды	Комфортная одежда в интервале температур от -70 до $+60^{\circ}\text{C}$
Самоочищающиеся ткани и одежда ("эффект лотоса", "одежда для ленивых")	Супергидрофобизация поверхности текстильных материалов, применение гибридных оксидов титана и металлов с фотокаталитической активностью. Формирование нанопленок на основе аминокремниорганических соединений и фторуглеродных соединений	Одежда и другие изделия с высоким противозагрязняемым эффектом и другими улучшенными свойствами (несминаемость, мягкость, маслоотталкивание, мембранный эффект, быстрое поглощение и десорбция влаги, отсутствие необходимости в стирке, глажении, длительное сохранение прочности и формы изделия)

Известна нанотехнология получения сверхпрочного текстильного волокна, нити на основе которого имеют диаметр $5 \cdot 10^{-7}$ м и образованы десятками миллионов нанотрубок, соединенных полимерным связующим веществом. Из таких волокон изготавливают облегченные бронежилеты, спортивный инвентарь, одежду и белье с улучшенными потребительскими и санитарно-гигиеническими показателями. Методом биохимического синтеза наночастиц металлов в обратных мицеллах получены коллоидные растворы, содержащие наночастицы серебра, обладающие высокой антибактериальной активностью. Применение таких растворов для обработки материалов медицинского назначения существенно повышает эффективность лечебного процесса.

Данная технология перспективна и для изделий бытового назначения, требующих наличия биоцидных свойств [6].

Для оформления интерьеров общественных помещений и салонов транспортных средств предлагаются ткани из модифицированного полиэфирного волокна "Trevira CS", имеющего повышенную устойчивость к возгоранию, обусловленную изменением структуры волокнообразующего полимера на молекулярном уровне. Такие ткани одновременно обладают формоустойчивостью, воздухопроницаемостью и грязеотталкивающими свойствами [7].

В мебельной промышленности созданы образцы продукции с обивкой, способной к изменению цвета при контакте с телом

человека и выделению приятного запаха, аромат которого выбирается заказчиком и сохраняется в течение длительного времени.

В области "электронного" текстиля ("Е-текстиль") разработаны беспроводные дисплеи, размещаемые на элементах одежды и способные к регистрации уровня эмоционального состояния ее владельца. Такие дисплеи имеют малую толщину, характеризуются мягкостью и способствуют расширению возможностей в дизайнерском оформлении костюма. Возможна передача изображения с датчика MMS, расположенного на одежде в виде нашивки, на мобильные телефоны. Известны ткани из структуры дисплеев на основе "электронной" пряжи, полученной из покрытых специальными чернилами токопроводящих и непроводящих нитей, способных к проявлению термохромного эффекта. Нагрев таких нитей под действием слабого (безопасного) тока приводит к изменению цвета чернил с визуальным проявлением рисунка в форме конфигурации нитей в соответствии с творческим проектом дизайнера текстиля. Существует одежда, по сути, представляющая собой локальную компьютерную сеть, способную к взаимодействию с системой Интернет. Для интеграции микротранзисторов, в структуру текстильного материала включены тонкие армированные нити со специальным покрытием, а также композиционные материалы, состоящие из нескольких слоев хлопка и матричных нитей, содержащих миллионы транзисторных микроэлементов.

В США разработаны "биометрические боевые одежные комплексы", имеющие набор микронасосов, топливных элементов, датчиков и дисплеев для регистрации вида и концентрации вредных и токсичных веществ. Военное обмундирование данного типа, базируясь на специфическом индивидуальном запахе человеческого тела (по аналогии с дактилоскопией), позволяет контролировать состояние здоровья военнослужащего, включая параметры температуры, давления и пульса. Подобная одежда может использоваться также медицинским персоналом и спортсменами высокого уровня подготовки.

В России в последние годы активизировались исследования по созданию специального текстиля, способного к изменению окраски под воздействием внешних энергетических факторов. Это свойство имеет большое значение для камуфлированных (защитно-маскировочных) тканей, которые должны обладать расцветкой и окраской, способной к изменению и адаптации к окраске окружающей местности. В качестве термо- и фоточувствительных красителей применяются сложные системы на основе жидких кристаллов или работающие по принципу кислотно-основного взаимодействия красителя с проявителем. В обоих случаях для сохранения свойств этих систем применяется техника микрокапсулирования. В качестве термохромных красителей используются системы в форме жидких кристаллов, среди которых выделяются нематические, строго ориентированные и холестеринные структуры с послойной, постепенно изменяющейся ориентацией. Известна также система термохромных красителей, построенная на принципе кислотно-основного взаимодействия, когда проявление цвета происходит в результате реакции ахроматической формы красителя с проявителем. Примером такой бинарной системы может служить взаимодействие лактона фиолетового кристаллического с бисфенолом А при температуре, соответствующей температуре плавления растворителя.

Ассоциацией "Цемесс" (Москва) реализован проект по продвижению на российский рынок текстиля с колористическими эффектами, связанными с применением красителей, изменяющих свой цвет при изменении температуры ("ткани-хамелеоны", "джинсы-хамелеоны") [8]. Имеется также информация о создании так называемых "амино-джинсов", которые являются источником аргинина – аминокислоты, способной к полимеризации с образованием длинных молекулярных цепей, связанных пептидными мостиками. Присутствие аргинина омолаживает кожу человека с одновременными эффектами ароматизации и антибактериальной отделки, которые сохраняются в течение двух лет в условиях интенсивной эксплуатации изделий [9].

Для создания "сигнальных" текстильных материалов с защитными функциями используются одежные ткани, окрашенные дисперсными, активными или прямыми флуоресцентными красителями. Имеются сведения [10] о создании нового поколения флуоресцентных красителей, устойчивых к коагуляции при высоких температурах и обладающих повышенной красящей способностью. В настоящее время сигнальная одежда оснащается покрытиями, содержащими люминофоры неорганической природы, вызывающие свечение в темноте. При освещении любым источником света в течение 7...10 минут одежда с таким покрытием излучает свет в течение всей ночи, что соответствует требованиям европейского стандарта. Светосигнальная одежда имеет большое значение и находит применение у работников дорожных, аварийных и пожарных служб, сотрудников МЧС, МВД, ЖКХ, медицинских и детских учреждений.

Одним из распространенных приемов при создании текстильных материалов со специальными свойствами является процесс микро-(нано)капсулирования. Обязательными требованиями к свойствам микрокапсул является их способность к заключению, изоляции, сохранению и высвобождению содержащихся в них веществ. Размеры контейнеров (капсул) лежат в диапазоне $1...1000 \cdot 10^{-6}$ м. Микрокапсулирование применяется для создания фото- и термохромных эффектов, для чего разрабатываются специальные микро-нанокапсулированные гидро- и пьезохромные элементы. Технология капсулирования применяется также для ароматизации текстиля, одежды, мебели, в качестве активирующих (тонирующих) отделок тканей и спортивных костюмов и, с достаточно высокой эффективностью, в медицинских целях [11].

Большое значение имеет процесс модификации текстильных материалов нанесением нанопокровов методом магнетронного ионно-плазменного распыления наночастиц металлов. Таким методом получен специальный материал "Нанотекс", предназначенный для экранирования электромагнитных излучений в широком диапазоне длин волн. Такая ткань может исполь-

зоваться для локальной защиты помещений, изготовления защитной одежды, чехлов для приборов и оборудования, в качестве защитных устройств для предотвращения утечки информации, а также при выпуске декоративных и текстильных изделий. Материал под металлизацию состоит из синтетических монофиламентных нитей диаметром $30...50 \cdot 10^{-6}$ м, плотностью 30...160 нитей/см и поверхностной плотностью $10...50$ г/м² с отверстиями между основными и уточными нитями в интервале $[d - 9d]$, где d – диаметр нити. Металлизация материала "Нанотекс" производится магнетронным напылением наночастиц металлов (Ag, Cu, W и др.) в вакууме с лицевой, изнаночной или с обеих сторон с регулированием толщины формируемого нанопокровы. Данная технология может быть использована для производства изделий медицинского назначения, изготовления дезинфицирующих салфеток, в конструкциях фильтров для очистки воды и воздуха, защиты объектов в темное время суток [12], выпуска изделий специального назначения [13], подготовки к колорированию шерстяных материалов [14], изготовления многослойных, в том числе теплоизолирующих, материалов [15], для получения материалов, отражающих ИК-излучения (патент Горберга Б.Л., Веселова В.В., Беловой И.Ю., Васильева Д.М., Королевой С.В. Материал отражающий ИК-излучения. Патент РФ 2045590; опубл. 12.05.2009).

Еще одна нанотехнология, нашедшая применение в модификации, колорировании и облагораживании волокнистых материалов, связана с использованием низкотемпературной плазмы тлеющего, барьерного или коронного разряда. Степень ионизации газа в неравновесной низкотемпературной плазме относительно невысокая ($10^{-6}...10^{-4}$), концентрация электронов составляет $10^{15}...10^{18}$ ед/м³, а их средняя энергия при температуре $10^4...10^5$ К – 1...10 эВ [16], [17]. При воздействии низкотемпературной плазмы на текстильный материал наблюдается два основных эффекта: изменение поверхностного слоя толщиной 5...10 нм и "глубинный" эффект, состоящий в образовании активных радикалов, вызываю-

щих протекание процессов дегидрирования и сшивки в слое толщиной $5 \cdot 10^{-6}$ м [18]. Повышение качества колорирования и отделки при интенсификации соответствующих процессов низкотемпературной плазмой доказано при обработке шерстяных [19], [20], а также кожевенных и меховых материалов [21].

В ассортименте современного текстиля выделяются образцы одежды, обладающей специфической "памятью формы" и способной к изменению линейных размеров при колебаниях температуры. Такая одежда не мнется даже при сильных внешних воздействиях и восстанавливает форму через 30 с после снятия нагрузки. Она не загрязняется, не электризуется, обладает эффектами водо- и маслоотталкивания при сохранении высокого уровня санитарно-гигиенических свойств. Подобные изделия не требуют стирки, глажения и химической чистки в течение длительного времени.

Имеются сведения об одежде с эффектом терморегуляции за счет введения в структуру текстиля тонких трубок длиной до 50 м, содержащих нетоксичную охлаждающую жидкость. Такая специальная одежда предназначена, например, для рабочих атомных станций, где температура в зоне обслуживания реакторов достигает 70°C . Известны также термокостюмы, имеющие воздушные прокладки (структура аэрогеля), обеспечивающие согревание человека при температурах ниже 80°C .

В настоящее время производство нановолокон специального назначения реализуется, главным образом, за счет наполнения традиционных волокнообразующих полимеров наноконпонентами различной природы и конфигурации, а также путем выработки ультратонких волокон. В качестве наполнителей широко используются углеродные нанотрубки с одной или несколькими стенками, что придает волокнам уникальные свойства: они в 6 раз прочнее стали и в 100 раз легче нее. При заполнении углеродными нанотрубками поливинилспиртового волокна по коагуляционной системе прядения оно становится в 120 раз выносливее стальной проволоки и в 17 раз легче волокна "Кевлар", используемого для про-

изводства бронежилетов. Из таких волокон изготавливаются специальные взрывозащитные костюмы и материалы для защиты от излучений. Наполнение химических волокон наночастицами глинозема в виде мельчайших хлопьев обеспечивает высокую тепло- и электропроводность, химическую активность, огнестойкость, механическую прочность и защиту от УФ-излучений. Введение в структуру полипропиленовых волокон 15% наночастиц глинозема позволяет повысить интенсивность окрасок при их окрашивании различными классами красителей.

Ультратонкие волокна, диаметр которых не превышает 100 нм, имеют высокую сорбционную и каталитическую активность. Известны разработки, направленные на создание синтетических белковых волокон, имитирующих структуру паутины и имеющих непревзойденные физико-механические показатели. На основе некоторых растений и микроорганизмов получены полимерные белковые волокна толщиной 80...90 нм, которые, обладая сверхпрочностью и плотностью, могут заменить арамидные нити в бронежилетах, использоваться в качестве хирургических нитей, для изготовления спортивного инвентаря и других изделий, требующих сочетания мягкости и прочности.

Повышенный интерес представляет информация о модификации и отделке текстильных материалов с использованием нанодисперсий и наноэмульсий. При этом обработанные материалы приобретают свойства гидро- и олеофобности, пониженной горючести, формоустойчивости, противозагрязняемости и самоочистки, пониженной электризуемости и биостойкости. При расположении на поверхности волокон гидрофобные наночастицы (например, фторкарбонных сополимеров) образуют новую специфическую поверхность ("зонтик"), которая не перекрывает капиллярно-пористой структуры субстрата, оставляя поры открытыми для воздухообмена. Полученные эффекты характеризуются высокой устойчивостью к истиранию, многократным стиркам и химической чистке. Наноразмерные отделочные препа-

раты открывают принципиально новый путь повышения качества текстильных материалов и изделий с сообщением им комплекса новых улучшенных свойств. Примером может служить применение гидрофильных силиконовых наноэмульсий, которые получают путем модификации химической структуры аминокремнийорганических соединений. Данная система имеет размер частиц 20...30 нм и обладает способностью к самоэмульгированию в присутствии молекул ПАВ (рис. 1):

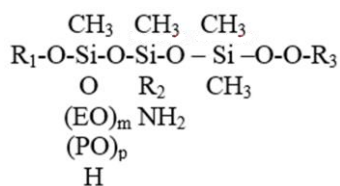


Рис. 1

В химической структуре такого препарата гидрофильные группы введены непосредственно в цепочку кремнийорганического полимера, содержащего аминогруппы, что способствует его активному самоэмульгированию. При импрегнировании текстильного материала наноэмульсией подобного типа ему сообщается мягкий гриф, эластичность, устойчивость к мокрым работкам. Отличительной способностью наноэмульсий является их способность к гидрофилизации гидрофобных синтетических материалов, что позволяет интенсифицировать процессы их колорирования с получением более ярких и прочных окрасок. Применение наноэмульсий характеризуется комплексным действием, когда в результате однократного аппретирования текстильного материала ему сообщается несколько улучшенных потребительских и специальных свойств.

Другие примеры текстильных материалов со специальными свойствами затрагивают новые виды тканей и напольных покрытий, имеющих в своей структуре соединительные волокна и самоорганизованную сеть кремниевых чипов, представляющих собой сенсоры и светодиоды, способные реагировать на изменение освещенности, температуры, влажности и давления. Они могут указывать светящиеся маршруты

движения, а в случае пожара предоставлять информацию о распространении огня. Технология "Zoneed Aerodynamic" используется для изготовления костюмов для конькобежцев и лыжников, состоящих из шести различных материалов, сочетание которых оптимизирует аэродинамические свойства спортивной одежды. Также созданы облегчающие и водоотталкивающие костюмы для пловцов в соответствии с гидродинамическими требованиями, которые облегчают скольжение в воде и повышают скорость движения спортсмена.

К категории текстиля специального назначения могут быть отнесены материалы с селективным высвобождением лекарственных средств, которые в сочетании с биосовместимыми разлагаемыми полимерами нашли применение в создании медицинских изделий (шовные нити, хирургические имплантаты, перевязочные материалы и др.). В настоящее время широкое распространение получили лечебные аппликационные материалы и гель-композиции, содержащие лекарственные препараты пролонгированного действия с их регулируемым массопереносом к очагу поражения (заболевания), позволяющие значительно повысить эффективность и улучшить условия проведения лечебного процесса для широкого спектра заболеваний (хирургия, комбустиология, ревматология, урология, онкология, косметология и др.) Результаты развития специального текстиля медицинского назначения отражены в работах [22...33]. Достаточно устойчивую нишу занимает медицинский текстиль с ультратонкими слоями наночастиц серебра и других металлов на его поверхности.

В рамках обзорной статьи целесообразно сказать о, так называемых, биомиметических системах, которые можно рассматривать как новые материалы, полученные в результате реализации стратегии "воспроизводящего синтеза", подобно синтезу, существующему в живых организмах (природных биологических объектах) [34]. К таким материалам можно отнести волокна "shin-gossen", способные к воспроизведению структурной окраски по оптическому механизму и имеющие повышенную

гидрофильность, волокна со свойствами "паучьего шелка", материалы с суперадгезией к различным поверхностям (принцип "лапки геккона") и супергидрофобностью и незагрязняемостью ("эффект лотоса"). Открываются новые пути создания полимерных (в том числе текстильных) материалов, когда принципы биомиметики позволяют решить проблему замены токсичных химических технологий на экологически безопасные биопроцессы [35...40].

В данном направлении разработаны высокотехнологичные биологически активные изделия технического и медицинского назначения на основе льна и льнонаноконструктов. Создано биозащищенное нативное волокно "Рослан" для технических целей и гигроскопичное отбеленное льняное волокно "Рослан М" для материалов медицинского профиля. При этом технологические процессы включают:

- иммобилизацию биологически активных препаратов в нативных волокнах непосредственно после их механической модификации для высокотехнологичных нетканых материалов (изготовление формопрессованных деталей в автомобилестроении, объемных утеплителей для стройиндустрии);

- механическую и химическую модификацию сырья с последующей иммобилизацией в отбеленных волокнах льна биоцидных препаратов, в том числе наночастиц металлов для нетканых материалов санитарно-гигиенического, косметологического и медицинского назначения (перевязочные средства, комплекты белья, одноразовые салфетки и др.) [41].

Заслуживают внимания результаты исследований, направленных на создание технологии формирования структурной окраски по оптическому механизму с применением наноразмерных интерференционных пигментов на основе гибридных оксидов металлов и неметаллов, процессов отделки и облагораживания текстиля с использованием гидрофильных наноэмульсий и способов самоочистки и защиты текстильных материалов от излучений посредством нанесения нанопокровов, содержащих наночастицы диоксида титана и

других элементов с высокой фотокаталитической активностью [42...44].

Реализация представленных в обзоре технологий, позволит осуществить выпуск конкурентоспособных отечественных текстильных материалов и изделий различного, в том числе специального назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кричевский Г.Е. Нано-, био-, химические технологии в производстве нового поколения текстиля, волокон и одежды. – М., 2011.
2. Петрова Л.С., Лупина А.А., Зайцева А.О., Одинцова О.И. Использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С. 81...85.
3. Дмитриева А.Д., Кузьменко В.А., Одинцова Л.С. (Петрова Л.С.), Одинцова О.И. Синтез и использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2015, Т.58, № 8. С. 67...70.
4. Ahmed G., Hassabo E., Mehrez E., El-Naggar, Amina L., Mohamed, Ali A. Hebeish Development of multifunctional modified cotton fabric with tri-component nanoparticles of silver, copper and zinc oxide // Carbohydrate Polymers. – 2019, v. 210, № 15. P.144...156.
5. Букина Ю.А., Сергеева Е.А. Антибактериальные свойства и механизм бактерицидного действия наночастиц и ионов серебра // Вестник Казанского технологического университета. – 2012, № 14. С.170...172.
6. Осипов Б.П. // Журнал физической химии. – 2003, № 2. С. 34...38.
7. Хаханина Т.И., Осипов Б.П. Электронные методы исследований // Обзор ЦНИИТЭИЛП. – 2001.
8. Андриевский А.М., Белов А.Е. Эра "умного" текстиля наступила и в России // Текстильная промышленность. – 2003, № 3. С. 51...53.
9. Андриевский А.М. Джинсы нового века: "умный" и "глупый" деним // Рынок легкой промышленности. – 2004, № 36. С. 19,20.
10. Андриевский А.М. Сигнальная одежда: люмоденим – новая джинсовая ткань, светящаяся в темноте // Рынок легкой промышленности. – 2005, № 43. С. 36,37.
11. Андриевский А.М. Колорирование текстиля: "умный" и "глупый" текстиль в формировании индустрии моды // Текстильная химия. – 2004, № 2. С.77...79.
12. Иванова В.С., Горберг Б.Л. Материал для защиты в темное время суток // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, № 1. С.90...93.
13. Иванова В.С., Веселов В.В., Горберг Б.Л. Динамические процессы в изделиях специального

назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 1. С. 132, 133.

14. Горберг Б.Л. Современное состояние и перспективы использования плазмохимической технологии для обработки текстильных материалов // Текстильная химия. – 2003, № 1. С. 59...68.

15. Гольберг Б.Л., Иванов А.А., Мамонтов О.В. и др. Модифицирование текстильных материалов нанесением нанопокрывтий методом магнетронного ионно-плазменного распыления // Российский химический журнал. – 2011. Т. 55. № 3. С. 7...13.

16. Энциклопедия низкотемпературной плазмы (под ред. Ю.А.Лебедева, Н.А.Платэ, В.Е.Фортова). – М.: Янус-К, 2006.

17. Полак Л.С. Кинетика и термодинамика химических реакций в низкотемпературной плазме. – М.: Наука, 1965.

18. Осуда Н. Плазменная полимеризация и плазменная обработка полимеров //Высокомолекулярные соединения. – 1988. Т. 80А, № 9. С. 1815...1831.

19. Блиничева И.Б., Мельников Б.Н., Максимов А.И. Применение низкотемпературной плазмы. – М.: Обзор ЦНИИТЭИЛП, 1985.

20. Садова С.Ф., Журавлева С.М. Перспективы обработки шерстяных тканей низкотемпературной плазмой //Директор (Легпромбытгиздат). – 2000, №8. С. 10...11.

21. Абдулин И.Ш. Высокочастотная плазменная обработка в динамическом вакууме капиллярно-пористых структур: теория, практика, применение. – Казань, 2004.

22. Кричевский Г.Е. Нанотехнологии в производстве "умных" текстильных материалов и изделий из них //Текстильная химия. –2004, № 3. С. 33...38.

23. Жуковский В.А. Полимерные эндопротезы для герниопластики. – СПб: ЭскулапЮ, 2011.

24. Синенченко Г.И., Жуковский В.А., Гайворонский И.В. и др. Послеоперационные грыжи передней брюшной стенки и их хирургическое лечение. – СПб: Элби, 2009.

25. Слущенр Г.Я., Жуковский В.А., Терушкина О.Б. и др. Упругие характеристики полипропиленовых и поливинилиденфторидных мононитей и сетчатых протезов на их основе //Химические волокна. – 2012, № 5. С. 28...32.

26. Жуковский В.А., Хохлова В.А., Анущенко Т.Ю. и др. Полигликозидные антимикробные хирургические нити //Дизайн. Материалы. Технологии. – 2012, № 5 (25). С. 107...110.

27. Жуковский В.А. Полимерные эндопротезы для герниопластики: получение, свойства и возможности совершенствования //Вестник хирургии им. Грекова. – 2011. Т. 170, № 2. С. 82...87

28. Олтаржевская Н.Д., Коровина М.А. Текстиль для медицины: новые лечебные композиционные материалы // Текстильная промышленность. – 2010, № 5. С. 58...62

29. Олтаржевская Н. Д., Швец В. И., Коровина М.А. и др. Выбор состава биополимерной лечебной депо-композиции для использования в различных областях медицины //Биотехнология. – 2016. Т. 32, №1. С. 43...52.

30. Олтаржевская Н. Д., Кричевский Г.Е., Коровина М.А., Гусев И.В. Биополимеры в медицине. Успехи, проблемы, будущее //Биофармацевтический журнал. – 2017. Т. 9, № 2. С. 3...25.

31. Хлыстова Т. С., Колаева А.В., Валуева М. И., Гусев И.В. Природные полимеры для создания раневых покрытий // Сырье и упаковка. – 2014. Т.153, №1. С. 30...31.

32. Chattopadhyay S., Raines R.T. Collagen-Based Biomaterials for Wound Healing // Biopolymers. – 2014, vol. 101. Issue 8. P. 821...833. DOI: 10.1002/bip.22486

33. Колаева А.В., Гусев И.В., Лунатова И.М., Олтаржевская Н.Д. Особенности создания стерильных материалов "Колегель" и "Колегель-диск" для направленной доставки лекарственных препаратов // Российский биотерапевтический журнал. – 2016. Т. 15, № 1. С. 49...53.

34. Muller T. Biomimetics //National Geographic. – 2008, №5. P. 112...135

35. Кричевский Г.Е. Наношетиная лапка //Химия и жизнь. – 2009, № 10. С. 26...28.

36. Hoeshin L, Bruce R, Messerschmidt P.V. //Nature. – 2007. V. 448. P. 338...341.

37. Hill G.C., Soto D.R., Piatie A.M., Full R.G., Kenny T.W. //J. of Royal Society Interface. – 2011, № 2. P. 446...457.

38. Cristopher T., Dobson M. //Nature. – 2003, №18 (25).

39. Hardy J.G., Roemer L.M. Schiebel T.R. // Polymer. – 2008. V. 49 (20). P. 4309...4327.

40. Дебабов В.Г., Богут В.Г. Природные волокна для будущего //Природа. – 1999, № 2. С.36...46.

41. Морыганов А.П., Галашина В.Н., Дымникова Н.С. Разработка высокотехнологичных биологически активных изделий технического и медицинского назначения на основе льна и льнонаноконкомпозитов // Дизайн. Материалы. Технологии. – 2009, № 4(11) С. 84...90.

42. Киселев А.М., Дащенко Н.В., Демидов А.В. Применение наноразмерных систем для модификации и повышения качества текстильных материалов. – СПб.: СПГУТД, 2013.

43. Дащенко Н.В., Киселев А.М. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, № 2. С. 64...66.

44. Киселев А.М., Дащенко Н.В., Демидов А.В., Шим В.В. Оценка эффекта механического диспергирования наноразмерных интерференционных пигментов //Вестник СПГУТД, сер. 1. – 2018, № 2. С.45...51.

REFERENCES

1. Krichevskiy G.E. Nano-, bio-, khimicheskie tekhnologii v proizvodstve novogo pokoleniya tekstilya, volokon i odezhdy. – М., 2011.

2. Petrova L.S., Lipina A.A., Zaytseva A.O., Odintsova O.I Ispol'zovanie nanochastits serebra dlya pridaniya tekstil'nym materialam bakteritsidnykh

- svoystv // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2018, № 6. S. 81...85.
3. Dmitrieva A.D., Kuz'menko V.A., Odintsova L.S. (Petrova L.S.), Odintsova O.I. Sintez i ispol'zovanie nanochastits serebra dlya pridaniya tekstil'nym materialam bakteritsidnykh svoystv // *Izv. vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya.* – 2015, T.58, № 8. S. 67...70.
 4. Ahmed G., Hassabo E., Mehrez E., El-Naggar, Amina L., Mohamed, Ali A. Hebeish Development of multifunctional modified cotton fabric with tri-component nanoparticles of silver, copper and zinc oxide // *Carbohydrate Polymers.* – 2019, v. 210, № 15. P.144...156.
 5. Bukina Yu.A., Sergeeva E.A. Antibakterial'nye svoystva i mekhanizm bakteritsidnogo deystviya nanochastits i ionov serebra // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta.* – 2012, № 14. S.170...172.
 6. Osipov B.P. // *Zhurnal fizicheskoy khimii.* – 2003, № 2. S. 34...38.
 7. Khakhanina T.I., Osipov B.P. Elektronnye metody issledovaniy // *Obzor TsNIITEILP.* – 2001.
 8. Andrievskiy A.M., Belov A.E. Era "umnogo" tekstilya nastupila i v Rossii // *Tekstil'naya promyshlennost'.* – 2003, № 3. S. 51...53.
 9. Andrievskiy A.M. Dzhinsy novogo veka: "umnyy" i "gluppy" denim // *Rynok legkoy promyshlennosti.* – 2004, № 36. S. 19,20.
 10. Andrievskiy A.M. Signal'naya odezhd: lyumodenim – novaya dzhinsovaya tkan', svetya-shchayasya v temnote // *Rynok legkoy promyshlennosti.* – 2005, № 43. S. 36,37.
 11. Andrievskiy A.M. Kolorirovanie tekstilya: "umnyy" i "gluppy" tekstil' v formirovanii industrii mody // *Tekstil'naya khimiya.* – 2004, № 2. S.77...79.
 12. Ivanova V.S., Gorberg B.L. Material dlya zashchity v temnoe vremya sutok // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2005, № 1. S.90...93.
 13. Ivanova V.S., Veselov V.V., Gorberg B.L. Dinamicheskie protsessy v izdeliyakh spetsial'nogo naznacheniya // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2006, № 1. S. 132, 133.
 14. Gorberg B.L. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya plazmokhimicheskoy tekhnologii dlya obrabotki tekstil'nykh materialov // *Tekstil'naya khimiya.* – 2003, № 1. S. 59...68.
 15. Gol'berg B.L., Ivanov A.A., Mamontov O.V. i dr. Modifitsirovanie tekstil'nykh materialov naneseniem nanopokrytiy metodom magnetronnogo ionno-plazmennogo raspyleniya // *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal.* – 2011. T. 55. № 3. S. 7...13.
 16. Entsiklopediya nizkotemperaturnoy plazmy (pod red. Yu.A.Lebedeva, N.A.Plate, V.E.Fortova). – M.: Yanus-K, 2006.
 17. Polak L.S. Kinetika i termodinamika khimicheskikh reaktsiy v nizkotemperaturnoy plazme. – M.: Nauka, 1965.
 18. Osuda N. Plazmennaya polimerizatsiya i plazmennaya obrabotka polimerov // *Vysokomolekulyarnye soedineniya.* – 1988. T. 80A, № 9. S.1815...1831.
 19. Blinicheva I.B., Mel'nikov B.N., Maksimov A.I. Primenenie nizkotemperaturnoy plazmy. – M.: Obzor TsNIITEILP, 1985.
 20. Sadova S.F., Zhuravleva S.M. Perspektivy obrabotki sherstyanykh tkaney nizkotemperaturnoy plazmoy // *Direktor (Legprombytizdat).* – 2000, №8. S. 10...11.
 21. Abdulin I.Sh. Vysokochastotnaya plazmennaya obrabotka v dinamicheskom vakuume kapillyar-no-poristykh struktur: teoriya, praktika, primenenie. – Kazan', 2004.
 22. Krichevskiy G.E. Nanotekhnologii v proizvodstve "umnykh" tekstil'nykh materialov i izdeliy iz nikh // *Tekstil'naya khimiya.* – 2004, № 3. S. 33...38.
 23. Zhukovskiy V.A. Polimernye endoprotezy dlya gernioplastiki. – SPb: EskulapYu, 2011.
 24. Sinenchenko G.I., Zhukovskiy V.A., Gayvoronskiy I.V. i dr. Posleoperatsionnye gryzhi peredney bryushnoy stenki i ikh khirurgicheskoe lechenie. – SPb: Elbi, 2009.
 25. Slutskiy G.Ya., Zhukovskiy V.A., Terushkina O.B. i dr. Uprugie kharakteristiki polipropilenovykh i polivinilidenftoridnykh mononitey i setchatykh protezov na ikh osnove // *Khimicheskies volokna.* – 2012, № 5. S. 28...32.
 26. Zhukovskiy V.A., Khokhlova V.A., Anushchenko T.Yu. i dr. Poliglikozidnye antimikrobnые khirurgicheskies niti // *Dizayn. Materialy. Tekhnologii.* – 2012, № 5 (25). S. 107...110.
 27. Zhukovskiy V.A. Polimernye endoprotezy dlya gernioplastiki: poluchenie, svoystva i vozmozhnosti sovershenstvovaniya // *Vestnik khirurgii im. Grekova.* – 2011. T. 170, № 2. S. 82...87
 28. Oltarzhevskaya N.D., Korovina M.A. Tekstil' dlya meditsiny: novye lechebnye kompozitsionnye materialy // *Tekstil'naya promyshlennost'.* – 2010, № 5. S. 58...62
 29. Oltarzhevskaya N. D., Shvets V. I., Korovina M.A. i dr. Vybora sostava biopolimernoy lechebnoy depo-kompozitsii dlya ispol'zovaniya v razlichnykh oblastyakh meditsiny // *Biotekhnologiya.* – 2016. T. 32, №1. S. 43...52.
 30. Oltarzhevskaya N. D., Krichevskiy G.E., Korovina M.A., Gusev I.V. Biopolimery v meditsine. Uspekhi, problemy, budushchee // *Biofarmatsevticheskii zhurnal.* – 2017. T. 9, № 2. S. 3...25.
 31. Khlystova T. S., Kolaeva A.V., Valueva M. I., Gusev I.V. Prirodnye polimery dlya sozdaniya ranevykh pokrytiy // *Syr'e i upakovka.* – 2014. T.153, №1. S. 30...31.
 32. Chattopadhyay S., Raines R.T. Collagen-Based Biomaterials for Wound Healing // *Biopolymers.* – 2014, vol. 101. Issue 8. P. 821...833. DOI: 10.1002/bip. 22486
 33. Kolaeva A.V., Gusev I.V., Lipatova I.M., Oltarzhevskaya N.D. Osobennosti sozdaniya steril'nykh materialov "Kolegel" i "Kolegel-disk" dlya napravlennoy dostavki lekarstvennykh preparatov // *Rossiyskiy*

- bioterapevticheskiy zhurnal. – 2016. T. 15, № 1. S. 49...53.
34. Muller T. Biomimetties //National Geographic. – 2008, №5. P. 112...135
35. Kricheskiy G.E. Nanoshchetinistaya lapka //Khimiya i zhizn'. – 2009, № 10. S. 26...28.
36. Hoeshin L, Bruce R, Messerschmidt P.B. //Nature. – 2007. V. 448. P. 338...341.
37. Hill G.C., Soto D.R., Piatie A.M., Full R.G., Kenny T.W. //J. of Royal Society Interface. – 2011, № 2. P. 446...457.
38. Cristopher T., Dobson M. //Nature. – 2003, №18 (25).
39. Hardy J.G., Roemer L.M. Schiebel T.R. // Polymer. – 2008. V. 49 (20). P. 4309...4327.
40. Debabov V.G., Bogut V.G. Prirodnye volokna dlya budushchego //Priroda. – 1999, № 2. S.36...46.
41. Moryganov A.P., Galashina V.N., Dymnikova N.S. Razrabotka vysokotekhnologichnykh biologicheski aktivnykh izdeliy tekhnicheskogo i meditsinskogo naznacheniya na osnove l'na i l'nonanokompozitov // Dizayn. Materialy. Tekhnologii. – 2009, № 4(11) S.84...90.
42. Kiselev A.M., Dashchenko N.V., Demidov A.V. Primenenie nanorazmernykh sistem dlya modifikatsii i povysheniya kachestva tekstil'nykh materialov. – SPb.: SPGUTD, 2013.
43. Dashchenko N.V., Kiselev A.M. // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2008, № 2. S. 64...66.
44. Kiselev A.M., Dashchenko N.V., Demidov A.V., Shim V.V. Otsenka efekta mekhanicheskogo dispergirovaniya nanorazmernykh interferentsionnykh pigmentov //Vestnik SPGUTD, ser. 1. – 2018, № 2. S.45...51.
- Рекомендована кафедрой естественных наук и техноферной безопасности ИВГПУ. Поступила 07.02.22.
-

УДК 687.016

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_134

**ПОЛУЧЕНИЕ ПЛОСКИХ РАЗВЕРТОК
ДЕТАЛЕЙ СКАНИРОВАННОЙ КОНИЧЕСКОЙ ЖЕНСКОЙ ЮБКИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ 3D-СКАНИРОВАНИЯ**

**OBTAINING FLAT PATTERNS
OF A SCANNED CONICAL WOMEN'S SKIRT USING 3D SCANNING
TECHNOLOGY**

Н.А. ЗАМОТИН, А.С. ДЯГИЛЕВ

N.A. ZAMOTIN, A.S. DYAGILEV

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: ni-ko-lay@mail.ru; dyagilev@vstu.by

В статье описан процесс построения чертежа модельной конструкции конической женской юбки на основе данных 3D-модели, полученной в результате ее сканирования. Предложен итерационный алгоритм, позволяющий в автоматическом режиме воспроизводить параметры, необходимые для реконструкции чертежа модельной конструкции, и разделять коническую женскую юбку на детали пояса и юбки. Описан разработанный программный модуль для системы автоматизированного проектирования Rhinoceros 7.

The article is devoted to the process of constructing of a model design drawing of a conical women's skirt based on the data obtained as a result of its 3D scanning. An iterative algorithm is proposed that allows to automatically reproduce the parameters necessary for the reconstruction of the model design drawing and divide the conical women's skirt into belt and skirt parts automatically. The developed software module for the computer-aided design system Rhinoceros 7 is described.

Ключевые слова: 3D-сканирование, виртуальное проектирование, виртуальная примерка, конструктивные параметры.

Keywords: 3D scanning, virtual design, virtual fitting, constructive parameters.

Введение

В настоящее время все большую популярность для измерения размерных признаков фигуры человека получают 3D-сканеры [1...3] – устройства, позволяющие с помощью оптических датчиков создать трехмерную компьютерную модель тела человека. Одно из перспективных направлений использования трехмерных моделей тела человека – это создание виртуальных примерочных, позволяющих производить подбор одежды, отвечающей анатомическим особенностям человека, без реальной примерки [4], [5].

Для осуществления виртуальной примерки необходимы как 3D-скан фигуры человека, так и 3D- модель примеряемого изделия. 3D-модель швейного изделия может быть построена на основе информации о геометрических размерах его составных деталей (чертежа модельной конструкции) [6]. Такая информация является частью конструкторской документации, которая, как правило, является коммерческой тайной производителя, и торговые сети ей не располагают. При этом торговые предприятия располагают большим количеством готовых швейных изделий, которые представляют интерес для виртуальной примерки. Таким образом, является актуальной задача создания цифровых компьютерных моделей швейных изделий на основе готовых образцов, содержащих информацию о необходимых геометрических размерах. Эта задача может быть решена с помощью 3D-сканирования готовых швейных изделий и измерения геометрических размеров на полученной 3D-модели.

В рамках данной работы проводилось исследование возможностей построения цифровой компьютерной модели женской юбки. Отличительной особенностью конической женской юбки является: равномерное расширение юбки по всей длине; линии верхнего и нижнего срезов юбки в развернутом виде являются секторами окружностей; отсутствие вытачек по талии. Данный тип юбок удерживается на линии талии и опирается на тазобедренный пояс.

На рис. 1 приведен внешний вид конической женской юбки, промаркированной

размером **XS**, надетой на манекен 44-46 размерного ряда (обхват груди 89 см; обхват талии 70 см; обхват бедер 95 см; вторая полнотная группа).



Рис. 1

Данное изделие состоит из двух деталей – пояса и юбки. Согласно методике конструирования пояс строится на основе прямоугольника, а юбка – на основе радиусов (рис. 2).

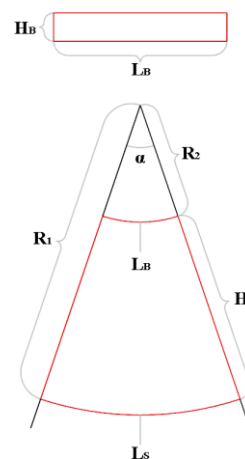


Рис. 2

Через величину длины юбки (H_S), длин верхнего (L_B) и нижнего (L_S) срезов юбки можно выразить значения величин угла α :

$$\alpha = \frac{180(L_S - L_B)}{\pi H_S}, \quad (1)$$

и радиуса R_2 :

$$R_2 = \frac{H_S}{\frac{L_S}{L_B} - 1}. \quad (2)$$

Таким образом, для построения основы чертежа конической женской юбки необходимо знать: ширину (H_B) и длину (L_B) поя-

са, длину юбки (H_S), длину верхнего (L_B) и нижнего (L_S) среза юбки.



Рис. 3

С помощью технологии 3D-сканирования можно получить 3D-модель поверхности швейного изделия (рис. 3). В рамках данной работы использовался 3D-сканер [7], состоящий из стойки с закрепленными на ней четырьмя сенсорами Kinect [8...10] и поворотной платформы.

Обработка полученных при сканировании данных осуществлялась с использованием системы автоматизированного проектирования Rhinoceros 7 [11]. Для автоматизации процесса измерения геометрических размеров трехмерной модели в среде графического редактора алгоритмов Grasshopper [12] был разработан специализированный модуль (рис. 4).

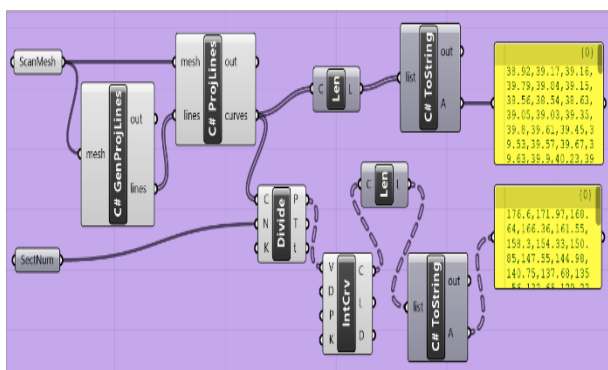


Рис. 4

Разработанный алгоритм содержит как стандартные модули преобразования данных (Len, Divide, IntCrv), так и модули обработки данных, реализованные на языке C# (C# GenProjLines, C# ProjLines, C# ToString).



Рис. 5

На рис. 5-а приведено облако точек на поверхности 3D-модели, полученное в результате обработки данных трехмерного сканирования конической женской юбки (рис. 2) с помощью специализированного модуля обработки данных (рис.4). По внешней поверхности 3D-модели (рис.5-б) спроецировано 90 вертикальных линий (шаг 4 градуса). Каждая вертикальная линия разделена на 39 секторов. Точки деления секторов с одинаковыми порядковыми номерами соединены горизонтальными линиями, образующими замкнутые контуры. На рис. 5-в обозначены детали пояса (отмечена розовым цветом), юбки (отмечена зеленым цветом), а также область, в которой находится шов стачивания (отмечена желтым цветом).

С целью повышения точности вычислений при обработке данных количество вертикальных линий и разделяющих их секторов может быть увеличено.

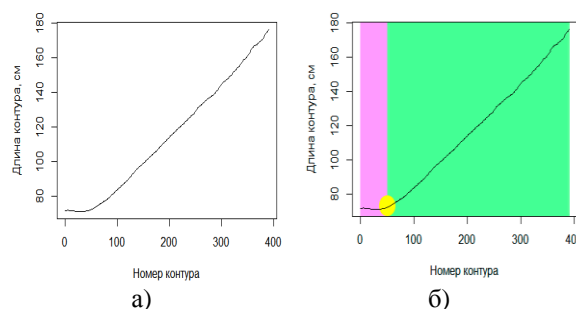


Рис. 6

На рис. 6-а приведен график изменения длин контуров, полученных в результате построения облака точек с помощью 360 вертикальных линий (шаг 1 градус) и 390 секторов.

На рис. 6-б отмечена область, в которой находится контур, разделяющий детали пояса и юбки. Горизонтальная линия соответ-

ствуется области пояса, наклонная линия соответствует области юбки. На основании данных о зависимости длин контуров трехмерной модели от номера контура необходимо в автоматическом режиме определить номер контура, разделяющего детали пояса и юбки.

На графике 6-б длины контуров 3D-модели, относящиеся к детали пояса, могут быть описаны линией, параллельной оси абсцисс, длины контуров, относящиеся к детали юбки, могут быть описаны линейной моделью, содержащей угловой коэффициент. Описанные линии будут пересекаться в точке, соответствующей номеру контура, разделяющего детали пояса и юбки. Система уравнений, описывающая зависимость длин контуров трехмерной модели от их номера, имеет вид:

$$\begin{cases} L_{DS} = b_0 + b_1 N \\ L_{DB} = a_0 \end{cases}, \quad (3)$$

где L_{DS} – длина контура юбки, см; N – номер контура; b_0 , b_1 – коэффициенты регрессионной модели [13], описывающей зависимость длины контура от номера контура в юбке; L_{DB} – длина контура пояса, см; a_0 – коэффициент, описывающий среднее значение длины контура в поясе.

Приравняв L_{DS} и L_{DB} (3), найдем номер контура N , разделяющего детали пояса и юбки:

$$N = \frac{a_0 - b_0}{b_1}. \quad (4)$$

Вычисление значения N , согласно (4), требует знания величин коэффициентов b_0 , b_1 , a_0 , что предполагает известность значения N . Таким образом, для вычисления номера контура разделяющей детали пояса и юбки N был разработан итерационный алгоритм.

1. Нахождение номера контура N как величины, делящей трехмерную модель на две примерно равные части (с погрешностью шага между контурами) (пунктирная линия на рис.7-а).

2. Сохранение в буферной переменной значения номера контура $N_{buff} = N$.

3. Оценка параметров a_0 , b_0 , b_1 для линейных моделей (3) с помощью метода наименьших квадратов [13].

4. Оценка номера контура N , разделяющего детали пояса и юбки (4) (положение черной вертикальной пунктирной линии на рис.7-б).

5. В случае если значение N (черная пунктирная линия на рис. 7-б) не отличается от сохраненного значения N_{buff} (серая пунктирная линия на рис. 7-б), процесс поиска завершается (рис.7-в), в противном случае переходим к пункту 2.

На рис. 7 приведены этапы процесса поиска номера контура разделяющей детали пояса и юбки.

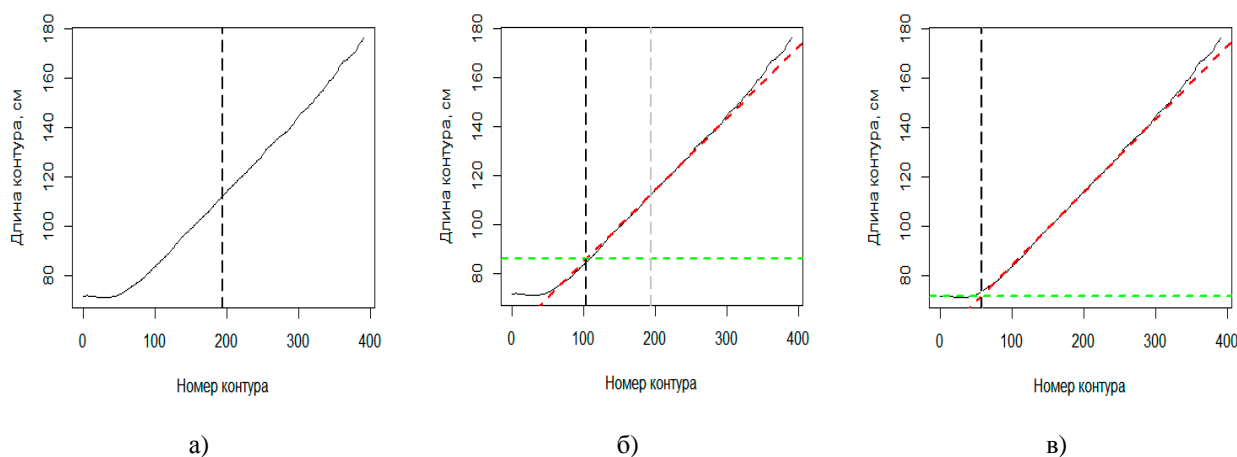


Рис. 7

На рис. 8 приведена 3D-модель конической женской юбки с обозначенным контуром, разделяющим детали пояса и юбки,

найденным с помощью описанного алгоритма в автоматическом режиме.



Рис. 8

После разделения 3D-модели конической женской юбки на две части необходимо измерить линейные размеры каждой детали.

Конструктивные параметры: высота пояса H_B и высота юбки H_S (рис. 2) могут быть найдены как медианные значения вертикальных линий соответствующих деталей, измеренных по 3D-модели (рис.8-а, 8-б). Конструктивные параметры длина пояса L_B , длина верхнего среза юбки L_B и длина нижнего среза юбки H_S могут быть вычислены по модели (3) с коэффициентами, полученными на этапе поиска контура, разделяющего детали пояса и юбки. Подставив полученные значения в формулы (1) и (2), можно вычислить угол α и величину радиуса R_2 .

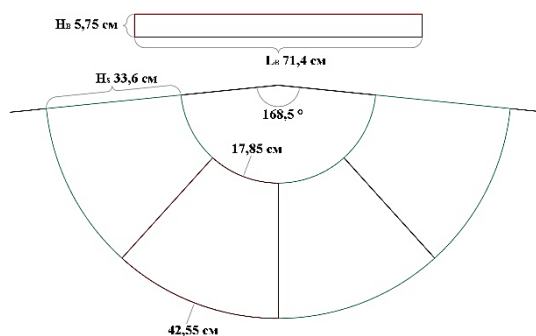


Рис. 9

На рис. 9 приведен чертеж исходной модельной конструкции конической женской юбки, построенной по данным, измеренным на 3D-модели. Сплошной зеленой линией обозначена площадь полотнища

юбки; исследуемая модель конической женской юбки является четырехшовной и состоит из четырех равных клиньев; сплошной красной линией обозначена плоская развертка одного клина.

Конструктивные параметры конической женской юбки также были измерены контактным методом с помощью сантиметровой ленты: высота пояса H_B : 72 см; длина пояса L_B : 5,8 см и высота юбки H_S : 34 см. Как видно на рис. 9, суммарная погрешность 3D-сканера и разработанных алгоритмов не превышает 1,5%.

ВЫВОДЫ

Разработан программный продукт, позволяющий с использованием системы автоматизированного проектирования Rhinoceros 7 на основе данных, полученных в результате сканирования готового швейного изделия с помощью 3D-сканера, построить чертеж исходной модельной конструкции конической женской юбки.

Предложен итерационный алгоритм, позволяющий в автоматическом режиме находить номер контура 3D модели разделяющего детали пояса и юбки женской конической юбки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Daanen H.A.M., Ter Haar F.B. 3D whole body scanners revisited // Displays. – 2013. Т. 34. №4. P.270...275.
2. Alfredo Ballester, Ana Piérola, Eduardo Parrilla, Jordi Uriel, Ana V. Ruescas, Cristina Pérez, Juan V. Durá, Sandra Alemany. 3D Human Models from 1D, 2D & 3D Inputs: Reliability and Compatibility of Body Measurements // 9th Int. Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies. – Lugano, Switzerland, 2018.
3. Georgii Molyboga, Ivan Makeev. Statistical Model for Human Body Measurements // 9th Int. Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies. – Lugano, Switzerland, 2018.
4. Mengna Guo, Kuzmichev V.E., Adolphe D.C. Human-friendly design of virtual system “female body-dress” // AUTEX Research Journal. – 2015. Vol. 15. №1.
5. Mengna G., Kuzmichev V.E. Pressure and comfort perception in the system “female body-dress” // AUTEX Research Journal. – 2013. Vol. 13. № 3.
6. Кузьмичев В.Е., Ахмедулова Н.И., Юдина Л.П. Конструирование швейных изделий: системное проектирование. – М., 2018. С. 392.

7. Замотин Н.А., Дягилев А.С. Разработка 3D-сканера для сканирования фигуры человека // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 6. С. 139...146.

8. MicrosoftKinect [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.xbox.com/en-us/kinect>. – Дата доступа 13.05.2017

9. Yin Chen, Gang Dang, Zhi-Quan Cheng, Kai Xu Fast capture of personalized avatar using two Kinects // Journal of Manufacturing Systems. – 2014. Т. 33. №1. С. 233...240.

10. Maués C.P.R., Casagrande M.V.S., Almeida R.C.C., Almeida M.A.O., Carvalho F.A.R. Three-dimensional surface models of the facial soft tissues acquired with a low-cost scanner // International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2018.

11. Rhinoceros [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rhino3d.com/>. – Дата доступа 02.08.2019.

12. Grasshopper. Algorithmicmodelingforrhino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.grasshopper3d.com/>. – Дата доступа 02.08.2019.

13. Дягилев А.С., Коган А.Г. Методы и средства исследований технологических процессов. – Витебск, 2012.

REFERENCES

1. Daanen H.A.M., Ter Haar F.B. 3D whole body scanners revisited // Displays. – 2013. Т. 34. №4. P.270...275.

2. Alfredo Ballester, Ana Piérola, Eduardo Parrilla, Jordi Uriel, Ana V. Ruescas, Cristina Pérez, Juan V. Durá, Sandra Alemany. 3D Human Models from 1D, 2D & 3D Inputs: Reliability and Compatibility of Body Measurements // 9th Int. Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies. – Lugano, Switzerland, 2018.

3. Georgii Molyboga, Ivan Makeev. Statistical Model for Human Body Measurements // 9th Int. Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies. – Lugano, Switzerland, 2018.

4. Mengna Guo, Kuzmichev V.E., Adolphe D.C. Human-friendly design of virtual system “female body-dress” // AUTEX Research Journal. – 2015. Vol. 15. №1.

5. Mengna G., Kuzmichev V.E. Pressure and comfort perception in the system “female body-dress” // AUTEX Research Journal. – 2013. Vol. 13. № 3.

6. Kuzmichev V.E., Akhmedulova N.I., Yudina L.P. Konstruirovaniye shveynykh izdeliy: sistemnoe proektirovaniye. – M., 2018. S. 392.

7. Zamotin N.A., Dyagilev A.S. Razrabotka 3D-skanera dlya skanirovaniya figury cheloveka // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 6. S. 139...146.

8. MicrosoftKinect [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.xbox.com/en-us/kinect>. – Data dostupa 13.05.2017

9. Yin Chen, Gang Dang, Zhi-Quan Cheng, Kai Xu Fast capture of personalized avatar using two Kinects // Journal of Manufacturing Systems. – 2014. Т. 33. №1. S. 233...240.

10. Maués C.P.R., Casagrande M.V.S., Almeida R.C.C., Almeida M.A.O., Carvalho F.A.R. Three-dimensional surface models of the facial soft tissues acquired with a low-cost scanner // International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2018.

11. Rhinoceros [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.rhino3d.com/>. – Data dostupa 02.08.2019.

12. Grasshopper. Algorithmicmodelingforrhino [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.grasshopper3d.com/>. – Data dostupa 02.08.2019.

13. Dyagilev A.S., Kogan A.G. Metody i sredstva issledovaniy tekhnologicheskikh protsessov. – Vitebsk, 2012.

Рекомендована кафедрой математики и информационных технологий. Поступила 11.04.22.

КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ИНДУСТРИИ МОДЫ

CONCEPT OF DESIGN INTELLECTUALIZATION IN THE FASHION INDUSTRY

В.В. ГЕТМАНЦЕВА, В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ, Е.Г. АНДРЕЕВА

V.V. GETMANTSEVA, V.S. BELGORODSKY, E.G. ANDREEVA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: getmantseva@inbox.ru

В статье описана методология внедрения интеллектуальных технологий в процесс проектирования и изготовления швейных и текстильных изделий нового поколения, использование интеллектуальных технологий направлено на выявление потребностей клиентов и последующую разработку изделия с основным и дополненным функционалом, удовлетворяющим или превосходящим заданную потребность. Сам процесс интеллектуализации швейных изделий рассмотрен с двух позиций: интеллектуализации инструмента проектирования, в том числе средств автоматизирующих процесс, и интеллектуализации объекта проектирования. На основе данного подхода предложена научная концепция интеллектуализации виртуального проектирования изделий легкой промышленности ключевым моментом которой является однозначное определение функциональности изделия и определены способы решения задач проектирования в зависимости от условия задания функции, потребности или характеристик объекта проектирования.

The article describes the methodology for introducing intelligent technologies into the design process and manufacture of new generation garments and textiles, the use of intelligent technologies is aimed at identifying customer needs and the subsequent development of a product with added functionality that meets or anticipates a given need. The process of intellectualization of garments itself is considered from two positions: the intellectualization of the design tool, including the means that automate the process, and the intellectualization of the design object. On the basis of this approach, a scientific concept of intellectualization of the virtual design of light industry products is proposed, the key point of which is the unambiguous definition of the functionality of the product and methods for solving design problems are determined depending on the conditions for specifying the function, needs or characteristics of the design object.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии, умная одежда, индустрия моды, методы интеллектуализации, инновационный текстиль, умные материалы, электронный текстиль.

Keywords: smart technologies, smart clothes, fashion industry, methods of intellectualization, innovative textiles, smart materials, electronic textiles.

Введение. Революционное развитие технологий и материалов оказывает большое влияние и на индустрию моды. В условиях глобализации потребительских рынков все более актуальны клиенто-ориентированные изделия, как воплощающие запросы потребителей, так и оптимизирующие издержки, и прибыль производителей. Разработка новых подходов к проектированию швейных изделий нового поколения может базироваться на интеграции традиционного функционала предметов одежды и ряда интеллектуальных функций, на внедрении передовых научных и технических достижений, позволяющих сформировать гармоничный образ конкретного потребителя и обеспечить заданную физическую и эмоциональную нагрузку.

Одежда, как оболочка, создает особую среду вокруг человека, поэтому наделение ее интеллектуальными функциями позволяет повысить уровень комфорта потребителей путем контроля данных о самочувствии человека [1], путем реагирования на изменение термических, физико-механиче-

ских, биолого-химических и других параметров окружающей среды [2]. Ассортимент одежды с интеллектуальными функциями подразделяют на следующие категории:

- изделия с функцией информирования об изменениях внешней среды;
- изделия, реагирующие на изменения внешних факторов;
- изделия, обеспечивающие ответную реакцию на изменение внешних факторов с целью поддержания комфортного состояния человека [2].

К первой категории можно отнести изделия, в которые встроены носимые информационные устройства/ датчики. Эти изделия особенно востребованы при необходимости контроля за рядом показателей, прежде всего отображающих физиологическое состояние человека, например, в медицине используется одежда с функцией информирования о таких показателях, как температура тела, частота дыхания, уровень давления, важных для проведения дистанционных консультаций) (рис.1, [3]).



Рис.1

Информативные функции одежды применимы в спортивной экипировке для сбора и анализа показателей физической активности и контроля здоровья (рис.2, [4]), а также в одежде для военнослужащих, обеспечивающей более эффективные действия в экстремальных условиях.

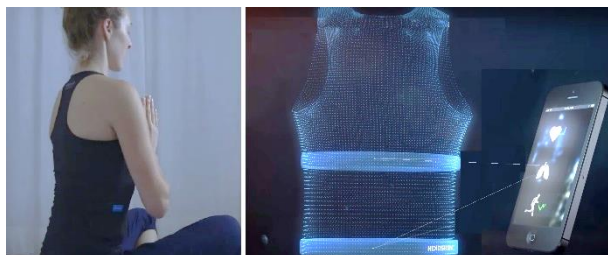


Рис.2

Ко второй категории одежды с интеллектуальными функциями, позволяющими распознавать изменения внешних факторов и реагировать на них, можно отнести терморегулирующие изделия, изделия с функцией ароматизации, изделия с функцией самоочистки и самовосстановления [5], [6] и другие.

Изделия с интеллектуальными функциями третьей категории позволяют не только собрать информацию об окружающей среде, но и адаптироваться к ее условиям, обеспечивая наибольший комфорт потребителю. Для изготовления таких изделий применяют "умные" материалы и техноло-

гии, превращающие одежду в интеллектуальное робототехническое устройство.

Перспективность производства интеллектуальных предметов одежды [7] обусловлена широким спектром возможностей эксплуатации одежды с интеллектуальными функциями, открывающим новые сегменты рынка для швейной и текстильной промышленности [8]. В настоящее время интеллектуальные изделия представлены на потребительском рынке преимущественно отдельными высокотехнологичными образцами или их мелкими сериями [9]. Причина сдерживания выхода на массовый рынок нового поколения "умной одежды" видится в недостаточном изучении скрытых/перспективных потребностей потенциальных покупателей [10]. Современные разработчики "умной одежды" ориентированы в большей степени на создание технологических новинок, а не в продвижении изделий для повышения спроса на эти изделия, вследствие чего интеллектуальные технологии находят более широкое применение в одежде специального назначения, медицинской и спортивной одежде, где повышение функциональности наиболее оправдано. Реализация "умных функций" в бытовой одежде становится избыточной для большинства потребителей, исходя из их образа жизни, поэтому актуальны исследования, направленные на широкое внедрение интеллектуальных технологий в изделия массового производства, отличающиеся наиболее востребованными и оригинальными функциями и соответствующие ожиданиям широкого круга потребителей.

Методика исследования

Применительно к цели настоящего исследования процесс интеллектуализации швейных изделий рассмотрен с двух позиций: 1) интеллектуализации инструмента проектирования (то есть САПР одежды) и 2) интеллектуализации объекта проектирования (то есть предметов одежды) [8]. Интеллектуализация процесса проектирования основана на систематизации информации об интеллектуальных технологиях и способах решения задач с их применением.

Под интеллектуальной одеждой мы понимаем швейные изделия, отличающиеся человеко-ориентированной адаптацией, модифицируемостью, эволюционным развитием и интегрируемостью с другими объектами для передачи информации [8].

Результаты исследования. Интеллектуализация в широком смысле представляет собой технологии, позволяющие получать принципиально новые решения за счет автоматизации, использования когнитивных приемов и внедрения искусственного интеллекта. Авторами статьи предложена научная концепция интеллектуализации виртуального проектирования изделий легкой промышленности. На рис.3 представлена обобщенная концептуальная модель интеллектуального виртуального проектирования изделий повышенной функциональности (интеллектуальных изделий), направленная на решение трех основных задач (рис.3):

- 1) Установление совокупности параметров объекта проектирования в зависимости от установленной функции изделия (*задача функции → параметры объекта проектирования*).
- 2) Определение функционала проектируемого изделия исходя из выявленных потребностей (*задача потребности → функции*).
- 3) Проектирование и изготовление изделия, соответствующего ожиданиям потребителей (*задача параметры объекта проектирования → субъект проектирования*).

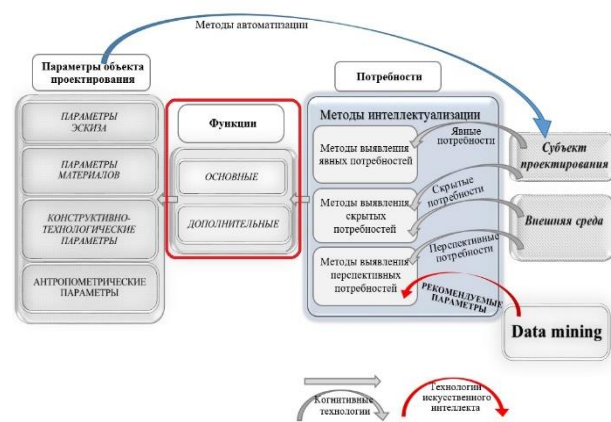


Рис.3

Ключевым моментом предлагаемой концептуальной модели проектирования является однозначное определение функциональности изделия. В зависимости от вида, ассортимента, назначения изделий выделяют основные и дополнительные функции. Так, защитные элементы спортивной экипировки, как правило, монофункциональны, а их основная функция – защита от внешних силовых воздействий. А изделия, предназначенные для военной экипировки, многофункциональны, так как позволяют не только реализовать основную функцию изделия защиты от неблагоприятных природных условий или от осколков, но и дополнительный функционал, например, подзарядки электроприборов от солнечных батарей, размещенных в костюме. Заданная функциональность изделия предопределяет спектр его свойств, характеристик, вариантом технического и технологического решения с целью формирования оригинального, технически нового и востребованного проектного решения.

Решение задачи *функции* → *параметры* объекта проектирования опирается на определение рациональных параметров и технических условий изготовления объекта, при которых заданная функция будет реализована в полном объеме. Например, при разработке спортивного наколенника [5] для формализации защитной функции изделия решали следующие вопросы: из какого материала целесообразно выполнить объект, как обеспечить соответствие объекта параметрам потребителя, какую технологию изготовления выбрать (рис.4). В результате экспериментальных исследований в качестве альтернативы для традиционного монолитного конструктивного решения спортивного наколенника предложено двухслойное конструктивное решение, нижний слой изготовлен из трикотажа с поролоновой прослойкой, верхний слой – это антропологически обоснованная многослойная конструкция из прочного материала, "гасящего силу удара". Таким образом, для решения задачи *функции* → *параметры* объекта проектирования оптимальным является использование информативных баз знаний и данных, отображающих варианты

выбора и/ или совокупность рациональных решений.

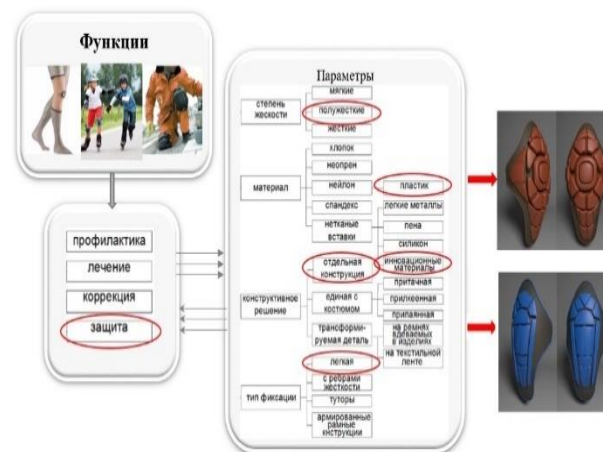


Рис.4

Решение задачи *потребности* → *функции* не реализовано в рамках существующего промышленного проектирования одежды, традиционно осуществляемого без вовлечения в этот процесс потребителя. В рамках предложенной концепции интеллектуального проектирования изделий повышенной функциональности субъект проектирования становится активным участником, соавтором процесса проектирования, формирующим основные опции продукта, что уже реализовано в других отраслях промышленности, например, в автомобилестроении.

Определение степени заинтересованности субъекта проектирования (потребителя) в наличии определенных опций у объекта проектирования может быть осуществлено в следующих формах (рис.5):

- *активный формат* – потребитель высказывает вполне определенные требования к объекту (*явные потребности*);
- *диалоговой формат* – потребитель высказывает или описывает пожелания к свойствам и характеристикам объекта проектирования, которые могут быть изменены или скорректированы (*скрытые потребности*);
- *пассивный формат* – потребитель знакомится на рынке с изделием, которое обладает ранее неизвестными свойствами или назначением (*перспективные потребности*).



Рис.5

Для получения обратной связи от субъекта предложенная концептуальная модель проектирования (рис.3) предполагает использование методов выявления его потребностей, для чего определен арсенал инструментов интеллектуализации, помогающих выявить как явные, так и скрытые, и перспективные потребности. Явные потребности традиционно изучаются проведением маркетинговых опросов. Степень заинтересованности потребителя в наличии определенных характеристик изделия выявляется в активном формате, для организации которого необходимо наличие информационного поля, отображающего варианты предпочтений потребителя, современные модные тенденции, экспертные рекомендации. Выявление адресных предпочтений потребителей и использование средств автоматизации для подготовки разных вариантов решений одежды, удовлетворяющих требования конечных пользователей, позволяют реализовать персонализированный подход проектирования одежды в условиях промышленного производства. Например, от потребителя, работающего в условиях пониженной температуры, приходит запрос "необходимость повышения уровня эргономического комфорта". В качестве реакции производителя на существующий запрос могут быть использованы специальные технологии или материалы для контроля и управления теплообменом в пододежном пространстве.

Использование интеллектуальных технологий при выявлении потребительских предпочтений с использованием диалогового, то есть интерактивного формата

очень актуально при проектировании и изготовлении изделий персонализированной направленности. В данном случае должна быть обеспечена возможность наделяния объекта дополнительной функциональностью: информационными, коммуникативными, сигнальными и другими функциями. Так, например, при выборе одежды спортивного типа для управления мотоциклом, велосипедом, самокатом, может быть предложено использование светодиодных элементов для обеспечения безопасности водителя. Использование светодиодных элементов в одежде делает водителя более заметным на дороге, позволит сигнализировать другим участникам движения о его маневрах, что, в целом, повысит безопасность транспортной среды. С другой стороны, потребители могут проинформировать производителя о значимых факторах своей жизнедеятельности условиях, в которых будет использоваться изделие, своих ожиданиях психологического и физиологического комфорта от эксплуатируемого изделия, что позволит в наибольшей степени конкретизировать техническое задание и максимизировать удовлетворенность клиентов.

Пассивный формат информационного взаимодействия в процессе проектирования предполагает интеллектуализацию формирования еще неосознаваемых потребностей в обществе, которые могут быть реализованы в связи с развитием принципиально новых технологий, материалов, оборудования, создающих ранее неизвестные возможности. Так, благодаря разработке сенсорного трикотажа для специальных носков и стелек обуви, передающего сигналы о характере передвижения их пользователей на компьютеры медицинских учреждений, одинокие пожилые жители Японии получили возможность моментально получать необходимую социальную помощь. Создание изделий из материалов, биоразлагаемых или переработанных после предыдущей эксплуатации, позволяет удовлетворить потребность представителей молодого поколения вносить личный вклад в повышение экологичности окружающей их среды. Предвосхищение новых глобальных

потребностей играет ключевую роль в конкурентном превосходстве в любой отрасли. В качестве примера реализации *перспективных потребностей* можно привести изготовление ультратонкого плащаневидимки из золотых наноэлементов, отражающих падающий свет [11], замысел которого большинству потребителей кажется нереализуемым.

Решение задачи *параметры объекта проектирования* → *субъект проектирования* успешно реализуется в швейной промышленности путем применения методов 2D- и 3D-автоматизированного проектирования.

Выявление потребностей лежит в основе формирования функциональной составляющей проектируемых изделий, в том числе для создания принципиально новых продуктов на глобальном рынке. Таким образом, предлагаемая концепция направлена на решение научной проблемы интеллектуализации творческой дизайнерской деятельности и разработки швейных изделий с заданными или оригинальными функциями, которые соответствуют персональным ожиданиям потребителей в индустрии моды.

В Ы В О Д Ы

Исходя из вышеизложенного, хотелось бы отметить перспективность развития и применения методов интеллектуализации для создания принципиально новых проектных и конструкторско-технологических решений, а также для разработки и совершенствования новаторских технологий, материалов, дизайна. Методология интеллектуализации, реализуемая средствами параметризации и автоматизации в цифровой виртуальной среде, позволяет придавать проектируемым моделям одежды принципиально новые, ранее не присущие им свойства, и предлагать оригинальные конструкторско-технологические решения, которые в наибольшей степени будут отвечать явным, скрытым и перспективным потребностям общества.

1. Hardy D.A., Moneta A., Sakalyte V., Connolly L., Hughes-Riley T. Engineering a costume for performance using illuminated LED-yarns// *Fibers*. – 2018., Vol.6, Is.2. P.35...47.

2. Cho G., Lee S., Cho J. Review and reappraisal of smart clothing// *International Journal of Human-Computer Interaction*. – 2009. Vol.25, Is.6. P.582...617.

3. Будущее здравоохранения - носимые технологии. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=JDLu7cxUzfY> (дата обращения 23.07.2021).

4. "Умная" одежда и нательные технологии. URL: <https://habr.com/ru/company/dataart/blog/387217/> (дата обращения 23.07.2021).

5. Гетманцева В.В., Тюрин И.Н., Андреева Е.Г., Белгородский В.С. Инновационные технологии изготовления "умной одежды" повышенной функциональности. – М.: Научная библиотека, 2020.

6. Wang X., Lu Z., Shen J., Niu Y., Xiao Z., Liu G., Hao J., Zhang X. Nano-fragrance with pH-sensitive release property for improvement of central nervous system// *Journal of Biomedical Nanotechnology*. – 2020. Vol.16. Is.2. P.193...200.

7. Wu Y., Chen R., Wang J., Sun X., She M. Intelligent clothing for automated recognition of human physical activities in free-living environment// *The Journal of The Textile Institute*. – 2012. Vol.103. Is.8. P.806...816.

8. Гетманцева В.В. Научные основы интеллектуализации виртуального проектирования конструкции и технологии изготовления одежды: Дис. ... докт. техн. наук. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021.

9. Dunne L. Smart clothing in practice: Key design barriers to commercialization// *Fashion Practice*. – 2010. Vol.2. Is.1. P.41...65.

10. Ariyatun B., Holland R., Harrison D., Kazi T. The future design direction of smart clothing development// *The Journal of The Textile Institute*. – 2005. Vol.96. Is.4. P.199...210.

11. Ni X., Wong Z.J., Mrejen M., Wang Yu., Zhang X. An ultrathin invisibility skin cloak for visible light // *Science*. – 2015. Vol.349, Is.6254. P.1310...1314.

REFERENCES

1. Hardy D.A., Moneta A., Sakalyte V., Connolly L., Hughes-Riley T. Engineering a costume for performance using illuminated LED-yarns// *Fibers*. – 2018., Vol.6, Is.2. P.35...47.

2. Cho G., Lee S., Cho J. Review and reappraisal of smart clothing// *International Journal of Human-Computer Interaction*. – 2009. Vol.25, Is.6. P.582...617.

3. Budushchee zdravookhraneniya - nosimye tekhnologii. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=JDLu7cxUzfY> (data obrashcheniya 23.07.2021).

4. "Umnaya" odezhdha i natel'nye tekhnologii. URL: <https://habr.com/ru/company/dataart/blog/387217/> (data obrashcheniya 23.07.2021).

5. Getmantseva V.V., Tyurin I.N., Andreeva E.G., Belgorodskiy V.S. Innovatsionnye tekhnologii izgotovleniya "umnoy odezhdy" povyshennoy funktsional'nosti. – M.: Nauchnaya biblioteka, 2020.

6. Wang X., Lu Z., Shen J., Niu Y., Xiao Z., Liu G., Hao J., Zhang X. Nano-fragrance with pH-sensitive release property for improvement of central nervous system// Journal of Biomedical Nanotechnology. – 2020. Vol.16. Is.2. P.193...200.

7. Wu Y., Chen R., Wang J., Sun X., She M. Intelligent clothing for automated recognition of human physical activities in free-living environment// The Journal of The Textile Institute. – 2012. Vol.103. Is.8. P.806...816.

8. Getmantseva V.V. Nauchnye osnovy intellektualizatsii virtual'nogo proektirovaniya konstruksii i

tekhnologii izgotovleniya odezhdy: Dis. ...dokt. tekhn. nauk. – M.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2021.

9. Dunne L. Smart clothing in practice: Key design barriers to commercialization// Fashion Practice. – 2010. Vol.2. Is.1. P.41...65.

10. Ariyatun B., Holland R., Harrison D., Kazi T. The future design direction of smart clothing development// The Journal of The Textile Institute. – 2005. Vol.96. Is.4. P.199...210.

11. Ni X., Wong Z.J., Mrejen M., Wang Yu., Zhang X. An ultrathin invisibility skin cloak for visible light // Science. – 2015. Vol.349, Is.6254. P.1310...1314.

Рекомендована кафедрой художественного проектирования и технологии швейных изделий. Поступила 28.09.21.

УДК 675.621

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_146

ВЫБОР ХАРАКТЕРИСТИК СТРОЕНИЯ ВОЛОСЯНОГО ПОКРОВА В КАЧЕСТВЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МЕХОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

SELECTION OF STRUCTURE CHARACTERISTICS OF HAIR COVERING AS INITIAL DATA FOR VISUALIZATION OF FUR PRODUCTS

Ж.Ю. КОЙТОВА, К.В. ПЕРМИНОВА, Е.Ю. ДОЛГОВА, Е.Н. БОРИСОВА

J.YU. KOYTOVA, K.V. PERMINOVA, E.YU. DOLGOVA, E.N. BORISOVA

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Омский государственный технический университет,
Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия им. А. Л. Штиглица)

(Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Omsk State Technical University,
Saint Petersburg Stieglitz State Academy of Art and Design)

E-mail: koytovaju@mail.ru; ksyuha_p@list.ru; dolgova13@rambler.ru; borisoffa@mail.ru

В статье представлены результаты эксперимента, позволяющего при помощи программы полигонального проектирования (Clo3D) визуализировать меховое полотно из лисицы серебристо-черной, выполненное с использованием сложного метода раскроя – расшивки. Для проведения эксперимента были выбраны и определены параметры характеристик волосяного покрова меха лисицы, используемые в качестве исходных данных для построения виртуальной модели: длина волоса; угол наклона волоса относительно кожной ткани; угол наклона краевой; длина цветового участка 1; длина цветового участка 2. Выбраны инструменты программного обеспечения и их комбинации для моделирования характеристик волосяного покрова и параметров расшивки в виртуальной среде. При проведении эксперимента

были проанализированы характеристики полотен, получаемых при сложных методах раскроя, а также выполнена подборка программ, позволяющих представить внешний вид мехового полотна или изделия из натурального меха.

The article presents the results of an experiment that allows using the polygonal design program (Clo3D) to visualize a silver-black fox fur fabric, made using a complex cutting method - jointing. For the experiment, the parameters of the characteristics of the hairline of the fox fur were selected and determined, which are used as initial data for a virtual modelling: hair length; the angle of inclination of the hair relative to the skin tissue; edge slope angle; color area length 1; the length of the color area 2. Software tools and their combinations to simulate the characteristics of the hairline and parameters of the stitching in a virtual environment were selected. During the experiment, the characteristics of the fabrics obtained with complex cutting methods were analyzed, as well as a selection of programs was made that allows you to imagine the appearance of a fur fabric or a product made of natural fur.

Ключевые слова: натуральный мех, лисица серебристо-черная, программы полигонального проектирования, высота волосяного покрова, угол наклона волоса, длина волоса, расшивка, меховое полотно.

Keywords: natural fur, silver-black fox, polygonal design programs, hair height, hair angle, hair length, embroidery, fur fabric.

При проектировании одежды из натурального меха наибольшие материальные затраты приходится на сырье, поэтому необходимо минимизировать дополнительные расходы, связанные с экспериментальным поиском необходимых параметров при выборе способа раскроя, но при этом обеспечить возможность визуализировать внешний вид будущего изделия.

В настоящее время прогнозирование внешнего вида меховых изделий связано с практическими навыками художника - модельера, скорняка, что значительно усложняет поиск разнообразия фактур меховых полотен при различных параметрах расшивки. Целью работы являлся выбор характеристик волосяного покрова и параметров расшивки для визуализации меховых полотен в виртуальной среде. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: выбрать характеристики волосяного покрова, влияющие на внешний вид изделий, и определить их значения до и после разрезания шкурки при раскрое; проанализировать возможности программного обеспечения для визуализации

натурального меха и меховых изделий; выбрать инструменты программного обеспечения, позволяющие перенести количественные показатели характеристик волосяного покрова в виртуальную среду.

Для эксперимента использовались 15 шкур лисицы серебристо-черной, тонированной в цвет электрик. На образцах с различных топографических участков изучены характеристики волосяного покрова и их изменение до и после разрезания шкурки. Выбранные образцы отличаются между собой не только расположением относительно топографических участков шкурки, но и симметричностью относительно линии хребта (симметричные и несимметричные относительно хребта). В качестве программного обеспечения используется программа Clo3d (с версией выше 4.2), в качестве основных инструментов программы, отражающих характеристики натурального меха: длина волоса, FORCE (сила), BEND (изгиб), VECTOR (координата Y) [1].

При использовании сложного метода раскроя-расшивки полоски меха соединя-

ются скорняжным швом с полосками расшивочного материала, выбранного для изделия – кожа, ткань и др. Также они могут настрачиваться на материал в определенном порядке – в данном варианте снижается количество швов и трудоемкость изделия. Основными параметрами расшивки являются: ширина меховой и ширина расшивочной полосок [2], [3], а также вид раскроя-расшивки бывает горизонтальная, вертикальная, клиновидная и другие, что определяет фактуру, рельеф, внешний вид мехового изделия.

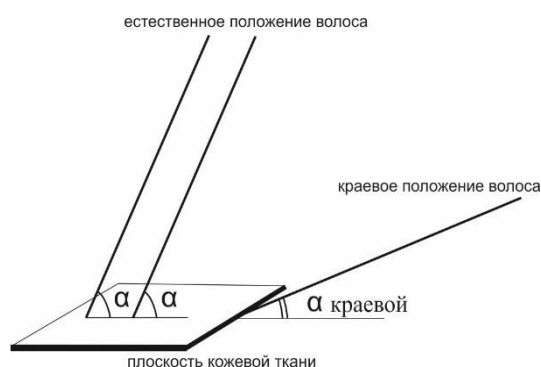


Рис. 1

Использование сложного метода раскроя-расшивки предполагает разрезание целой шкурки на отдельные части, при этом

геометрические характеристики волосяного покрова – угол наклона волоса относительно кожной ткани и угол наклона волоса относительно линии хребта в разрезанных шкурках изменяются. Основными характеристиками волосяного покрова натурального меха, влияющими на выбор параметров расшивок и определяющими внешний вид мехового полотна, являются: вид меха, длина волоса, естественный (до разрезания шкурки) и краевые (после разрезания шкурки) углы наклона волоса относительно кожной ткани, длина участков цветочных зон волоса. В работе проведены исследования этих характеристик и определены значения на различных участках шкурки лисицы серебристо-черной крашеной [4]. Выбранные значения длины волоса (L_v) и длин цветочных участков (L_{v1} и L_{v2}) представлены в табл. 1 и соответствуют параметрам длины волоса с участков хребта, спины и бока. Угол наклона волоса в естественном положении (α) изменяется в зависимости от топографического участка и при раскрое, в случае краевого положения на участке в области разреза (α краевой) (рис. 1).

При визуализации были использованы средние значения характеристик волосяного покрова шкурки.

Т а б л и ц а 1

Характеристики волосяного покрова	Значение	Среднее значение
Длина волоса (L_v), мм	50,0...88,0	69,0
Угол наклона волоса относительно кожной ткани (α), град	27,0...68,0	47,5
Угол наклона краевой (α краевой), град	7,0...33,0	20,0
Длина цветочного участка 1 (L_{v1}), мм	32,0...46,0	39,0
Длина цветочного участка 2 (L_{v2}), мм	39,0...67,0	53,0

Для того чтобы визуализировать внешний вид мехового образца или готового мехового изделия, предлагается использовать компьютерные программы, позволяющие представить образец или изделие с применением сложных методов раскроя на конкретном виде пушно-мехового полуфабриката [5...10]. Были рассмотрены существующие программы с возможностью визуализации меха. Так, например, программа Z-Brush [11] позволяет разделять площадь будущей волосяной поверхности на пучки и задавать направление каждого из них, создавая задуманную поверхность с волосяным покровом. Такой способ достаточно

реалистично передает волосяной покров, но больше подходит для прогнозирования внешнего вида причесок, где требуется обработка каждого участка отдельно и все параметры задаются вручную, а не через определенные характеристики программы, что не позволяет автоматизировать процесс визуализации.

Программа 3D Max [12] обладает большим функционалом для визуализации меха, позволяет настраивать положение волоса относительно кожной ткани, изменять такие параметры, как толщина, изгиб, густота волосяного покрова. Эта программа широкого профиля, поэтому она позволяет

визуализировать меховое полотно, однако без возможности показать внешний вид готового изделия на фигуре.

Программа Clo3D [1] позволяет проводить виртуальную примерку с использованием лекал, разработанных в САПР, и при этом инструменты для визуализации меха у нее схожие с 3D Max, именно поэтому принято решение проверить реалистичность визуализации меха с помощью данной программы [13...15].

На основе данных из табл. 1 в программе Clo3D была создана поверхность с заданными параметрами ширины меховых и расшивочных полос. В разделе программы Fur Preset можно выбрать необходимый вид меха, при этом его основные характеристики могут быть заданы как автоматически, так и вручную, при помощи определенных параметров. В данном случае задавались параметры длины волоса, ширины расшивочных и меховых полос, длины цветowych участков в миллиметрах. Параметр угла наклона волоса относительно кожной ткани заменяется в данной программе комбинацией трех характеристик: FORCE (сила), BEND (изгиб), VECTOR (координата Y). Именно различные сочетания этих трех характеристик дают необходимый для визуализации угол наклона относительно кожной ткани.

Для проверки полученного результата и выявления необходимости корректировки

угла наклона в программе необходимо использовать функцию – онлайн-транспортер. Изображение меха после визуализации в программе сохраняют так, чтобы был виден изгиб получившихся волос и измеряют угол наклона волоса относительно кожной ткани. При необходимости корректируют сочетания показателей "Сила", "Изгиб" и "Координата Y" в программе Clo3D до выявления сочетания параметров, необходимого для получения желаемого результата.

На рис. 2 на образцах с одинаковой длиной волоса показана возможность изменения угла наклона волоса относительно кожной ткани с помощью изменения параметров программы Clo3D.



Рис. 2



а)

б)

Рис. 3



Рис. 4

В программе Clo3D проведена визуализация изделия из натурального меха лисицы серебристо-черной, тонированной в цвет электрик, выполненного сложным методом раскроя, с использованием расшивочных полос с параметрами расшивки: ширина меховой полоски – 5 мм, ширина расшивочной полоски – 30 мм. На рис. 3 представлены изображения образцов, полученных в результате реального (б) эксперимента и визуализации (а), на рис. 4 – изображение изделия – внешнего вида пальто из натурального меха лисицы серебристо-черной с использованием сложного метода раскроя – горизонтальной расшивки.

Как видно из рисунков, изображения мехового полотна с использованием сложного метода раскроя, полученные в программе полигонального проектирования, в целом отражают внешний вид образцов, полученных экспериментальным путем. Результаты визуализации дают в общем виде возможность представить рельеф, фактуру и цветовое решение поверхности и, совместно с изображением изделия, иметь представление о силуэте, массе изделия в целом (рис. 4). К сожалению, ограниченность возможности ввода данных по цветовым характеристикам не позволяет на данном этапе полностью передать распределение цветовых зон по поверхности изделия, и именно цветовое восприятие образца или изделия в целом после применения метода расшивки остается неполным.

ВЫВОДЫ

Выбраны характеристики волосяного покрова лисицы серебристо-черной, влияющие на внешний вид изделия, и проведены исследования по определению их значения до и после раскроя шкурки.

Созданы виртуальные изображения внешнего вида полотна и изделия при сложном методе раскроя – расшивке. В качестве инструмента для визуализации выбрана программа полигонального проектирования Clo3D, так как она позволяет получить изображение не только мехового полотна со сложным методом раскроя, но и изделия в целом.

Изображения меховых полотен, полученные после расшивки экспериментальным и виртуальным путем, имеют схожий внешний вид и характер поверхности. Изображение изделия дает возможность оценить распределение цветовых зон, фактуры поверхности, массы и цветового решения в целом.

Используемая программа позволяет получить изображения с различными параметрами длины волоса, угла наклона волоса относительно кожаной ткани, ширины меховых и расшивочных полос, вида меха, а также, хотя и ограниченную, но возможность задавать различную окраску участков по длине волоса. Дальнейшее совершенствование получения визуализации изделий направлено на повышение соответствия реальных и виртуальных образцов за счет учета цветовых зон волос, изменения рельефа, параметров расшивки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рассадина С.П., Петрова В.А., Койтова Ж.Ю.* Анализ формы и размера меховых полосок при раскрое // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №5. С. 86...89.
2. *Рассадина С.П., Койтова Ж.Ю., Борисова Е.Н.* К вопросу классификации характеристик строения волосяного покрова пушно-меховых полуфабрикатов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №3. С. 101...104.
3. *Перминова К.В., Койтова Ж.Ю., Борисова Е.Н.* Усовершенствование методики построения рельефа волосяного покрова // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2020. Т. 49. №3.
4. Официальный сайт программы Zbrush [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pixologic.com/>
5. Официальный сайт CLO3D [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://support.clo3d.com/hc/en-us/articles/>
6. Официальный сайт 3DsMax [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
7. *Кузьмичев В.Е., Янь Ц., Ся П., Ван С.* Цифровое дизайн-проектирование и оценка виртуальной одежды: перспективы развития после FHUB CONGRESS IVANOVO I Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2020, № 1. С.56...63.
8. *Хисамиева Л.Г., Гаязова Э.Т.* Разработка и внедрение современных технологий раскроя биополимерного материала в производстве меховой

одежды // Вестник Казанского технологического университета. – 2011, Т.14, №5. С.47...50.

9. Корячихина М.А., Калинина Л.М., Рогожина Ю.В. Предпосылки для автоматизированного проектирования 3D-поверхности меховой одежды в универсальных и специализированных САПР // Международный студенческий научный вестник. – 2017, №5.

10. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Анализ 3D-визуализации процесса формообразования одежды со сложной топографией поверхности // Международный научно-исследовательский журнал. – № 07 (61). Часть 3. С. 26...30.

11. Гусева М.А., Андреева Е.Г. Имитационное формообразование поверхности меховой одежды // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2018, № 1-1. С. 189...194.

12. Гусева М.А., Андреева Е.Г., Али кызы Курманжан. Визуализация меха для симуляции его фактуры в одежде // Научный журнал "Костюмология". – 2021, №2, <https://kostumologiya.ru/PDF/06TLKL221.pdf> (доступ свободный)

13. Новиков М.В. Исследование свойств шкурки серебристо-черной лисицы и искусственного меха, имитирующего ее окрас, для цифрового конфекционирования материалов для одежды // Территория новых возможностей // Вестник ВГУЭС. – 2020. Т. 12, № 2 (49). С. 158...167.

14. Tae-Yong, Kim Stephen R. Marschner, Marie-Paule Cani, Ming C. Lin A Survey on Hair Modeling: Styling, Simulation, and Rendering Kelly Ward Florence Bertails // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics – 2007, 2. P. 213...234

15. Rui Zhang, Burkhard Wünsche. A framework for interactive GPU-supported rendering and styling of virtual hair // GRAPP - 2007, Proceedings of the Second International Conference on Computer Graphics Theory and Applications. – Barcelona, Spain, March 8-11, 2007.

REFERENCES

1. Rassadina S.P., Petrova V.A., Koytova Zh.Yu. Analiz formy i razmera mekhovykh polosok pri raskroe // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2011, №5. S. 86...89.

2. Rassadina S.P., Koytova Zh.Yu., Borisova E.N. K voprosu klassifikatsii kharakteristik stroeniya volosyanogo pokrova pushno-mekhovykh polufabrikatov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2013, № 3. S. 101...104.

3 Perminova K.V., Koytova Zh.Yu., Borisova E.N. Uovershenstvovanie metodiki postroeniya rel'efa volosyanogo pokrova // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2020. Т. 49. №3.

4. Ofitsial'nyy sayt programmy Zbrush [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://pixologic.com/>

5. Ofitsial'nyy sayt CLO3D [Elektronnyy resurs]: – Rezhim dostupa: <https://support.clo3d.com/hc/en-us/articles/>

6. Ofitsial'nyy sayt 3DsMax [Elektronnyy resurs]: – Rezhim dostupa: <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

7. Kuz'michev V.E., Yan' Ts., Sya P., Van S. Tsifrovoye dizayn-proektirovanie i otsenka virtual'noy odezhdy: perspektivy razvitiya posle FHUB CONGRESS IVANOVO I Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX). – 2020, № 1. S.56...63.

8. Khisamieva L.G., Gayazova E.T. Razrabotka i vnedrenie sovremennykh tekhnologiy raskroya biopolimernogo materiala v proizvodstve mekhovoy odezhdy // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2011, Т.14, №5. S.47...50.

9. Koryachikhina M.A., Kalinina L.M., Rogozhina Yu.V. Predposylki dlya avtomatizirovannogo projektirovaniya 3D-poverkhnosti mekhovoy odezhdy v universal'nykh i spetsializirovannykh SAPR // Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik. – 2017, №5.

10. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Analiz 3D-vizualizatsii protsessa formoobrazovaniya odezhdy so slozhnoy topografiyey poverkhnosti // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. – № 07 (61). Chast' 3. S. 26...30.

11. Guseva M.A., Andreeva E.G. Imitatsionnoe formoobrazovanie poverkhnosti mekhovoy odezhdy // Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX). – 2018, № 1-1. S. 189...194.

12. Guseva M.A., Andreeva E.G., Ali kzyzy Kyrmanzhan. Vizualizatsiya mekha dlya simulyatsii ego faktury v odezhde // Nauchnyy zhurnal "Kostyumologiya". – 2021, №2, <https://kostumologiya.ru/PDF/06TLKL221.pdf> (do-stup svobodnyy)

13. Novikov M.V. Issledovanie svoystv shkurok serebristo-chernoy lisitsy i iskusstvennogo mekha, imitiruyushchego ee okras, dlya tsifrovogo konfeksionirovaniya materialov dlya odezhdy // Terri-toriya novykh vozmozhnostey // Vestnik VGUES. – 2020. Т. 12, № 2 (49). S. 158...167.

14. Tae-Yong, Kim Stephen R. Marschner, Marie-Paule Cani, Ming C. Lin A Survey on Hair Modeling: Styling, Simulation, and Rendering Kelly Ward Florence Bertails // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics – 2007, 2. P. 213...234

15. Rui Zhang, Burkhard Wünsche. A framework for interactive GPU-supported rendering and styling of virtual hair // GRAPP - 2007, Proceedings of the Second International Conference on Computer Graphics Theory and Applications. – Barcelona, Spain, March 8-11, 2007.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы СПГУПТД. Поступила 05.04.22.

**К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ОБОГРЕВАЮЩЕГО СЛОЯ СПЕЦОДЕЖДЫ
С АВТОМАТИЧЕСКИМ САМОНАСТРАИВАЮЩИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ**

**ABOUT SIMULATION OF THE HEATING LAYER
OF WORKWEAR WITH AUTOMATIC SELF-ADJUSTING REGULATION**

О.М. ВЛАСЕНКО, А.А. КАЗНАЧЕЕВА, С.В. ЗАХАРКИНА

O.M. VLASENKO, A.A. KAZNACHEEVA, S.V. ZAKHARKINA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: vlasenko-om@rguk-ru

Статья посвящена актуальной проблеме разработки спецодежды с активными элементами обогрева и встроенной системой автоматического регулирования для работы в экстремальных условиях. Задача проектирования такой одежды включает подбор соответствующих текстильных материалов и конструкций с рациональным размещением нагревательных элементов и элементов системы автоматического управления. На основе анализа моделей, описывающих теплообменные процессы в системе "человек-спецодежда-окружающая среда", предложена методика идентификации обогреваемой спецодежды как объекта автоматического управления. Используя методы теории подобия и имитационного компьютерного моделирования, проанализирована структура автоматической системы регулирования с комбинацией двух управляющих воздействий. Рассмотрена возможность применения табличной автонастройки ПИД-регуляторов в контурах автоматической системы управления.

На основе полученных моделей, структур и алгоритмов предполагается разработать базу знаний, которая позволит унифицировать процесс моделирования и проектирования спецодежды с активными элементами защиты, создавать и настраивать автоматическую систему управления для поддержания основных жизненно важных параметров человека при работе в экстремальных условиях.

The article deals with an actual problem of the development of workwear with active heating elements and a built-in automatic control system for work in extreme conditions. The design process of such workwear includes the selection of appropriate textile materials, rational placement of heating elements and elements of the automatic control system. Based on model analysis of heat exchange processes in the system "man-workwear-environment" the method for identifying heated overalls as an object of automatic control is proposed. To solve the set tasks, the similarity theory methods and simulation computer modeling were used. The structure of an automatic control system with a combination of two control actions is considered. It is proposed to use the tabular method for automatic tuning of the PID controller.

On the basis of the obtained models, structures and algorithms, it is planned to develop a knowledge base that will unify the process of modeling and design of workwear with active protection elements, to create and to configure an automatic control system in workwear and to maintain the basic vital parameters of a person when working in extreme conditions.

Ключевые слова: активные элементы защиты, модель "человек-спецодежда-среда", автоматическая система регулирования, динамическая модель, ПИД-регулятор, теплообмен, температура.

Keywords: active protection elements, model "man-workwear-environment", automatic control system, dynamic model, PID-controller, heat exchange, temperature.

Проектирование современной спецодежды для работы в экстремальных температурных условиях предполагает не только работу с многослойным текстильным пакетом, осуществляющим пассивную защиту, но и разработку слоя с активными теплообменными элементами [1], [2]. Для обеспечения заданного температурного режима необходимо оснащать такую спецодежду автоматической системой регулирования (АСР), которая позволит проводить удаленный мониторинг состояния человека, передавая данные на диспетчерский пункт или переносное компьютерное устройство.

Актуальная задача разработки спецодежды с активными элементами включает формулирование общих принципов ее моделирования и проектирования, подбор соответствующих текстильных материалов, обоснование конструкции одежды с учетом рационального размещения активных элементов защиты, источников энергии и элементов системы автоматического управления [2...5].

Разработка встроенной АСР в одежде начинается с анализа моделей, описывающих теплообменные и другие процессы в системе "человек-спецодежда-окружающая среда" с целью идентификации ее как объекта управления [5...10]. Полученные модели, а также методики определения оптимальной структуры системы, алгоритмов выбора и настройки управляющих устройств, рекомендации по разработке программных и аппаратных решений могут быть положены в основу экспертной базы знаний [10], [11].

Для защиты человека от экстремально низких температур применяется спецодежда с различными типами электро- и водонагревательных элементов [1], [4...6], [9] [12].

Для описания модели "человек-спецодежда-окружающая среда" известны несколько подходов. Распространено представление человека в виде цилиндров с однородной средой и установившимся процессом теплопередачи [2], [6]. Для расчета теплового потока используют производные уравнения Ньютона-Рихмана и другие соотношения теории теплообмена.

Сложные варианты моделей учитывают не только теплообменные, но и массообменные процессы в пододежном пространстве и используют систему дифференциальных уравнений для описания тепло- и влагопереноса в системе "человек-одежда-среда" [7], [13].

При проектировании водолазной спецодежды с автоматическим регулированием температуры для получения модели "человек-спецодежда-среда" используют метод сеток и метод электротепловой аналогии [5], [9].

Для упрощения реализации АСР, подбора и настройки регулятора спецодежду разделяют на секции по частям тела в соответствии с местами установки датчиков температуры и рассматривают динамическую модель системы с сосредоточенными параметрами для каждой секции.

Применим следующий подход для описания динамической модели водообогреваемой одежды глубоководного водолаза, работающей по открытому циклу: выведем общие уравнения модели с сосредоточенными параметрами, принимая некое усредненное значение температур в слоях одежды. Полученные соотношения можно применить в дальнейшем для расчета отдельных секций и использовать для автономной работы регулятора в системе управления.

Рассмотрим два варианта реализации водообогрева в водолазном комбинезоне. В

первом варианте (рис.1: 1 – перфорированные трубки; 2 – клапан; 3, 5 – насосы; 4 – нагреватель воды; 6 – распределительная коробка; УНВ – устройство нагрева воды) вода подается насосом 3 от устройства нагрева воды (УНВ) 4 через центральный клапан 2 в перфорированные трубки, вшитые в комбинезон.

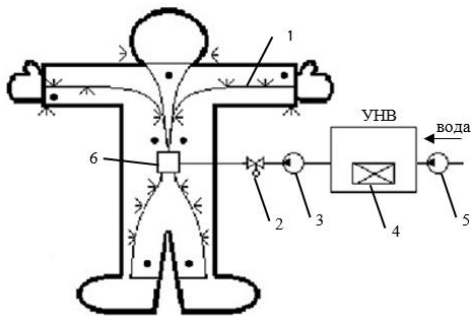


Рис. 1

Из трубок 1 вода растекается в подкомбинезонное пространство и далее сбрасывается в окружающую среду в районе шеи, низа штанин и манжетов рукавов. Теплоотдача к телу человека происходит через тонкий гидрокомбинезон, одетый под основным комбинезоном с трубками, по всей площади соприкосновения. Водобогрев такого типа применяется в комбинезонах Comex (Франция), Viking HWS (Trelleborg, Швеция), Northern Diver (Великобритания) [9].

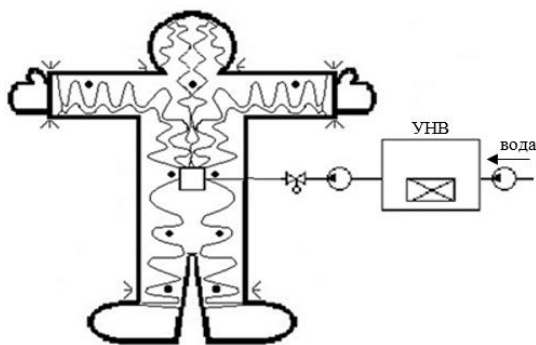


Рис. 2

Во втором варианте (рис.2) используются неперфорированные трубки, плотно уложенные по всей внутренней поверхности комбинезона. Теплопередача осуществляется через стенки трубок и тонкий слой нательного комбинезона. Примером такой спецодежды является отечественный гидрокостюм КВО-2.

Уравнения теплового баланса для УНВ имеют вид:

$$\begin{cases} Q_{\text{п}} = m_{\text{н}}c_{\text{н}} \frac{d\theta_{\text{н}}}{dt} + S_{\text{нв}}\alpha_{\text{нв}}(\theta_{\text{н}} - \theta_{\text{в0}}), \\ S_{\text{нв}}\alpha_{\text{нв}}(\theta_{\text{н}} - \theta_{\text{в0}}) = m_{\text{в}}c_{\text{в}} \frac{d\theta_{\text{в}}}{dt} + F_{\text{в}}c_{\text{в}}\rho_{\text{в}}(\theta_{\text{в}} - \theta_{\text{в0}}) \end{cases}, (1)$$

где $Q_{\text{п}}$ – мощность питания, подводимая к нагревателю УНВ, Вт; $m_{\text{н}}$ – масса нагревателя, кг; $c_{\text{н}}$ – удельная массовая теплоемкость материала нагревателя, Дж/(кг·°C); $S_{\text{нв}}$ – площадь поверхности нагревателя, м²; $\alpha_{\text{нв}}$ – коэффициент теплоотдачи от нагревателя к воде, Вт/(м²·°C); $\theta_{\text{н}}$ – температура нагревателя, °C; $\theta_{\text{в0}}$ – температура воды на входе в УНВ, °C; $\theta_{\text{в}}$ – температура воды в УНВ, °C; $F_{\text{в}}$ – расход воды, м³/с; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³; $c_{\text{в}}$ – удельная массовая теплоемкость воды, Дж/(кг·°C).

После проведения ряда преобразований с учетом приращений во времени и начальных условий, получаем дифференциальные уравнения, описывающие динамику УНВ:

$$\begin{cases} T_{\text{н}} \frac{d\Delta\theta_{\text{н}}}{dt} + \Delta\theta_{\text{н}} = k_{\text{н}}\Delta Q_{\text{п}}, \\ T_{\text{в}} \frac{d\Delta\theta_{\text{в}}}{dt} + \Delta\theta_{\text{в}} = k_{\text{в}}\Delta\theta_{\text{н}}, \end{cases} (2)$$

где $T_{\text{н}}$ – постоянная времени нагревателя, с: $T_{\text{н}} = \frac{m_{\text{н}}*c_{\text{н}}}{S_{\text{нв}}*\alpha_{\text{нв}}}$; $k_{\text{н}}$ – коэффициент передачи нагревателя, °C/Вт: $k_{\text{н}} = \frac{1}{S_{\text{нв}}*\alpha_{\text{нв}}}$; $T_{\text{в}}$ – постоянная времени воды, с: $T_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{F_{\text{в}}*\rho_{\text{в}}}$; $k_{\text{в}}$ – коэффициент передачи воды, °C/Вт: $k_{\text{в}} = \frac{S_{\text{нв}}*\alpha_{\text{нв}}}{F_{\text{в}}*\rho_{\text{в}}*c_{\text{в}}}$.

Таким образом, передаточная функция УНВ:

$$W_{\text{УНВ}} = \frac{k_{\text{н}}*k_{\text{в}}}{(T_{\text{в}}p+1)(T_{\text{н}}p+1)}. (3)$$

Уравнение теплового баланса для слоев в спецодежде можно описать следующим образом:

$$F_{\text{в}}\rho_{\text{в}}c_{\text{в}}(\theta_{\text{в}} - \theta_{\text{в0}}) = c_{\text{во}}m_{\text{во}} \frac{d\theta_{\text{во}}}{dt} + S_{\text{ос}}\alpha_{\text{ос}}(\theta_{\text{во}} - \theta_{\text{ос}}) + S_{\text{оч}}\alpha_{\text{оч}}(\theta_{\text{во}} - \theta_{\text{оч}}), (4)$$

где $c_{во}$ – удельная массовая теплоемкость слоя одежды, заполненного водой, Дж/(кг·°C); $m_{во}$ – масса воды в одежде, кг; $\theta_{во}$ – температура воды в одежде, °C; $\theta_{оч}$ – температура слоя нательной одежды, °C; $\theta_{ос}$ – температура окружающей среды, °C; $S_{оч}$ и $\alpha_{оч}$ – соответственно площадь теплоотдачи и коэффициент теплоотдачи от воды к нательному слою одежды, м² и Вт/(м²·°C); $S_{ос}$ и $\alpha_{ос}$ – соответственно площадь теплоотдачи и коэффициент теплоотдачи от одежды в окружающую среду, м² и Вт/(м²·°C).

После преобразований с учетом начальных условий получим дифференциальные уравнения, описывающие динамику теплообмена в одежде в случае управляющих воздействий – температуры и расхода обогревающей воды:

$$\begin{cases} T_{во} \frac{d\Delta\theta_{во}}{dt} + \Delta\theta_{во} = k_{во1}\Delta\theta_{в} + k_{ос}\Delta\theta_{ос}, \\ T_{во} \frac{d\Delta\theta_{во}}{dt} + \Delta\theta_{во} = k_{во2}\Delta F_{в} + k_{ос}\Delta\theta_{ос} \end{cases} \quad (5)$$

где $T_{во}$ – постоянная времени одежды, с: $T_{во} = \frac{m_{во} * c_{во}}{S_{ос} * \alpha_{ос} + S_{оч} * \alpha_{оч}}$; $k_{во1}$ – коэффициент передачи одежды по управляющему воздействию – температуре воды, °C/°C: $k_{во1} =$

$$c_{ч} m_{ч} \frac{d\theta_{ч}}{dt} + S_{ч} \alpha_{ч} (\theta_{ч} - \theta_{оч}) + S_{оч} \alpha_{оч} (\theta_{во} - \theta_{оч}) = c_{оч} m_{оч} \frac{d\theta_{оч}}{dt}, \quad (7)$$

где $m_{ч}$ – масса человека, кг; $\theta_{ч}$ – температура тела человека, °C; $S_{ч}$ и $\alpha_{ч}$ – соответственно площадь и коэффициент теплоотдачи с поверхности тела человека, м² и

$$T_{оч} \frac{d\Delta\theta_{оч}}{dt} + \Delta\theta_{оч} = k_{ч} \left(T_{ч} \frac{d\Delta\theta_{ч}}{dt} + \Delta\theta_{ч} \right) + k_{оч} \Delta\theta_{во}, \quad (8)$$

где $T_{оч}$ – постоянная времени нательного слоя одежды, с: $T_{оч} = \frac{m_{оч} c_{оч}}{S_{ч} \alpha_{ч} + S_{оч} \alpha_{оч}}$; $k_{оч}$ – коэффициент передачи нательного слоя одежды: $k_{оч} = \frac{S_{оч} \alpha_{оч}}{S_{оч} \alpha_{оч} + S_{ч} \alpha_{ч}}$; $k_{ч}$ – коэффициент передачи тепла от тела человека: $k_{ч} = \frac{S_{ч} \alpha_{ч}}{S_{оч} \alpha_{оч} + S_{ч} \alpha_{ч}}$; $T_{ч}$ – постоянная времени человека, с: $T_{ч} = \frac{m_{ч} c_{ч}}{S_{ч} \alpha_{ч}}$.

$= \frac{F_{в} * c_{в} * \rho_{в}}{S_{ос} \alpha_{ос} + S_{оч} * \alpha_{оч}}$; $k_{ос}$ – коэффициент передачи в окружающую среду: $k_{ос} = \frac{S_{ос} \alpha_{ос}}{S_{ос} \alpha_{ос} + S_{оч} \alpha_{оч}}$; $k_{во2}$ – коэффициент передачи одежды по управляющему воздействию – расходу воды, °C/°C: $k_{во2} = \frac{\theta_{в} c_{в} * \rho_{в}}{S_{ос} \alpha_{ос} + S_{оч} \alpha_{оч}}$.

Передаточная функция, описывающая динамику изменения температуры в слое одежды, заполненном водой для двух видов управляющих воздействий:

$$\begin{cases} W_{во1}(p) = \frac{\Delta\theta_{во}(p)}{\Delta\theta_{в}(p)} = \frac{k_{во1}}{(T_{во}p+1)}, \\ W_{во2}(p) = \frac{\Delta\theta_{во}(p)}{\Delta F_{в}(p)} = \frac{k_{во2}}{(T_{во}p+1)}, \\ W_{ос}(p) = \frac{k_{ос}}{(T_{во}p+1)}. \end{cases} \quad (6)$$

Получим динамическую модель для слоя "одежда-человек" (нательный комбинезон). В этом слое предполагается установка датчиков температуры, по показаниям которых будет осуществляться автоматическое регулирование. При моделировании учтем, что человек вырабатывает свое тепло, которое также передается в рассматриваемый слой.

Уравнение теплового баланса с учетом теплопродукции человека:

Вт/(м²·°C); $c_{ч}$ – удельная массовая теплоемкость человека, Дж/(кг·°C).

Дифференциальное уравнение в отклонениях имеет вид:

Передаточные функции, описывающие динамику изменения температуры человека и нательного слоя одежды:

$$\begin{cases} W_{оч}(p) = \frac{k_{оч} e^{-p\tau}}{(T_{оч}p+1)}, \\ W_{ч}(p) = \frac{k_{ч}(T_{ч}p+1)e^{-p\tau}}{(T_{оч}p+1)}, \end{cases} \quad (9)$$

где τ – величина запаздывания, обусловленная расстоянием от датчика до распределительной коробки, от которой расходятся трубки с водой по костюму. Его можно определить по формуле:

$$\tau = \frac{\ell}{v_B}, \quad (10)$$

где ℓ – расстояние от датчика до распределительной коробки, м; v_B – скорость движе-

ния воды в подкомбинезонном пространстве, м/с.

По полученным динамическим моделям (3), (6), (9) построена структурная схема автоматической системы регулирования, приведенная на рис. 3 (структурная схема АСР-температуры). Численные значения моделей посчитаны для температуры теплоносителя 70 °С и расхода воды 30 л/мин.

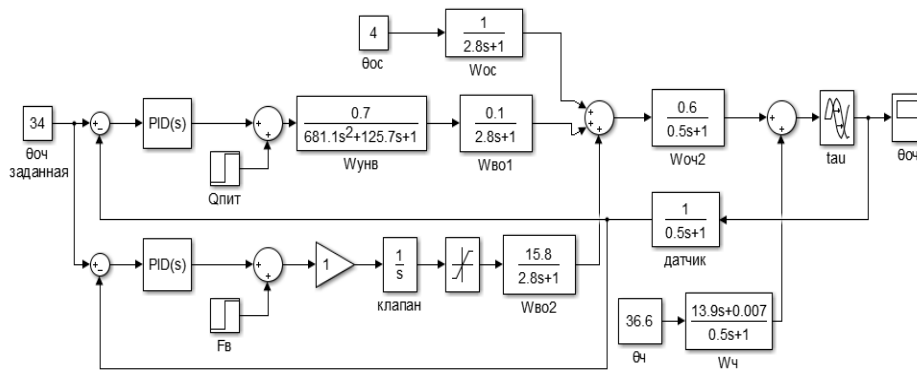


Рис. 3

Как показали результаты компьютерного моделирования системы в программе Matlab, наилучшее качество регулирования обеспечивается при использовании ПИ-регулятора для управляющего воздействия – температуры воды и ПИД-регулятора для управляющего воздействия – расхода воды. Параметры настройки регуляторов подбирались исходя, из 20% перерегулирования и запасов устойчивости по фазе 60°, по модулю 26 и 30 дБ.

Для варианта применения в костюме системы неперфорированных трубочек модели элементов рассчитываются аналогично. С тем отличием, что тепло воды передается сначала трубкам, а от них уже нательному слою "одежда- человек" путем теплопроводности. В этом случае уравнение (4) примет вид:

$$F_B \rho_B c_B (\theta_B - \theta_{вх}) = c_{тр} m_{тр} \frac{d\theta_{тр}}{dt} + S_{тр} \frac{\lambda_{тр}}{\delta_{тр}} (\theta_{тр} - \theta_{оч}), \quad (11)$$

где $c_{тр}$, $m_{тр}$, $\theta_{тр}$ – соответственно удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·°С), масса, кг, и температура трубок, °С; $\lambda_{тр}$, $\delta_{тр}$ – соответственно теплопроводность, Вт/м·°С, и толщина стенок трубок, м; $S_{тр}$ – площадь теплопередачи через стенки трубок.

Передаточная функция слоя одежды с трубками:

$$\begin{cases} W_{тр1}(p) = \frac{\Delta\theta_{тр}(p)}{\Delta\theta_B(p)} = \frac{k_{тр1}}{(T_{тр}p + 1)}, \\ W_{тр2}(p) = \frac{\Delta\theta_{тр}(p)}{\Delta F_B(p)} = \frac{k_{тр2}}{(T_{тр}p + 1)}, \end{cases} \quad (12)$$

где $T_{тр}$ – постоянная времени трубок, с; $T_{тр} = \frac{m_{тр} c_{тр}}{S_{тр} \frac{\alpha_{тр}}{\delta_{тр}}}$;

$k_{тр1}$ и $k_{тр2}$ – коэффициенты передачи трубок для двух управляющих воздействий:

$$k_{тр1} = \frac{F_B c_B \rho_B}{S_{тр} \frac{\alpha_{тр}}{\delta_{тр}}}, \quad k_{тр2} = \frac{\theta_B c_B \rho_B}{S_{тр} \frac{\alpha_{тр}}{\delta_{тр}}}.$$

Уравнение (7), в свою очередь, примет вид:

$$c_{\text{ч}} m_{\text{ч}} \frac{d\theta_{\text{ч}}}{dt} + S_{\text{ч}} \alpha_{\text{ч}} (\theta_{\text{ч}} - \theta_{\text{оч}}) + S_{\text{тр}} \frac{\lambda_{\text{тр}}}{\delta_{\text{тр}}} (\theta_{\text{тр}} - \theta_{\text{оч}}) = c_{\text{оч}} m_{\text{оч}} \frac{d\theta_{\text{оч}}}{dt}. \quad (12)$$

Расчетные формулы для коэффициентов в передаточных функциях (9) изменятся следующим образом:

$$K_{\text{оч}} = \frac{S_{\text{тр}} \frac{\alpha_{\text{тр}}}{\delta_{\text{тр}}}}{S_{\text{ч}} \alpha_{\text{ч}} + S_{\text{тр}} \frac{\alpha_{\text{тр}}}{\delta_{\text{тр}}}}, T_{\text{оч}} = \frac{m_{\text{оч}} c_{\text{оч}}}{S_{\text{ч}} \alpha_{\text{ч}} + S_{\text{тр}} \frac{\alpha_{\text{тр}}}{\delta_{\text{тр}}}}.$$

Таким образом, в структурной схеме, приведенной на рис. 3, достаточно заменить передаточные функции $W_{\text{во1}}(p)$ и $W_{\text{во2}}(p)$ соответственно на $W_{\text{тр1}}(p)$ и $W_{\text{тр2}}(p)$.

Особенностью теплотехнических условий водолазных спусков является изменение глубины погружений и температуры окружающей воды и связанные с ними изменение давления в подкомбинезонном пространстве, состава дыхательной смеси, увеличение теплопотерь [14]. Для компенсации влияния возмущающих воздействий и обеспечения необходимого температурного режима необходимо повышать температуру теплоносителя в зависимости от глубины погружения и учитывать соответствующие изменения параметров теплообмена – средних и определяющих температур, коэффициентов теплоотдачи. В связи с этим меняются входящие в приведенные динамические модели параметры – коэффициенты передач и постоянные времени, а следовательно, необходимо подстраивать параметры регулятора.

Метод автоматической настройки регулятора предполагает ввод параметров настройки из таблицы в соответствии с определенными условиями [15]. Применительно к решаемой задаче таблица настроек включает массив параметров ПИД-регулятора, подобранных для температуры теплоносителя: 50, 60, 70 и 80°C и глубин погружения 0, 50, 80, 150, 200 и 300 м.

ВЫВОДЫ

На основе анализа моделей теплообмена в системе "человек-спецодежда-окружающая среда" проведена идентификация динамической модели водообогреваемой водолазной спецодежды как объекта автомати-

ческой системы регулирования температуры. Предложена двухконтурная структурная схема АСР с управляющими воздействиями по температуре теплоносителя и по расходу воды. Рассмотрена возможность применения метода табличной автонастройки ПИД-регуляторов системы. Описанные модели и методы будут включены в базу знаний для использования в процессе проектирования спецодежды с активными элементами защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марчук Н.С., Власенко О.М. Спецодежда для экстремальных условий с активными элементами // Сб. науч. тр. кафедры автоматики и промышленной электроники. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021. С. 125...132.
2. Селина И.Г., Кораблина С.Ю., Тихонова И.В., Прохоров В.Г., Осина Т.М. Об особенностях формирования условий по обеспечению военнослужащих Арктики востребованной продукцией // Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование: мат. XII Междунар. научн.-практ. конф. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2016. С.189...197.
3. Mahnic M., Petrak S., Jelka G., Rolich T. Analysis of dynamics and fit of diving suits // IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2017. P.1...6.
4. Zhang H. Performance of immersion suits: A literature review // Journal of Industrial Textiles.– 44(2), 2013. P. 288...306.
5. Ефремов В.В. Автоматическое регулирование температуры в спецодежде водолазов. – М.: РИО МГУДТ, 2012.
6. Li B., Yang Y., Yao R., Liu H., Li Y. A simplified thermoregulation model of the human body in warm conditions // Applied Ergonomics. – 59 (A), 2017. P.387...400.
7. Kingma B.R., Frijns A.J., Schellen L. Beyond the classic thermoneutral zone: Including thermal comfort // van Marken Lichtenbelt WD. Temperature (Austin). – Jul 8;1(2), 2014. P. 142...149.
8. Пулатова С.У., Кодирова С.Х., Тухтаева З.Ш. Разработка топографической карты воздействия внешних факторов на спецодежду для электроэнергетиков // Сб. мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020). – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2020. С. 258...261.
9. Анисимов А.А. Разработка автоматической системы регулирования температуры водообогреваемой спецодежды глубоководных водолазов: Дис. ...канд. техн. наук. – М.: МГУДТ, 2014.

10. Казначеева А.А., Власенко О.М., Захаркина С.В. Анализ моделей представления знаний в задачах управления элементами активной тепловой защиты спецодежды для работы в экстремальных условиях // Сб. науч. тр. кафедры автоматiki и промышленной электроники. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021. С. 57... 62.

11. Благовещенский И.Г., Балыхин М.Г., Благовещенская М.М., Назойкин Е.А., Логунова Н.Ю. Анализ применения экспертных систем для контроля и прогнозирования технологических процессов производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №1. С.106...113.

12. Шульженко А.А., Модестов М.Б. Тканые электронагреватели и Арктика // Вестник научно-технического развития. – №2 (138), 2019. С.30...40.

13. Лесникова Т.Ю., Черунова И.В. Теоретическое обоснование условий плавучести человека в одежде на основе модельного представления объекта // Сб. науч. тр. II Всероссийск. научн. конф.: Научная весна. – 2017, 2017. С. 25...31

14. Власенко О.М. Влияние возмущающих воздействий на динамические свойства нагревателя дыхательной смеси // Сб. мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020). – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2020. С.234...239.

15. Bucz S., Kozakova A. Advanced Methods of PID Controller Tuning for Specified Performance. PID Control for Industrial Processes: Books. September, 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intechopen.com/chapters/62915>

REFERENCES

1. Marchuk N.S., Vlasenko O.M. Spetsodezhda dlya ekstremal'nykh usloviy s aktivnymi elementami // Sb. nauch. tr. kafedry avtomatiki i promyshlennoy elektroniki. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021. С. 125...132.

2. Selina I.G., Korablina S.Yu., Tikhonova I.V., Prokhorov V.G., Osina T.M. Ob osobennostyakh formirovaniya usloviy po obespecheniyu voennosluzhashchikh Arktiki vostrebovannoy produktsiey // Kozha i mekh v XXI veke: tekhnologiya, kachestvo, ekologiya, obrazovanie: mat. XII Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. – Ulan-Ude: Izd-vo VSGUTU, 2016. С.189...197.

3. Mahnic M., Petrak S., Jelka G., Rolich T. Analysis of dynamics and fit of diving suits // IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2017. R.1...6.

4. Zhang H. Performance of immersion suits: A literature review // Journal of Industrial Textiles.– 44(2), 2013. R. 288...306.

5. Efremov V.V. Avtomaticheskoe regulirovanie temperatury v spetsodezhde vodolazov. – М.: RIO MGUDT, 2012.

6. Li B., Yang Y., Yao R., Liu H., Li Y. A simplified thermoregulation model of the human body in warm conditions // Applied Ergonomics. – 59 (A), 2017. P.387...400.

7. Kingma B.R., Frijns A.J., Schellen L. Beyond the classic thermoneutral zone: Including thermal comfort // van Marken Lichtenbelt WD. Temperature (Austin). – Jul 8;1(2), 2014. R. 142...149.

8. Pulatova S.U., Kodirova S.Kh., Tukhtaeva Z.Sh. Razrabotka topograficheskoy karty vozdeystviya vneshnikh faktorov na spetsodezhdu dlya elektroenergetikov // Sb. mat. Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.: Dizayn, tekhnologii i innovatsii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti (INNOVATsII-2020). –М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2020. С. 258...261.

9. Anisimov A.A. Razrabotka avtomaticheskoy sistemy regulirovaniya temperatury vodoobogrevaemoy spetsodezhdy glubokovodnykh vodolazov: Dis. ...kand. tekhn. nauk. – М.: MGUDT, 2014.

10. Kaznacheeva A.A., Vlasenko O.M., Zakharkina S.V. Analiz modeley predstavleniya znaniy v zadachakh upravleniya elementami aktivnoy teplovy zashchity spetsodezhdy dlya raboty v ekstremal'nykh usloviyakh // Sb. nauch. tr. kafedry avtomatiki i promyshlennoy elektroniki. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021. С.57... 62.

11. Blagoveshchenskiy I.G., Balykhin M.G., Blagoveshchenskaya M.M., Nazoykin E.A., Logunova N.Yu. Analiz primeniya ekspertnykh sistem dlya kontrolya i prognozirovaniya tekhnologicheskikh protsessov proizvodstva // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, №1. С.106...113.

12. Shul'zhenko A.A., Modestov M.B. Tkanye elektronagrevateli i Arktika // Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya. – №2 (138), 2019. С.30...40.

13. Lesnikova T.Yu., Cherunova I.V. Teoreticheskoe obosnovanie usloviy plavuchesti cheloveka v odezhde na osnove model'nogo predstavleniya ob"ekta // Sb. nauch. tr. II Vserossiysk. nauchn. konf.: Nauchnaya vesna. – 2017, 2017. С. 25...31

14. Vlasenko O.M. Vliyanie vozmushchayushchikh vozdeystviy na dinamicheskie svoystva nagrevatelya dykhatel'noy smesi // Sb. mat. Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.: Dizayn, tekhnologii i innovatsii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti (INNOVA-TsII-2020). – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2020. С.234...239.

15. Bucz S., Kozakova A. Advanced Methods of PID Controller Tuning for Specified Performance. PID Control for Industrial Processes: Books. September, 2018. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.intechopen.com/chapters/62915>

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 04.10.21.

НОВЫЙ АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ НА ВИРТУАЛЬНЫХ ДВОЙНИКАХ ОДЕЖДЫ*

NEW ALGORITHM OF DEFECT IDENTIFICATION ON VIRTUAL CLOTHING TWINS

СИДА ВАН, В.Е. КУЗЬМИЧЕВ

SIDA WAN, V.E. KUZMICHEV

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: wkd37@list.ru

Проведено исследование качества посадки виртуальных рукавов женских классических жакетов с известными конструктивными параметрами чертежей. Виртуальные рукава оценивали дважды: визуально по методу сенсорного анализа (субъективный подход) и путем сравнения с поверхностью эталонного рукава с применением технологии градиента серого цвета (объективный подход). Установлена зависимость между двумя массивами независимых оценок и показана возможность применения технологии измерения интенсивности серого цвета для идентификации складок на поверхности виртуальных рукавов.

The quality of virtual sleeves of classic women jackets with known pattern making parameters was investigated. Virtual sleeves were evaluated twice: firstly, visually by using the sensory analysis method (subjective approach) and, secondly, by comparing with the surface of the reference sleeve using grey scale technology (objective approach). The relationship between two arrays of independent assessments was established and the possibility of using grey scale technology to identify folds on the surface of virtual sleeves was shown.

Ключевые слова: виртуальный двойник, женский жакет, рукав, посадка, оценка, серый цвет.

Keywords: virtual twin, women jacket, sleeve, fit, evaluation, grey scale.

Индустрия 4.0 включает много принципиально новых компонентов, предлагаемых современными технологиями. Важнейшей задачей их рационального использования является интегрирование огромного объема человеческих знаний, накопленному к этому времени в узких профессиональных сферах, к которым относят конструирование одежды, в компьютерные технологии. Многие программные про-

дукты в сфере индустрии моды являются не только прикладными, но и выполняют функции мощного исследовательского инструмента. Программные продукты Assyst, CLO Virtual Fashion, FNXTECH, Gerber Technology, OPTITEX, Shima Seiki, tg3d, CentricSoftware, Browzwear, Buyi и другие широко используют для генерирования виртуальных двойников одежды на разных этапах жизненного цикла продукции.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта № 20-47-370006.

Именно с этими продуктами связывают фундаментальные изменения в методах традиционного дизайна и проектирования одежды, в частности, экономию трудовых и материальных затрат, улучшение качества всех проектных работ [1].

Особенно перспективным является изыскание таких возможностей в современных САПР, которые позволили бы прогнозировать появление дефектов одежды из-за просчетов в конструкторских решениях на этапе их визуализации виртуальных двойников. Понятно, что их нынешнее информационное наполнение пока не позволяет визуализировать все ошибки конструктора, но в случае формализации всех экспериментальных данных такие сценарии будут реальными.

Представляет особый интерес разработка такого сценария для проектирования виртуальной системы "пройма-рукав" для женского классического жакета с прогнозируемыми показателями качества посадки рукава. Возникновение дефектов посадки (наличие складок вдоль оката и на рукаве, антропоморфное несоответствие) может быть вызвано многими факторами, относящимися к конструктивным решениям проймы и рукава, конфекционированию материалов, а потому их идентификация на

виртуальном двойнике рукава интересна с практической и научной точек зрения [2].

В данной статье рассмотрен алгоритм идентификации дефектов, возникающих в виртуальных двойниках рукавов женских классических жакетов, под влиянием конструктивных особенностей чертежей рукавов.

1. Методы и средства исследований

1.1. Объекты исследования

В качестве объектов исследования взяты рукава женских классических жакетов и чертежи конструкций, использованные для генерирования виртуальных двойников. Чертежи разработаны для размерного варианта женской фигуры 160-84-64 [3].

1.2 Приемы модификации чертежей рукавов

Для воспроизведения дефектов посадки рукавов в пройме проверенные исходные чертежи модифицировали путем изменения конструктивных параметров, ответственных за возникновение дефектов. Следующие параметры были постоянными, см: длина оката рукава 48, 93; длина нижней части рукава 34,89; ширина рукава внизу 12,91; величина переднего переката 3,0. Перечень четырех изменяемых параметров и условия их варьирования показаны в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Конструктивные параметры, единица измерения	Интервал, шаг изменения параметра	Условия моделирования чертежа рукава	Виды проекций рукава для анализа	Критерии оценки качества посадки
Высота оката рукава ВОР, см	$[-3 \dots 2], \pm 1$	1. Параллельное увеличение и уменьшение обоих параметров. 2. Сохранение постоянной длины линии проймы 49 см.	Фронтальный (П) Профильный (Б) Сзади (З) Изнутри (И)	1. Количество и глубина складок (субъективная оценка) 2. Шкала серого цвета (объективная оценка)
Ширина рукава ШОР, см	$[-4 \dots 6], \pm 2$			
Наклон рукава ниже линии локтя Eb, °	$[-9 \dots 9], \pm 3$	1. Параллельное увеличение или уменьшение обоих параметров		
Наклон рукава Sb: °	$[-6 \dots 6], \pm 2$			

Графическая схема изменения конструктивных параметров показана на рис.1 (схемы моделирования чертежей рукавов для получения дефектов посадки: а – ВОР, б – ШОР, в – Eb, с – Sb. Увеличение пара-

метра показано фиолетовым цветом, уменьшение – зеленым).

1.3 Программное обеспечение

Использовали программное обеспечение различного целевого назначения: ЕТ-

CAD (Китай) для построения и модификации чертежей; 3DCLO (Корея) для получения виртуальных двойников жакетов; Excel

(США) для статистической обработки результатов; ImageJ (США) для графоаналитического анализа образов рукавов.

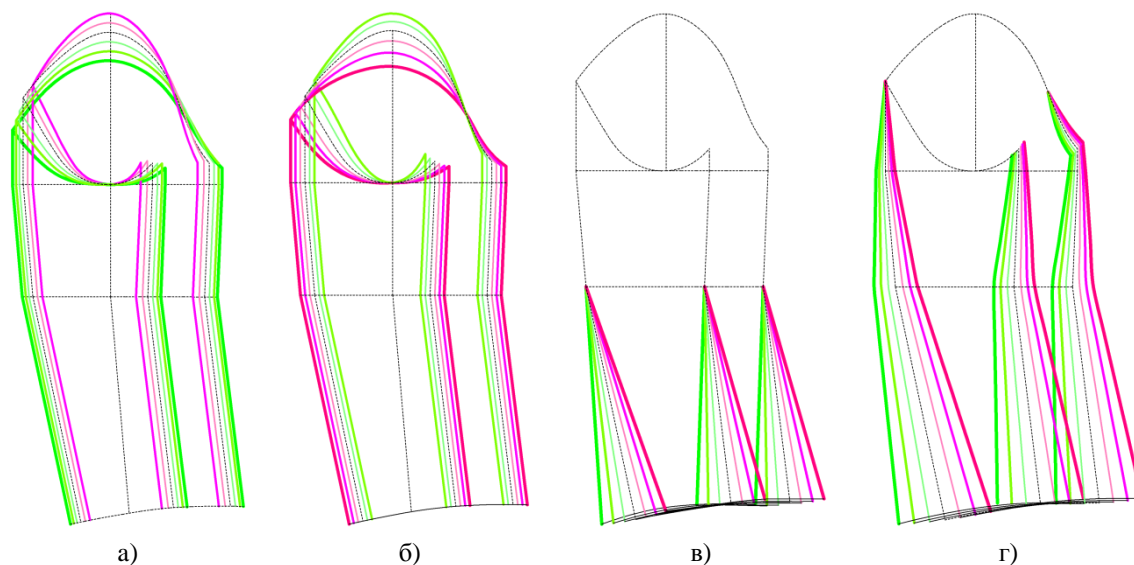


Рис. 1

1.4. Генерирование виртуальных рукавов и методика оценки состояния их поверхности

Виртуальные двойники женских жакетов генерировали с помощью программы 3DCLO (Корея) на аватаре женской фигуры 160-84-64, но без верхних конечностей. Использовали виртуальный двойник ткани Melton (100% шерстяное волокно, толщина 1.4 мм, цвет – оливковый зеленый, поверхностная плотность 490 г/м²) из библиотеки Clo3D со следующими относительными значениями показателей (от максимальных), %: растяжимость по основе и утку 55...57, сопротивление сдвигу 27, жесткость при изгибе 63...65. После получения жакета удаляли стан и эксперимент продолжали с правым рукавом.

Оценку ровноты поверхности рукавов проводили двумя способами: оценивали субъективно с привлечением экспертов (сенсорный анализ) и измеряли интенсивность серого цвета по длине и ширине рукава в сравнении с эталонным рукавом, имеющим высокое качество посадки. Метод серого цвета является популярным методом для анализа изображений (ранее этот

метод был успешно применен для квалитметрии фотоизображений рукавов [4]).

Сенсорный анализ качества рукавов включал осмотр виртуальных двойников спереди, сбоку, сзади и изнутри и выставление оценки посадки по трехуровневой шкале: 1 – плохая, 2 – удовлетворительная, 3 – отличная. Для проведения сенсорного анализа были привлечены специалисты швейной промышленности, обладающие достаточным.

Для измерения интенсивности серого цвета исходный виртуальный имидж модифицировали путем автоматического изменения контрастности изображения в программе ImageJ и на поверхности рукава наносили три линии: Sw – линия ШОР, Ff – линия переднего сгиба, Fe – линия переднего шва. На рис. 2 (схема разметки контрольного виртуального рукава с идеальной посадкой Pfs (а) и его варианты после увеличения контрастности (б, в, г, д)) показаны проекции контрольного рукава с идеальной посадкой и положение линий Sw и Ff, вдоль которых измеряли интенсивность серого цвета.

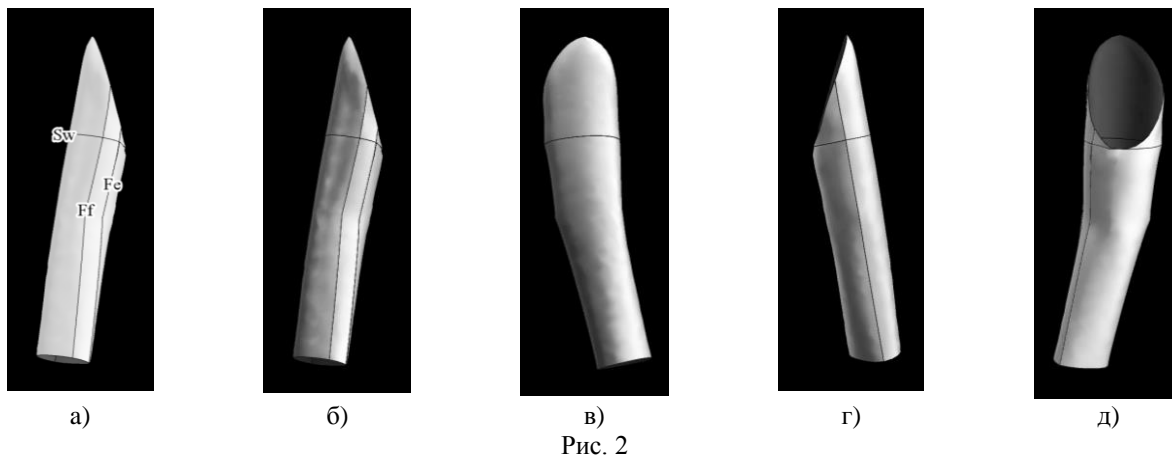


Рис. 2

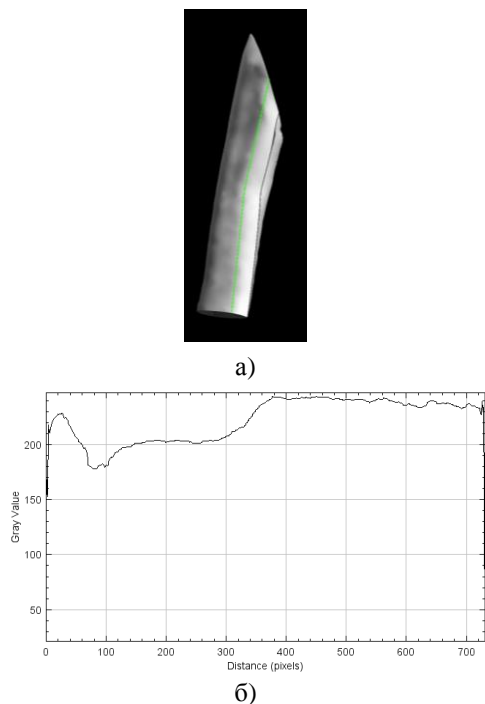


Рис. 3

Рис. 3 (виртуальный рукав (а) и шкала серого цвета вдоль зеленой линии на рукаве (б), полученная в программе ImageJ. По

длине рукава выбрано количество пикселей 700) показывает изменение интенсивности серого цвета (Gray Value) вдоль зеленой линии Ff, обозначенной зеленым цветом. По рис. 3 можно определить наличие и локацию складок, около которых происходит резкое изменение интенсивности. В данном примере складка расположена на расстоянии 25 и 100 пикселей от линии оката или 25 и 100 мм, если количество пикселей вдоль зеленой линии приравнять к длине рукава.

2. Результаты и обсуждение

2.1 Формирование обучающей выборки

Обучающая выборка была сформирована из визуальных образов экспериментальных рукавов, сгенерированных согласно схеме эксперимента из табл.1. В табл. 2 приведены изображения виртуальных рукавов, на которых видны места локации складок, возникших под влиянием изменения каждого конструктивного параметра.

Таблица 2

Изменяемый конструктивный параметр	Внешний вид виртуальных рукавов					
ВОР, см						

		-3	-2	-1	0	+1	+2
ШОП							
		-4	-2	0	+2	+4	+6
Угол Eb, °							
		-9	-6	-3	0	+3	+6
		+9	+6	+3	0	-3	-6

Угол Sb, °							
	-6	-4	-2	0	+2	+4	+6

Из табл. 2 видно, что с увеличением ВОР складки преимущественно возникают на внешней поверхности (верхней части); уменьшение ВОР приводит к появлению складок на внутренней поверхности (нижней части рукава). Изменение ШОР сопровождается противоположными эффектами: при увеличении ширины складки возникают на нижней части, а при уменьшении – на передней.

Причиной появления складок вдоль локтевого сгиба, как видно из табл.2, является несоответствие между конструкцией рукава ниже линии локтя и положением предплечья руки. Такие складки возникают при увеличенном отведении нижней части переднего среза вперед.

Перемещение всего переднего среза вперед или назад также деформирует части рукава: нижнюю под проймой – при отведении назад, верхнюю в области локтевого шва – при отведении назад.

Таким образом, сформированная обучающая выборка в виде виртуальных рукавов с разными видами дефектов является базой для их дальнейшей квалиметрии.

Вдоль выделенных линий Ff и Sw были измерены величины интенсивности серого цвета. На рис. 4 (изменение интенсивности

серого цвета под влиянием изменения ВОР Sch согласно рис.1-а: а – изменение единичных показателей вдоль переднего сгиба Ff; б – интервальные значения; в – изменение единичных показателей вдоль линии Sw; г – интервальные значения. Фиолетовый цвет соответствует увеличению параметра, зеленый – уменьшению) показаны графики изменения интенсивности серого цвета под влиянием конструктивного параметра ВОР, а также под влиянием сгруппированных значений, когда параметр убывает или возрастает.

Рис.4-а,б показывают, что увеличение или уменьшение ВОР приводит к возникновению разного количества складок на разных участках и варьированию их глубины.

2.2 Параметризация субъективной и объективной оценок качества рукавов

Количественную оценку перепадов интенсивности серого цвета для каждого экспериментального рукава проводили путем его сравнения с контрольным рукавом, обладающим отличной посадкой, по формуле:

$$Go = \frac{\sum_i |P_i - D_i|}{n}, \quad (1)$$

где G_0 – среднее значение разности пикселей между качественным и экспериментальным рукавом; P_i – значение i -го пикселя качественного рукава; D_i – значение i -

го пикселя экспериментального рукава из обучающей выборки; p – количество пикселей на вдоль линий Ff или Sw, $n = 500$.

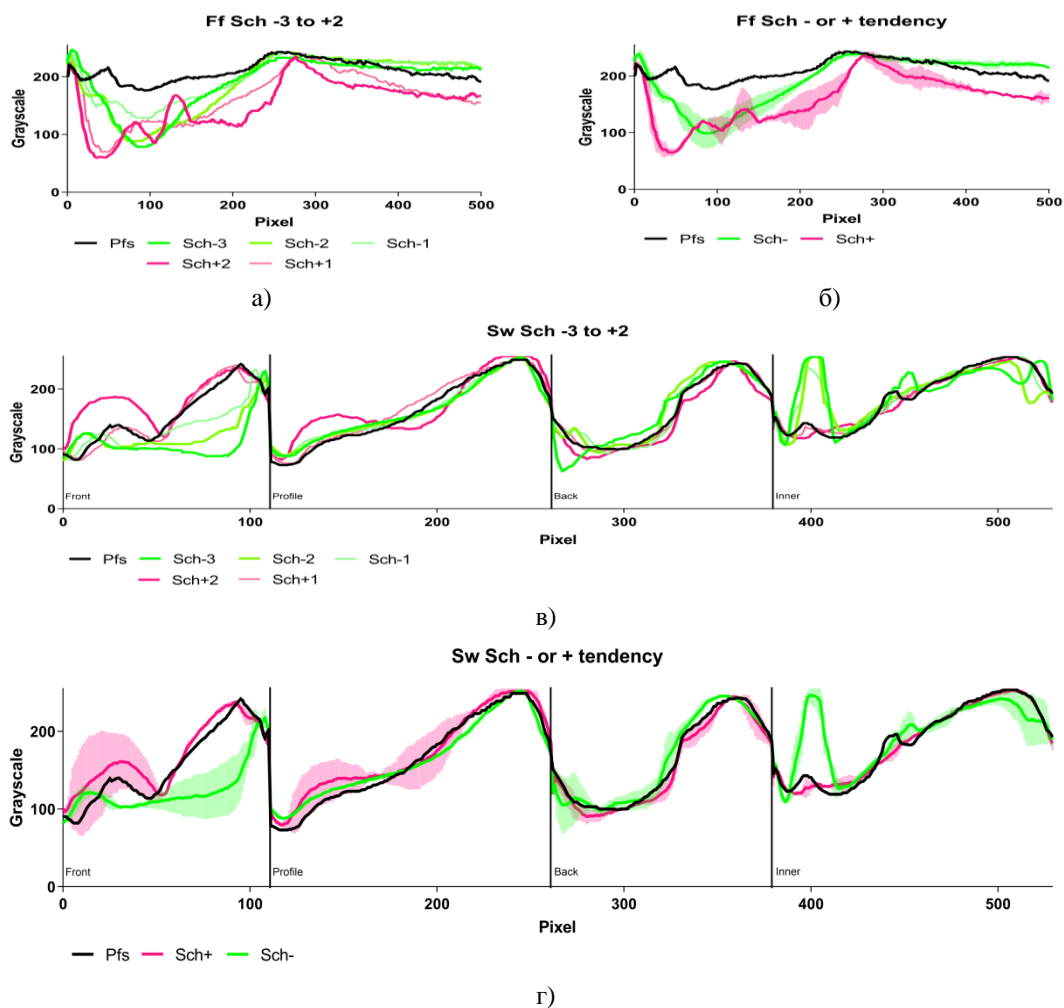


Рис. 4

После измерения пяти средних значений разностей на проекциях спереди (вдоль Sw и Ff), сбоку (вдоль Sw), сзади (вдоль Sw) и изнутри (вдоль Sw) была рассчитана взвешенная разность между контрольным и экспериментальным рукавами. Вклад дефектов на разных проекциях в общее впечатление от рукава был оценен следующим весом, %: дефекты на виде спереди были оценены 50, сбоку 30, сзади 15, изнутри 5.

Взвешенная субъективная оценка была рассчитана как среднее арифметическое оценок, полученных для четырех проекций. Результаты расчетов и измерений приведены в табл.3 (показатели объективной (по

шкале серого цвета) и субъективной (сенсорной) оценок экспериментальных рукавов из обучающей выборки).

После обработки результатов табл.3 экспериментальные рукава были объединены в три группы согласно установленной шкале качества посадки и измеренным значениям серого цвета. На рис.5 показаны диаграммы различий между проекциями контрольных и экспериментальных рукавов, идентифицированных как плохие (Poor), удовлетворительные (Moderate) и отличные (Perfect) в зависимости от их показателей серого цвета (Grayscale offset).

Параметр, единица измерения	Величина изменения	Показатели серого цвета на проекциях рукавов					Взвешенная разность между рукавами по шкале серого цвета $Go(w)$	Показатели субъективной оценки рукавов на проекциях				Средняя арифметическая субъективная оценка экспериментального рукава $Sc(w)$
		П		Б	З	И		П	Б	З	И	
		FfF	SwF	SwP	SwB	SwI						
ВОР, см	-3	27.3	53.7	10.9	16.4	25.9	27.3	Po	Pe	Mo	Po	1.75
	-2	30.0	40.7	11.0	11.3	21.7	23.8	Mo	Pe	Mo	Po	2.25
	-1	21.2	24.7	8.7	7.81	15.7	16.0	Mo	Pe	Mo	Po	2.25
	+1	45.5	9.7	7.7	3.6	4.3	16.9	Mo	Pe	Pe	Pe	2.5
	+2	57.3	28.6	21.0	13.4	8.1	30.2	Po	Po	Po	Mo	1.05
ШОР, см	-4	59.1	16.2	29.9	16.8	10.6	30.8	Po	Po	Po	Mo	1.05
	-2	50.5	10.9	20.4	21.0	7.0	25.0	Mo	Mo	Po	Mo	1.85
	+2	8.3	18.7	6.3	7.5	20.1	10.8	Pe	Pe	Mo	Po	2.75
	+4	28.1	45.7	11.6	10.4	28.1	24.9	Mo	Mo	Mo	Po	1.95
	+6	38.2	63.6	14.7	27.8	23.9	35.3	Po	Po	Po	Po	1
Еб, град	-9°	31.7	9.6	5.0	5.9	13.2	13.4	Mo	Pe	Pe	Mo	2.45
	-6°	18.9	10.6	5.3	5.7	15.6	10.5	Pe	Pe	Pe	Mo	2.95
	-3°	11.0	8.0	2.7	5.1	11.9	6.9	Pe	Pe	Pe	Mo	2.95
	+3°	22.7	8.6	3.7	5.8	11.3	10.3	Mo	Pe	Mo	Mo	2.3
	+6°	27.1	16.5	20.1	30.2	10.7	22.0	Mo	Mo	Po	Mo	1.85
	+9°	30.7	19.0	26.1	31.2	11.6	25.5	Mo	Po	Po	Po	1.5
Sb, град	-6°	42.8	45.0	18.0	15.0	17.6	30.5	Po	Mo	Mo	Po	1.45
	-4°	37.0	23.0	9.4	15.2	12.0	20.7	Mo	Pe	Mo	Mo	2.3
	-2°	20.4	12.9	3.7	6.3	11.1	10.9	Mo	Pe	Pe	Mo	2.45
	+2°	28.0	8.9	5.9	9.1	12.5	13.0	Pe	Mo	Mo	Mo	2.5
	+4°	46.1	10.9	13.1	28.3	13.9	23.1	Mo	Po	Po	Mo	1.55
	+6°	44.3	12.8	14.1	24.8	11.4	22.8	Po	Po	Po	Po	1

Примечание. 1. Проекция рукавов: П – спереди, Б – сбоку, З – сзади, И – изнутри. 2. Измерения интенсивности серого цвета по ШОР на проекциях: спереди Sw_F , сбоку Sw_P , сзади Sw_B , изнутри Sw_I .

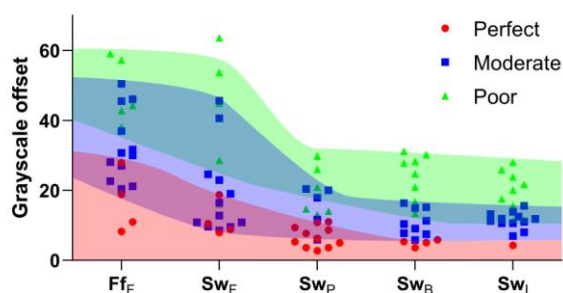


Рис. 5

Как видно из рис. 5 (диаграмма различий между контрольным рукавом и экспериментальными рукавами по шкале серого цвета в зависимости от качества посадки. Различия вычислены для проекций спереди (Ff_F , Sw_F), сбоку (Sw_P), сзади (Sw_B) и изнутри (Sw_I) для рукавов с отличной (Perfect), удовлетворительной (Moderate) и пло-

хой (Poor) посадкой), ввиду некоторой условности субъективных оценок происходит перекрытие диаграмм: особенно активно происходит размывание границ субъективных оценок при оценке рукава на проекции спереди. Очевидно, что такой подход не может быть принят в качестве основного. Поэтому в качестве дополнительного или альтернативного был выбран метод оценки с использованием шкалы серого цвета.

Для нахождения зависимостей между объективными и субъективными показателями качества посадки рукавов был использован метод линейной регрессии. Все варианты исследованных рукавов были объединены в семь групп по величине деформации исходного конструктивного параметра DL3-, DL2-, DL1-, DL1+, DL2+, DL3+ и статистически обработаны. На рис.6 приведена регрессия, аппроксимируемая уравне-

нием между взвешенной объективной оценкой и средней арифметической субъективной оценкой:

$$Go(w) = 43,1 - 11,4 Sc(w), \quad (2)$$

где $Go(w)$ – взвешенная объективная оценка по шкале серого цвета; $Sc(w)$ – средняя арифметическая оценка результатов сенсорного анализа. Коэффициент корреляции составил $r^2 = 0,79$.

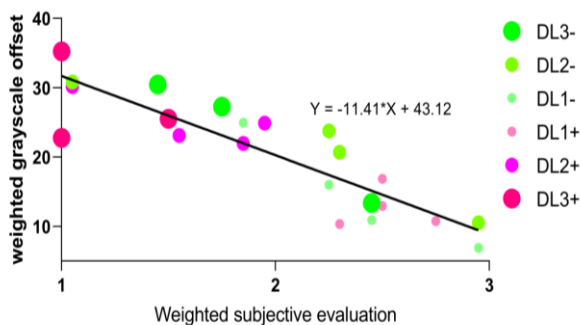


Рис. 6

Как видно из рис.6 (зависимость между показателями субъективной $Sc(w)$ (Weighted subjective evaluation) и объективной $Go(w)$ (Weighted grayscale offset) оценок экспериментальных рукавов из обучающей выборки), низкая субъективная оценка экспериментальных рукавов соответствует высоким значениям разности между рукавами по шкале серого цвета, то есть рукава с низким качеством (DL3-, DL3+, DL2-, DL2+) посадки имеют на поверхности много мелких или крупные складки. Такие сочетания расположены преимущественно в левой стороне графика. И наоборот, в правой стороне графика расположены оценки для более качественных рукавов.

Таким образом, доказана возможность параллельного использования результатов сенсорного анализа и количественного определения различий между контрольным рукавом и вновь проектируемым виртуальным рукавом. Такой результат открывает возможность для автоматической оценки качества виртуальных двойников рукавов без привлечения экспертов.

ВЫВОДЫ

В концепции Индустрии 4.0 разработан алгоритм квалиметрии виртуальных двойников рукавов женских классических жакетов с использованием шкалы серого цвета. Алгоритм основан на сравнении контрольного рукава с вновь спроектированным. Алгоритм может быть использован не только для квалиметрии качества проектирования рукавов, но и для прогнозирования мест возникновения дефектов после разработки математических моделей, объединяющих конструктивные параметры и показатели, измеренные по диаграммам серого цвета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмичев В.Е., Янь Ц., Ся П., Ван С. Цифровое дизайн-проектирование и оценка виртуальной одежды: перспективы развития после Fhub congress Ivanovo // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2020, №1. С.56...63.
2. Wan S., Kuzmichev V. Automatic Evaluation of Sleeve Pattern for Classical Women Jacket // DEStech Transaction on Materials Science and Engineering. – 2021, V. 13, №1. P.36...42.
3. Ван С., Кузьмичев В.Е. Создание цифровых двойников узла "пройма-рукав" для классических женских жакетов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 1. С. 177...184.
4. Ло Юнь. Проектирование виртуальных систем "женская фигура-одежда" с разной объемно-силуэтной формой: Дис.... канд. техн. наук. – Иваново, 2011.

REFERENCES

1. Kuz'michev V.E., Yan' Ts., Sya P., Van S. Tsifrovoye dizayn-proektirovanie i otsenka virtual'noy odezhdy: perspektivy razvitiya posle Fhub congress Ivanovo // Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX). – 2020, №1. S.56...63.
2. Wan S., Kuzmichev V. Automatic Evaluation of Sleeve Pattern for Classical Women Jacket // DEStech Transaction on Materials Science and Engineering. – 2021, V. 13, №1. P.36...42.
3. Van S., Kuz'michev V.E. Sozdanie tsifrovyykh dvoynikov uzla "proyma-rukav" dlya klassicheskikh zhenskikh zhaketov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 1. S. 177...184.

4. Lo Yun'. Proektirovanie virtual'nykh sistem "zhenskaya figura-odezhda" s raznoy ob'emno-siluetnoy formoy: Dis... kand. tekhn. nauk. – Ivanovo, 2011.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 04.10.21.

УДК 687.021

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_168

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ШВЕЙНОЙ ПРОДУКЦИИ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN QUALITY ASSESSMENT OF FINISHED SEWING PRODUCTS

В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ, М.А. ГУСЕВА, Е.Г. АНДРЕЕВА, Ю.В. РОГОЖИНА

V.S. BELGORODSKY, M.A. GUSEVA, E.G. ANDREEVA, YU.V. ROGOZHINA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: guseva_marina67@mail.ru

Для оценки качества изготовления швейной продукции перспективно использование систем машинного зрения, одна из которых представлена в статье. Для изучения габаритных размеров исследуемых изделий выполняется их автоматизированное бесконтактное сканирование, распознавание цифровых изображений и их сопоставление с заданными параметрами эталонных образцов. Авторами предложен программно-аппаратный комплекс "GarmentScanner", решающий задачи распознавания двухмерных цифровых изображений изделий и объективного анализа таких параметров, как ровность строчек, симметричность изделия и его габаритные размеры.

To assess the quality of manufacturing of sewing products, the use of machine vision systems is promising, one of which is presented in the article. To study the overall dimensions of the products under study, their automated contactless scanning, digital image recognition and their comparison with the specified parameters of reference samples are performed. The authors have proposed a hardware and software complex "Garmentscanner", which solves the problems of recognizing two-dimensional digital images of products and objective analysis of such parameters as the evenness of the lines, the symmetry of the product and its overall dimensions.

Ключевые слова: сканирование, машинное зрение, качество изготовления швейной продукции.

Keywords: scanning, machine vision, quality of sewing products.

Основной задачей идеологии четвертой промышленной революции (Индустрии 4,0) является тотальное изменение философии трудовой деятельности, выражающе-

ся в максимальной замене умственного труда вычислительными операциями цифровых комплексов, программный аппарат которых называют искусственным интел-

лектом. Термин *искусственный интеллект* связывают со способностью компьютерных программ выполнять свойственные человеку аналитические способности по распознаванию образов и синтезированию вербальных и визуальных характеристик. Одним из научных направлений развития Индустрии 4.0 на предприятиях швейной отрасли признана максимальная замена компьютерными технологиями операций деятельности человека таких, как сбор, анализ, сортировка информации о выпускаемой продукции. Основную информацию о швейной продукции человек получает зрением (визуальная), контактными ощущениями пальцев рук (тактильная) и через вербальную характеристику (описательная). В настоящее время в различных отраслях промышленности, где важна абсолютная идентичность эталонным параметрам у каждого экземпляра выпускаемого изделия, широко применяются современные технологии анализа качества выпускаемой продукции компьютерными программами, использующими машинное зрение. Так, компьютерное зрение для контроля производственного процесса внедрено в автомобиле- и приборостроении, пищевой и фармацевтической промышленности. Оптико-электронные системы анализа геометрических параметров объектов позволяют на основе выходных импульсов программ распознавания изображений сортировать продукцию и извлекать роботами-манипуляторами брак из конвейерного потока [1]. На предприятиях швейной промышленности компьютерное зрение применяют для исследования качества ниточных соединений [2] по оценке петлеобразования стежков и прямолинейности строчек.

Автоматизация этапов производственного цикла на швейных предприятиях связана с внедрением компьютерного инжиниринга [3]. Проведение отраслевой цифровизации позволяет интегрировать в швейное производство комплексы машинного зрения и автоматизировать неформализуемый ранее процесс контроля качества полуфабрикатов и готовой продукции. На результативность труда контролера отдела техниче-

ского контроля (ОТК) значительное влияние оказывает физическая и эмоциональная нагрузка [4], возникающая при выявлении бракованной продукции и оформления соответствующей документации. При оценивании контрольных параметров швейной продукции машинным зрением значительно повышается скорость и точность операций в сравнении с аналогичными действиями, выполняемыми человеком [5].

В процессе финального контроля производимых швейных изделий оценивают их габаритные параметры относительно эталонного образца и табеля измерений в диапазоне размеро-ростов, разработанного для промышленной партии. В соответствии с техническими условиями на изготовление одежды для приемки производственных партий контролеры ОТК контактным способом проводят обмер готовых изделий [6]. Для сокращения трудоемкости этого процесса авторами предлагается бесконтактный способ контроля качества готовой продукции по цифровым изображениям изделий с использованием компьютерной программы *GarmentScanner*, алгоритм работы которой основан на анализе соответствия параметров исследуемых объектов характеристикам заданного шаблона [7] и расположения их ключевых точек [8]. На уровень качества анализа входной визуальной информации о швейном изделии влияют технические характеристики сканирующих устройств, среди которых можно выделить камеры линейного сканирования, передающие несжатые фото- и видеок cadры с сохранением качества изображения. В связи с традиционным наличием окон в зданиях швейных фабрик и изменением свойств светового потока в течение суток важное значение имеет специализированная подсветка при выполнении съемки оцениваемых швейных изделий. Поскольку контроль качества изготовления полуфабрикатов и готовой одежды проводится как на плоскости, так и трехмерном пространстве, можно рекомендовать для включения в комплекс машинного зрения светодиодные светильники, удобные для формирования гибких аппаратных конструкций и для со-

хранения на изображении реального спектра цвета тестируемого объекта, что особенно важно при выявлении таких дефектов, как разнооттеночность деталей или наличие пятен на материале [9].

В качестве программного обеспечения комплексов машинного зрения широко используют различные виды искусственного интеллекта, включая нейронные сети [10], помогающие имитировать алгоритм анализа человеческим мозгом визуальной и метрической информации [11], отличающиеся адаптируемостью [12] и обучаемостью [13]. Входную информацию, загружаемую с помощью фото- и видеосъемки анализируемых объектов, предварительно разделяют на блоки и множественные слои [14], чтобы провести комплексную оценку различных параметров.

Методика исследования

В статье представлен принцип работы программно-аппаратного комплекса GarmentScanner для измерения машинным зрением габаритных размеров швейной продукции, оценки симметричности изделий и качества швов (кривизны и ровности строчки). Представляемый научному сообществу ПАК GarmentScanner является пилотным продуктом и в настоящее время не имеет аналогов на территории России. Алгоритм работы программного продукта написан программистами С и VB, скомпилирован на платформе .NET, которая также используется программой Python, применяемой в системах обнаружения объектов и распознавания образов (лиц, автомобильных номеров и др.).

В качестве инструмента для бесконтактного анализа габаритов швейных изделий выбран метод распознавания объектов по изображениям, основанный на принципе работы каскадов Хаара [15]. Предлагаемый принцип работы нейросетевой модели распознавания образов машинным зрением основан на: 1) выборе системой из видеопотока одного или нескольких наиболее представительных кадров, 2) анализе снимков при сравнении с эталонным изображением из базы данных; 3) оценке полезности изображений и устранении "шумов" (некачественных снимков); 4) выполнении стати-

стических расчетов (определении средних значений, медианы выборки, максимального и минимального отклонений и т.д.); 5) агрегировании результатов.

В основу функционирования GarmentScanner заложен принцип анализа цифрового изображения на основе вейвлетов Хаара. Обученный каскад Хаара определяет характеристики искомым объектов, предварительно классифицируя заданные свойства и сравнивая их с параметрами из базы данных системы. Обученный каскад Хаара имеет хорошую скорость выполнения задачи, устойчивость к отклонениям, так называемым "шумам". Программы распознавания на основе каскадов Хаара хорошо зарекомендовали себя в задачах идентификации лиц, номеров и марок машин, в обработке медицинских снимков, при контроле рельефа поверхности изделий в машиностроении и приборостроении и др.

Для дальнейшего машинного обучения планируется создание нейронных сетей, позволяющих выполнять сопоставление множества характеристик объектов видеоряда с шаблонами. Шаблоном для определения ровноты строчек являются геометрические характеристики теневых контуров изделий. Для этого на каждой скан-линии программа, в соответствии с алгоритмом, расставляет опорные точки (ОТ), и на основании анализа местоположения ОТ, выполняет классификацию объектов.

Шаблоном для определения симметричности изделия является система из опорных точек контура скан-копии изделия, программа рассчитывает положение оси симметрии объекта и выполняет сравнение равноудаленности каждой ОТ от оси.

Для определения габаритных размеров изделия разработана и зарегистрирована база данных измерений [16] и разработан алгоритм распознавания контуров изделия на основе методики расчета векторов и координат информативных точек.

С целью повышения качества анализа предложено разбивать полученные видеокдры на множество кластеров с составлением набора словарей и алгоритмов для машинного обучения [17], а также выполнять бинарное кодирование, учитывающее ра-

курс съемки, освещение и визуализацию возможных допустимых отклонений от эталона [18].

Разработанный авторами программно-аппаратный комплекс включает программный продукт GarmentScanner [19] и испытательный стенд (рис. 1). Рабочее пространство для сканирования изделий представляет собой ровную поверхность белого (для сканирования темных изделий) или черного (для сканирования светлых изделий) цвета. Такое различие необходимо для контрастирования изделий на фоне и подбора порога чувствительности программы. При тестировании GarmentScanner использовали три искусственных источника света (светодиодные прожекторы типа Volpe ULF-Q511 10W), направленных со стороны горловины и рукавов изделий. Со стороны низа изделия и правого рукава изделия поступал дневной свет из окна (снизу под углом 60 градусов, справа – под углом 35 градусов). Свет от прожекторов в оптимальном положении ложился под углом 10...15 градусов со стороны горловины и левого рукава и 45 градусов справа. Камера во время тестирования располагалась на высоте 760 мм. Размер стендовой поверхности зависит от габаритов изделий, так, например, для футболок рекомендуемый размер столешницы составляет 1500x800 мм.

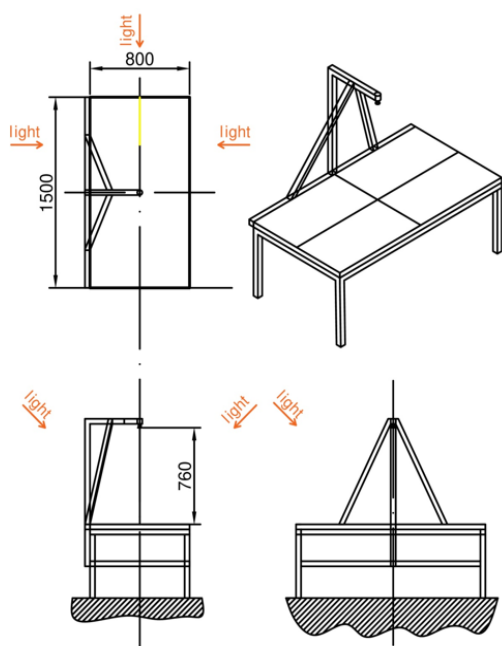


Рис. 1

В процессе тестирования GarmentScanner выяснилось, что изделия свободного покроя с втачными рукавами не умещаются полностью в зону видимости камеры и требуется перерасчет новой высоты камеры. На высоту установки камеры влияет также форма пикселей (прямоугольник, квадрат) изображения, выдаваемого камерой. Эмпирически установлено, что для бесконтактного измерения женской футболки размера 46 с коротким рукавом оптимальная высота камеры 96 см.

На рабочей поверхности тестового стола изделие располагают горизонтально, без специальной центровки изделия относительно камеры (рис. 2-а, общий вид). Стенд оборудован съемными направляющими, которые показаны на рис. 2-б красным цветом (расположение в кадре). Камера с разрешением 4096 x 2158 пикселей располагается над стендом так, чтобы направляющие были полностью видны, но не допускали просмотра фона за их пределами. Размерность расположения направляющих устанавливается эмпирически в зависимости от габаритов швейного изделия. Так, например, для оценки качества футболок рекомендовано расположение направляющих на расстоянии 124 x 64 см при позиционировании камеры на высоте 76 см от поверхности стенда.



а)



б)

Рис. 2

После запуска процесса сканирования в окне программы отображается мигающий стилизованный контур желтого цвета. При старте автоматического процесса сканирования программное обеспечение осуществляет последовательное фотографирование поверхности стенда с периодичностью 0,5 с для попадания исследуемого изделия в фокус камеры. В неавтоматизированном режиме производится однократное фотографирование объекта для последующего анализа изображения.

Программно-аппаратный комплекс GarmentScanner производит однократное фотографирование изучаемого изделия и выполняет сопоставление полученного изображения с параметрами моделей, имеющих в базе данных. Для ускорения работы GarmentScanner применен метод Виолы-Джонса, основанный на динамическом перемещении прямоугольных областей по скан-копии объекта при синхронном расчете признаков Хаара. Для идентификации каждой скан-копии GarmentScanner маркирует буквенно-цифровым кодом контур объекта и сравнивает его хеш с хешем скана образца-эталона. Все точки контура автоматически заносятся в матрицу оператив-

ной памяти. Каждая точка контура маркируется как false/true (истина/ложь). После нахождения искомого соответствия программным обеспечением осуществляется процесс анализа фотографического изображения, при этом, когда на экране монитора обрамляющий изображение желтый контур прекращает мигать, пользователь оповещается об окончании этапа обработки изображения.

В каждой точке цифрового изображения исследуемого изделия проводится автоматизированный анализ кадра как вектора в некотором линейном пространстве, вычисляются значения заданных признаков, например, отклонений по размерам, положению, форме и т.д. Каскадная модель анализа изображений позволяет последовательно запустить различные классификаторы, чтобы оценить рассматриваемые образы и отклонить те кадры, где отсутствует изображение исследуемого объекта. С помощью программы GarmentScanner выполнен анализ габаритов изделия (рис. 2) по внешнему и внутреннему контурам (табл. 1 – архитектура нейронной сети GarmentScanner для распознавания контуров).

Таблица 1

Контур	Назначение
contour	Определяет главный внешний контур изделия, служит основой для расчета базовых точек
vorot1	Определяет внутренний контур горловины спереди
vorot2	Определяет внешний контур горловины спереди
vorot3	Определяет внутренний контур горловины спинки
proima1	Определяет контур проймы переда
proima2	Определяет контур проймы спинки

Для расчета координат базовых точек (рис. 3 – набор точек для анализа параметров футболки: а) – базовый вариант; б) – оптимизированный вариант) использованы параметры прямоугольника (contour Box) [15], в который вписан контур (contour) изделия, получаемый камерой при сканировании (табл. 2 – методика расчета координат контура). Все числа округляются до целого, за точку отсчета принят левый верхний угол сканированного изделия.

Результаты исследования

Поскольку изделие, расположенное на плоскости, имеет несколько общих для зад-

ней и передней части точек, предложено не проводить их отдельного расчета для каждой стороны. Так, например, при анализе сканированного изображения изделия в сложенном виде точка O1 совпадает с точкой L1, точка O2 – с точкой L2, N1 с K1, а N2 с K2 (рис 3-а). Для оптимизации работы программы в алгоритме вычислений GarmentScanner уточнено количество векторов (рис. 3-б), разработаны методики расчета векторов (табл. 3) и координат информативных точек (табл. 4).

Точка	Координаты точек в декартовой системе	
	X	Y
MaxX	$\text{contourBox.location.X} + \text{contourBox.location.Width} - 1$	-
MinX	$\text{contourBox.location.X}$	-
MidX	$(\text{MinX} + \text{MaxX}) / 2$	-
SsX	$(\text{MaxX} - \text{MinX}) / 6 + \text{MinX}$	-
MaxY	-	$\text{contourBox.location.Y} + \text{contourBox.location.Height} - 1$
MinY	-	$\text{contourBox.location.Y}$
MidY	-	$(\text{MinY} + \text{MaxY}) / 2$
SsY	-	$(\text{MaxY} - \text{MinY}) / 6 + \text{MinY}$

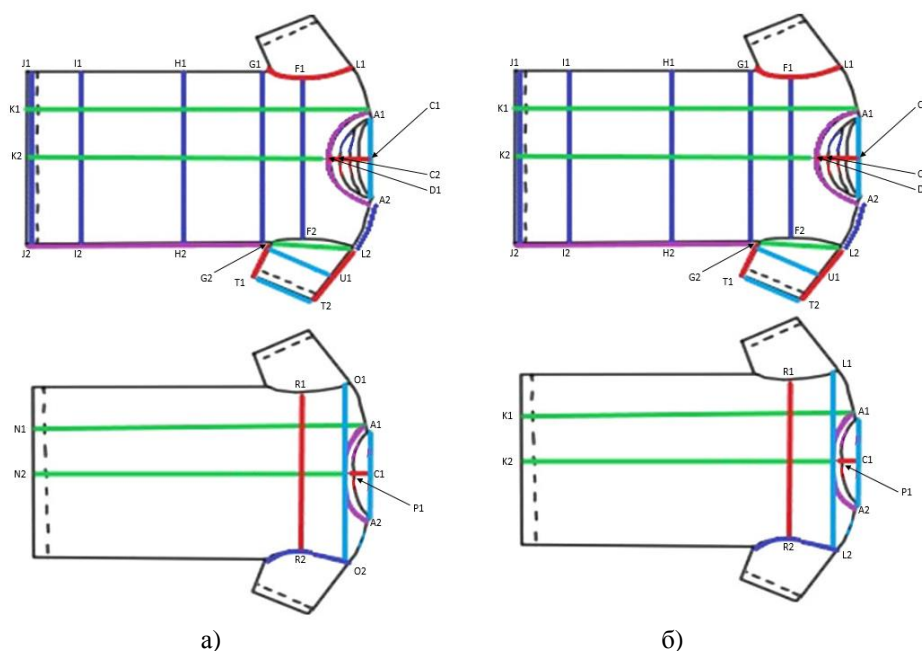


Рис. 3

Вектор	Название	Методика расчета
A	Ширина горловины между плечевыми швами	Отрезок между точками A1 и A2
B	Длина горловины переда	Расстояние по контуру горловины переда между точками A1 и A2
C	Глубина горловины переда	Отрезок между точками C1 и C2
D	Ширина бейки горловины	Отрезок между точками C2 и D1
E	Длина плечевого шва	Расстояние по контуру между точками A2 и L2
F	Ширина переда в узком месте	Отрезок между точками F1 и F2
G	Ширина переда под проймой	Отрезок между точками G1 и G2, разделить на 2
H	Ширина переда по линии талии	Отрезок между точками H1 и H2, разделить на 2
I	Ширина переда по линии бедер	Отрезок между точками I1 и I2, разделить на 2
J	Ширина переда по линии низа	Отрезок между точками J1 и J2, разделить на 2
K	Длина переда от вершины плечевого шва	Отрезок между точками A1 и K1
K1	Длина переда посередине	Отрезок между точками D1 и K2
L	Глубина проймы	Отрезок между точками G2 и L2
L1	Длина проймы переда	Расстояние по контуру проймы (красный) между точками G1 и L1
M	Длина бокового шва	Отрезок между точками G2 и J2
N	Длина спинки от вершины плечевого шва	Отрезок между точками A1 и K1
N1	Длина спинки посередине	Отрезок между точками P1 и K2

Q	Длина горловины спинки	Расстояние по контуру горловины спинки (фиолетовый) между точками A1 и A2
O	Плечевой диаметр	Отрезок между точками L1 и L2
P	Глубина горловины спинки	Отрезок между точками C1 и P1
R	Ширина спинки в узком месте	Отрезок между точками R1 и R2
S	Длина рукава	Отрезок между точками L2 и T2
T	Длина нижнего шва рукава	Прямое расстояние между точками G2 и T1
U	Ширина рукава вверху (в сложенном виде)	Отрезок между точками G2 и U1
V	Ширина рукава внизу (в сложенном виде)	Отрезок между точками T1 и T2

Т а б л и ц а 4

Точка	Методика расчета координат в декартовой системе	
	X	Y
A1	Находится точка с максимальной координатой X и координатой Y менее MidY, если таковой не существует, то уменьшаем координату X на 1 и повторяем поиск	
A2	Находится точка с максимальной координатой X и координатой Y более MidY, если таковой не существует, то уменьшаем координату X на 1 и повторяем поиск	
C1	$(A1.X + A2.X) / 2$	$(A1.Y + A2.Y) / 2$
C2	vorot2Box.Location.X	C1.Y
D1	vorot1Box.Location.X	C1.Y
F1	Находится точка в контуре proima1 с максимальной координатой Y	
F2	Находится точка в контуре proima2 с минимальной координатой Y	
G1	Находится точка в контуре proima1 с минимальной координатой X	
G2	Находится точка в контуре proima2 с минимальной координатой X	
H1	MidX	Минимальный Y в этой колонке пикселей
H2	MidX	Максимальный Y в этой колонке пикселей
I1	SsX	Минимальный Y в этой колонке пикселей
I2	SsX	Максимальный Y в этой колонке пикселей
J1	MinX	Минимальный Y в этой колонке пикселей
J2	MinX	Максимальный Y в этой колонке пикселей
K1	MinX	A1.Y
K2	MinX	C1.Y
L1	Находится точка в контуре proima1 с максимальной координатой X	
L2	Находится точка в контуре proima2 с максимальной координатой X	
P1	Находится точка с максимальной координатой X и координатой Y равной C1.Y	
R1	Находится точка в контуре proima1 с максимальной координатой Y	
R2	Находится точка в контуре proima2 с минимальной координатой Y	
T1	Находится точка с минимальной координатой X и координатой Y более H2 и менее G2	
T2	Находится точка с координатой Y, равной MaxY	
U1	$(L2.X + T2.X) / 2$	$(L2.Y + T2.Y) / 2$

После распознавания объекта Garment-Scanner выстраивает графическими примитивами уникальный контур (на рис. 4-а показано красным цветом). Далее программа выполняет анализ габаритов исследуемого изделия, автоматически считывает координаты расположения ключевых точек (рис. 4-б) и швов для сравнения их с данными из массива баз данных системы с учетом допустимой погрешности. На рис. 4 представлены окна GarmentScanner: а – распознава-

ние объекта; б – расчет векторов и координат информативных точек. Если характеристики исследуемого изделия соответствуют параметрам эталонного образца, то желтый цвет обрамляющего контура выделяемого изображения преобразуется в зеленый. В случае отклонения анализируемых параметров на величину, превышающую допустимую погрешность, желтый цвет контура преобразуется в красный.

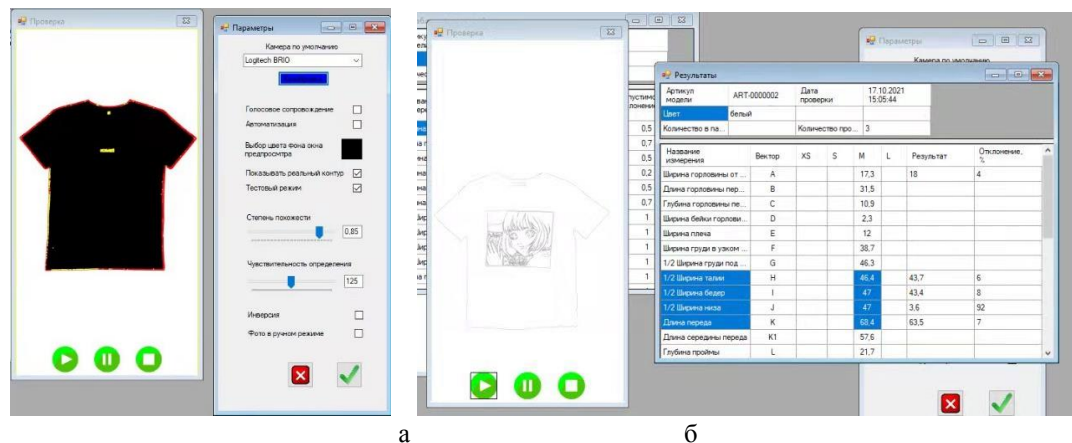


Рис. 4

Во входном слое формируемой нейросети GarmentScanner задает *три* координаты каждой точки по цветовым составляющим: красная $r(x)$, зеленая $g(x)$, синяя $b(x)$ и *две* координаты (x, y) – для позициониро-

вания единичного пикселя на изображении относительно базовой (нулевой точки). Расстояния между точками $A_1=(r_1, g_1, b_1, x_1, y_1)$ и $A_2=(r_2, g_2, b_2, x_2, y_2)$ программа определяет по формуле [20]:

$$R(A_1, A_2) = f(x_1 - x_2, y_1 - y_2) * \exp(1/\delta \sqrt{(r_1 - r_2)^2 + (g_1 - g_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}), \quad (1)$$

где функция $f(x, y)$ — зависит от геометрической взаиморасстоянности двух точек X и Y друг от друга.

В выходном слое формируемой нейросети заложено два нейрона, так как сеть выдает один из классификационных признаков – схожесть/различие параметров двух точек изображения. GarmentScanner в каждой прямоугольной области последовательно перебирает пиксели из множества, формирует входной вектор нейросети. На выходе – каждый сегмент изображения идентифицирован и всем пикселям присвоены метки. По факту формируется матрица 4096×4096 , каждая ячейка которой истинна – если принадлежит контуру, и ложна – если не принадлежит.

Для того, чтобы понять адекватность модели, сформирован искусственный информационный шум, объединяющий в сегменты параметры из соседних множеств признаков. Обучающая выборка сформирована эмпирически – проведена идентификация признаков на промышленной партии из 500 ед. в 10 разновидностях моделей. Для реализации алгоритма сравнения габаритов швейных изделий и определения принадлежности объектов к той или иной модели в базу данных системы GarmentScanner загружены фотошаблоны эталонных образ-

цов в формате JPG/BMP. Для анализа качества оцениваемых изделий по ключевым точкам и швам используют фотошаблоны отдельных частей эталонных образцов, таких как горловина, пройма и т.п. Данные об эталонных образцах и исследуемых изделиях хранятся в базе данных GarmentScanner в виде многомерного массива и могут быть выгружены в отдельный файл формата XLS в соответствии с пожеланиями пользователя.

Тестирование пилотного продукта GarmentScanner на предприятиях Китая показало адекватность оценки машинным зрением качества изготовления швейной продукции плоских форм (майки, трусы, футболки). Дальнейший вектор развития данного научного направления может быть направлен на создание нейронных сетей для автоматизированной оценки качества изготовления изделий с более сложной пространственной конфигурацией. Обучение нейросети будет основано на классификации полутонов и теневых помех и анализе сложной рельефности, возникающих при расположении объемной одежды на поверхности для распознавания компьютерным зрением цифровых скан-копий одежды с конструктивными средствами формообразования (вытачки, швы). Дан-

ный этап формирования научных знаний – процесс, затратный по длительности и материальным вложениям.

ВЫВОДЫ

Разработанный программно-аппаратный комплекс GarmentScanner применим для автоматизированной оценки качества изготовления образцов готовой одежды с помощью механизма компьютерного зрения. Для развития метода бесконтактной оценки габаритов одежды сложного кроя предполагается проводить дальнейшее обучение нейронных сетей программного обеспечения с применением метода аппроксимации линейных подпространств в аффинные, с последующим анализом угловых параметров трехмерных моделей изделий. Программно-аппаратный комплекс GarmentScanner позволяет в дистанционном режиме достоверно оценивать качество готовой швейной продукции путем сопоставления ряда заданных параметров исследуемых изделий с эталонными образцами, что имеет важное практическое значение при приемке партий продукции, отшитых в режиме аутсорсинга в различных регионах мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дятлов Е.И. Машинное зрение (аналитический обзор)// Информации и телекоммуникационные технологии. – 2013, № 2. С 32...40.
2. Шеронова И.А., Старкова Г.П., Дремлюга О.А. Применение компьютерных технологий при оценке качества ниточных соединений// Современные наукоемкие технологии. Технические науки. – 2016, №12. С.299...303.
3. Корнилова Н.Л., Салкуцан С.В., Болсуновская М.В., Горелова А.Е., Васильев Д.А. Отдельные аспекты PLM-систем для создания цифровых фабрик в швейной промышленности// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №4. С.103...106.
4. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Рогожина Ю.В., Смирнов В.Б. Цифровизация дефектов одежды для оптимизации аутсорсингового изготовления "Fast Fashion" коллекций// Дизайн и технологии. – 2020, №75 (117). С.36...44.
5. Steger C., Ulrich M., Wiedemann C. Machine Vision Algorithms and Applications. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2018.

6. ГОСТ 4103–82 Изделия швейные. Методы контроля качества. – М.: Изд-во стандартов, 2001.
7. Nazil P., Darshan K., Ishan B. An overview on template matching methodologies and its applications // International Journal of Research in Computer and Communication Technology. – 2013. Vol.2, №10. P.988...995.
8. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: Вильямс, 2018.
9. Рогожина Ю.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Глебова Т.Г. Базовые цифровые шкалы технологических дефектов швейных изделий, определяемых техническими средствами идентификации/ Св-во о регистрации БД №2020621712 RUS.; зарег.18.09.2020.
10. Yosinski J., Clune J., Nguyen A., Fuchs T., Lipson H. Understanding neural networks through deep visualization// Proceedings of International Conference on Machine Learning - Deep Learning Workshop, 2015. P.12.
11. Dai W., Dai C., Qu S., Li J., Das S. Very deep convolutional neural networks for raw waveforms // Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 2017. P.421...425.
12. Hopfield J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities// Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 1982. Vol.79. Is.8. P.2554...2558.
13. Рогожин А.Ю., Гусева М.А., Андреева Е.Г. Имитационная модель процесса формообразования поверхности одежды// Дизайн и технологии. – 2017, №63. С.47...57.
14. Brown L. A survey of image registration techniques// Proceedings of ACM Computing Surveys. – 1992. Vol.24, №1. P.325...376.
15. Viola P., Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features// Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2001. Vol.1. P.511...518.
16. Гусева М.А., Рогожина Ю.В., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Глебова Т.Г. Цифровые шкалы измерений швейных изделий для автоматизированного контроля качества // Св-во о регистрации базы данных № 2020622292 RUS. 16.11.2020 Бюл. № 11.
17. Chen Y-C, Patel VM, Phillips PJ, Chellappa R. Dictionarybased face recognition from video// Proceedings of European Conference on Computer Vision. – 2012. P.766...779.
18. Zhang M, He R, Cao D, Sun Z, Tan T. Simultaneous feature and sample reduction for image-set classification// Proceedings of Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2016. Vol.30, №1. P.1401...1407.
19. Рогожина Ю.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Данильченко А.О., Слободян М.В. GarmentScanner/ Св-во о регистрации программы для ЭВМ №2021617946 RUS. 20.05.2021.
20. Newman M.E.J. Mixing patterns in networks // Phys. Rev. E. – 2003. V. 67. P. 026126.

REFERENCES

1. Dyatlov E.I. Mashinnoe zrenie (analiticheskiy obzor)// Informatsii i telekommunikatsionnye tehnologii. – 2013, № 2. S 32...40.
2. Sheromova I.A., Starkova G.P., Dremlyuga O.A. Primenenie komp'yuternykh tekhnologiy pri otsenke kachestva nitochnykh soedineniy// Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Tekhnicheskie nauki. – 2016, №12. S.299...303.
3. Kornilova N.L., Salkutsan S.V., Bolsunovskaya M.V., Gorelova A.E., Vasil'ev D.A. Otdel'nye aspekty PLM-sistem dlya sozdaniya tsifrovyykh fabrik v shveynoy promyshlennosti// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, №4. S.103...106.
4. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Andreeva E.G., Rogozhina Yu.V., Smirnov V.B. Tsifrovizatsiya defektov odezhdy dlya optimizatsii autsorsingovogo izgotovleniya "Fast Fashion" kolleksiy// Dizayn i tekhnologii. – 2020, №75 (117). S.36...44.
5. Steger C., Ulrich M., Wiedemann C. Machine Vision Algorithms and Applications. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2018.
6. GOST 4103–82 Izdeliya shveynye. Metody kontrolya kachestva. – M.: Izd-vo standartov, 2001.
7. Nazil P., Darshan K., Ishan B. An overview on template matching methodologies and its applications // International Journal of Research in Computer and Communication Technology. – 2013. Vol.2, №10. P.988...995.
8. Forsayt D., Pons Zh. Komp'yuternoe zrenie. Sovremennyy podkhod. – M.: Vil'yams, 2018.
9. Rogozhina Yu.V., Guseva M.A., Andreeva E.G., Belgorodskiy V.S., Glebova T.G. Bazovye tsifrovye shkaly tekhnologicheskikh defektov shveynykh izdeliy, opredelyaemykh tekhnicheskimi sredstvami identifikatsii/ Sv-vo o registratsii BD №2020621712 RUS.; zareg.18.09.2020.
10. Yosinski J., Clune J., Nguyen A., Fuchs T., Lipson H. Understanding neural networks through deep visualization// Proceedings of International Conference on Machine Learning - Deep Learning Workshop, 2015. P.12.
11. Dai W., Dai C., Qu S., Li J., Das S. Very deep convolutional neural networks for raw waveforms // Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 2017. P.421...425.
12. Hopfield J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 1982. Vol.79. Is.8. P.2554...2558.
13. Rogozhin A.Yu., Guseva M.A., Andreeva E.G. Imitatsionnaya model' protsessa formoobrazovaniya poverkhnosti odezhdy// Dizayn i tekhnologii. – 2017, №63. S.47...57.
14. Brown L. A survey of image registration techniques// Proceedings of ACM Computing Surveys. – 1992. Vol.24, №1. P.325...376.
15. Viola P., Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features// Proceedings of Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2001. Vol.1. P.511...518.
16. Guseva M.A., Rogozhina Yu.V., Andreeva E.G., Belgorodskiy V.S., Glebova T.G. Tsifrovye shkaly izmereniy shveynykh izdeliy dlya avtomatizirovannogo kontrolya kachestva // Sv-vo o registratsii bazy dannykh № 2020622292 RUS. 16.112020 Byul. №11.
17. Chen Y-C, Patel VM, Phillips PJ, Chellappa R. Dictionarybased face recognition from video// Proceedings of European Conference on Computer Vision. – 2012. P.766...779.
18. Zhang M, He R, Cao D, Sun Z, Tan T. Simultaneous feature and sample reduction for image-set classification// Proceedings of Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2016. Vol.30, №1. P.1401...1407.
19. Rogozhina Yu.V., Guseva M.A., Andreeva E.G., Belgorodskiy V.S., Danil'chenko A.O., Slobodyan M.V. GarmentScanner/ Sv-vo o registratsii programmy dlya EVM №2021617946 RUS. 20.05.2021.
20. Newman M.E.J. Mixing patterns in networks // Phys. Rev. E. – 2003. V. 67. P. 026126.

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий Поступила 01.10.21.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФИГУРЫ И ОДЕЖДЫ
НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЕФЕКТОВ
В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ***

**AN EXPLORATION OF BODY AND CLOTHING SHAPES INFLUENCING
ON RELIABILITY OF DEFECTS VIZUALIZATION IN VIRTUAL REALITY**

XIA PENG, V.E. KUZMICHEV

СЯ ПЭН, В.Е.КУЗЬМИЧЕВ

(Ivanovo State Polytechnical University)

(Ивановский государственный политехнический университет)

E-mail: wkd37@list.ru

Для улучшения виртуального проектирования одежды и повышения процедуры оценки качества посадки были исследованы чертежи конструкций женских блузок, виртуальные двойники типовых фигур и блузки с разной объемно-силуэтной формой. 132 чертежа были параметризованы и сгруппированы в X, H, A силуэты как прилегающие, полуприлегающие и свободные. Виртуальные двойники женских фигур сгенерированы в программе CLO3D 5.2 с использованием результатов экспериментальных антропометрических измерений. Складки на спинках блузок были взяты в качестве индикаторов посадки и были параметризованы с помощью шкалы серого цвета и технологии обработки изображений. Разработаны критерии качества посадки. Схема проверки чертежей конструкций перед виртуальной примеркой разработана с использованием процедуры оценки качества посадки и анализа изображений складок и может быть применена для разработки конкретных рекомендаций для разработки чертежей.

To improve virtual try-on of clothing and an efficiency of fit checking procedure, the sewing pattern blocks of women blouses, virtual twins of typical bodies and blouse styles were taken as research objects. 132 sewing patterns were parameterized and classified between X, H, A styles as fitting, semi-fitting and loose ones. Virtual twins of women bodies were generated in CLO3D 5.2 by adding experimental anthropometrical measurements. The folds on blouse back were taken as the indicator of fit and were parameterized by means of grey - white scale and image processing technology. Fit criteria were established. The scheme of pattern blocks checking before virtual try-on was developed by using the blouse fit evaluation and folds image analysis and can be applied for providing concrete recommendations for pattern making.

Ключевые слова: женская блузка, посадка, виртуальная симуляция, виртуальные двойники, анализ изображений, шкала серого цвета.

Keywords: women blouse, fit, virtual simulation, virtual twins, image analysis, grey scale.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта № 20-47-370006.

1. Introduction

Nowadays, the accuracy of pattern block is widely regarded as an important way to influence an appearance and comfort of virtual clothing. In the meantime, there are many manuals of sewing pattern blocks making and some of them aren't good for the customization in virtual reality [1]. Well-known virtual technologies are CLO3D, Optitex, 3D Vidya, DC Suite, etc [2]. which are showing their own structural problems related to misfit, such as unreasonable distribution of ease allowance of pattern blocks, imbalanced clothes and so on. In addition, the existing criteria of patterns validation are still inadequate in predicting the fit in virtual reality.

In real practice many patternmakers are using own non-formalized workmen craft to improve the fit of clothes but these unique methods aren't included in program modules of CAD. Many CAD systems are applying simplest approach to patterns drawing without specific and very important know-how.

Therefore, in order to improve virtual try-on of women blouse and an efficiency of checking procedure, the sewing pattern block was taken as research object.

The main goal of research is to develop the scheme of patterns preparation for virtual try-on.

2. Research methods

2.1 Pattern blocks

132 women blouse sewing patterns were collected, digitized by using ETCAD software, and classified between X (71 patterns), H (29), and A (22) styles. The sewing patterns were further subdivided into fitting, semi-fitting and loose styles. The grouping of patterns were made in according to unique combination of the fitting effect, on one side, and an ease allowances to bust, waist, and hip girths, on the other side [3]. The patterns were measured including the dimensions and the ease allowances.

2.2 Virtual twins

Virtual twins of women bodies were generated on the base of experimental anthropometrical measurements to get full schedule of body measurements. New data base is necessary to add important body measurements to develop an existing avatar data base in CLO3D. This

approach guarantees the adequacy between Chinese body types and its digital twins. 154 females aged 20 to 35 year measured by 3D laser scanner body VITUS Smart XXL and software Anthroscan were grouped as Y, A, B, C body types in accordance with the Chinese standard sizing systems [4] (GB/T 1335.1-2008). Based on an average measurements of Y, A, B, C body types, the software of CLO3D 5.2 were applied to establish virtual twins of each body types.

To get a virtual twin of blouse, the patterns were virtually stitched on the virtual twins of bodies [5].

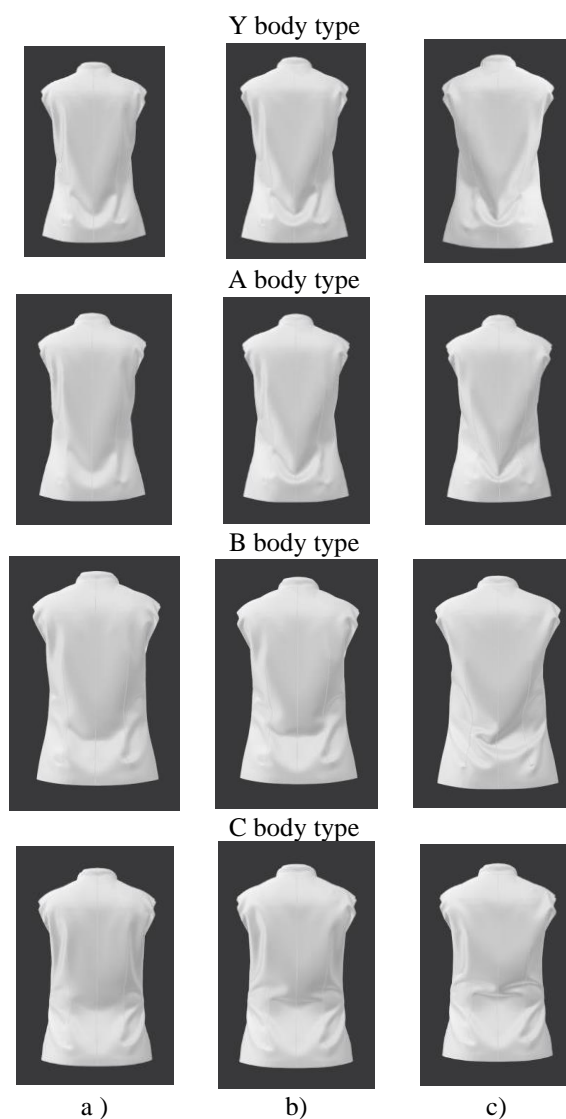


Fig. 1

2.3 Detection and evaluation of folds

A fold is an important factor which visually reflects the ease allowance and clothing fit. To evaluate the folds, the image processing tech-

nology was used to analyze the change of grey value of image. It is known that under constant light conditions, the reflection effect of concave and convex parts of fold is different, and this difference can be represented by grey images. If the grey value is large, the fold is raised. The grey value is small, then the fold is concave. If the grey value is stable and unchanged, there is no fold in this part [6].

Figure 1 shows the fragment of established database of virtual women blouse with different defects.

As Fig.1 shown, the folds views (direction, location, concentration) differs from one body type to other. For example, the folds on the back of A body type are located in sloping direction, but for C body type - in horizontal direction. This conclusion indicates significant role of body type (drop) in clothing shaping and this influence of body contribution can be used for an identification of body morphology under wearing clothing.

To analyze the folds and its distribution, the horizontal cross-sections were made on waist level (WL), upper WL (WL+3, WL+6) and below WL (WL-3, WL-6, WL-9). Figure 2 shows the location of cross-sections.

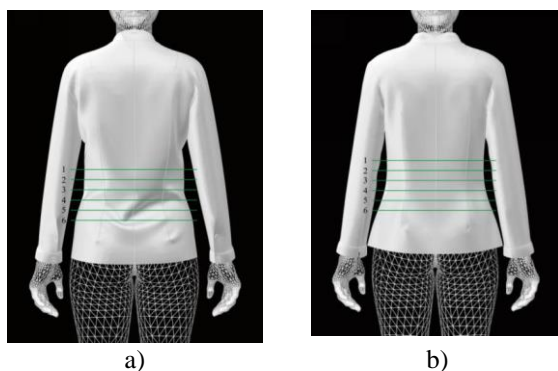


Fig. 2

3D Rhino CAD was used to establish the folds database by intercepting the horizontal cross-sections mentioned and the fold depth measuring [7]. Figure 3 shows the scheme of fold depth measuring as distance from highest point to lowest point.

ImageJ software was used to perform grey processing to calibrate the grey values in pixels at above six horizontal cross-sections. Each pixel of image has 256 grey levels ranging from 0 to 255. Minimum level 0 represents the

darkest part of grey image, that is black. Maximum level 255 represents the brightest part in grey image, which is white. Since the grey matrix takes into account for the both characteristics (fold position and fold parameters), the data of these grey values are accurate and reliable [8].

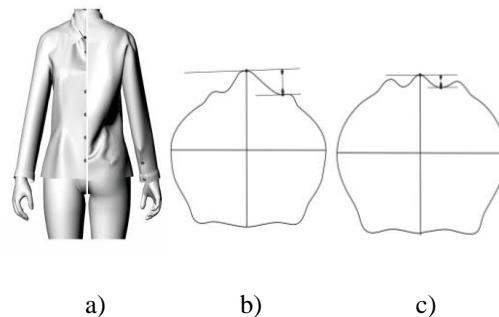


Fig. 3

3. Results and discussion

When the fabric folds are not obvious or close to situation yes-no folds, its grey characteristics will maintain a relatively stable value. When the fabric has folds, its grey value will fluctuate accordingly. The part with a large grey value represents the raised area of the fold, and the part with a low grey value represents the recessed place of the fold. The crests (valleys) in the grey curve represent the number of folds. The more crests or troughs that appear, the denser the number of folds. The difference between the maximum and minimum grey values of adjacent peaks and troughs represents the depth of the folds, and the distance between two adjacent peaks or troughs represents the width of the folds. Because the folds are not evenly distributed, the fit can be evaluated by two aspects: width and depth. Each fold can be evaluated by means of the width and depth. Among them, the unevenness of fold is smaller, the fold is more uniform. The unevenness of fold are defined by the following formulas:

$$VD = 100 \frac{\sum_i |V_{Di} - \bar{V}_D|}{\bar{V}_D}, \quad (1)$$

$$V_H = 100 \frac{\sum_i |V_{Hi} - \bar{V}_H|}{\bar{V}_H}, \quad (2)$$

where V_{Di} is the width of the i -th fold, pixel; V_{Hi} is the depth of the i -th fold respectively, grey value. \bar{V}_D is the average width of fold, pixel; \bar{V}_H is the average depth of fold, grey value [9].

The extracted grey values were exported to Excel. The grey curves as an examples from horizontal level WL-6 and two values of E_{BL} are shown in Fig. 4. The grey value difference 20 was taken as set as the fold discrimination threshold [10].

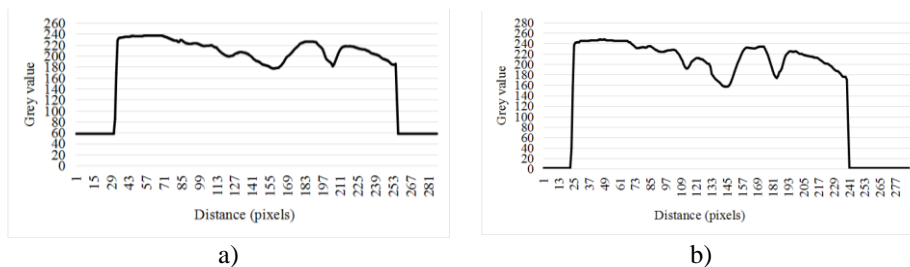


Fig. 4

After the treatment of statistical data base the number of folds, fold depth, fold width and unevenness of fold for defects for all objects explored were calculated. Table 1 shows the part of this huge data base for Y body type (the

same tables were formed for A,B,C body types).

The information about the folds located on 6 horizontal lines was calibrated, as shown in Table 2.

Table 1

E_{BL} , cm	Cross-section	Folds parameter			Unevenness of fold, pixel/grey value	
		number	Width (for each fold), pixel	Depth (for each fold), grey value	width	depth
3	WL+6	0	0	0	1.91	0.87
	WL+3	0	0	0		
	WL	0	0	0		
	WL-3	3	29/74/30	33/42/45.5		
	WL-6	2	57/32	28.5/45		
	WL-9	1	45	40		
4	WL+6	0	0	0	3.69	2.32
	WL+3	0	0	0		
	WL	1	77	38		
	WL-3	3	35/60/25	29.5/68.5/60		
	WL-6	3	19/39/21	36/55/60.5		
	WL-9	2	21/30	39/39		
5	WL+6	0	0	0	3.92	3.59
	WL+3	0	0	0		
	WL	1	96	76		
	WL-3	3	36/49/24	36/73.5/29		
	WL-6	4	22/21/38/28	30/22/69/40		
	WL-9	2	21/34	53/40		

Table 2

Cross-section	Depth of folds, depending on E_{BL}					
	E_{BL} , cm					
	3		4		5	
	grey value	cm	grey value	cm	grey value	cm
WL+6	0	0	0	0	0	0
WL+3	0	0	0	0	0	0
WL	0	0	38	1.9	76	3.8
WL-3	33/42/45.5	1.65/2.1/2.3	29.5/68.5/60	1.5/3.4/3	36/73.5/29	1.8/3.7/1.5
WL-6	28.5/45	1.43/2.3	36/55/60.5	1.8/2.8/3	30/22/69/40	1.5/1.1/3.5/2
WL-9	40	2	39/39	2/2	53/40	2.7/2

The scheme of patterns checking before virtual try-on was further developed based on the fold analysis and calibration E_{BL} . The number of folds and its depth and width and were

compared and analyzed respectively, as shown in Fig. 5.

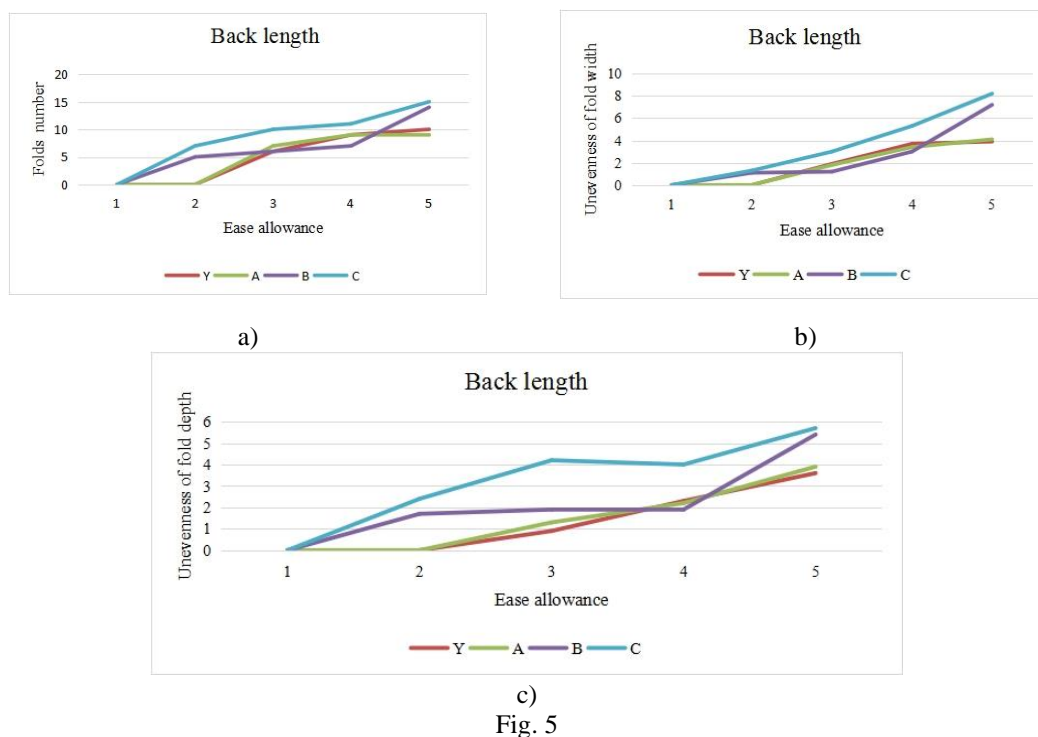


Fig. 5

As shown in Figure 5, a, E_{BL} is bigger, the number of folds is also bigger. The number of folds for body type C is significantly larger than other types. At the same time, when E_{BL} is 1 cm, the folds for each body type are absent, which means that the blouses are very fit for Y, A, B, and C body types. When E_{BL} exceeds 2 cm, the number of folds in clothing is greater than five for each body types.

Figure 5, b, c show that when E_{BL} increases, the width and depth of folds also increase, especially for C body type. However, for B body type, the unevenness of fold width is smaller than that of Y and A body types excepting when E_{BL} is within the range of 3-4 cm. In addition, in terms of fold depth unevenness, except for E_{BL} of 4 cm, the garment fold width is smaller than the Y, A body type, and the rest of the ease allowance is greater than the garment fold width of the Y, A body type.

Furthermore, according to the comparison of the results of fold image analysis and E_{BL} , the fit criteria were established for X-style:

body type	E_{BL} , cm, arising the folds and forming the fit	
	fit	misfit
Y, A	0-2	more 2
B, C	0-1	more 1

So, the obtained results are the recommendation for pattern making and the prognosis for fit identification. The similar limitations could be established for other ease allowances such as to front and back width, arm girth, which depend on body morphology and should be separated not only between body sizes but body type also.

CONCLUSIONS

By means of virtual technology, grey-scale image identification and pattern making, the complex exploration of influence of body type and ease allowances on women blouse fit was done. The number of folds and its distribution could be ruled during pattern making, on one side. On the other side, some features of folds

(location, direction etc.) can be applied for identification of body morphological features and body measurements.

REFERENCES

1. *Kyoungok K., Tsuyoshi O., Masayuki T.* Effect of patternmaker's proficiency on the creation of clothing // *Autex. Res. J.* – 2017. Vol. 1. № 2. P. 120...128.
2. *Guo M., Kuzmichev V.E., Dominique C.A.* Human-friendly design of virtual system 'female body-dress' // *Autex. Res. J.* – 2015, V. 15. №1, P. 19...29.
3. *Zhang W.B.* Pattern making for fashion design. – Beijing: China Textile and Apparel Press, – 2010. P.68...70.
4. Standardization Administration of China. (GB/T 1335.1-2008) – Beijing: Standards Press of China, 2008, pp. 6–8.
5. *Cheng Z.A., Kuzmichev V.E., Dominique C.A.* digital replica of male compression underwear // *Text. Res. J.* – 2020. Vol. 90. № 7-8. P. 877...895.
6. *Chen W.W., Chen Y.* Evaluation of wrinkles on the surface of a garment // *Journal of Textile Research*, – 2007. Vol. 28. № 4. P. 87...90.

7. *Li M.X., Zhi A.L., Wu Q.Y.* Objective evaluation on the shape of gathered skirt based on image processing technology // *Advanced textile technology*. – 2018. Vol.26, № 6. P. 62...69.

8. *Zaouali R., Msahli S., Sakli F.* Fabric wrinkling evaluation: a method developed using digital image analysis // *J. TEXT. I.* – 2010. Vol. 101. № 12. P.1057...1067.

9. *Soto L.U., Lopez V.* Instrumentation system for objective evaluation of wrinkle appearance in fabrics using a standardized inspection booth // *Text. Res. J.* – 2014. Vol. 84. № 4. P. 368...387.

10. *Zhang J., Tao H., Lin B.J.* Evaluation method for garment ease allowance based on gray image of wrinkles // *Fashion China*. – 2020. Vol. 8. № 6. P.96...101.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий. Поступила 27.04.22.

УДК 004.92:687.01

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_183

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ

FEATURES OF CLOTHING DESIGN IN DIGITAL ENVIRONMENT

*Г.И. БОРЗУНОВ, Л.Б. КАРШАКОВА, М.А. ГРУЗДЕВА,
М.А. ОБЕТКОВСКАЯ, В.Б. СМИРНОВ, С.В. ЗАХАРКИНА*

*G.I. BORZUNOV, L.B. KARSHAKOVA, M.A. GRUZDEVA,
M.A. OBETKOVSKAYA, V.B. SMIRNOV, S.V. ZAKHARKINA*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail:borzunov-gi@rguk-ru

Приведены результаты анализа исследований возможностей информационных технологий в области индустрии моды 4.0. Для определения условий развития технологий в российском экономическом пространстве были использованы методы обобщения, классификации, анализа и синтеза. Рассмотрены основные программные средства создания цифровой одежды и технология их применения. Проведена классификация и выделены основные направления: технология 3D-проектирования, цифровой печати, технология виртуальной примерочной и другие. В работе проведен анализ практики ведущих домов моды. Приводятся примеры успешных дизайн-проектов в этой области. Результаты исследований позволили выявить наиболее перспективные направления развития индустрии моды с точки зрения осознан-

ного рационального потребления одежды и социально-ответственного отношения к производству одежды и окружающей среде. Определены области применения полученных результатов исследования для развития индустрии моды. Показано, что использование современных информационных технологий позволяет обеспечить индивидуальный и рациональный подход к созданию и потреблению одежды. Результаты исследования внедрены в образовательный процесс.

The research analysis results of information technology possibilities in the field of fashion industry 4.0 are presented. Methods of generalization, classification, analysis and synthesis were used to determine the conditions for the development of technology in the Russian economic area. The basic software tools for creating digital clothing and technology of their application are considered. The classification was carried out and the main areas were highlighted: 3D-design technology, digital printing, virtual fitting room technology and others. The paper analyzes the practice of leading fashion houses. Examples of successful design projects in this area are given. The results of research have allowed to identify the most promising areas of the fashion industry in terms of conscious sustainable consumption of clothing and socially responsible attitude to the production of clothing and the environment. The areas of application of the research results for the development of the fashion industry have been determined. It is shown that the use of modern information technology allows to provide an individual and rational approach to the creation and consumption of clothing. The results of the study have been implemented in the educational process.

Ключевые слова: цифровая одежда, цифровая мода, 3D-моделирование, дополненная реальность, виртуальная реальность, умный текстиль, цветовые гармонии, бионика костюма.

Keywords: digital clothing, digital fashion, 3D modeling, augmented reality, virtual reality, smart textiles, color harmonies, costume bionics.

Новый тренд – цифровая одежда, идеально подходит для модных и стильных постов в социальные сети. Подобная одежда не требует реализации в материале, выглядит эффектно. Диджитал-мода – это виртуальные вещи, которые надеваются на фотографию человека. Трехмерная, объемная или анимированная одежда разрабатывается в среде специальных цифровых программ [5], [23]. В рамках этой статьи показаны результаты исследования процесса проектирования цифровой одежды.

На данный момент основной технологией являются информационные технологии [19], [20]. Сейчас идет смена технологического уклада, мир переходит в эпоху Индустрии 4.0, одной из составляющих которой является Мода 4.0. Ее можно разделить на цифровые технологии, на направле-

ния, на основные бизнес-модели, на основные бизнес-процессы [22]. Классические бизнес-процессы: маркетинг, проектирование, производство и продажи. Сейчас появился цифровой маркетинг [24], цифровое проектирование. Теперь на третьем месте стоит не производство, а цифровые продажи. Сначала изделие проектируется, потом продается, и только после продажи запускается производство, если есть такая необходимость. Это основное различие цифровой экономики от классической: FashionCustomer – изготовление изделий по индивидуальным заказам, виртуальный показ изделия перед продажей.

В мире звучат имена людей, которые продвигают инновации индустрии моды. На своем сайте [2] Татьяна Струкова разместила информацию о цифровой одежде, ко-

торая находит своих покупателей в разных частях мира. На сайте [3] опубликована статья, в которой показано, что цифровая одежда является необходимой частью будущего мира моды.

В сентябре 2018 г. появилась первая цифровая капсула, ее выпустила норвежская компания Carlings, в которую входило 20 моделей, которые сразу же были распроданы (рис. 1 – первая коллекция цифровой одежды Carlings).

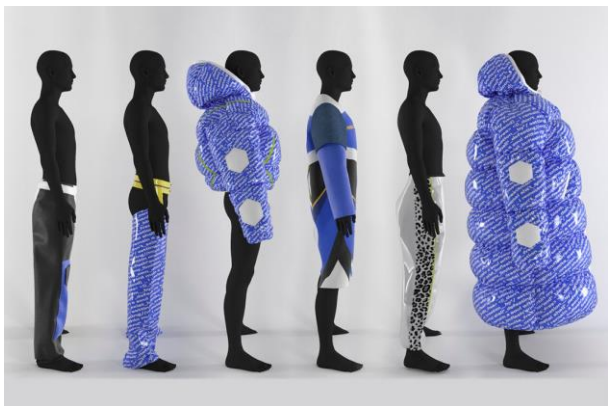


Рис. 1

Для создания подобной одежды не нужны материалы, которые зачастую плохо влияют на экологию. Вещи создаются в 3D-программах и отшиваются только по предзаказу. Анна Еллисева в публикации на сайте [4] раскрывает цели и задачи создания 3D-моделей одежды. В 2019 г. был запущен цифровой гардероб – приложение Drest, которое было придумано Vazaaг Люси Йоманс, основательницей журнала Porter и бывшим главным редактором журнала Harper's. В данном приложении можно составить бесконечное количество образов с использованием вещей из ассортимента Farfetch, а понравившуюся вещь можно заказать. В статье, опубликованной на сайте [6], создание и использование диджитал-гардероба представляется как новая виртуальная реальность. Такие вещи дешевле физических – одна позиция стоит обычно в пределах от €20 до €50. Однако существуют виртуальные вещи, стоимость которых значительно выше. Так, самое дорогое цифровое платье стоило 9500 долларов. Это платье скандинавского бренда The Fabricant существует только онлайн. Дизай-

неры компании уверены, что часть людей приобретают образ для одного снимка. Убедительные доводы в поддержку этого мнения приводятся в статье, опубликованной на сайте [7].

Надо отдать должное, цифровая мода в России не отстает от общего тренда мира моды в направлении к цифровой одежде [22], [24]. На сайте [8] можно ознакомиться с работами разных дизайнеров и новым трендом в Инстаграме. А на сайте [10] можно ознакомиться с проектом Global Talents Digital, объединивший показы виртуальных и реальных коллекций одежды, которые прошли в России. Первая капсульная коллекция от бренда "Грань" была представлена в августе 2019 года, созданием и рекламой которой занималась виртуальная модель Aliona Pole. Выпуск дайджеста, опубликованный на сайте [9], свидетельствует о том, что все явственней проявляется тренд на "осознанность" в сфере моды и о стремлении к наиболее ярким решениям в модных рекламных кейсах. Ярким представителем цифры является дизайнер из Уфы Регина Турбина. Девушка создала свой бренд одежды Ophelica. Первым ее большим проектом стал 3D-лук для Дани Трабуна. На сайте [1] представлены пять тезисов Регины Турбиной "Цифровая одежда будущего". Дарья Шаповалова, соосновательница проекта "Dress-X", вместе с Натальей Моденовой разработали новый для индустрии формат, который стартовал 27 июля 2020 года. Основательницы доказывают тот факт, что не вся одежда должна производиться. На сайте [16] опубликовано интервью основательницы More Dash о первой международной платформе по продаже виртуальной одежды Dress-X. На сегодня на этой платформе представлены следующие дизайнеры и 3D-создатели: Alena Akhmadullina, Ophelica, Arnaud Pepin-Donat, Harriet Blend, Eva Sviridova, Fatemeh Gholami, Kota Yamaji, Nina Doll, Studio PMS, Paskal, а также культовый бренд The Fabricant. Стоимость изделий заключается в пределах 30...120\$, в среднем 50\$. В рамках проекта основательницы хотят добиться продажи миллиарда digital-вещей, авторы создают fast fashion в цифровой

среде. На сайте [11] приводится статья о том, кто и зачем покупает платья из блокчейна и digital-жакеты.

При этом дизайнер может свободно использовать любые подходы и методы формообразования, например, выразительность природных форм [21], а с помощью методов контекстного поиска аналогов цветовых решений и категоризации изображений [17] имеет возможность реализовывать бесконечное число вариантов цветовых гармоний, самых разных стилей и направлений.

При этом основные этапы цифрового проектирования швейных изделий будут практически всегда неизменными (рис 2). Первый этап – это создание типовой модели. Второй этап – создание типовой одежды или элементов гардероба. Третий – создание цифровой сцены.

Процесс создания типовой или индивидуальной фигуры, так называемого аватара,

состоит из нескольких этапов. Можно использовать методы скульптинга и метод моделинга. Скульптинг можно сравнить с вылепливанием из глины объекта или персонажа. Технология моделинга заключается в создании объектов из геометрических примитивов. Затем идет этап ригинг: создание "костей" и "суставов". Далее следует этап текстурирования [17], [18]. На объект, который переставляет из себя полигональную сетку, внутри которой находятся ринги (кости), накладывается имитация кожи и волос. Следующий этап — анимация. С помощью специальных программ объект начинает перемещаться в пространстве. Последний этап — рендринг или визуализация – вывод модели из редактора: или для получения фигур высокого качества, или для дальнейшего импорта в другие программы.

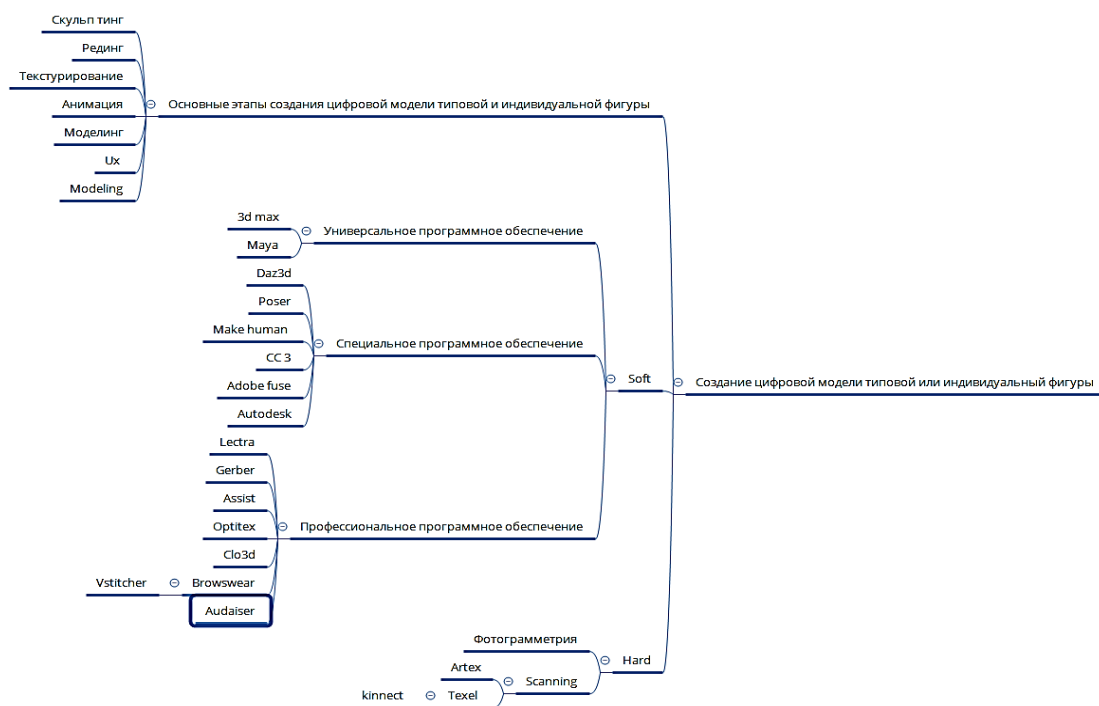


Рис. 2

Программное обеспечение, используемое для этих целей, можно разделить на три категории: универсальные программы, типа 3DMax и Maya; специализированные программы, такие как Zbrush; к узкоспециализированным можно отнести Assyst, Lectra, Gerber, OptiTex. В последнее время по-

пулярны программы, которые нельзя назвать полноценными САПР, но которые имеют широкое применение, как программы визуализаторы, к ним можно отнести Clo3D. Еще используется HardWear, получение аватаров при помощи гравиметрии и сканирования. Гравиметрия – технология

получения трехмерного объекта при помощи большого количества фотоаппаратов. Сканирование делается при помощи специальных датчиков, например, при помощи приборов фирм Kinect или Artech. Они отличаются по типу сканирования. Artech использует текстурированный свет.

Следующий этап — создание цифровых моделей типовой одежды. Он подразделяется на такие подэтапы: создание цифровых лекал, цифровых материалов, цифровых текстур и принтов, цифровых отделочных строчек, создание фурнитуры, использование сшивания деталей, использование нанесения отделочных элементов.

Последний этап подразумевает создание цифровой сцены. В ней размещается аватар, на который делается примерка трехмерной модели изделия. Аватар в одежде анимируется и перемещается по сцене.

Разработка любой модели включает в себя создание базовой конструкции изделия и визуализацию одежды [18], [19]. Для этого есть несколько графических редакторов. Программа Clo3D — это платный сервис, который, благодаря встроенному рендеру, обеспечивает получение реалистичных образов [12]. В Clo3D есть огромное количество готовых шаблонов, эскизов, выкроек, а также реализована автоматическая раскладка лекал. Преимуществом программы является возможность вывода на печать лекал изделий. Программа избавляет и предостерегает от неправильного расположения выточек. Важным также является то, что в систему встроена библиотека тканей и фурнитуры. Перед началом работы нужно создать аватар, он может быть как копией определенного человека, так и виртуальным образом. На рис. 3 представлен интерфейс программы Clo3D.

Marvelous Designer — это программа компании Clo3D Virtual Fashion Inc, созданная для построения выкроек одежды и проектирования текстильных изделий. Эта программа реализует уникальные технологии симуляции ткани и рендеринга, поддерживает функцию многослойного сшивания, собирает необходимые складки и плиссе [14], [15]. Программа Marvelous в основном используется для визуальной анимации, в

игровой, компьютерной индустрии, а Clo3D ориентирована на дизайн-проекты в мире моды и текстильной промышленности.

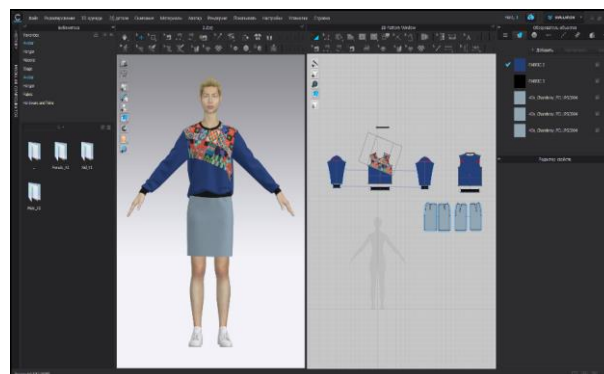


Рис. 3

На сайте [13] представлены еще ряд программ для моделирования одежды. Из бесплатного сегмента — это программа Valentina — ПО для построения лекал (рис. 4). Онлайн-сервис TailorNova обеспечивает возможность создания собственного дизайна за счет подбора подходящих эскизов и лекал. У этого сервиса есть алгоритм 3D FitModel, с помощью которого можно посмотреть, как модель будет выглядеть на манекене.

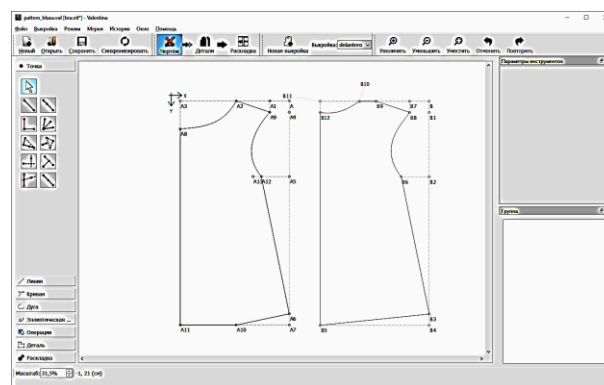


Рис. 4

Первая компания, заложившая фундамент 3D-решению для дизайна одежды, — это Browzwear. В состав ее пакета входят четыре программы, каждая из которых отвечает за свой этап процесса разработки изделия: Vstitcher отвечает за проектирование, разработку и производство; Lotta за быстрый 3D-дизайн и стиль; с помощью

Stylezone легко продвигать и делиться проектами, анализатор ткани позволяет определить толщину ткани, свойства растяжения и изгиба. Vstitcher 3D подходит для проектирования и создания силуэтов, а также шаблонов. Для реализации сложных паттернов в программу встроен специальный набор инструментов.

Исследование показало, что цифровая одежда – это перспективная область развития модной индустрии. Достоинством онлайн-вещей является уникальность дизайна. Для дизайнеров открываются безгра-

ничные возможности, позволяя создавать смелые образы, экспериментирую и открывая двери в моду будущего.

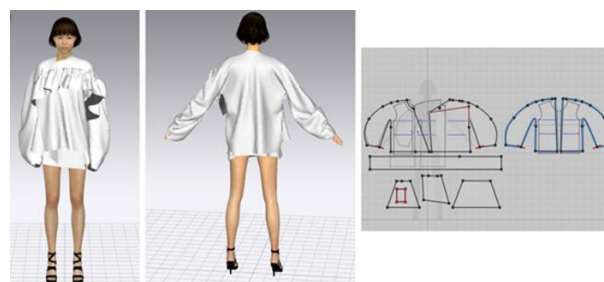


Рис. 5



Рис. 6

Кафедра информационных технологий и компьютерного дизайна Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина занимается цифровой модой. В частности, направлениями умная одежда, умный текстиль, цифровые текстильные технологии. Цифровая печать на текстильных изделиях разделяется на печать на готовых изделиях, печать сублимационная, цифровая печать по натуральным тканям, цифровая вышивка и цифровой раскрой. Это может быть раскрой для одежды, или лазерный раскрой принтов и орнаментов, фигур на тканях. Был создан учебный курс для профессионального знакомства со всеми этапами использования цифровых технологий в индустрии моды, который адаптирован для ведения уроков технологии в гимназии, ведения занятий по автоматизированному проектированию для студентов

колледжа, преподается в бакалавриате, сейчас вводится в магистерскую программу. В гимназии есть два учебных курса: цифровое проектирование и изготовление коллекций. Школьники создают свои коллекции, показывают их на различных конкурсах, создают виртуальные коллекции, на основе которых можно отшить реальные коллекции. Также созданием виртуальных коллекций занимаются учащиеся из колледжа РГУ имени А.Н.Косыгина в рамках учебной и производственной практики. Бакалавры делают коллекции, в том числе, для дипломных проектов. Работы показываются в рамках различных конкурсов, в том числе в международных (рис. 5 – создание модели с использованием аватара; рис. 6 – разработка трехмерной коллекции одежды в профессиональном программном обеспечении).

ВЫВОДЫ

Диджитал-мода дает возможность трудоемкий и сложный процесс перевести в цифру, именно это и оказывается настоящей революцией. Конечно, мир продолжит создавать и восхищаться красотой реальной одежды, но появились способы создавать ее в меньших тиражах, иногда заменять физические вещи на диджитал-версии. Цифровая и живая мода прекрасно дополняют друг друга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Регина Турбина. Цифровая одежда будущего: 5 тезисов от участницы Summit Z8 Регины Турбиной: [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://daily.afisha.ru/brain/16812-cifrovaya-odezhda-buduschego-5-tezisev-ot-uchastnicy-summit-z8-reginy-turbinoj/> (Дата обращения: 11.05.2021).
2. Татьяна Струкова. Платье для короля. Цифровую одежду продают реальным людям: [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://360tv.ru/news/tekst/plate-dlja-korolja/> (Дата обращения: 11.05.2021)
3. Павел Чуйкин. Цифровая одежда: временная мода, эксперименты с внешностью или необходимость будущего?: [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://kanobu.ru/articles/tsifrovaya-odezhda-vremennaya-moda-eksperimentyi-svneshnostyu-ili-neobhodimost-buduschego-375158/> (Дата обращения: 09.05.2021)
4. Анна Елисеева. Диджитал-гардероб: Кто и зачем делает виртуальную одежду: [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://www.wonderzine.com/wonderzine/style/style/256255-digital-fashion/> (Дата обращения: 09.05.2021)
5. Википедия. Виртуальная одежда: [Электронный ресурс]. 2021. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Виртуальная_одежда (Дата обращения: 09.05.2021)
6. Татьяна Тимофеева. Диджитал гардероб. Виртуальная одежда – новая реальность: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.shoppingschool.ru/articles/virtualnaya-odezhda-novaya-realnost.html> (Дата обращения: 08.05.2021)
7. Цифровая мода: будущее fashion-индустрии или краткосрочный тренд?: [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://blog.fashionfactoryschool.com/blog/obzor-rynka/obzory/583-czifrovaya-moda-budushheefashion-industrii-ili-kratkosrochnyj-trend.> (Дата обращения: 08.05.2021)
8. Николай Удинцев. The Sims в реальной жизни: Все о цифровой одежде, новом тренде инстаграма Кто и как ее делает, а главное — кому это нужно: [Электронный ресурс]. 2020. URL: https://www.thevillage.ru/service-shopping/industry/376653-chto-takoe-tsifrovaya-odezhda?from=infinite_scroll (Дата обращения: 09.05.2021)
9. Affect Group. Sustainable fashion: что это такое и почему это важно: [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://vc.ru/marketing/88355-sustainable-fashion-chto-eto-takoe-i-pochemu-eto-vazhno> (Дата обращения: 11.05.2021)
10. Алина Малютина. Что такое виртуальная одежда и сможет ли она заменить реальную: [Электронный ресурс]. 2020. URL: https://style.rbc.ru/items/5ee785719a7947132959ec3f__ (Дата обращения: 10.05.2021)
11. Ольга Распопова. Кто и зачем покупает платья из блокчейна и digital-жакеты: [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://thecity.m24.ru/articles/913> (Дата обращения: 10.05.2021)
12. Конструирование и дизайн одежды в Clo 3D: видео уроки для самостоятельного обучения: [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://vsekursy.com/read/1170-konstruirovanie-i-dizain-virtualnoio-dezhdy-v-clo-3d.html> (Дата обращения: 23.05.2021)
13. Игорь Владимиров. 4 популярных программы для моделирование одежды: [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://geeker.ru/education/programmy-dlya-modelirovanie-odezhdy/> (Дата обращения: 25.05.2021)
14. Полина Ховрачева. Marvelous Designer: обзор программы для 3D дизайнеров: [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://procapitalist.ru/proizvodstvo/marvelous-designer-obzor-programmy-dlya-3d-dizajnerov> (Дата обращения: 25.05.2021)
15. Marvelous Designer – универсальная программа для трехмерного моделирования и дизайна одежды: [Электронный ресурс]. 2013. URL: <http://nerohelp.info/159-marvelous-designer.html> (Дата обращения: 26.05.2021)
16. Настя Сотник. Основательницы More Dash — о первой международной платформе по продаже виртуальной одежды Dress-X: [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://theblueprint.ru/fashion/industry/platforma-dress-x-i-ar-v-mode> (Дата обращения: 27.05.2021)
17. Борзунов Г. И., Фирсов А. В., Новиков А. Н., Иванов В. В. Категоризация изображений на основе цветовых контрастов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №4. С.164...167.
18. Кудрявцева Е.А., Кононова О.С., Юхин С.С., Цифровая реставрация и компьютерное моделирование узорных тканей средствами информационных технологий. Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), – М., 2019. С.13...22.
19. Груздева М.А., Яковлева Н.Б., Шестак Я.М., Формирование современных концепций цифровой эстетики искусства – новый этап эволюции искусства. Декоративное искусство и предметно-пространственная среда // Вестник МГХПА, Московская государственная художественно-промышленная академия имени С.Г. Строганова. – МГХПА, 2019, №2, ч.1. С.330...345.
20. Груздева М.А., Яковлева Н.Б., Шестак Я.М., Современные информационные технологии в цифровом искусстве. Декоративное искусство и

предметно-пространственная среда // Вестник МГХПА, Московская государственная художественно-промышленная академия имени С.Г. Строганова. – МГХПА, 2019. – № 4, ч.2, с. 318-325

21. Манцевич А.Ю., Стор И.Н., Иванов В.В., Груздева М.А. Формообразование в графическом дизайне на основе бионического метода. Декоративное искусство и предметно-пространственная среда // Вестник МГХПА, Московская государственная художественно-промышленная академия имени С.Г. Строганова. – МГХПА, 2020, №2, ч.1. С.344...351.

22. Дмитриев Ю.А., Петрухин А.Б., Хартанович К.В., Чистяков М.С. "Цифровизация" текстильной отрасли экономики // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 1. С.15...19.

23. Кузьмичев В.Е., Москвин А.Ю., Москвина М.В. Моделирование цифровых двойников модных исторических фигур // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 1. С.144...150.

24. Кащеев О.В., Полтавкина Г.В. Индустрия моды: рекламные и PR-технологии продвижения бренда в интернет-торговле // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 2. С.180...185.

REFERENCES

1. Regina Turbina. Tsifrovaya odezhda budushchego: 5 tezisov ot uchastnitsy Summit Z8 Reginy Turbinoy: [Elektronnyy resurs]. 2020. URL: <https://daily.afisha.ru/brain/16812-cifrovaya-odezhda-budushchego-5-tezisov-ot-uchastnitsy-summit-z8-reginy-turbinoy/> (Data obrashcheniya: 11.05.2021).

2. Tat'yana Strukova. Plat'e dlya korolya. Tsifrovuyu odezhdu prodavut real'nym lyudyam: [Elektronnyy resurs]. 2019. URL: <https://360tv.ru/news/tekst/plate-dlja-korolja/> (Data obrashcheniya: 11.05.2021)

3. Pavel Chuykin. Tsifrovaya odezhda: vremennaya moda, eksperimenty s vneshnost'yu ili neobkhodimost' budushchego?: [Elektronnyy resurs]. 2020. URL: <https://kanobu.ru/articles/tsifrovaya-odezhda-vremennaya-moda-eksperimentyi-svneshnostyu-ili-neobkhodimost-budushchego-375158/> (Data obrashcheniya: 09.05.2021)

4. Anna Eliseeva. Didzhital-garderob: Kto i zachem delaet virtual'nuyu odezhdu: [Elektronnyy resurs]. 2021. URL: <https://www.wonderzine.com/wonderzine/style/style/256255-digital-fashion> (Data obrashcheniya: 09.05.2021)

5. Vikipediya. Virtual'naya odezhda: [Elektronnyy resurs]. 2021. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Virtual'naya_odezhda (Data obrashcheniya: 09.05.2021)

6. Tat'yana Timofeeva. Didzhital garderob. Virtual'naya odezhda – novaya real'nost': [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.shoppingschool.ru/articles/virtualnaya-odezhda-novaya-realnost.html> (Data obrashcheniya: 08.05.2021)

7. Tsifrovaya moda: budushchee fashion-industrii ili kratkosrochnnyy trend?: [Elektronnyy resurs]. 2021. URL: <https://blog.fashionfactoryschool.com/blog/obzor-rynka/obzory/583-czifrovaya-moda-budushchee-fashion-industrii-ili-kratkosrochnnyij-trend> (Data obrashcheniya: 08.05.2021)

8. Nikolay Udintsev. The Sims v real'noy zhizni: Vse o tsifrovoy odezhde, novom trende instagrama Kto i kak ee delaet, a glavnoe — komu eto nuzhno: [Elektronnyy resurs]. 2020. URL: https://www.the-village.ru/service-shopping/industry/376653-chto-takoe-tsifrovaya-odezhda?from=infinite_scroll (Data obrashcheniya: 09.05.2021)

9. Affect Group. Sustainable fashion: chto eto takoe i pochemu eto vazhno: [Elektronnyy resurs]. 2019. URL: <https://vc.ru/marketing/88355-sustainable-fashion-chto-eto-takoe-i-pochemu-eto-vazhno> (Data obrashcheniya: 11.05.2021)

10. Alina Malyutina. Chto takoe virtual'naya odezhda i smozhet li ona zamenit' real'nuyu: [Elektronnyy resurs]. 2020. URL: <https://style.rbc.ru/items/5ee785719a7947132959ec3f> (Data obrashcheniya: 10.05.2021)

11. Ol'ga Raspopova. Kto i zachem pokupaet plat'ya iz blokcheyna i digital-zhakety: [Elektronnyy resurs]. 2019. URL: <https://thecity.m24.ru/articles/913> (Data obrashcheniya: 10.05.2021)

12. Konstruirovaniye i dizayn odezhdy v Clo 3D: video uroki dlya samostoyatel'nogo obucheniya: [Elektronnyy resurs]. 2021. URL: <https://vsekursy.com/read/1170-konstruirovaniye-i-dizayn-virtualnoi-odezhdy-v-clo-3d.html> (Data obrashcheniya: 23.05.2021)

13. Igor' Vladimirov. 4 populyarnykh programmy dlya modelirovaniya odezhdy: [Elektronnyy resurs]. 2021. URL: <https://geeker.ru/education/programmy-dlya-modelirovaniya-odezhdy/> (Data obrashcheniya: 25.05.2021)

14. Polina Khovracheva. Marvelous Designer: obzor programmy dlya 3D dizaynerov: [Elektronnyy resurs]. 2020. URL: <https://procapitalist.ru/proizvodstvo/marvelous-designer-obzor-programmy-dlya-3d-dizajnerov> (Data obrashcheniya: 25.05.2021)

15. Marvelous Designer – universal'naya programma dlya trekhmernogo modelirovaniya i dizayna odezhdy: [Elektronnyy resurs]. 2013. URL: <http://nerohelp.info/159-marvelous-designer.html> (Data obrashcheniya: 26.05.2021)

16. Nastya Sotnik. Osnovatel'nitsy More Dash — o pervoy mezhdunarodnoy platforme po prodazhe virtual'noy odezhdy Dress-X: [Elektronnyy resurs]. 2020. URL: <https://theblueprint.ru/fashion/industry/platforma-dress-x-i-ar-v-mode> (Data obrashcheniya: 27.05.2021)

17. Borzunov G. I., Firsov A. V., Novikov A. N., Ivanov V. V. Kategorizatsiya izobrazheniy na osnove tsvetovykh kontrastov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, №4. S.164...167.

18. Kudryavtseva E.A., Kononova O.S., Yukhin S.S., Tsifrovaya restavratsiya i komp'yuternoe mod-

elirovanie uzornykh tkaney sredstvami informatsionnykh tekhnologiy. Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet imeni A.N. Kosygina (Tekhnologii. Dizayn. Iskusstvo), – M., 2019. S.13...22.

19. Gruzdeva M.A., Yakovleva N.B., Shestak Ya.M., Formirovanie sovremennykh kontseptsii tsifrovoy estetiki iskusstva – novyy etap evolyutsii iskusstva. Dekorativnoe iskusstvo i predmetno-prostranstvennaya sreda // Vestnik MGKhPA, Moskovskaya gosudarstvennaya khudozhestvenno-promyshlennaya akademiya imeni S.G. Stroganova. – MGKhPA, 2019, №2, ch.1. S.330...345.

20. Gruzdeva M.A., Yakovleva N.B., Shestak Ya.M., Sovremennye informatsionnye tekhnologii v tsifrovom iskusstve. Dekorativnoe iskusstvo i predmetno-prostranstvennaya sreda // Vestnik MGKhPA, Moskovskaya gosudarstvennaya khudozhestvenno-promyshlennaya akademiya imeni S.G. Stroganova. – MGKhPA, 2019. – No 4, ch.2, s. 318-325

21. Mantsevich A.Yu., Stor I.N., Ivanov V.V., Gruzdeva M.A. Formoobrazovanie v graficheskom dizayne na osnove bionicheskogo metoda. Dekorativnoe iskusstvo i predmetno-prostranstvennaya sreda // Vest-

nik MGKhPA, Moskovskaya gosudarstvennaya khudozhestvenno-promyshlennaya akademiya imeni S.G. Stroganova. – MGKhPA, 2020, №2, ch.1. S.344...351.

22. Dmitriev Yu.A., Petrukhin A.B., Khartanovich K.V., Chistyakov M.S. "Tsifrovizatsiya" tekstil'noy otrasli ekonomiki // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 1. S.15...19.

23. Kuz'michev V.E., Moskvina A.Yu., Moskvina M.V. Modelirovanie tsifrovyykh dvoynikov modnykh istoricheskikh figur // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 1. S.144...150.

24. Kashcheev O.V., Poletavkina G.V. Industriya mody: reklamnye i PR-tekhnologii prodvizheniya brenda v internet-torgovle // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 2. S.180...185.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 21.12.21.

УДК 687

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_191

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАКЕТОВ ПУХОВОЙ ОДЕЖДЫ ЗАДАННОЙ ОБЪЕМНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМЫ

COMPREHENSIVE METHODOLOGY OF AUTOMATED DESIGN OF DOWN CLOTHING PACKETS OF A GIVEN VOLUME AND SHAPE

М.А. ЧИЖИК, Е.Ю. ДОЛГОВА

M.A. CHIZHIK, E.YU. DOLGOVA

(Омский государственный технический университет)

(Omsk State Technical University)

E-mail: margarita-chizhik@rambler.ru, dolgova13@rambler.ru

В статье рассматривается методика автоматизированного проектирования пакетов одежды с несвязным наполнителем. Разработан метод моделирования отсеков пакетов заданного объема и рельефности поверхности, создано пользовательское приложение для визуализации математических (геометрических) моделей. Предложен графоаналитический метод выбора параметров пакета швейного изделия, позволяющий в зависимости от заданного суммарного термического сопротивления рассчитать массу наполнителя в отсеке и определить толщину утепляющего слоя. Приведены расчетные значения поверхностной плотности перо-пухового наполнителя для разных температур воздуха.

The article discusses the method of automated design of clothing packages with incoherent filler. A method for modeling package compartments of a given volume and surface relief has been developed, a user application has been created for visualizing mathematical (geometric) models. A graphic-analytical method for selecting the parameters of a garment package is proposed, which allows, depending on the given total thermal resistance, to calculate the mass of the filler in the compartment and determine the thickness of the insulating layer. The calculated values of the surface density of the feather-down filler for different air temperatures are given.

Ключевые слова: автоматизация проектирования, пуховая одежда, несвязный наполнитель, объемно-пространственная форма, пакет швейного изделия, суммарное термическое сопротивление.

Keywords: design automation, down clothes, non-cohesive filler, volumetric shape, garment packet, total thermal resistance.

Современные технологии швейного производства позволяют создавать пакеты швейных изделий с совокупностью признаков, максимально отвечающих требованиям и запросам потребителей. Благодаря своим высоким эксплуатационным характери-

стискам и возможности широкого варьирования параметров их формирования особое внимание в производстве одежды различного назначения заслуживают пакеты с несвязными наполнителями, в частности? перо-пуховым.



Рис. 1

Многослойность и многокомпонентность обеспечивают пакету достаточно стабильную формоустойчивость и широкий

диапазон толщин. Это дает возможность создавать изделия всех базовых силуэтов, а также множество их модификаций в зависи-

мости от назначения и модных тенденций. Доминирующая сегодня в дизайне концепция диффузии элементов различных стиливых и ассортиментных групп, а также актуальная тенденция создания комфортной, эргономичной одежды, дают возможность проектировщикам разрабатывать совершенно новые варианты решений изделий на основе полотен с использованием объемных утеплителей (рис. 1). Это не только удобная одежда для спорта и отдыха, но и комфортная городская, в том числе нарядная. Модные бренды, представляющие как люксовый сегмент, так и масс-маркет, предлагают широкий ассортимент таких изделий: пальто, куртки, жилеты, накидки, рубашки, платья, юбки, брюки, комбинезоны и т. п.

Различные конструктивные решения пакетов и технологии их соединения позволяют добиваться разнообразных фактурных поверхностей: от гладких до оригинальных рельефных (буфов, объемных рисунков, эффекта "дутости" и др.), что дает возможность экспериментировать, получать новое современное качество формальных и декоративных решений изделий [1], [2].

При проектировании пакета заданной объемно-пространственной формы в соответствии с композиционным решением модели требуется выполнить сложную научную и практическую задачу. С одной стороны, необходимо обеспечить требуемый объем и стабильность заданной формы посредством заполнения утеплителем, с другой – показатели теплозащитных характеристик пакета должны соответствовать нормативным значениям, установленным с учетом климатических условий эксплуатации одежды. Практика показывает, что зачастую при поиске ее решения специалисты опираются на имеющийся интуитивный опыт. Это неизбежно ведет к необходимости проверки полученных результатов в макетах и требует дополнительных материальных и временных затрат.

Цель работы – создание методики автоматизированного проектирования пакетов одежды заданной объемно-пространственной формы с учетом теплозащитных свойств, позволяющей существенно сокра-

тить время разработки новых моделей высокого качества.

Для проектирования пакетов с несвязным наполнителем (перо-пуховым) заданного объема и рельефности поверхности разработан метод моделирования сечений отсеков.

Традиционно пуховой пакет состоит из разделительных отсеков, которые формируются посредством соединения двух и более слоев ткани строчками или переборками (перегородками). При помещении пухового наполнителя в отсеки значительно сокращаются размеры деталей в результате изменения объемной формы пакета. Это необходимо учитывать при конструировании швейного изделия в виде специального технологического припуска (Π_T), являющегося одной из составляющих размеров деталей по чертежу, но не размеров готового изделия.

Для расчета величин припусков разработаны математические (геометрические) модели сечений отсеков, контурные линии которых представлены кривыми второго порядка [3...8].

Конструктивное решение симметричного трехслойного пакета с переборками, форма которого в продольном сечении представлена высотой отсека h_1 , шириной переборки h_2 и толщиной слоя несвязного наполнителя h_3 , показано на рис. 2.

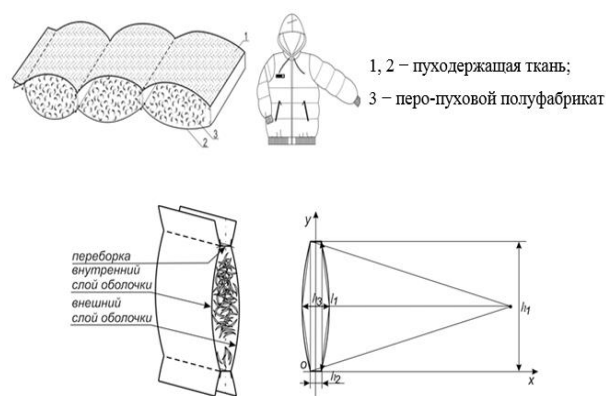


Рис. 2

Определение припуска на изменение размеров деталей сводится к вычислению разницы между высотой h_1 отсека и длиной его внешнего и внутреннего слоя ℓ_1 .

Формула для расчета длины контуров сечения разделительного симметричного

$$\ell_1 \approx 2\sqrt{\left(\frac{h_3 - h_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{h_1}{2}\right)^2} + \frac{1}{3}\left(2\sqrt{\left(\frac{h_3 - h_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{h_1}{2}\right)^2} - h_1\right).$$

Длина дуги ℓ_1 позволяет вычислить припуск на изменение размеров деталей после наполнения пакета несвязным наполнителем.

На рис. 3 представлена схема сечения асимметричной конструкции трехслойного пакета с переборками, где припуски вычисляются для каждого из слоев материала.

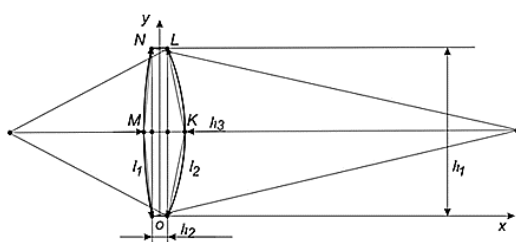


Рис. 3

Исходными данными при моделировании сечения отсека данной конструкции являются: высота отсека h_1 , ширина переборки h_2 , толщина слоя наполнителя h_3 и соотношение $\ell_1/\ell_2 = k$, где ℓ_1 и ℓ_2 – длина внутреннего и внешнего слоя отсека пакета соответственно.

Длина хорды MN определяется по формуле:

$$MN = \sqrt{\left(\frac{h_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{k}{k+1}(h_3 - h_2)\right)^2}.$$

Аналогично рассчитывается длина хорды KL.

Длина дуги ℓ_1 вычисляется по формуле:

$$\ell_1 \approx 2MN + \frac{1}{3}(2MN - h_1).$$

отсека ℓ_1 представлена в следующем виде:

Аналогичным образом определяются длина дуги ℓ_2 .

На рис. 4 показана схема сечения отсека четырехслойного пакета с несвязным наполнителем.

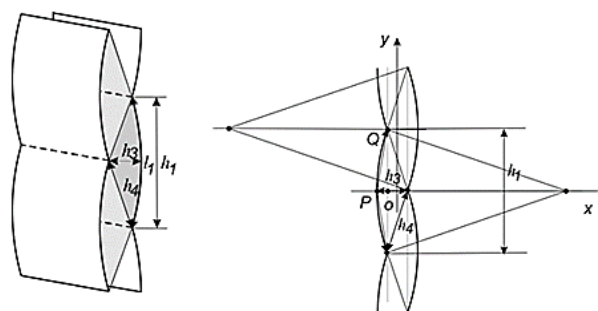


Рис. 4

Для данного случая длина хорды PQ рассчитывается по формуле:

$$PQ = \sqrt{\left(\frac{h_1}{2}\right)^2 + \left(h_3 - \sqrt{h_4^2 - \left(\frac{h_1}{2}\right)^2}\right)^2},$$

где h_4 – длина промежуточного слоя.

Длина дуги ℓ_1 определяется формулой:

$$\ell_1 \approx 2PQ + \frac{1}{3}(2PQ - h_1).$$

Входными данными алгоритма для пакетов симметричных конструкций являются величины параметров пакета (табл. 1).

Таблица 1

Наименование параметра	Условное обозначение	Интервал, мм
Высота отсека	h_1	110...170
Ширина переборки	h_2	5...30
Толщина слоя наполнителя	h_3	7...25
Длина промежуточного слоя (в четырехслойном пакете)	h_4	60...100

На рис. 5 представлена последовательность выполнения методики в виде алгоритмов вычисления припусков для асимметричных пакетов, где отношение l_1/l_2 является одним из основных входных параметров алгоритма.

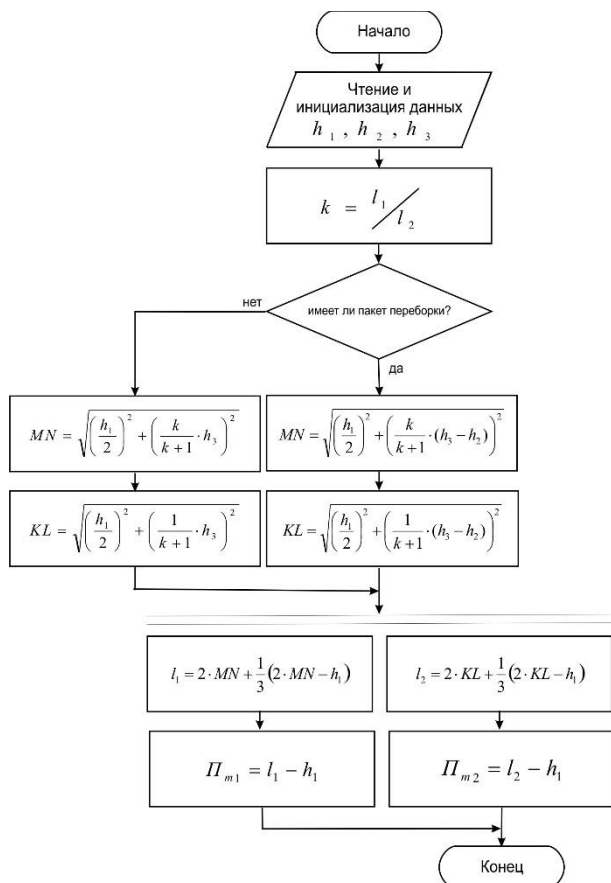


Рис. 5

Определение длин дуг l_1, l_2 позволяет установить припуски на увеличение длины внутреннего Π_{T1} и внешнего Π_{T2} слоев материала. Предложенные алгоритмы позволяют производить расчет припусков на изменение размеров деталей пухового пакета в процессе его изготовления с учетом конструкции.

Для реализации метода создано пользовательское приложение "Моделирование конструктивно-технологических решений пакетов швейных изделий", которое позволят выполнять визуализацию математических (геометрических) моделей сечений слоев пакета и проектировать специальные технологические припуски в автоматизированном режиме. Приложение предоставляет пользователю возможность оценить

входные данные и внести необходимые изменения при неудовлетворенности результатами. Выходные данные в виде информации о величинах значений припусков, результатов математического (геометрического) моделирования могут сохраняться для возможного дальнейшего использования.

Проверка статистических гипотез об адекватности моделей сечений пакетов показала, что с доверительной вероятностью 90% построенные сечения адекватны.

Отсеки пакета в изделии с несвязным наполнителем могут иметь различные размеры и форму. Высота отсека и длина промежуточного слоя зависят от художественного замысла, а толщина слоя несвязного наполнителя, главным образом, определяется его количеством, необходимым для обеспечения требуемых теплозащитных свойств.

Для определения количества несвязного наполнителя предлагается автоматизированный способ выбора параметров пакета швейного изделия, суть которого заключается в построении графоаналитической модели, устанавливающей зависимость суммарного термического сопротивления ($R_{\text{сум}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$) от поверхностной плотности наполнителя (M_s , $\text{г}/\text{м}^2$) и температуры воздуха окружающей среды (T_b , $^{\circ}\text{C}$) [9...12].

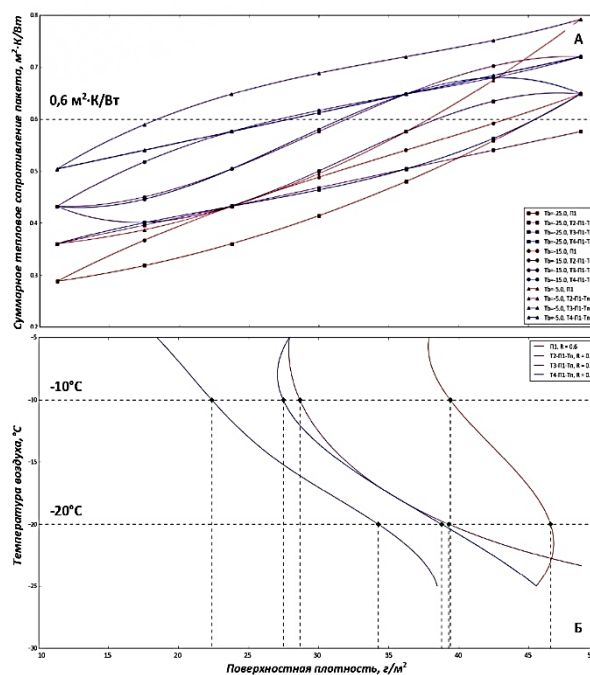


Рис. 6

В качестве примера рассмотрим многомерную геометрическую модель (рис. 6), построенную по результатам экспериментальных исследований перо-пуховых пакетов трех- и пятислойных конструкций.

Для их изготовления выбраны современные материалы, применяемые при производстве пуховых изделий: курточные полиэфирные ткани различной поверхностной плотности (57...100 г/м²) и толщины (0,08...0,14 мм); подкладочная ткань из полиэфирных нитей; гусиный перо-пуховой наполнитель с соотношением пера/пуха (15/85%). Формирование пакетов осуществлялось путем комбинации тканей и изменения количества наполнителя (от 7,0 до 50,0 г/м²). Толщина перо-пухового слоя отсека устанавливалась экспериментально в зависимости от количества наполнителя.

Определение суммарного термического сопротивления пакетов с несвязным напол-

нителем осуществлялось в стандартных условиях ($T = 20 \pm 2$ °С) и при низких температурах (-5 °С, -15 °С, -25 °С, скорость ветра 5...10 м/с) [12].

Исходными данными для построения модели являлись: поверхностная плотность наполнителя (M_s , г/м²), суммарное термическое сопротивление пакета ($R_{\text{сум}}$, м²·К/Вт) при заданной температуре окружающей среды (T_b , °С).

На рис. 6 верхняя часть геометрической модели отражает изменения суммарного термического сопротивления в зависимости от варьируемых параметров (рис. 6 (А)), нижняя часть – определение количества наполнителя для заданных значений $R_{\text{сум}}$ и температуры (рис. 6 (Б)).

В табл. 2 приведены расчетные значения поверхностной плотности и толщины слоя перо-пухового наполнителя для различных значений температуры воздуха.

Т а б л и ц а 2

Суммарное термическое сопротивление пакета, м ² ·К/Вт	Температура воздуха, °С	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина слоя наполнителя, мм	Конструкция пакета
0,4	-5	14,7	7,0	трехслойная
	-10	16,4	7,0	
0,5	-10	30,6	10,0	трехслойная
		9,7...13,1	5,0	пятислойная
0,5	-15	33,9	10,0	трехслойная
		12,5...20,0	7,0	пятислойная
0,6	-15	40,0	15,0	трехслойная
		20,8...30,0	10,0	пятислойная
	-20	45,8	20,0	трехслойная
		34,0...38,1	15,0	пятислойная
	-25	49,44	20,0	трехслойная
		38,9...43,9	15,0	пятислойная

Полученная с использованием специально разработанных базы данных и компьютерной программы модель позволяет рассчитать поверхностную плотность наполнителя для обеспечения требуемых значений теплозащитных свойств. Достоверность результатов подтверждается корректным применением выбранного геометрического (математического) аппарата, а также соответствием смоделированных параметров и показателей, для которых проводились эксперименты, реальным их значениям.

В Ы В О Д Ы

1. Разработана методика автоматизированного проектирования пакетов одежды заданной объемно-пространственной формы с учетом конструкции и теплозащитных свойств, включающая:

- моделирование сечений отсеков пакетов с несвязным наполнителем заданного объема и рельефности поверхности;

- расчет припусков на изменение размеров деталей с использованием математических моделей сечений отсеков;

– определение количества несвязного наполнителя для различных значений температуры воздуха.

2. Практическая значимость методики заключается в сокращении временных и материальных ресурсов за счет максимальной автоматизации проектирования новых изделий высокого качества и подтверждена промышленной ее апробацией и программного обеспечения в условиях серийного и индивидуального производства пуховой одежды на предприятиях Сибирского федерального округа. Полученные результаты с использованием методики являются научно обоснованными и могут быть использованы при решении задач рационального формирования пакетов как с перо-пуховым наполнителем, так и аналогичных им объектов, а также выборе режимов работы оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. At Moncler, 8 Geniuses Reimagine Classic Outerwear [Электронный ресурс] Онлайн-версия журнала о моде и дизайне. Режим доступа: <https://www.vogue.com/article/moncler-genius-project-2018-video> (дата обращения 29.05.2021).

2. Isn't It Genius? Moncler Will Smarten Up Your Fall Wardrobe [Электронный ресурс] Онлайн-версия журнала о моде и дизайне. Режим доступа: <https://www.vogue.com/article/moncler-genius-collection-fall-fashion> (дата обращения 29.05.2021).

3. Бекмурзаев Л. А., Паченцева С. Г., Медведева Н. Г. Расчет геометрических параметров объемных пакетов теплозащитной одежды. // Мат. 3-й Междунар. научн.-техн. конф.: Новые технологии управления движением технических объектов. – Новочеркасск, 2000. Т. 2. С. 113...117.

4. Бекмурзаев Л.А., Назаренко Е.В., Алейникова О.А. Новое направление в проектировании пуховой одежды // Швейная промышленность. – 2006, № 2. С. 48...49.

5. Тунгусова Н. А. Методика автоматизированного расчета конструктивных прибавок на основе геометрического моделирования тела человека и теплозащитной одежды // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – Новосибирск, 2008, № 2 (31). С. 191...196.

6. Тунгусова Н.А., Чижик М.А., Юрков В.Ю. Математическое моделирование контуров горизонтальных сечений фигуры человека с использованием составных кусочно-квадратичных кривых // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – Новосибирск, 2009, № 2 (35). С. 33...42.

7. Бекмурзаев Л.А., Денисова Т.В., Назаренко Е.В., Кузнецова И.Ю. Проектирование рациональной конструкции теплозащитных пакетов с отсеками оптимальной геометрии // Естественные и технические науки. – 2014, № 1 (69). С. 276...278.

8. Колесник С. А., Ширинов Е. Е., Богданов В. Ф., Бринк И. Ю. Исследование реологических характеристик образцов несвязного композиционного утеплителя на основе компонент гусиный пух/шерсть // Мат. Всерос. научн.-практ. конф. с междунар. участ.: Легкая промышленность и сфера сервиса: проблемы и перспективы. – Омск, 2020. С. 31...34.

9. Yakovenko K., V. Volkov. Construction of multi-dimensional ruled surface // Geometry and graphics: Proceeding of 7th conference. – Ustron, Poland, 2011. P. 63...65.

10. Юрков В. Ю. Математическое моделирование линейчатых моноидальных гиперповерхностей // Омский научный вестник. – Омск, 2015, № 2 (140). С. 5...7.

11. Chijik M. A, Yurkov V. Yu., Dolgova E. Yu. Geometric models of multi-parametric technological processes for estimation some inverse control problems [Electronic resource] // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics-2020) – Омск, 2020. DOI : 10.1088/1742-6596/1791/1/012043 / Journal of Physics : Conf. Series 2021, 1791(1), 012043.

12. Пат. на изобретение № 2527314 Российская Федерация, МПК G01N 25/18. Способ определения теплозащитных свойств материалов и пакетов одежды / Чижик М.А., Долгова Е.Ю., Иванцова Т.М., заявитель и патентообладатель Омский гос. ин-т сервиса. – Заявл. 19.12.2012.

REFERENCES

1. At Moncler, 8 Geniuses Reimagine Classic Outerwear [Elektronnyy resurs] Onlayn-versiya zhurnala o mode i dizayne. Rezhim dostupa: <https://www.vogue.com/article/moncler-genius-project-2018-video> (data obrashcheniya 29.05.2021).

2. Isn't It Genius? Moncler Will Smarten Up Your Fall Wardrobe [Elektronnyy resurs] Onlayn-versiya zhurnala o mode i dizayne. Rezhim dostupa: <https://www.vogue.com/article/moncler-genius-collection-fall-fashion> (data obrashcheniya 29.05.2021).

3. Bekmurzaev L.A., Pachentseva S.G., Medvedeva N. G. Raschet geometricheskikh parametrov ob'emnykh paketov teplozashchitnoy odezhdy. // Mat. 3-y Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.: Novye tekhnologii upravleniya dvizheniem tekhnicheskikh ob'ektov. – Novocherkassk, 2000. T. 2. S. 113...117.

4. Bekmurzaev L. A., Nazarenko E. V., Aleynikova O. A. Novoe napravlenie v proektirovanii pukhovoy odezhdy // Shveynaya promyshlennost'. – 2006, № 2. S.48...49.

5. Tungusova N. A. Metodika avtomatizirovannogo rascheta konstruktivnykh pribavok na osnove geometricheskogo modelirovaniya tela cheloveka i tep-

lozashchitnoy odezhdy // Nauchnyy vestnik Novo-sibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – Novosibirsk, 2008, № 2 (31). S. 191...196.

6. Tungusova N. A., Chizhik M. A., Yurkov V. Yu. Matematicheskoe modelirovanie konturov gorizontaln'nykh secheniy figury cheloveka s ispol'zovaniem sostavnykh kusochno-kvadraticnykh krivykh // Nauchnyy vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – Novosibirsk, 2009, № 2 (35). S. 33...42.

7. Bekmurzaev L.A., Denisova T.V., Nazarenko E.V., Kuznetsova I.Yu. Proektirovanie ratsional'noy konstruktssii teplozashchitnykh paketov s otekami optimal'noy geometrii // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2014, № 1 (69). S. 276...278.

8. Kolesnik S. A., Shirshov E. E., Bogdanov V. F., Brink I. Yu. Issledovanie reologicheskikh kharakteristik obraztsov nesvyaznogo kompozitsionnogo uteplitelya na osnove komponent gusinyu pukh/sherst' // Mat. Vseros. nauchn.-prakt. konf. s mezhdunar. uchast.: Legkaya promyshlennost' i sfera servisa: problemy i perspektivy. – Omsk, 2020. S. 31...34.

9. Yakovenko K., V. Volkov. Construction of multidimensional ruled surface // Geometry and graphics:

Proceeding of 7th conference. – Ustron, Poland, 2011. P.63...65.

10. Yurkov V. Yu. Matematicheskoe modelirovanie lineychatykh monoidal'nykh giperpoverkhnostey // Omskiy nauchnyy vestnik. – Omsk, 2015, № 2 (140). S. 5...7.

11. Chijik M. A., Yurkov V. Yu., Dolgova E. Yu. Geometric models of multi-parametric technological processes for estimation some inverse control problems [Electronic resource] // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics-2020) – Omsk, 2020. DOI : 10.1088/1742-6596/1791/1/012043 / Journal of Physics : Conf. Series 2021, 1791(1), 012043.

12. Pat. na izobretenie № 2527314 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G01N 25/18. Sposob opredeleniya teplozashchitnykh svoystv materialov i paketov odezhdy / Chizhik M.A., Dolgova E.Yu., Ivantsova T.M., zayavitel' i patentoobladatel' Omskiy gos. in-t servisa. – Zayavl. 19.12.2012.

Рекомендована кафедрой КТИЛП. Поступила 22.04.22.

УДК 687.157.016

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_198

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗ ДАННЫХ И СУБД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АССОРТИМЕНТА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОДЕЖДЫ

USING DATABASES AND DBMS IN DESIGNING OF WORKWEAR ASSORTMENT

И.А. ГАДЖИБЕКОВА

I.A. GADZHIBEKOVA

(Дагестанский государственный технический университет)

(Dagestan State Technical University)

E-mail: naina.92@mail.ru

Статья посвящена поиску способов повышения эффективности процессов хранения больших массивов информации и направленных выборок при проектировании ассортимента производственной одежды. Показано, что существующие информационные технологии с использованием специальных программных комплексов "Системы управления базами данных" (СУБД) приводят к разделению данных и интерпретации. Автором предложена трехуровневая архитектура СУБД (инфологический, даталогический и физический уровни), которая позволяет обеспечить независимость хранимых данных от использующих их программ, а следовательно, и развитие системы баз данных без разрушения существующих приложений.

The article is aimed at finding ways to improve the efficiency of the processes of storing large amounts of information and directed samples when designing workwear assortment. It is shown that existing information technologies with the use of special software systems "Database Management Systems" (DBMS) lead to the separation of data and interpretation. The author proposes a three-level DBMS architecture (infological, datalogical and physical levels), which makes it possible to ensure the independence of the stored data from the programs that use them, and, consequently, the development of the database system without destroying existing applications.

Ключевые слова: ассортимент, производственная одежда, база данных, программа для ЭВМ, модель данных, технология, программный комплекс, нормируемые характеристики.

Keywords: assortment, workwear, database, computer program, data model, technology, software package, normalized characteristics.

Процесс функционирования ассортимента производственной одежды (ПО) от момента его создания до выхода из строя под воздействием факторов эксплуатации можно представить в виде последовательности большого количества разных, хотя часто и взаимосвязанных, событий. Эффективное моделирование этого процесса при проектировании ассортиментных групп ПО для предприятий различных отраслей промышленности предполагает необходимость оперативного получения поэтапной выборочной информации. Наиболее эффективное описание событий функционирования ассортимента ПО возможно с помощью данных, зафиксированных с помощью конкретных средств на конкретном носителе совместно с их интерпретацией (семантикой), при этом данные и семантика обычно разделены. Так, товарный ассортимент производственной одежды фирмы (то есть тот ряд моделей, которым располагает конкретная фирма для обеспечения заказов предприятий) может быть представлен в виде таблицы, в верхней части которой (отдельно от данных) приводится их интерпретация. Такое разделение не может не сказаться отрицательным образом на работе с данными. Получение оперативной информации из нижней части таблицы традиционным способом весьма затруднительно, и это при том, что в таблице представлена лишь небольшая часть данных о товарном ассортименте фирмы. Обычно модельный

ряд фирмы-производителя одежды насчитывает более 200 коллекционных единиц, каждая из которых описывается 8-ю объективными характеристиками и не менее чем 10-ю субъективными характеристиками. Если при этом необходимо сделать направленную выборку моделей для конкретного заказа, то есть, например, выбрать мужские всесезонные костюмы, защищающие от жидкости, а именно от кислот концентрацией до 50%, то на это потребуется значительное время. Таким образом, вполне закономерным явился поиск способов повышения эффективности процессов хранения больших массивов информации и направленных выборок при проектировании ассортимента ПО.

В первых работах, посвященных разработке ассортимента производственной одежды [1], для решения поставленной задачи использовались ЭВМ, которые не обладали достаточными возможностями для обработки интерпретации данных, так, ограниченный объем памяти мог быть использован только для хранения самих данных, используемые языки программирования не позволяли вводить семантику, и, следовательно, ЭВМ имела дело с данными как таковыми, а интерпретация полностью возлагалась на пользователя. Применение таких способов введения и обработки данных приводило к еще большему разделению данных и интерпретации. Большая часть интерпретирующей информации во-

обще не фиксировалась в явной форме. В качестве положительного момента следует отметить, что в первых работах по функционированию ассортимента ПО интерпретация закладывалась в программу, которая

"знала", например, что седьмое вводимое значение связано с группой базовых конструкций (табл. 1 – фрагмент товарного ассортимента ПО фирмы).

Т а б л и ц а 1

Интерпретация							
Номер модели	Защитная группа	Конкретизация защиты от ОВПФ	Сезонность	Вид изделия	Половозрастное назначение	Группа базовой конструкции	Стоимость модели, руб
Данные							
106	Тн+Ж	НмВи	У	Костюм	М	Пут(17-21//7,5)	750
115	ПЗ	ПЗ	В	Куртка	М	Пвс(12-15//3,5)	450
116	ПЗ	ПЗ	В	Куртка	Ж	Пвс(12-15//3,5)	400
44	Ж	НмВиЭс	В	Костюм	М	Пвс(12-15//3,5)	800

Появление специальных программных комплексов "Системы управления базами данных" (СУБД) привело к качественному скачку в оперативном управлении непрерывно растущим объемом информации в сфере всего жизненного цикла ассортимента ПО. Основная особенность СУБД – это наличие процедур для ввода и хранения не только самих данных, но и описаний их структуры. Файлы, снабженные описанием хранимых в них данных и находящиеся под

управлением СУБД, являются "Базами данных". Так, например, если требуется хранить информацию о товарном ассортименте моделей производственной одежды фирмы и ряд других данных, связанных с функционированием ассортимента ПО на предприятии в БД "Ассортимент", разработанной в Microsoft Access, подготовлено и введено вместе с данными в БД следующее описание ассортимента:

СОЗДАТЬ ТАБЛИЦУ Товарный_ассортимент_моделей_ПО

(Номер_модели Целое
 Защитная_группа Текст (7)
 Конкретизация_защиты_от_ОВПФ Текст (10)
 Сезонность Текст (1)
 Вид_изделия Текст (14)
 Половозрастное_назначение Текст(1)
 Группа_базовой_конструкции Текст (14)
 Стоимость_модели (Валюта).

Основными инструментами СУБД или, иначе говоря, средствами управления данными, являются структурированные запросы и запросы по образцу. Создание запросов способствует выбору оптимального варианта решения задачи. Язык запросов позволяет обращаться за данными, как из программ, так и с терминалов. Сформиро-

вав соответствующий запрос, то есть задав условия отбора соответствующей информации в бланк запроса, можно оперативно получить выборку из товарного ассортимента ПО, например, все изделия для защиты от жидкостей, с конкретизацией "защита от нефтяных масел", стоимостью не выше 1500 рублей:

ВЫБРАТЬ Номер_модели, Вид_изделия, Группа_базовой_конструкции
 ИЗ ТАБЛИЦЫ Товарный_ассортимент_моделей_ПО
 ГДЕ Защитная_группа = 'Ж'

И Конкретизация_защиты_от_ОВПФ = 'Нм'

И Стоимость_модели < 1500.

Этот запрос не потеряет актуальности и при расширении таблицы:

ДОБАВИТЬ В ТАБЛИЦУ Товарный_ассортимент_моделей_ПО

Минимальное_количество_изделий_в_партии Целое;

Связь программ и данных при использовании СУБД представлены на рис. 1.



Рис. 1

Первым этапом проекта баз данных, повышающих эффективность разработки любых ассортиментных групп ПО, является анализ информационного поля – предметной области, характеризующей разрабатываемый объект, и выявление требований к ней. Весьма подробно этот этап представлен в работе Б.Э.Таштобаевой [2]. Объединив частные представления отдельных пользователей о содержимом базы данных, полученные в результате опроса пользователей и свои представления о данных, которые могут потребоваться в будущих приложениях, автором сделано предположение о существовании объективных и субъективных характеристик, описывающих каждое изделие ПО отдельно и весь ассортимент в целом [3]. На этом предположении построена теория разработки ассортимента ПО с соответствующей классификацией, которая используется и в настоящее время. Вторым этапом проекта является создание инфологической модели данных – обобщенное, неформальное описание БД с использованием естественного языка, математических формул, таблиц, графиков и других доступных средств. Здесь необходимо отметить, что

корректное создание инфологической модели обеспечивает ее стабильность, то есть эта модель продолжает отражать предметную область до тех пор, пока изменения в реальном мире не потребуют изменения в ней. После разработки инфологической модели она должна быть описана на языке соответствующей СУБД в результате чего создается даталогическая модель данных, а нужные данные отыскиваются СУБД на внешних запоминающих устройствах по физической модели. Подробно даталогическая и физическая модель данных представлены при описании базы данных "Отраслевой ассортимент" [4].

Трехуровневая архитектура СУБД (инфологический, даталогический и физический уровни), представленная на рис. 2, позволяет обеспечить независимость хранимых данных от использующих их программ, а следовательно, и развитие системы баз данных без разрушения существующих приложений.



Рис. 2

Все, разработанные до настоящего времени, базы данных внесли существенный вклад в теорию ассортимента и ассортиментных групп ПО и принципиально сократили сроки и повысили качество разработок. Однако до настоящего времени при

разработке соответствующих БД не разрабатывалась инфологическая модель, а имелись попытки перейти от информационного поля через теоретическое обоснование к даталогической и физической моделям.

Этот факт не мог не сказаться на отсутствии отражения ряда существенных событий информационного поля в содержании баз данных. К таким событиям в первую очередь следует отнести наличие Типовых отраслевых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, утвержденных Министерством труда и социального развития РФ и обязательных для исполнения на всех предприятиях России [5]. При всех имеющихся недостатках "Нормы" охватывают все профессии и должности каждой отрасли экономики, имеют хорошо прослеживаемую структуру и, соответственно, именно они могут являться основой для разработки ассортиментных групп ПО любых предприятий или организаций. Построение инфологической модели БД "Отраслевой ассортимент" позволило выявить и массив другой, неучтенной в предыдущих БД, информации [6].

ВЫВОДЫ

Соблюдение всех этапов разработки, а, следовательно, ввод минимально-достаточного количества структурированной и кодированной информации и использование возможностей современных СУБД, позволили разработать БД и программу для ЭВМ "Отраслевой ассортимент" обеспечивающих оперативный выбор из предлагаемого ассортимента фирм изделий ПО наиболее полно соответствующих нормируемым характеристикам и условиям эксплуатации [7], [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Сурженко Е.Я., Хлебникова Е.Л., Максимов В.А. Методы анализа проектных ситуаций при планировании разработок спецодежды // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1985, №4. С.73...77.
2. Таитобаева Б.Э. Разработка принципов формирования рациональной структуры ассортимента

производственной одежды: Дис....канд. техн. наук. – СПб., 1998. С. 171...179.

3. Гаджибекова И.А. Разработка информационно-логической модели процесса формирования ассортимента производственной одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 4. С. 178...181.

4. Свидетельство об офиц. рег. базы данных «Отраслевой ассортимент». Рос. Федерация № 2006620178 / Еаджибекова И.А., Е.Я.Сурженко. Заявл. 13. 03. 2006. Оpubл. 20.06.2006 г.

5. Правила обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты. Нормы бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты. Ч. 1. – СПб.: Ц,ОТПБСП, 2003.

6. Гаджибекова И.А. Тагирова Ф.В. Применение информационных технологий при разработке ассортимента производственной одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №3. С. 141...145.

7. Свидетельство об офиц. рег. базы данных «Нормируемые характеристики производственной одежды». Рос. Федерация № 2016620826; заявл. 21.04.2016 г.; опубл. 20.06.2016 г.

8. Свидетельство о гос. рег. прогр. для ЭВМ «Автоматизированная система выбора производственной одежды». Рос. Федерация № 2018611521; заявл. 06.12.2017г.; опубл. 02.02.2018 г.

REFERENCES

1. Surzhenko E.Ya., Khlebnikova E.L., Maksimov V.A. Metody analiza proektnykh situatsiy pri planirovani razrabotok spetsodezhdy // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 1985, №4. S.73...77.
2. Tashtobaeva B.E. Razrabotka printsipov formirovaniya ratsional'noy struktury assortimenta proizvodstvennoy odezhdy: Dis....kand. tekhn. nauk. – SPb., 1998. S. 171...179.
3. Gadzhibekova I.A. Razrabotka informatsionno-logicheskoy modeli protsessa formirovaniya assortimenta proizvodstvennoy odezhdy // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 4. S. 178...181.
4. Svidetel'stvo ob ofits. per. bazy dannykh «Otrasleyvoy assortiment». Ros. Federatsiya № 2006620178 / Eadzhibekova I.A., E.Ya.Surzhenko. Zayavl. 13. 03. 2006. Opubl. 20.06.2006 g.
5. Pravila obespecheniya rabotnikov spetsial'noy odezhday, spetsial'noy obuv'yu i drugimi sredstvami individual'noy zashchity. Normy besplatnoy vydachi spetsial'noy odezhdy, spetsial'noy obuvi i drugikh sredstv individual'noy zashchity. Ch. 1. – SPb.: Ts,OTPBSP, 2003.
6. Gadzhibekova I.A. Tagirova F.V. Primenenie informatsionnykh tekhnologiy pri razrabotke assortimenta proizvodstvennoy odezhdy // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, №3. S. 141...145.

7. Svidetel'stvo ob ofits. per. bazy dannykh «Normiruemye kharakteristiki proizvodstvennoy odezhdy». Ros. Federatsiya № 2016620826; zayavl. 21.04.2016 g.; opubl. 20.06.2016 g.

8. Svidetel'stvo o gos. per. progr. dlya EVM «Avtomatizirovannaya sistema vybora proizvodstvennoy odezhdy». Ros. Federatsiya № 2018611521; zayavl. 06.12.2017g.; opubl. 02.02.2018 g.

Рекомендована кафедрой технологии пищевых производств, общественного питания и товароведения. Поступила 05.0.21.

УДК 677.055

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_204

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ АГРЕГАТОВ

MODELING TECHNOLOGY OF HIGH-PRECISION UNITS ASSEMBLE

Л.Ю. РУДНЕВА, М.С. КОРНЕЕВ, И.Б. БАЕВ

L.YU. RUDNEVA, M.S. KORNEYEV, I.B. BAYEV

(МИРЭА - Российский технологический университет, Москва)

(MIREA - Russian Technological University, Moscow)

E-mail: rudnewal@list.ru

Сложные высокоточные изделия больших технологических систем (БТС) имеют существенное рассеяние показателей качества. Они могут быть усовершенствованы на заключительном этапе на основе выбора оптимальных решений за счет моделирования технологических процессов сборки.

Complex precision machinery products of Big Technological Systems (BTS) have instability of product quality. The latter must be improved on the final stage of manufacturing products based on the selection of optimal solutions by simulating assembly technological processes.

Ключевые слова: сборка, моделирование, технологический процесс, алгоритмы.

Keywords: assembly, modeling, technological process, algorithms.

Цель

Определение взаимосвязи параметров на этапе разработки высокоточных агрегатов для текстильной промышленности – этапе научно-исследовательских работ или предпроектных стадиях – позволит сократить сроки проектирования новых операционных технологических систем (ОТС) и провести модернизацию существующих

ОТС на соответствующих предприятиях, а также сократить срок подготовки сборочного производства в среднем на 2...3 года.

Актуальность

Вопросам сборки прецизионных изделий уделяли внимание такие ученые, как: А.М. Дальский, В.С. Корсаков, Б.С. Балакшин, А.А. Гусев, И.В. Венцлавский, М.Д. Солодов.

До настоящего времени некоторые вопросы моделирования при проектировании и конструировании ОТС, СТО и средств контроля параметров приборов при сборке агрегатов для текстильных производств не были рассмотрены. В работах [1], [2] рассматривались вопросы выбора и создания логических схем алгоритмов и математических моделей контрольно-испытательной аппаратуры (КИА) и оборудования применительно к изготовлению прецизионных изделий.

В статье [13] рассматривается рабочий процесс от проектирования до изготовления трикотажных мембранных оболочек с непрерывной машинной вязкой в качестве основного растягивающего элемента. В работе [14] можно найти доказательства того, что текстильная промышленность требует выполнения операций высокой точности, особенно в трехмерном текстиле, который должен обладать необходимыми характеристиками после выполненной обработки.

Различные процессы, протекающие совместно с процессом обработки текстильного материала, могут влиять на качество выпускаемой продукции. Например, в статье [15] показана корреляция между адгезией и химическими характеристиками агрегатов с ЧПУ, а в работе [16] демонстрируется влияние мощности генерируемой энергии на качество раскройки текстильных волокон.

Необходимые и трудно получаемые характеристики выпускаемых изделий можно получить только на прецизионном оборудовании, которое в свою очередь должно быть грамотно спроектировано.

Потребность в отыскании оптимальных решений в области технологии и организации текстильного производства, в сборке высокоточных изделий при часто сменяемой номенклатуре приборов, выпускаемых небольшими сериями. Сроки подготовки производства при освоении сокращаются, а точность изготовления определяющих деталей (корпусы, поплавки, рамы, крышки, роторы и др.) возрастает. В связи с сокращением сроков изготовления агрегатов возникает необходимость в более

короткие сроки сравнивать, анализировать, проектировать и конструировать технологическое оборудование текстильной промышленности и средства контроля. Сокращение сроков подготовки производства при обеспечении требуемого уровня, качества выпускаемой продукции можно обеспечить различными методами, в том числе за счет моделирования технологии.

Введение

Сборочные производства высокоточных текстильных агрегатов на современных приборостроительных предприятиях представляют собой сложные организационно-технические системы и могут быть представлены в виде больших технических систем (БТС). В свою очередь такие БТС включают в себя различные операционные технологические системы (ОТС), решающие специальные задачи, например, системы раскроя материала, гравирования, формования, выполнения отделочных операций, контрольных и др. [3]. С усложнением задач, выполняемых высокоточными агрегатами, значительно возросли требования к точности СТО и существенно расширился круг вопросов по комплексному проектированию и выбору ОТС из имеющихся конструкций и решений.

Основным выходным показателем процесса сборки агрегатов является геометрическая точность обработки текстильного изделия, которая в итоге оказывает влияние на эксплуатационные свойства машин и механизмов. Особенно это касается сопрягаемых деталей, входящих в прецизионные изделия, которые изготавливаются с субмикронной точностью, таких как: роторы, турбины, с применением метода сверхскоростной обработки резанием и других высокоточных методов обработки.

Среди факторов, вызывающих геометрические погрешности при сборке прецизионных изделий, наибольшее влияние оказывают геометрические неточности деталей, поступающих на сборку, а также упругие и тепловые перемещения, происходящие во внутренних микроструктурах материалов, из которых изготавливаются детали, а также различные неточности

сборочных единиц и элементов технологической сборочной системы, связанные с несовершенством процесса производства [4].

Моделирование технологии

В вопросах моделирования при конструировании ОТС для текстильной промышленности центральное место в логическом проектировании занимает проблема развития теории синтеза оптимальных структур оборудования и СТО, имеющая три основных аспекта: алгоритмический, структурный и количественной оценки надежности [5].

Алгоритмический аспект включает задачи выявления и формализации алгоритма функционирования систем. Структурный синтез заключается в кодировании состояний систем. Количественная оценка функциональной надежности при заданных параметрах включает анализ функциональных элементов.

Анализ конструктивно-технологических характеристик изделий показал, что современные ОТС в процессе функционирования в зависимости от заданного цикла работы обеспечивают механические, электрические, оптические, электромагнитные и другие параметры сборочных единиц, приборов и прецизионных изделий.

ОТС сборки состоит, как правило, из различных подсистем и устройств. Сопряжение основных подсистем ОТС можно описать соответствующими алгоритмами. Например, при токовом обезгаживании внутренних полостей должны быть сопряжены система обогрева, вакуумная система и система контроля времени.

Технологические процессы сборки, базирующиеся на типовых СТО, включают два устройства – управляющее, то есть собственно СТО, и управляемое – объекты (сборочные единицы, агрегаты), которые подвергаются воздействиям со стороны СТО.

От управляющего устройства поступают команды, которые реализуются управляемым устройством. В свою очередь от управляемого устройства поступает осведомительная информация, которая позволяет судить о состоянии управляемого устройства и режиме работы управляющего устройства.

Управляющее устройство, например, при применении АСУТП, перерабатывает всю поступающую к нему информацию, на основании этой переработки принимает решение о том, какое требуется вмешательство в режим работы управляющего устройства (режим работы с обратной связью) [6].

Для описания алгоритмов, перерабатывающих информацию, применен математический аппарат ЛСА (логическая система алгоритмов) – конечная строка, составленная из символов рабочих операций (элементарных действий) A_i ($i = 1, 2, \dots, n$), логических операций (условий) P_j ($j = 1, 2, \dots, m$) и некоторых символов – стрелок с индексами

$$\uparrow^1, \uparrow^2, \dots, \uparrow^k, \downarrow^1, \downarrow^2, \dots, \downarrow^k,$$

таких, что для каждой стрелки \uparrow^i найдется только одна стрелка

$$\downarrow^j, A_1, P_1, \uparrow^1, A_j, P_j, \uparrow, \dots, \downarrow, A_{K-1}, \dots, \downarrow^i, A_n,$$

что означает последовательность выполнения одного оператора к выполнению другого оператора. A_i может зависеть от нескольких логических условий P_1, P_2, \dots, P_m и записывается в виде булевой функции:

$$a = a(P_1, P_2, \dots, P_m)$$

Порядок выполнения элементарного действия алгоритма A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) является однозначной функцией от значений логических условий P_j ($j = 1, 2, \dots, m$). В свою очередь логические условия изменяют значения $P_j = \{0, 1\}$ в зависимости от результатов выполнения операторов [7].

Значения логических условий в зависимости от значений результатов выполнения операторов действия A_i задавались с помощью матриц. Элементами матриц являлось множество логических условий P_j , значения которых изменялись во время цикла выполнения оператора A_i . Кроме ЛСА, для записи алгоритмов функционирования БТС и ее составных частей ОТС

использовались граф-схемы алгоритмов (ГСА).

В общем виде граф-схему БТС сборки ЧЭ можно представить как конечные множества функциональных связей между операторами в процессе функционирования.

$$A_0 P_1 \uparrow^1 A_1 \downarrow^1 P_2 \uparrow^2 A_2 \downarrow^2 P_3 \uparrow^3 A_3 \downarrow^3 P_3 \uparrow^4 A_4 \uparrow^4 P_4 \uparrow^4 A_5 \downarrow^5 P_5 \uparrow^5 A_6 \downarrow^6 P_6 \uparrow^6 A_7 \downarrow^7 P_7 \uparrow^7 A_8 \downarrow^8 P_8 \uparrow^8$$

Граф-схема алгоритма БТС сборки ЧЭ представлена на рис. 1.

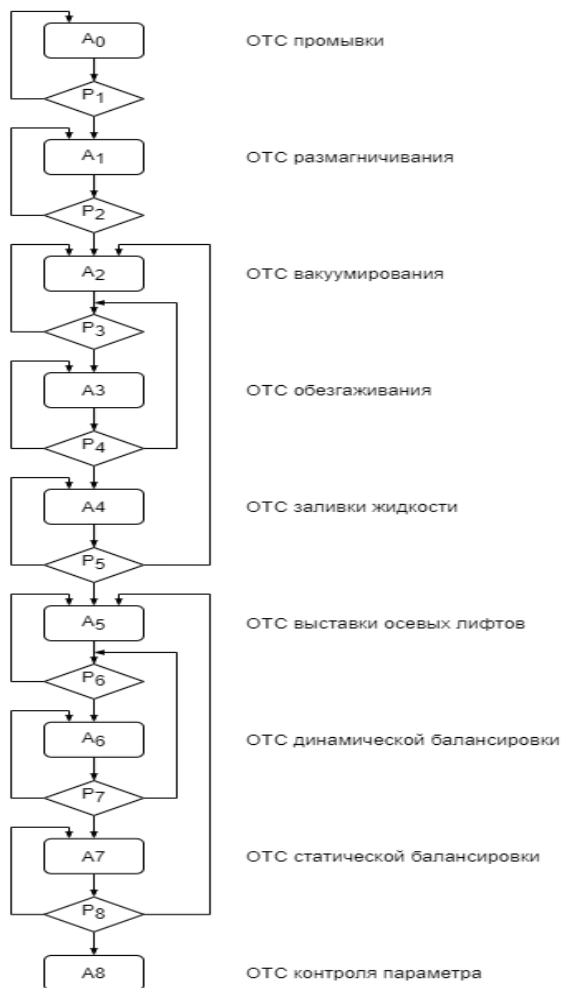


Рис. 1

С усложнением задач и технических требований к проектированию автоматизированных и механизированных систем сборки в ГСА следует ожидать только усложнения символики алгоритмов. Операторные и логические части ГСА по-прежнему будут отображать последовательность выполнения действий и команд. Таким образом, ГСА можно применять для

СТО любых классов и групп приборов и агрегатов.

Любую неизолированную операционную систему сборки можно охарактеризовать входом, внутренней структурой, определяющей протекание физико-химических процессов, и выходом, связывающим систему с внешней средой.

Вход ОТС характеризует потоки веществ, энергии и информации, поступающие в систему из внешней среды и со стороны смежных систем через каналы связи.

В управляемых системах ОТС через входные каналы поступают управляющие воздействия.

Внутренние параметры системы подразделяются на собственно параметры а операционной системы и параметры процессов р, протекающих в системе. Под собственными параметрами понимаются технические характеристики, величины, определяющие свойства материалов, а также изменения свойств исходных материалов во времени в связи с неоднородностью состава. Параметры процессов, протекающих в системе, характеризуют стационарное состояние системы (тепловое, вакуумное, напряженно-деформированное и т.д.) и стационарные процессы переноса массы, энергии и информации.

Выход системы характеризуется параметрами процессов, в которых заинтересованы потребители (точность, герметичность, дисбаланс, потребляемая мощность, сопротивление изоляции проводников и т.д.).

Если ОТС относится к разряду БТС, то в число параметров а и (з следует включить только обобщенные физические параметры, что сокращает число решаемых задач. Математическое описание операционных систем сборки позволяет наглядно представить взаимосвязь между параметрами и получить данные для прогнозирования параметров ОТС для новых приборов и агрегатов.

Были составлены модели ГСА операционных систем применительно к сборке ЧЭ по входу-выходу, то есть внешние описания операционных систем, которые

позволили рассматривать системы как устройства, преобразующие выходы физических параметров БТС.

В общем виде внешние описания системы БТС можно представить так:

$$f \div X \rightarrow \Gamma,$$

где X и Γ – множества возможных входов и выходов соответственно.

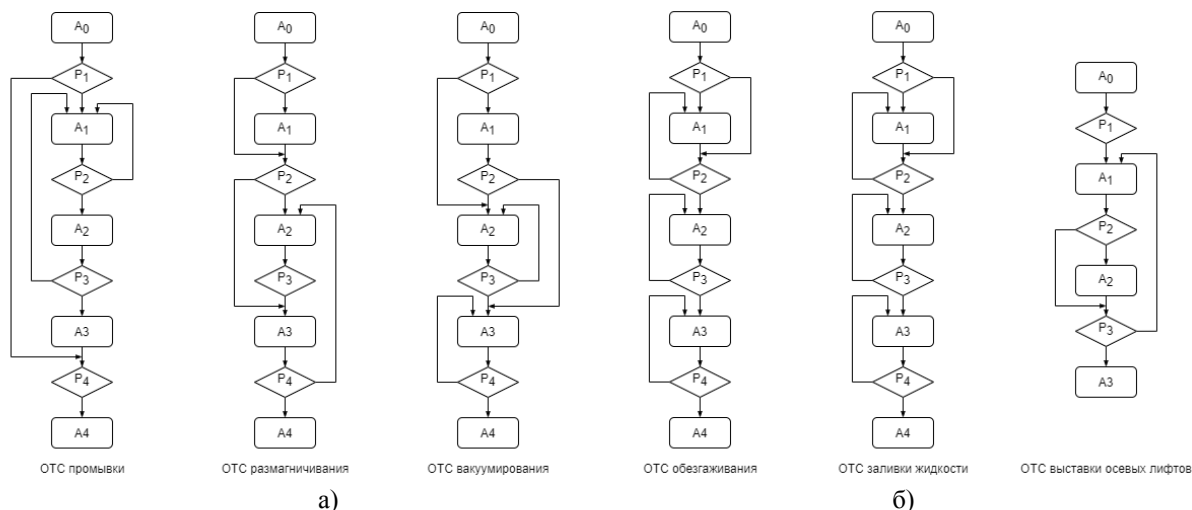


Рис. 2

Граф-схема OTS сборки ЧЭ представлена на рис. 2, а схема входа-выхода OTS сборки – на рис. 3.

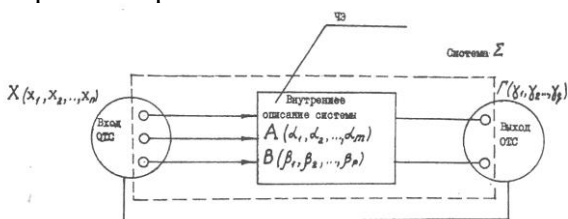


Рис. 3

Для систем сборки приборов и агрегатов конечное число состояний будет:

$$\Sigma = f \div (X, \Gamma, A, B),$$

где A – множество собственных параметров OTS; B – множество параметров процессов OTS.

Созданные структурные схемы алгоритмов и математические модели OTS позволяют описать исследуемый ЧЭ с любой степенью детализации, не нарушая общей структуры моделей.

В поставленной задаче можно провести декомпозицию ЧЭ до отдельных сборочных единиц и деталей, а технологических процессов – до отдельных операций, выполняемых на каждом виде оборудования с учетом проведения организационных мероприятий и других условий. При этом увеличивается лишь число элементов моделей, а структура остается неизменной [8].

Разработка OTS сборки в общей БТС – сложная технико-экономическая задача, предполагающая реализацию большого числа взаимосвязанных частных задач оптимизации различных по физической природе процессов. Для этого может быть использован оптимальный набор средств и режимов их работы, либо выбраны оптимальные значения параметров OTS в заданный интервал времени. Во втором случае можно воспользоваться принципом расчленения общих задач на частные:

вначале решается задача оптимального выбора ОТС, затем проверяется реализуемость процессов в заданный интервал времени. При положительных результатах набор ОТС принимается за оптимальный. В противном случае оптимальный набор ОТС и последовательность выполнения операций определяется путем выбора наилучших оптимальных вариантов в первоначальном наборе [5]. При таком подходе возникает возможность оптимизации выбора ОТС на основе просмотра небольшого количества возможных комбинаций, используя перспективные технологии, в числе которых можно назвать цифровые двойники [9].

ВЫВОДЫ

Разработан единый алгоритм функционирования БТС сборки чувствительных элементов прецизионных изделий, включающий операционные технологические системы.

Описание алгоритмов функционирования БТС и ОТС выполнено на языке логических схем алгоритмов.

Применение математического аппарата – логических схем алгоритмов – позволяет организовать процесс управления технологическим процессом сборки, то есть процесс переработки информации, так, как это происходит в самом технологическом процессе.

Создание граф-схем и логических схем алгоритмов ОТС дает возможность установить взаимосвязь между параметрами блоков и модулей ОТС и выходными параметрами приборов и прецизионных изделий и обеспечить сопряжение параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Свойства задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "вал – втулка" // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017, № 1.
2. Назарьев А.В., Бочкарев П.Ю. Обеспечение эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017, № 5.
3. Absattarov A.I., Pisarenko Yu.A., Zelentsova N.I. Applying refinery outgoing gas as a source of

petrochemical products. *Fine Chemical Technologies*. – 2015;10(4):32...40.

4. Васильев А.С. Справочник технолога-машиностроителя. – В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.С. Васильева, А.А. Кутина. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2018.

5. Руднева Л.Ю., Литвинчук А.В. Система управления и структуры математического обеспечения автоматизированных транспортно-складских систем машиностроительных производств // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2018, № 10.

6. Холопов В.А., Каширская Е.Н., Гусев М.В. Оптимизация конфигурации промышленных Ethernet-сетей на этапе проектирования АСУП // Российский технологический журнал, Т.6. – 2018, № 2. doi.org/10.32362/2500-316X-2018-6-2

7. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2020.

8. Зуев А.С., Зуева А.Н., Леонов Д.А. Технологии дополненной реальности как новый источник конкурентных преимуществ продукции машиностроения // Российский технологический журнал. – 2020, №8(1).

9. Kholopov V.A., Antonov S.V., Kurnasov E.V., Kashirskaya E.N. Digital twins in manufacturing Russian Engineering Research. – 2019. V. 39. № 12. P.1014...1020. doi: 10.3103/S1068798X19120104

10. Кузнецов П.М., Борзенков В.В., Дьяконова Н.П. и др. Автоматизация технологических процессов и подготовки производства в машиностроении / Под ред. П.М. Кузнецова/ – Старый Оскол: ООО ТНК, 2018.

11. Kholopov V.A., Antonov S.V., Kashirskaya E.N. Application of the digital twin concept to solve the monitoring task of machine-building technological process // International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – Sochi, Russia. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867800.

12. Kashirskaya E.N., Kholopov V.A., Antonov S.V., Pimenov A.V. Transient Oscillatory Processes At The Balancing Device Operation Of Abrasive Wheel Grinder // Journal Of Physics: Conference Series. – 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/2/022070.

13. Gupta S.S., Tan Y.Y., Chia P.Z. et al. Prototyping knit tensegrity shells: a design-to-fabrication workflow. *SN Appl. Sci.* 2, 1062 (2020). https://doi.org/10.1007/s42452-020-2693-4.

14. Giglio A., Paoletti I. & Conti G.M. Three-Dimensional (3D) Textiles in Architecture and Fashion Design: a Brief Overview of the Opportunities and Limits in Current Practice. *Appl Compos Mater* (2021). https://doi.org/10.1007/s10443-021-09932-9

15. Lahiji R.R., Boluk Y. & McDermott M. Adhesive surface interactions of cellulose nanocrystals from different sources. *J Mater Sci* 47, 3961–3970 (2012). https://doi.org/10.1007/s10853-012-6247-z.

16. Matsouka D., Vassiliadis S., Prekas et al. On the Measurement of the Electrical Power Produced by Melt Spun Piezoelectric Textile Fibres. *Journal of Elec*

REFERENCES

1. Sorokin M.N., Anurov Yu.N. Svoystva zadachi komplektovaniya pri selektivnoy sborke izdeliy tipa "val – vtulka" // Sbornik v mashinostroenii, priborostroenii. – 2017, № 1.

2. Nazar'ev A.V., Bochkarev P.Yu. Obespechenie effektivnogo vypolneniya sborochnykh operatsiy vysokotochnykh izdeliy // Sbornik v mashinostroenii, priborostroenii. – 2017, № 5.

3. Absattarov A.I., Pisarenko Yu.A., Zelentsova N.I. Applying refinery outgoing gas as a source of petrochemical products. *Fine Chemical Technologies*. – 2015;10(4):32...40.

4. Vasil'ev A.S. Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya. – V 2-kh t. T.2 / Pod red. A.S. Vasil'eva, A.A. Kutina. – 6-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroyeniye, 2018.

5. Rudneva L.Yu., Litvinchuk A.V. Sistema upravleniya i struktury matematicheskogo obespecheniya avtomatizirovannykh transportno-skladskikh sistem mashinostroyitel'nykh proizvodstv // Sbornik v mashinostroenii, priborostroenii. – 2018, № 10.

6. Kholopov V.A., Kashirskaya E.N., Gusev M.V. Optimizatsiya konfiguratsii promyshlennykh Ethernet-setey na etape proektirovaniya ASUP // Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal, T.6. – 2018, № 2. doi.org/10.32362/2500-316X-2018-6-2

7. Kuznetsov O.P. Diskretnaya matematika dlya inzhenera. – 6-e izd., pererab. i dop. – M.: Energoatomizdat, 2020.

8. Zuev A.S., Zueva A.N., Leonov D.A. Tekhnologii dopolnennoy real'nosti kak novyy istochnik konkurentnykh preimushchestv produktsii mashinostroyeniya // Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal. – 2020, №8(1).

9. Kholopov V.A., Antonov S.V., Kurnasov E.V., Kashirskaya E.N. Digital twins in manufacturing

Russian Engineering Research. – 2019. V. 39. № 12. P.1014...1020. [doi: 10.3103/S1068798X19120104](https://doi.org/10.3103/S1068798X19120104)

10. Kuznetsov P.M., Borzenkov V.V., D'yakonova N.P. i dr. Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov i podgotovki proizvodstva v mashinostroenii / Pod red. P.M. Kuznetsova/ – Staryy Oskol: OOO TNK, 2018.

11. Kholopov V.A., Antonov S.V., Kashirskaya E.N. Application of the digital twin concept to solve the monitoring task of machine-building technological process // International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – Sochi, Russia. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867800.

12. Kashirskaya E.N., Kholopov V.A., Antonov S.V., Pimenov A.V. Transient Oscillatory Processes At The Balancing Device Operation Of Abrasive Wheel Grinder // *Journal Of Physics: Conference Series*. – 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/2/022070.

13. Gupta S.S., Tan Y.Y., Chia P.Z. et al. Prototyping knit tensegrity shells: a design-to-fabrication workflow. *SN Appl. Sci.* 2, 1062 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2693-4>.

14. Giglio A., Paoletti I. & Conti G.M. Three-Dimensional (3D) Textiles in Architecture and Fashion Design: a Brief Overview of the Opportunities and Limits in Current Practice. *Appl Compos Mater* (2021). <https://doi.org/10.1007/s10443-021-09932-9>

15. Lahiji R.R., Boluk Y. & McDermott M. Adhesive surface interactions of cellulose nanocrystals from different sources. *J Mater Sci* 47, 3961–3970 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10853-012-6247-z>.

16. Matsouka D., Vassiliadis S., Prekas et al. On the Measurement of the Electrical Power Produced by Melt Spun Piezoelectric Textile Fibres. *Journal of Elec Materi* 45, 5112–5126 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11664-016-4710-3>.

Рекомендована кафедрой промышленной информатики Института кибернетики. Поступила 12.11.21.

СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРИКОТАЖА

MODERN METHODS OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE KNITWEAR EXPERIMENTAL DESIGN

Е.М. ЕРМОЛАЕВА, О.А. ВИГЕЛИНА, А.В. ТРУЕВЦЕВ

E.M. ERMOLAEVA, O.A. VIGELINA, A.V. TRUEVTSEV

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: em001em@gmail.com

Индустрия 4.0 требует от легкой промышленности проектирования, моделирования дизайн-объектов и технологических процессов с применением цифровых технологий. Показано, что вязальный автомат представляет собой 3D-принтер одежды. Для реализации инновационных идей особое значение имеет наличие экспериментальных лабораторий, на базе которых возможно создавать и реализовывать модные дизайн-проекты с использованием современных информационных технологий. На примере лаборатории кафедры технологии и художественного проектирования трикотажа Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна показана возможность реализации дизайн-проектов на современном вязальном оборудовании. Сделан вывод, что возрастает роль художника-трикотажника, который задействован на всех стадиях создания и выпуска вязаного продукта, поэтому дизайнерам важно знать и уметь применять актуальные цифровые технологии при создании нового авторского объекта.

“Industry 4.0” is a great challenge for the textile industry. It means that the modern technological process must include the computer-aided methods at all its stages. The paper is devoted to the analysis of experimental design that must be combined with the computer-aided machinery. The term “3D printer of clothing” can be applied to each knitting automatic machine. The authors describe the results of such alliance at the Knitting Department of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design where it was realized at Stoll CMS machines and Wei-Huan hosiery machine. It is emphasized that modern designer should take an active part at all stages of the technological process.

Ключевые слова: трикотаж, плосковязальный автомат, чулочно-носочный автомат, художественное проектирование трикотажа, дизайн трикотажа, технология трикотажа, Индустрия 4.0, цифровые технологии, экспериментальный дизайн, 3D-принтер одежды.

Keywords: knitwear, flat-bed machine, hosiery machine, design of knitwear, knitting technology, industry 4.0, digital technology, experimental design, 3D printer of clothing.

Введение

Четвертая промышленная революция Индустрия 4.0 предполагает новый подход к производству, основанный на массовом внедрении информационных технологий в промышленность [1]. Суть Индустрии 4.0 требует от предприятий легкой промышленности цифрового проектирования, моделирования дизайн-объектов и технологических процессов на всех этапах производства от идеи до презентации проекта [2].

В связи с возрастающей ролью трикотажной отрасли в модной индустрии важное место отводится экспериментальному дизайну (ЭД) в области вязания. Работа в данном направлении ведется на разных уровнях: мировые творческие вузы оснащают свои кафедры специализированным оборудованием и ведут курсы по трикотажу, производители вязальных машин создают некоммерческие коллекции для демонстрации новых технологических возможностей, организуются конкурсы молодых дизайнеров.

Художник по трикотажу в современном производстве вовлечен во все этапы создания вязаного дизайн-объекта. Владение новейшими цифровыми технологиями является важной ступенью в развитии промышленной культуры. Успех развития отрасли во многом зависит от степени профессиональной компетентности дизайнера, умения ясно видеть цели и системно решать проблемы в новых ценностях Индустрии 4.0. В связи с актуальными требованиями времени имеет смысл проанализировать ситуацию в области экспериментальной моды и производства трикотажа с применением цифровых технологий (ЦТ). Результаты исследования позволят оценить реальный потенциал экспериментальных лабораторий как важных составляющих Индустрии 4.0, и помогут пересмотреть подходы к учебному процессу в вузах.

Рассмотренный в ходе работы массив источников освещает вопросы главной темы Индустрия 4.0. Среди них хочется выделить работу экономистов А.А. Никитина и Ю.А. Левина [2]: в статье сделан акцент на сущность и базовые принципы инновационного пути развития легкой промышлен-

ности. М. Гетц и Б. Янковска [3] уделяют внимание вопросам наращивания затрат, ускорения и локализации производственных процессов в условиях постпереходной экономики. Аспекты экспериментальной моды, начиная с 80-х гг. XX столетия до наших дней, анализируются Ф. Гранатой [4]. Анализ инноваций в качестве явления культуры провели Т. Г. Мелая и Т. В. Козлова [5]. Однако по-прежнему за рамками исследований специалистов остаются проблемы взаимодействия ЭД и ЦТ в трикотаже. В связи с этим целью исследования стало определение и апробация необходимых ЦТ для развития современных направлений в экспериментальном дизайн-проектировании трикотажа. Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть и решить следующие задачи: выявить и определить основные тенденции развития ЦТ в дизайне трикотажа; обозначить важность экспериментального дизайн-проектирования трикотажа в мире; оценить востребованность ЭД в России; рассмотреть возможности реализации ЦТ в ЭД на примере лаборатории кафедры технологии и художественного проектирования трикотажа СПбГУПТД.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является проблема экспериментального дизайн-проектирования трикотажа в новых условиях Индустрии 4.0. В процессе изучения проблемы, ее постановки и решения использовались следующие методы исследования: теоретические (аксиоматический, формальный, сравнительный) и эмпирический. Для достижения цели было необходимо провести анализ в двух основных направлениях: актуальные цифровые технологии в сфере вязания (ЦТВ) и экспериментальное дизайн-проектирование трикотажа (ЭДТ).

Актуальные цифровые технологии в сфере вязания (ЦТВ)

В данном исследовании под ЦТВ имеется в виду совокупность передовых информационных технологий производства трикотажа, необходимых для реализации современных дизайн-проектов. В этот список включаем вязание по контуру, 3D-вязание и 3D-проектирование, потому что все

они соответствуют главному социальному требованию к культуре производства – экономии ресурсов – и базовым принципам Индустрии 4.0 [2].

Вязание по контуру. Вопрос экономного использования сырья является актуальным в текстильной индустрии. Эта проблема решается в трикотажном производстве за счет применения безотходных технологий [6]. При контурном вязании на машине вырабатываются отдельные детали изделия по форме, идентичной линиям лекал. Детали затем нужно сшить, но они не требуют кроя и обработки краев [7].

Понятие *3D-вязание* применяют при получении штучных цельновязанных изделий, форма которых достигается в процессе вязания без необходимости соединения при помощи швейных машин. Такие образцы можно получать на автоматах, оснащенных специальным программным обеспечением (ПО). У производителей плосковязального оборудования существуют различные термины для этого способа. Так, у фирмы Stoll это “*Knit and Wear*” [8], а Shima Seiki называют свою разработку “*Whole garment*” [9]. Современные кругловязальные, в частности, чулочно-носочные, автоматы также, как правило, оснащены ПО, позволяющим в короткие сроки создавать художественное решение изделий и программы для их изготовления. Такое оборудование предусматривает специальные приспособления для автоматического закрывания мыска (например, Lin Toe®) и получения готового изделия непосредственно при вязании.

3D-проектирование трикотажа – процесс создания виртуального трехмерного изображения модели с учетом конструкции, структуры переплетения и технологии вязания. Весь этот комплекс дает возможность оценить принятые художественно-технологические решения до воплощения проектируемого объекта в материале [10], [11]. Также 3D-визуализация является необходимой функцией для удаленной работы. Наряду с визуальным представлением модели дизайнеры могут делиться технической информацией непосредственно с производителями и программистами [3]. Для реализации *3D-проектиро-*

вания современные фирмы-производители вязального оборудования комплектуют свои автоматы специальным ПО, охватывающим все этапы производства: создание контура изделия, художественно-технологическую разработку структуры полотна, визуализацию внешнего вида пряжи и подбор реальных аналогов в интернет-каталогах, 3D-изображение конечного вида модели. При этом одномоментно формируется готовый для производства программный код. Это невозможно пока представить в других отраслях текстильной промышленности. Такие разработки можно назвать 3D-принтером одежды.

Экспериментальное дизайн-проектирование трикотажа (ЭДТ)

Экспериментальный дизайн волновал профессиональное сообщество еще в 1980-е гг. и рассматривался в рамках действующего в то время ВНИИТЭ [122]. В настоящее время это понятие обрастает новыми смыслами и задачами [5], [13], [14]. Данный термин используется не только в модной индустрии, но и в психологии (в качестве метода моделирования ситуационных моделей в субъектно-объектных отношениях) [15]. В контексте данного исследования под ЭДТ подразумевается деятельность, в результате которой создается новый модный продукт на основе свободного использования конструкции, силуэтов, материалов, актуальных методов производства и способов презентации.

Основные проявления ЭД трикотажа в мире. Дизайнеры разного уровня используют принципы ЭДТ в своем творчестве, причем это характерно и для известных брендов мирового масштаба (например, Martin Mardgiella, Rei Cavacubo), и для локальных марок одежды [4]. Особую роль в продвижении свежих нетрадиционных идей и стандартов играет молодое поколение, стремящееся внести в мир моды свое восприятие действительности. Об этом свидетельствуют масштабные мероприятия мирового уровня, предназначенные для выявления и содействия развитию начинающих экспериментаторов моды: FJU talents (Тайвань) [16], Yeoman Yarns Competition (Великобритания) [17]. Особенно хочется

выделить европейский конкурс дизайна – Apex Shima Seiki, организованный одним из ведущих производителей вязального оборудования [18]. Крупные отраслевые форумы организуют пространство для демонстрации новаторских работ. Так, в рамках международной трикотажной выставки Pitti Filatti во Флоренции ежегодно создается зона представления студенческих проектов [19].

Важны и другие мероприятия, презентующие экспериментальные работы студентов. Например, ежегодная выставка WIP в Королевском Колледже Искусств (Великобритания), где представлены уникальные подходы к дизайн-проектированию трикотажа, основанные на культуре экспериментов [20]. Также интересен крупнейшей онлайн-проект GLOBAL DESIGN GRADUATE SHOW 2021, продвигаемый шведской школой текстиля Arts thread в сотрудничестве с модным домом GUCCI. В 2021 г. студенты разных стран мира загрузили 5211 проектов, среди которых немало трикотажных коллекций [21].

Востребованность экспериментального дизайна трикотажа в России. Культура производства отечественного трикотажа растет. Несмотря на многие проблемы в отрасли, появляются новые марки, предлагающие дизайнерские изделия. В связи с этим поднимается важность экспериментального дизайна в развитии индустрии. Различные художественно-технологические вузы страны предлагают получить подготовку в области дизайна трикотажа. Среди них Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина [22], Уральский государственный архитектурно-художественный университет [23], Костромской государственный университет [24], Ивановский государственный политехнический университет [25] и Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна [26]. Материально-техническая оснащенность кафедр этих вузов различна, тем не менее, у студентов есть возможность экспериментировать с трикотажными дизайн-объектами и представлять свои разработки на различных мероприятиях.

Существуют и коммерческие организации, предлагающие курсы для получения навыков дизайнера в области вязания. Наиболее крупная среди них – школа Fashion Factory School, организованная дизайнером Л. Норсоян [27]. В программу обучения входят важные аспекты современного дизайн-проектирования вязаного продукта.

Конкурсных программ, посвященных исключительно теме вязания, в процессе данного исследования не обнаружено. Однако молодые дизайнеры принимают участие со своими трикотажными разработками в проектах, посвященных моде и текстилю [28...30].

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ показал, что особую роль в развитии ЭДТ играют учебные заведения различного масштаба. Необходимо создавать современную технически оснащенную платформу, на которой возможна реализация актуальных экспериментов с текстилем. На базе лаборатории кафедры технологии и художественного проектирования трикотажа СПбГУПТД рассмотрим процесс интеграции передовых ЦТВ в экспериментальное дизайн-проектирование.

Экспериментальная лаборатория кафедры имеет оборудование, представляющее как исторический интерес, так и образцы нового поколения – плосковязальные автоматы Stoll (Германия) и кругловязальный чулочно-носочный автомат WeiHuan (Китай).

Плосковязальное оборудование Stoll – интеллектуальные машины, оснащенные мультисенсорным дисплеем управления. В комплект к машинам предоставляется ПО M1PLUS, позволяющее реализовать два подхода к проектированию: на уровне дизайна и на уровне технологии. Для студентов-художников (направление 54.03.03 – Искусство костюма и текстиля) это дает возможность увидеть модель до ее вязания, для будущих инженеров (направления 29.03.02 и 29.04.02 – Технология и проектирование текстильных изделий) – способ оценить риски изготовления изделия до начала реализации в материале.

Чулочно-носочный автомат WeiHuan [3131] оснащен ПО WeiHuan PAT Designer для графического проектирования и создания программ вязания. Для получения визуального отображения будущего изделия необходимо иметь дополнительный графический редактор, например, ENEAS. Он позволяет создать орнамент, преобразовать его в петельную структуру, выбрать модели носка из базы готовых шаблонов и разместить узор на 3D-макете. Полученное изображение достоверно отражает фактуру, пропорции и цветовое решение будущего изделия.

В рамках учебного процесса разрабатываются дизайн-проекты разной сложности. Рассмотрим результат применения ЦТВ на примере авторских студенческих

разработок под названием "Осьминог" и "Логос", реализованные на описанном выше оборудовании.

В проекте "Осьминог" разработаны многоцветные композиции заданных линейных измерений с помощью графического редактора CorelDraw. Полученное изображение конвертировано в программу M1PLUS (рис. 1). В качестве основы было выбрано переплетение неполный жаккард, его графическая запись в ПО показана на рис. 1-а. Рядом с ним представлена визуализация структуры полотна (рис. 1-б).

Разрабатываемая структура была отвяжана на плосковязальном автомате Stoll типа CMS 520 KI (12 класс, 2 петлеобразующие системы). Внешний вид готового образца представлен на рис. 1-в.

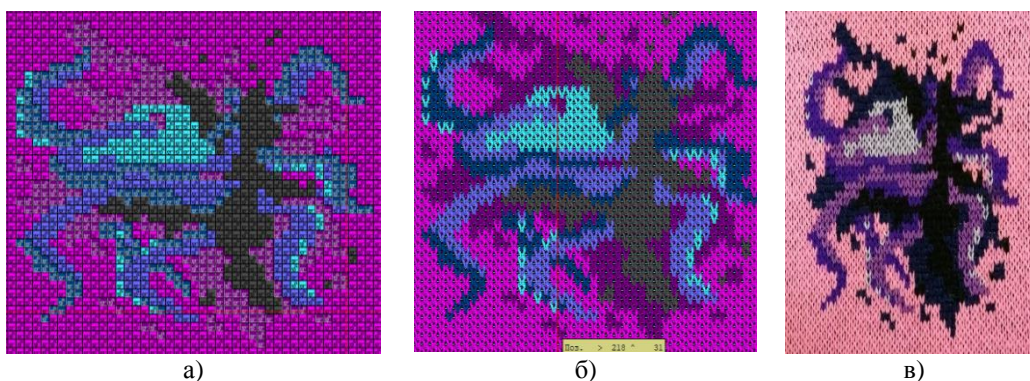


Рис. 1

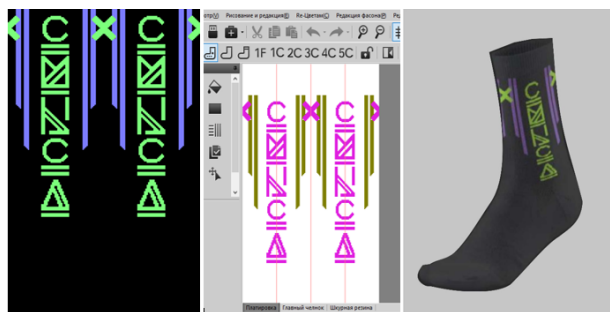


Рис. 2

В проекте "Логос" в процессе разработки чулочно-носочного изделия на автомате WeiHuan модели 6F-WH-A (диаметр цилиндра 3 ½ дюйма, 1 петлеобразующая система, 6 основных и 13 рисунчатых нитеводителей)31 с помощью графического редактора Photoshop был создан орнамент заданной длины и ширины (рис. 2). Раз-

работанный орнамент загружен в ПО WeiHuan PAT Designer, где был скорректирован. После этого создан код для вязания (рис. 2-б). На рис. 2-в представлено изделие в готовом виде.

ВЫВОДЫ

Последние десятилетия текстильная отрасль занимается вопросами оптимизации производственных процессов с помощью новейших информационных технологий. Модернизация трикотажного производства осуществляется за счет разработок и внедрения ресурсосберегающих подходов к производству на базе нового высокоавтоматизированного технологического оборудования.

В процессе работы проанализированы актуальные источники, посвященные

проблематике Индустрии 4.0 и цифровизации промышленности, а также рассмотрены вопросы, связанные с экспериментальным дизайн-проектированием трикотажа.

Выявлено, что цифровые технологии на современном трикотажном производстве внедряются во все алгоритмы изготовления изделий, начиная с подготовки сырья к вязанию и заканчивая выпуском готовой продукции. Для реализации инновационных идей особое значение имеет наличие экспериментальных лабораторий, на базе которых возможно создавать и реализовывать новые, модные дизайн-проекты с использованием современных информационных технологий. Возрастает роль художника-трикотажника, который задействован на всех стадиях создания и выпуска вязаного продукта. Поэтому дизайнерам важно знать и уметь применять актуальные цифровые технологии при создании нового авторского объекта. На базе АРМ технолога плосковязального и чулочно-носочного оборудования разработаны трикотажные дизайн-объекты, проиллюстрированы этапы проектной разработки от эскиза до воплощения в материале.

Стремительное развитие текстильной индустрии требует новых подходов к производственным и творческим процессам. Цифровые технологии диктуют дальнейшее развитие легкой промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Что такое Индустрия 4.0 и что нужно о ней знать?. - URL://trends.rbc.ru/trends/industry/5e740c5b9a79470c22dd13e7 (дата обращения: 01.11.2021)
2. Никитин А.А., Левин Ю.А. "Индустрия – 4.0": концептуальные вопросы цифровизации в легкой промышленности // Инновации и инвестиции. – 2019, № 1. С. 3...5.
3. Götz M., Jankowska B. (2020) Adoption of Industry 4.0 Technologies and Company Competitiveness: Case Studies from a Post-Transition Economy. Foresight and STI Governance. – Vol. 14. № 4. P.61...78.
4. Граната Ф. Экспериментальная мода. Искусство перформанса, карнавал и гротескное тело / Пер. с англ. Е. Демилловой. – М.: Новое литературное обозрение, 2021.
5. Мелая Т.Г., Козлова Т.В. Влияние научно-технического прогресса на моду XX века // Инновации и инвестиции. – 2016, № 6. С. 80...93.
6. Ровинская Л.П., Вигелина О.А. Проектирование в трикотажном производстве [Электронный ресурс]. – СПб.: СПбГУПТД, 2018. Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2018236, по паролю.
7. Безкостова С.Ф., Пригодина Н.И., Ровинская Л.П., Филипенко Т.С. Контурное вязание (2 издание, дополненное) [Электронный ресурс]. – СПб.: СПбГУПТД, 2016. Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=3503, по паролю.
8. Stoll. Официальный сайт. - URL: <https://www.stoll.com/en/> (дата обращения: 15.11.2021)
9. Shima Seyki. Официальный сайт. - URL: <https://www.shimaseiki.com/> (дата обращения: 10.11.2021)
10. Ермолаева Е.М., Вигелина О.А., Труевцев А.В. Актуальные методы художественно-технологического проектирования трикотажа в этническом стиле // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №4. С. 103...109.
11. Ермолаева Е.М., Вигелина О.А. К вопросу о современных методах художественно-технологического проектирования трикотажа // Тез. докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых: Инновации молодежной науки. С.-Петербург. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна. – СПб.: СПбГУПТД, 2021. С.556...558.
12. Ефимов А.В. и др. Эксперимент в дизайне. – М.: ВНИИТЭ, 1987.
13. Барышева В.Е. и др. Эксперимент в дизайне: источники дизайнерских идей / Сост. Александр Лаврентьев. – М.: Университетская кн., 2010.
14. Яцюк О.Г. Художественный авангард как предтеча компьютерного искусства // Вестник РГГУ. Серия "Философия. Социология. Искусствоведение". – 2009, № 15.
15. Биктагирова Г.Ф. Дизайн исследования / Автор-составитель Г.Ф. Биктагирова. – Казань: Отечество, 2017.
16. LFW Showcase: FJU Talents' Show, with Yu-Mei Huang and Wei-Yu Hung // Knitting Industry. - URL: <https://www.knittingindustry.com/creative/lfw-showcase-fju-talents-show-with-yu-mei-huang-and-wei-yu-hung/> (дата обращения: 10.11.2021).
17. Knitwear student Emma Price wins Yeoman Yarns Competition // Knitting Industry. - URL: <https://www.knittingindustry.com/creative/knitwear-student-emma-price-wins-yeoman-yarns-competition/> (дата обращения: 22.11.2021).
18. Winners of Shima Seiki UK Student Competition 2020 announced // Knitting Industry. - URL: <https://www.knittingindustry.com/creative/winners-of-shima-seiki-uk-student-competition-2020-announced/> (дата обращения: 10.11.2021)
19. Pitti Filatti // Pitti imagine. - URL: <https://filati.pittimagine.com/> (дата обращения: 31.10.2021).
20. Showcase // Royal College of Art. - URL: <https://www.rca.ac.uk/showcase/> (дата обращения: 22.11.2021).

21. MEET THE WINNERS OF THE GLOBAL DESIGN GRADUATE SHOW 2021 // Arts Thread Limited. - URL: <https://www.artsthread.com/events/globaldesigngraduateshow/> (дата обращения: 22.11.2021).

22. Кафедра проектирования и художественного оформления текстильных изделий // РГУ им. Косыгина. - URL: <https://kosygin-rgu.ru/institutes/textile/kaf/tkach/index.aspx> (дата обращения: 22.11.2021).

23. Кафедра дизайна одежды // Уральский государственный архитектурно-художественный университет. - URL: <https://usaaa.ru/faculties/fd/dizain-odezhdy/5-6-kursy> (дата обращения: 22.11.2021).

24. Кафедра технологии и проектирования тканей и трикотажа // Костромской государственный университет. - URL: <https://ksu.edu.ru/svedeniya-ob-organizatsii/struktura-i-organy-upravleniya/institut-dizajna-i-tekhnologij/kafedry/kafedra-vysshej-matematiki-2.html> (дата обращения: 22.11.2021).

25. Направление подготовки Технологии и проектирование текстильных изделий // Ивановский государственный политехнический университет. - URL: <https://ivgpu.com/ob-universitete/instituty/itim/kafedry-itim/trpti> (дата обращения: 22.11.2021).

26. О кафедре технологии и художественного проектирования трикотажа // СПбГУПТД. - URL: <http://trik.sutd.ru> (дата обращения: 31.03.2020)

27. Школа модного бизнеса Fashion Factory School // Fashion Factory. - URL: <https://fashionfactoryschool.com/> (дата обращения: 22.11.2021).

28. Конкурс молодых дизайнеров одежды // ИВГПУ. - URL: <https://ivgpu.com/moda40/young/contestants/> (дата обращения: 22.11.2021).

29. Промышленность. Дизайн. Инновации. // IDI FASHION. - URL: <http://idifashion.ru/> (дата обращения: 22.11.2021).

30. Всероссийский конкурс креативных специалистов индустрии моды "ЛИДЕРЫ МОДЫ" // FASHION LEADERS. - URL: <https://fashionleaders.ru/> (дата обращения: 22.11.2021).

31. Weihuan. Официальный сайт. - URL: <http://www.weihuansocks-machine.ru/> (дата обращения: 10.10.2021)

REFERENCES

1. Chto takoe Industriya 4.0 i chto nuzhno o ney znat'?. - URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5e740c5b9a79470c22dd13e7> (дата обращения: 01.11.2021)

2. Nikitin A.A., Levin Yu.A. "Industriya – 4.0": kontseptual'nye voprosy tsifrovizatsii v legkoy promyshlennosti // Innovatsii i investitsii. – 2019, № 1. S.3...5.

3. Götz M., Jankowska B. (2020) Adoption of Industry 4.0 Technologies and Company Competitiveness: Case Studies from a Post-Transition Economy. Foresight and STI Governance. – Vol. 14. № 4. P.61...78.

4. Granata F. Esperimental'naya moda. Iskusstvo performansa, karnaval i grotesknoe telo / Per. s angl. E. Demilovoy. – М.: Novoe literaturnoe obozrenie, 2021.

5. Melaya T.G., Kozlova T.V. Vliyanie nauchno-tekhnicheskogo progressa na modu KhKh veka // Innovatsii i investitsii. – 2016, № 6. S. 80...93.

6. Rovinskaya L.P., Vigelina O.A. Proektirovanie v trikotazhnom proizvodstve [Elektronnyy resurs]. – SPb.: SPbGUPTD, 2018. Rezhim dostupa: http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2018236, po parolyu.

7. Bezkostova S.F., Prigodina N.I., Rovinskaya L.P., Filipenko T.S. Konturnoe vyazanie (2 izdanie, dopolnennoe) [Elektronnyy resurs]. – SPb.: SPbGUPTD, 2016. Rezhim dostupa: http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=3503, po parolyu.

8. Stoll. Ofitsial'nyy sayt. - URL: <https://www.stoll.com/en/> (дата обращения: 15.11.2021)

9. Shima Seyki. Ofitsial'nyy sayt. - URL: <https://www.shimaseiki.com/> (дата обращения: 10.11.2021)

10. Ermolaeva E.M., Vigelina O.A., Truevtsev A.V. Aktual'nye metody khudozhestvenno-tekhnologicheskogo proektirovaniya trikotazha v etnicheskom stile // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, №4. S. 103...109.

11. Ermolaeva E.M., Vigelina O.A. K voprosu o sovremennykh metodakh khudozhestvenno-tekhnologicheskogo proektirovaniya trikotazha // Tez. dokl. Vseros. nauch. konf. molodykh uchenykh: Innovatsii molodezhnoy nauki. S.-Peterb. gos. un-t promyshlennykh tekhnologiy i dizayna. – SPb.: SPbGUPTD, 2021. S.556...558.

12. Efimov A.V. i dr. Eksperiment v dizayne. – М.: VNIITE, 1987.

13. Barysheva V.E. i dr. Eksperiment v dizayne: istochniki dizaynerskikh idey / Sost. Aleksandr Lavrent'ev. – М.: Universitetskaya kn., 2010.

14. Yatsyuk O.G. Khudozhestvennyy avangard kak predtecha komp'yuternogo iskusstva // Vestnik RGGU. Seriya "Filosofiya. Sotsiologiya. Iskusstvo-vedenie". – 2009, № 15.

15. Biktagirova G.F. Dizayn issledovaniya / Avtor-sostavitel' G.F. Biktagirova. – Kazan': Otechestvo, 2017.

16. LFW Showcase: FJU Talents' Show, with Yu-Mei Huang and Wei-Yu Hung // Knitting Industry. - URL: <https://www.knittingindustry.com/creative/lfw-showcase-fju-talents-show-with-yu-mei-huang-and-wei-yu-hung/> (дата обращения: 10.11.2021).

17. Knitwear student Emma Price wins Yeoman Yarns Competition // Knitting Industry. - URL: <https://www.knittingindustry.com/creative/knitwear-student-emma-price-wins-yeoman-yarns-competition/> (дата обращения: 22.11.2021).

18. Winners of Shima Seiki UK Student Competition 2020 announced // Knitting Industry. - URL: <https://www.knittingindustry.com/creative/winners-of->

shima-seiki-uk-student-competition-2020-announced/ (data obrashcheniya: 10.11.2021)

19. Pitti Filatti // Pitti imagine. - URL: <https://filati.pittimagine.com/> (data obrashcheniya: 31.10.2021).

20. Showcase // Royal College of Art. - URL: <https://www.rca.ac.uk/showcase/> (data obrashcheniya: 22.11.2021).

21. MEET THE WINNERS OF THE GLOBAL DESIGN GRADUATE SHOW 2021 // Arts Thread Limited. - URL: <https://www.artsthread.com/events/globaldesigngraduateshow/> (data obrashcheniya: 22.11.2021).

22. Kafedra proektirovaniya i khudozhestvennogo oformleniya tekstil'nykh izdeliy // RGU im. Kosygina. - URL: <https://kosygin-rgu.ru/institutes/textile/kaf/tkach/index.aspx> (data obrashcheniya: 22.11.2021).

23. Kafedra dizayna odezhdyy // Ural'skiy gosudarstvennyy arkhitekturno-khudozhestvennyy universitet. - URL: <https://usaaa.ru/faculties/fd/dizain-odezhdy/5-6-kursy> (data obrashcheniya: 22.11.2021).

24. Kafedra tekhnologii i proektirovaniya tkaney i trikotazha // Kostromskoy gosudarstvennyy universitet. - URL: <https://ksu.edu.ru/svedeniya-ob-organizatsii/struktura-i-organy-upravleniya/instituty/institut-dizajna-i-tekhnologij/kafedry/kafedra-vysshej-matematiki-2.html> (data obrashcheniya: 22.11.2021).

25. Napravlenie podgotovki Tekhnologii i proektirovanie tekstil'nykh izdeliy // Ivanovskiy gosudarst-

vennyy politekhnicheskiy universitet. - URL: <https://ivgpu.com/ob-universitete/instituty/itim/kafedry-itim/tpi> (data ob-rashcheniya: 22.11.2021).

26. O kafedre tekhnologii i khudozhestvennogo proektirovaniya trikotazha // SPbGUPTD. - URL: <http://trik.sutd.ru> (data obrashcheniya: 31.03.2020)

27. Shkola modnogo biznesa Fashion Factory School // Fashion Factory. - URL: <https://fashionfactoryschool.com/> (data obrashcheniya: 22.11.2021).

28. Konkurs molodykh dizaynerov odezhdyy // IVGPU. - URL: <https://ivgpu.com/moda40/young/contestants/> (data obrashcheniya: 22.11.2021).

29. Promyshlennost'. Dizayn. Innovatsii. // IDI FASHION. - URL: <http://idifashion.ru/> (data ob-rashcheniya: 22.11.2021).

30. Vserossiyskiy konkurs kreativnykh spetsialistov industrii mody "LIDERY MODY" // FASHION LEADERS. - URL: <https://fashionleaders.ru/> (data obrashcheniya: 22.11.2021).

31. Weihuan. Ofitsial'nyy sayt. - URL: <http://www.weihuansocks-machine.ru/> (data obrashcheniya: 10.10.2021)

Рекомендована кафедрой технологии и художественного проектирования трикотажа. Поступила 01.03.22.

УДК 677.025

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_218

КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ УСТОЙЧИВОГО ДИЗАЙНА ТРИКОТАЖА В РЕАЛИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0

KEY DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE KNITWEAR DESIGN IN THE REALITIES OF INDUSTRY 4.0

Е.М. ЕРМОЛАЕВА, Н.Ю. МИТРОФАНОВА

E.M. ERMOLAEVA, N.YU. MITROFANOVA

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: Trik@sutd.ru

В работе выявлены актуальные тенденции развития трикотажной отрасли в реалиях Индустрии 4.0. Обозначены основные направления движения устойчивого дизайна трикотажа, необходимые для реализации дизайн-проектов в условиях новой научно-технической революции: "интеллектуальное вязание" (вязание по контуру, бесшовный способ изготовления изделий и цифровое проектирование); цифровая мода (3D-визуализация трикотажа, "вязание по требованию" и онлайн кастомизация). Рассмотрены вопросы сырьевого состава пряжи. Приведены примеры применения информа-

ционных и технологических инноваций в различных аспектах рассматриваемой темы. Сделаны следующие выводы: Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0) направлена на преобразование традиционных отраслей в интеллектуальные за счет внедрения инновационных технологий и цифровизации. Это приводит к развитию технологической составляющей в трикотажном производстве и отражается на деятельности дизайнера-проектировщика. Возможности "интеллектуального вязания" позволяют сокращать временные и материальные ресурсы на изготовление продукта при наименьшем уроне экологии. Цифровая мода помогает создавать новые устойчивые концепции разного уровня значимости. Ускоренные процессы производства трикотажа должны быть сбалансированы с точки зрения ответственного потребления. Выделены два основных актуальных направления в сырьевой области трикотажного производства: поиск новых природных источников и рециклинг отходов.

The paper identifies current trends in the development of the knitting industry in the realities of Industry 4.0. The main directions of the movement of sustainable knitwear design necessary for the implementation of design projects in the conditions of a new scientific and technical revolution are identified: "intelligent knitting" (knitting along the contour, seamless method of manufacturing products and digital design); digital fashion (3D visualization of knitwear, "knitting on demand" and online customization). The issues of the raw material composition of yarn are considered. Examples of the application of information and technological innovations in various aspects of the topic under consideration are given. The following conclusions are made: The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0) is aimed at transforming traditional industries into intellectual ones through the introduction of innovative technologies and digitalization. This leads to the development of the technological component in knitting production and affects the activities of the designer-designer. The possibilities of "intelligent knitting" allow you to reduce the time and material resources for the manufacture of a product with the least damage to the environment. Digital fashion helps to create new sustainable concepts of different levels of significance. Accelerated knitwear production processes must be balanced in terms of responsible consumption. Two main topical directions in the raw materials field of knitting production are identified: the search for new natural sources and waste recycling.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, устойчивое развитие, дизайн трикотажа, 3D-вязание, цифровая мода, мода по требованию, вязание по требованию, медленная мода, кастомизация, инновационная пряжа.

Keywords: Industry 4.0, sustainable development, knitwear design, 3D knitting, digital fashion, fashion on demand, knitting on demand, slow fashion, customization, innovative yarn.

Введение

Современный дизайн трикотажа, как и другие сферы промышленного мира, переживает трансформацию и адаптируется к условиям Индустрии 4.0. Четвертая промышленная революция, идея которой была сформулирована лишь десятилетие назад,

уверенно наступает и вносит коррективы в разные области человеческой деятельности, суть которых нарастает смыслами в настоящее время. Очевидным является формирование некоторых принципиально важных тенденций новой промышленной революции. Одна из них – устойчивое

развитие (УР), в которой отражена концепция экологической стабильности [1...**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Текстильная промышленность и трикотажная отрасль, как ее составная часть, оказывают значительное негативное воздействие на экологическую ситуацию в мире. Современные производства, отвечающие требованиям УР, ориентированы на сокращение энергозатрат и водопотребления, применение материалов с минимальным углеродным следом, повторное использование и переработку одежды в рамках "циркулярной экономики", улучшение условий труда рабочих на предприятиях и др. [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Современная трикотажная отрасль имеет свои особенности. Сам процесс создания продукта здесь отвечает идее экономичности и рациональности: изделие и полотно на трикотажном производстве создаются параллельно, что позволяет сократить количество отходов при их разработке. Однако существуют проблемы, которые требуют внимания.

Важная роль в контексте концепции УР отводится дизайнеру. Художник-трикотажник на современном производстве задействован во всех стадиях процесса создания вязаного продукта. Сегодня решение вопросов оптимизации производственных, логистических и маркетинговых процессов невозможно без совершенствования дизайн-проектирования. На всех стадиях работы специалиста внедрены системы новейших информационных технологий. От степени профессиональной компетентности дизайнера, точного понимания цели и умения системно решать задачи в реалиях Индустрии 4.0 во многом зависит успешность развития отрасли. В связи с новыми требованиями времени имеет смысл проанализировать ситуацию в трикотажной отрасли и определиться с главными тенденциями ее развития в контексте концепции УР. Наиболее актуальным вопросом является выявление основных сфер трикотажной индустрии, к которым уже приложены усилия художников-дизайнеров, и тех областей, которые будут занимать их в ближайшем будущем. Результаты исследова-

ния позволят объективно оценить потенциал современных специалистов и помогут скорректировать программы обучения в вузах.

Для выполнения поставленной задачи необходимо было проанализировать современное положение дел в отрасли на основании работы ведущих форумов текстильной и модной индустрии. Проанализировать основные тенденции в контексте концепции УР стало возможным благодаря группе интернет-источников, официальных сайтов выставочных проектов и ведущих предприятий отрасли. Многие форумы выпускают собственные журналы трендов, руководства, предвосхищающие тенденции предстоящего сезона, связанные не только с эстетикой, но и технологическими новшествами. Отдельные форумы имеют собственные исследовательские научные лаборатории и подробно освещают их деятельность на сайтах. Важна также информация о концептуальных коллаборациях предприятий с производителями одежды и целях их взаимодействия. Пласт источников раскрывает вопросы главной темы Индустрии 4.0. Это исследовательские статьи последних лет изданий экономистов, политологов, социологов, экологов, дающих общую оценку ситуации в мире в условиях Индустрии 4.0 [1...7]. Многие исследователи концентрируются на важнейших проблемах устойчивого развития в текстильной отрасли и уделяют внимание взаимодействию моды с современной индустрией [8...22]. Для нас принципиально важно, что за рамками интересов специалистов остаются вопросы эволюции трикотажной отрасли и дизайн-проектирования, в то время как их значимость не подлежит сомнению. Настоящее исследование представляет собой попытку ликвидировать существующую лагуну. Авторы проанализировали и обобщили современный срез ситуации в отрасли и предложили главные направления для развития дизайн-проектирования трикотажных изделий в условиях Индустрии 4.0.

В связи с этим главной целью исследования стало: в общеотраслевом контексте определить основные тенденции развития трикотажной отрасли с выявлением новых

задач, возникающих перед ней. В рамках поставленной цели были рассмотрены следующие вопросы:

- проанализирована деятельность ведущих отраслевых форумов с точки зрения выявления и обозначения главных современных тенденций трикотажной отрасли в условиях УР;

- определены основные направления развития отрасли в контексте концепции УР;

- сделана попытка сформулировать новые понятия, помогающие раскрыть суть процессов на пути развития устойчивого дизайна трикотажа;

- проведена аналитическая работа с привлечением примеров современных творческих коллабораций по раскрытию идей рассматриваемых аспектов УР.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является проблема трансформации и адаптации трикотажной отрасли в условиях Индустрии 4.0. В процессе ее изучения использовались теоретические и эмпирические методы исследования. Они базировались на анализе современных данных, включающих научные статьи, посвященные проблематике Индустрии 4.0 и актуальную информацию с официальных сайтов трикотажных предприятий и крупных международных текстильных форумов.

Основные тенденции развития отрасли находят отражение в работе современных текстильных выставок. Наиболее значимыми специализированными проектами с сильной трикотажной составляющей являются Pitti Imagine (Италия, существуют с 1940г.) [13], Premiere Vision (Франция, существует с 1973 г.) [14], Spinexpo (Китай, США с 2000-х гг.) [15], Milano Unica (Италия. Существует с 2005г) [16]. Работа форумов дает представление об общей ситуации в отрасли, обозначает основную проблематику и предлагает решения разного уровня: от оптимизации производства вязального и сопутствующего оборудования до разработки нового экологического сырья для пряжи. На выставках традиционно заостряется внимание на проблемах сохранения окружающей среды и природных ресурсов, обсуждаются вопросы сбалансированного

гармоничного развития отрасли. Каждый форум организует и проводит проекты, посвященные устойчивому развитию и многогранным аспектам этого процесса: обсуждается экологичность продуктов, прослеживается цепочка поставок органического сырья, затрагиваются вопросы утилизации отходов и т.д. Так, в 2019 г. Pitti Imagine Filati запустили проект Sustainable, полностью посвященный этой проблеме [17], [18]. А в 2021 г. Pitti Imagine Uomo провели очередную выставку "зеленой" мужской моды [19].

Устойчивое развитие и новые технологии – часть стратегии Premiere Vision. Эти два вопроса уже несколько лет являются ключевыми для форума. В 2015 г. здесь была запущена исследовательская и информационная платформа Smart Creation, созданная для продвижения экологически ответственных подходов экспонентов Premiere Vision. В 2017 г. появилась лаборатория Wearable Lab, которая ориентирована на инновации, вызванные появлением новых технологий и цифровизацией для создания интеллектуальной моды. Таким образом, Premiere Vision отвечает не только на вопросы экологической ответственности моды сегодняшнего дня, но и на технологические инновации моды завтрашнего [14].

Активно и системно занимается проблемами экологии и Milano Unica. С 2020 г. на выставке впервые Проект устойчивого развития MU Sustainability интегрирован в креативную зону Tendenze, что акцентировало взаимосвязь творческой составляющей форума с центром инновационных исследований.

Кроме общих индустриальных тенденций, работа форумов отражает изменения в области стратегии коммуникаций, где большую роль играет цифровизация. События последних лет привели к изменению потребительских привычек общества, что стало своеобразным триггером для выстраивания новых векторов развития компаний и создания новых коммуникационных стратегий, которые бы вызвали доверие клиентов и улавливали их потребности. Организаторы проектов пошли на создание цифровых платформ и дополнительных каналов электронной коммерции, что расширило

возможности бизнеса и предложило новые инструменты для работы. Так, например, одно из главных нововведений Milano Unica – "...возможность экспонентам использовать виртуальный выставочный зал с разным уровнем доступа. Покупатели могут запрашивать у экспонентов доступ к резервированному разделу их каталога, просматривать продукты, сохранять те, которые им интересны, и запрашивать образцы, тем самым укрепляя международный бизнес" [21].

Другой особенностью форумов является их быстрая реакция на социальный запрос, что отражается, например, в варьировании событийной программы. Так, Premiere Vision в 2020 г. в дополнение к ведущему событию ввела мероприятия по оказанию профессиональной помощи в разработке продукта представителям отрасли, в выставочном проекте соединила тех, кто занят в джинсовой моде, поспособствовала продвижению региональных производителей Франции, уделила внимание предприятиям, специализирующимся на спортивных материалах и спортивной одежде, наконец, провела первый показ Première Vision Shenzhen в центре Азии (г. Шэньчжень). Это новое мероприятие впервые в рамках Première Vision объединило азиатских и европейских поставщиков. Похожая задача стояла перед организаторами проекта Spinexpo в 2002 г. Их первая выставка была организована как партнерский проект (США и Китай), который оправдал себя и продолжает вовлекать новых участников текстильной отрасли [20].

Таким образом, текстильные форумы, демонстрируя срез современного положения дел в отрасли, отражают спектр специфических тенденций: быстрая реакция на социальный запрос, изменение потребительских привычек, интерес к ответственному и сознательному потреблению, укоренившиеся тенденции устойчивого развития, создание новых коммуникационных стратегий, популярность цифровых технологий и их дальнейшее развитие. Знаковой стала позиция Milano Unica относительно связи дизайна и концепции УР: "Milano Unica создала проект устойчивого развития

именно для того, чтобы продвигать и повышать ценность компаний, следующих по этому пути, и, прежде всего, для конкретной демонстрации того, что ценности устойчивого развития больше не должны рассматриваться отдельно от творчества и стиля, а являются одним и тем же... Видение, опережающее свое время, которое оказалось пророческим для направления, в котором движутся индустрия моды и требования рынка" [22].

Новые тенденции в отрасли влекут за собой изменения в дизайнерской сфере [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Современное дизайн-проектирование, отвечая контексту времени, ставит перед собой новые задачи. На рис. 1 представлена схема основных направлений развития устойчивого дизайна трикотажа, выявленных и предлагаемых для обсуждения. С целью максимального устранения негативного воздействия на окружающую среду предлагается рассмотреть четыре основных тенденции устойчивого дизайна. Каждое представляет собой содержательную инновацию, способную выстроить длительный динамичный баланс между экономикой и экологией, производством и потребителем, пользователем и объектом. Прежде чем их рассматривать, определим ключевые понятия, в рамках данного исследования.



Рис. 1

Интеллектуальное вязание

Этот термин заимствован у одного из лидеров в области производства вязального оборудования и программных продуктов для трикотажного производства – Stoll [23].

Так компания называет свой подход к комплексной разработке бизнес-процесса в трикотажной отрасли. В данной работе под понятием "интеллектуальное вязание" мы имеем в виду совокупность современных цифровых разработок для этичного производства трикотажа. Мы выделили следующие технологии: регулярное вязание, 3D-вязание и цифровое проектирование. В контексте Индустрии 4.0 все они предполагают использование специализированного программного обеспечения (ПО).

Регулярное вязание – получение деталей трикотажной модели с заданным контуром, не требующие дополнительного кроя. Этот способ предполагает использование только того количества пряжи, которое необходимо для выпуска одного экземпляра. При этом все детали изделия вывязываются отдельно и затем собираются в единое целое на другом специальном оборудовании. Таким образом можно обеспечить нулевые отходы производства.

3D-вязание – технология изготовления трикотажного изделия без швов. Использование цифровой производственной технологии бесшовного вязания обеспечивает значительное преимущество в области устойчивого развития. С позиции производства данный метод сокращает отходы материалов (поскольку так же, как и в предыдущем случае, для одного изделия расходуется нужное количество пряжи) и не требует дополнительных швейных операций. При этом возможности дизайнера здесь практически не ограничены [24], [25].

Цифровое проектирование – программные продукты, разработанные для оптимизации производственных процессов вязания. Они позволяют системно вести художественно-техническую разработку: создавать контур изделия, выбирать и программировать различные способы вязания, осуществлять виртуальную проверку наличия ошибок в программе вязания, получать визуальное трехмерное изображение структуры полотна и изделия. В настоящее время существуют различные подходы к дизайну проектированию трикотажа [27], [28], однако в контексте УР актуальнее способ с использованием цифровых продуктов,

потому что он в большей степени экономит сырьевые ресурсы на этапе моделирования изделий.

Цифровая мода (ЦМ)

Это визуальное представление одежды, созданное с использованием компьютерных технологий и 3D-программного обеспечения.

- ЦМ также подразумевает взаимодействие между цифровыми технологиями и модой. Информационно - коммуникационные технологии (ИКТ) глубоко интегрированы как в индустрию моды, так и в среду общения с клиентами [10]. Такое взаимодействие происходит на трех основных уровнях:

- ИКТ используются для разработки и производства модной продукции. В трикотажной отрасли это реализуется с помощью 3D визуализации;

- ИКТ влияют на маркетинг, дистрибуцию и продажи. В рассматриваемом случае это нашло воплощение в "вязании по требованию";

- ИКТ широко используются в коммуникационной деятельности со всеми соответствующими заинтересованными сторонами и способствуют совместному созданию мира моды – онлайн кастомизация.

Рассмотрим отдельно каждый из уровней:

3D-визуализация трикотажа – процесс создания трехмерного изображения структуры полотна и/или модели. В ПО, предлагаемых Stoll by Karl Mayer и Shima Seiki [23], [26], результатом работы является получение реалистичного образа будущего изделия, лекал и готового для вязания программного решения. Цифровая модель дает возможность оценить все компоненты успешной художественно-технологической реализации идеи до ее воплощения в материале. Кроме этого, прототипы изделий могут быть представлены в виртуальном демонстрационном зале в киберпространстве, заменяя каталоги с фотосессией.

Понятие "вязание по требованию" появилось в начале 2000-х гг. Так обозначался исследовательский проект в шведской школе текстиля, направленный на сокращение отходов сырья и остатков изделий на складах, повышение коэффициента про-

даж, а также уровня обслуживания [11]. В настоящее время термин широко используется во всем мире, характеризуя стратегию производства трикотажа и взаимодействия с клиентом. Основная идея "вязания по требованию" в том, что производитель ориентируется в большей степени на потребности заказчика, адаптируя под это свои ресурсы. Клиент может заказать одежду с индивидуальным стилем, цветом, размером и другими личными предпочтениями [12]. Современное программное обеспечение (ПО) для вязальных машин позволяет без особых усилий вносить изменения в разработанные программы. Эта особенность привела к новому виду взаимодействия между производителем и потребителем. Концепция "вязания по требованию" интересна с позиции минимизации запасов на складах и быстрого реагирования на запросы клиентов. При этом создается единое дизайнерское решение, которое адаптируется под заказчика.

Онлайн кастомизация – новая виртуальная реальность, воплощающая идею "примерки онлайн" с возможностью внесения изменений в модель. Такая опция появилась благодаря 3D-моделированию в сочетании с "вязанием по требованию". Данный подход позволяет значительно сокращать материальные потери из-за неудачных прототипов, одновременно открывая двери для новых устойчивых концепций.

Медленная мода (ММ)

Выражение ММ было предложено в 2007 г. Кэйт Флетчер [29] в статье, опубликованной в журнале "Эколог", где она сравнила индустрию эко/устойчивой/этичной моды с движением за медленную еду. За последние десятилетия термин ММ прочно вошел в модную индустрию, обозначая широкий спектр этичных или экологических практик, способствующих экономическому росту и ориентированных на обеспечение потребителей необходимой продукцией [29].

Умное сырье

В легкой промышленности важное место занимает производство новых устойчивых материалов и пряжи для вязания. Текстильные компании создают интеллекту-

альные нити на натуральной основе и/или переработанном сырье, которые составляют новый свод экологических ценностей. Биоразлагаемость, замкнутое производство, устойчивые полиэфиры, органическое сельское хозяйство, сертифицированные красители, шумовое загрязнение и углеродный след – основные вопросы, которые тревожат ответственных производителей.

Результаты и обсуждение

Интеллектуальное вязание

Многие крупные текстильные компании успешно используют технологии интеллектуального вязания. Ответственные производители строят маркетинговые кампании, основываясь на этой идее [30].

В сегменте одежды изделия, вывязанные по контуру и без швов, стали обыденным явлением. Компании вкладывают ресурсы для создания коллекций на базе данных технологий. Японский бренд Uniclo, прославившийся производством базовых моделей одежды, выполненных из качественного и инновационного материала, продвигает не только трикотаж, вывязанный по контуру, но и линейку 3D-изделий (рис. 2-а). Изготавливается одежда на оборудовании одного из ведущих производителей плосковязальных автоматов Shima Seiki [31].

Всемирно известный бренд спортивной одежды Nike в 2011 г. представил новую технологию изготовления кроссовок – Flyknit (рис. 2-б), благодаря которой в процессе производства на 60% сокращаются отходы по сравнению с традиционными методами кроя и шитья. С 2012 - 2016 гг. этот подход позволил сократить отходы почти на 1500 тонн [32].



Рис. 2

Цифровая мода (ЦМ)

В условиях пандемии COVID-19 мода вошла в число отраслей, которые были вынуждены адаптировать свои коммерческие и творческие стратегии под меры социального дистанцирования [33]. Вследствие этого использование цифрового канала взаимодействия с потребителем возросло и в некоторые периоды стало единственным способом преодоления физических барьеров [35]. По мнению одного из крупнейших мировых трендовых агентств – WGSN, тенденция использования цифрового пространства в моде будет преобладать в ближайшие годы [35].

"Диджитал" костюм уверенно завоевывает киберпространство. Сетевые игры стали повседневным вариантом досуга для молодых пользователей. VR/AR-технологии становятся все популярнее. Их разработчики не оставляют попыток усилить эффект присутствия. В отдельное направление выделились игры, главная идея которых – получение новых элементов внешнего вида для героя. Популярность социальных сетей и развитие технологий обработки изображений и видео привели к распространению ЦМ за пределами игрового сообщества. Так, крупные мировые марки одежды предлагают свои коллекции посредством виртуальных онлайн-показов. Versace, Louis Vuitton, Balenciaga, Gucci и Burberry используют этот прием для представления своей продукции и распространения цифровых модных товаров. Фонд Sarabande, созданный Alexander McQueen, представил Auroloros – линию одежды от кутюр только в виртуальном исполнении [36], [3].



Рис. 3

Помимо этого появляются онлайн платформы, предлагающие примерить разные образы. Так, на сайтах Replicant [37] и Tribute-brand [38] встречаются в том числе изделия из трикотажа (рис. 3 – примеры цифровой одежды из трикотажа: а) – свитер сайта Replicant; б) – костюм в спортивном стиле, представленный на Tribute-brand).

3D-визуализация. Текстильная промышленность и индустрия моды процветают благодаря свежим, творческим идеям и их быстрой реализации. Короткие рабочие процессы от проектирования до выхода на рынок обеспечивают быструю разработку продукта и могут быть дополнительно сокращены за счет возможностей оцифровки [39].

В настоящее время уделяется большое внимание разработкам в области визуализации изделий из различных материалов. В данном исследовании делаем акцент на ПО K.innovation CREATE [23] и APEX Fiz [26], предлагаемых двумя производителями-конкурентами плосковязального оборудования Stoll by Karl Mayer и Shima Seyki. Представленные цифровые продукты создают качественную визуализацию, при этом выходные данные проекта содержат необходимую техническую информацию и могут быть использованы в качестве основы для программирования. Рис. 4 – 3D-моделирование: а) – пример визуализации Stoll by Karl Mayer; б) – пример визуализации Shima Seyki. Надо отметить, что существует достаточное количество цифровых платформ, позволяющих получить виртуальное изображение изделия, но без возможности ее дальнейшей автоматизированной реализации в материале [18], [40...43].



Рис. 4

Данные разработки перестраивают цепочку поставок от планирования и проектирования до получения виртуального

образца, связи с производством и электронной коммерцией.

"Вязание по требованию". Вязальная технология в период Индустрии 4.0 адаптирована для проектирования уникальных изделий. Трикотажная технология является оптимальной для быстрого реагирования на изменение потребительских запросов. Многие производители вязаной продукции за последнее десятилетие осознали значимость индивидуального предложения и смогли перейти от массового продукта к штучному. При этом в некоторых случаях было достаточно понять необходимость индивидуализации моделей и перестроить алгоритмы работы, а современное оборудование для вязания уже позволяло это сделать [44], [11]. Так, например, машины ведущих производителей плосковязальных автоматов Stoll и Shima Seyki еще в начале 2000-х гг. предоставляли возможность вносить изменения в программу вязания.

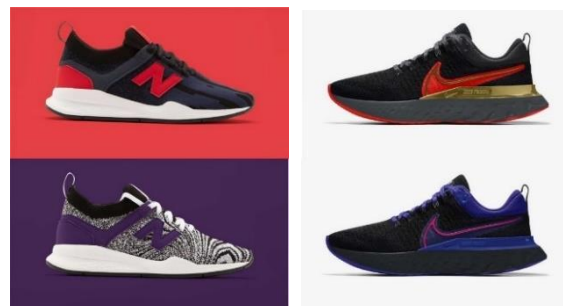
В настоящий момент различные отечественные и зарубежные производства предлагают гибкие условия заказа вязаных изделий (рис. 5 – "вязание по требованию": а) – Morozov.Atelier, Россия; б) – WORTH Partnership Project, Нидерланды) [30], [45], [46]. Клиент может указывать свои индивидуальные размерные данные, выбирать цвет, а в некоторых случаях менять рисунок [47], [44].



а) б)
Рис. 5

Онлайн кастомизация. Возможности 3D-визуализации открыли путь для новых устойчивых решений, например, индивидуализации продукта. Бренд спортивной одежды New Balance и ведущая компания по разработке ПО для модной индустрии

Unmade объединили свои ресурсы, чтобы сформировать новое предложение потребителю: проектировать свое собственное трикотажное верхнее покрытие обуви с возможностью выбора графики, цвета и текста в киберпространстве (рис. 6-а) [49]. Такую же опцию реализовала на своем сайте компания Nike (рис. 6-б) [32].



а) б)

Рис. 6

По мнению разработчиков, кастомизация в большой степени пролонгирует жизненный цикл изделий.

Медленная мода

Технологические новации в отрасли ускоряют все процессы, начиная от поиска идеи до получения готового продукта заказчиком, и стимулирует производителей выпускать больше изделий. Цифровые копии моделей экономят сырье для образцов, но при этом ускоренные темпы выпуска продукции ведут к перепроизводству и огромным остаткам одежды на складах.

Вопросы этичного производства становятся, как никогда ранее, актуальны. Так, Филипп Старк совместно с шотландской компанией Ballantyne, известной своей работой в области кашемирового трикотажа, создали проект "S + TARCK WITH BALLANTYNE" (2009 г.). Результатом объединенных усилий стала коллекция "умного кашемира". Она возникла в противовес "быстрой моде" и основана на эргономике, универсальности и долговечности материала. Авторы подчеркивают многофункциональность этой одежды и одновременно ее актуальность и вневременность (рис.7-а) [50]. Ответственные компании, например, 22 Factor (рис. 7-б), KNITWEAR LAB (рис. 7-в), смещают акцент в презентациях своих

коллекций на их всесезонность и отсутствие различий по полу и возрасту [51], [52]. Рис. 7 – модели брендов, работающих в сегменте ММ: а) – Филипп Старк, Франция; б) – 22 Factor, Гонконг; в) – KNITWEAR LAB, Нидерланды

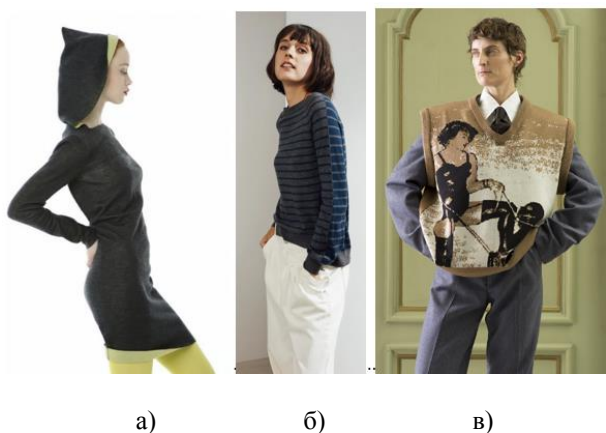


Рис. 7

Умное сырье

Различные типы натуральных волокон (хлопок, шерсть и лен) и синтетические волокна (полиамид и полиэфир) перерабатываются в пряжу. Производство нитей включает механические процессы, требующие большого количества энергии, при этом образуются твердые отходы, пыль и шум [53]. В число своих главных преимуществ трикотажные компании выводят на передний план использование "умного сырья".

Потребители все больше осознают негативное воздействие моды на окружающую среду и чаще демонстрируют склонность приобретать продукцию без пластика, приносящую наименьший урон экологии при ее производстве. Этот запрос привел к тому, что индустрия моды и текстильная промышленность приступили к поиску решений, предлагающих жизнеспособные альтернативы материалам, изготовленным из невозобновляемых ископаемых видов топлива. "Если ранее текстиль и индустрия моды опирались на инновации из нефтехимической области, то сегодня ткани создаются из органических волокон..." отмечает в своей работе [8, стр. 205] искусствовед Митрофанова Н.Ю. В анонсах текстильных компаний и научных статьях появляются сведения о нитях на основе водорослей,

микроволокна из синтезированного белка (рис. 8 – проект Spiber и Gold Wing – свитер, произведенный из пряжи "Brewed Protein™", волокна которой получены из сваренного растительного белка), хлопкового линтера (является отходом, образующимся в процессе производства хлопка), циркуляционной целлюлозы (на 100% использует текстильные отходы, такие как изношенные джинсы и обрезки производства), шерсти померанской собаки и другие разработки [51], [54], [55], [56].



Рис. 8

В то же время идет непрерывная работа в области переработки материалов. Так, например, вышеупомянутая фирма Nike для переработанной пряжи из полиэфира Flyknit использует отходы пластика. В среднем, на одну вывязанную верхнюю часть обуви расходуется 6...7 полиэфирных бутылок [32].

ВЫВОДЫ

Устойчивое развитие – одна из важных тенденций Индустрии 4.0, помогающая достигать баланса в вопросах ускорения темпов производства и сохранения природного наследия планеты. Текстильная промышленность, в частности трикотажная отрасль, находит новые пути в решении данной проблемы.

Новый социальный запрос мотивирует развитие технологии, что в свою очередь приводит к трансформации отрасли. Основные направления эволюции и совершенствования трикотажного производства отражают современные форумы текстильной и модной индустрии. Одними из главных

повесток специализированных мероприятий являются вопросы экологически ответственных подходов к культуре производства изделий. Важную роль в этом контексте отводят получению сырья для нитей и созданию экологически чистой пряжи. Отмечается важность оперативной реакции на социальный запрос, что приводит к новым стратегиям взаимодействия с помощью цифровых технологий. Очевидно, изменение потребительских привычек, выражающееся в интересе к ответственному и сознательному потреблению, а также в укоренившихся тенденциях УР. Одно из главных направлений в развитии текстильной отрасли – переход от серийного к индивидуальному продукту. Этот процесс требует не только технологической подготовленности производства и его цифровизации, но и совершенствования способов проектирования изделий, что повышает роль и значение дизайнера.

Таким образом, были выявлены некоторые основные направления развития современного дизайна трикотажа: интеллектуальное вязание, подразумевающее вязание по контуру, бесшовный способ изготовления изделий и цифровое моделирование; цифровая мода, включающая процессы визуализации изделий и взаимодействия с потребителем на разных уровнях; медленная мода, а также умное сырье.

Возможности интеллектуального вязания широко используются во всем мире производителями разного уровня. Современные трикотажные комбинаты выстраивают художественно-технологический процесс таким образом, чтобы сокращались временные и материальные ресурсы на изготовление продукта, при наименьшем уровне экологии. Устаревший подход в индустрии ориентирован на массовое производство одежды. Значительная часть продукции из трикотажа остается неиспользуемой в виде экспериментальных образцов. С помощью возможностей цифрового проектирования ситуация может измениться [13]. Высвободившиеся временные и материальные ресурсы на создание и примерку изделия можно тратить на изучение жизненных циклов продукции, пролонгации

периода эксплуатации изделий и ухода за ними на всем пути их службы.

Цифровая мода уверенно входит в современную жизнь и меняет реальность. Зародившись в цифровой игровой среде, она проникает в модную индустрию и помогает создавать новые устойчивые концепции разного уровня значимости. Процесс виртуальной подгонки еще широко не доступен в режиме реального времени, но он дает представление о возможностях будущего. В нем также показаны преимущества включения цифровых вязанных копий в процесс разработки трикотажа. "Вязание по требованию" отвечает одной из главных тенденций отрасли – создание уникального продукта. Растет сообщество дизайнеров, инженеров, художников и предпринимателей, которые вносят свой вклад в переход к "моде по требованию". Налаживаются новые способы взаимодействия с потребителем, в котором последний становится активным участником дизайн-процесса. Меняется парадигма модной индустрии "дизайн-производство-заказ" на "дизайн-заказ-производство". В конечном счете, это может привести к созданию новой здоровой промышленной системы, производящей необходимое количество изделий.

Замедление моды – важный фактор в условиях новой технической революции. Ускоренные процессы производства трикотажа должны быть сбалансированы ответственным потреблением. Работа специализированных площадок, выставок и форумов, а также средств массовой коммуникации нацелена на изменение потребительских запросов. Социум постепенно адаптируется к новым модным стандартам.

Новые установки моды в сочетании с умным сырьем открывают пути для актуальных устойчивых дизайн-концепций. Происходит переосмысление способов получения сырья для пряжи. Очевидны два основных инновационных направления: поиск новых природных источников для создания нитей и рециклинг отходов.

Таким образом, в условиях стремительно развивающегося глобализированного рынка промышленные компании несут на себе большую ответственность. Их

эволюция согласуется с концепцией УР и базируется на новом подходе к производству, основанном на массовом внедрении информационных технологий, масштабной автоматизации бизнес-процессов, распространении искусственного интеллекта, внедрении 3D-визуализации. Эти концептуальные тенденции на глазах становятся частью нашего повседневного существования. Современный дизайн трикотажа – многосоставная сфера, отражающая веяния времени и способная внести свой скромный вклад в развитие общих эволюционных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Содействие устойчивому развитию // Организация Объединенных Наций URL: <https://www.un.org/ru/our-work/support-sustainable-development-and-climate-action> (дата обращения: 30.10.2021).
2. Бекбергенева Д.Е. Ключевые направления развития Индустрии 4.0 в современных условиях цифровизации экономики // Экономические науки. – 2020, №185. С. 61...65.
3. Конец моды. Одежда и костюм в эпоху глобализации / Под ред. Адама Гечи и Вики Караминас; пер. с англ. Т. Пирусской. – М.: Новое литературное обозрение, 2020.
4. Asadollahi-Yazdi E., Couzon P., Nguyen N., Ouazene Y. and Yalaoui F. Industry 4.0: Revolution or Evolution? // American Journal of Operations Research. – 2020, № 10. С. 241...268.
5. Yunos S. and Din R. The Generation Z Readiness for Industrial Revolution 4.0. // Creative Education. – 2019, № 10. С. 2993...3002.
6. Smit J., Kreuzer S., Moeller C., Carlberg M. Industry 4.0. - European Union: Policy Department A: Economic and Scientific Policy. – 2016.
7. Wu Y. and Duan Y. "Made in China": Building Chinese Smart Manufacturing Image. // Journal of Service Science and Management. – 2018, № 11. С.590...608.
8. Митрофанова Н.Ю. Основные аспекты "эко реабилитации" текстиля в современном мире // Мат. XXIII Междунар. научн. конф.: Мода и дизайн: Исторический опыт. Новые технологии". 26-29.05.2020. – СПб.: СПГУПТД, 2020. С. 204...208.
9. Флетчер К. Медленная мода: изменить систему // Теория моды: одежда, тело, культура. – М.: Новое литературное обозрение, 2019. С. 9...17.
10. Andò R., Corsini F., Terracciano B., Rossi G. Understanding Fashion Consumption in the Networked Society: A Multidisciplinary Approach. // Fashion Communication in the Digital Age. – FACTUM 2019. P.3...8.
11. Larsson J., Mouwitz P., Peterson J. Knit on Demand - mass customisation of knitted fashion products // Textile Journal. – 2013. P. 109...121.
12. Peterson J. The Co-design Process in Mass Customization of Complete Garment Knitted Fashion Products // Journal of Textile Science & Engineering. – 2016, №6:5. P. 270...278.
13. Организация международных выставок и рекламных мероприятий во всех секторах моды. Pitti Immagine URL: <https://filati.pittimmagine.com/it> (дата обращения: 29.10.2021).
14. Бизнес-акселератор мировой индустрии моды // Première Vision URL: <https://www.premierevision.com/en/> (дата обращения: 29.10.2021).
15. Ведущая международная отраслевая выставка, посвященная инновациям в области пряжи, волокон и трикотажа. // SPINEXPO URL: <http://www.spinexpo.com/new-york/> (дата обращения: 29.10.2021). (дата обращения: 29.10.2021).
16. Milano Unica Events // Milano Unica <https://www.milanounica.it/mosaic/en/about-us-milano-unica-corporate-info>
17. PITTI FILATI 85 // Pittimmagine URL: https://media.pittimmagine.com/image/upload/v1618715725/EPITTI/FILATI/2019_85/PRESS/ita/Comunicato-Apertura_Pitti-Filati-85_ITA.pdf (дата обращения: 07.11.2021).
18. Pitti Studios новый сервис 3D визуализации // Pitti immagine URL: <https://filati.pittimmagine.com/it/pittimmagine/archive/filati89/news/pitti-studios> (дата обращения: 31.10.2021).
19. Sustainable Style #3 // Pittimmagine URL: https://media.pittimmagine.com/image/upload/v1633602722/EPITTI/UOMO/2021_100/PRESS/per%20caricamento/8%20comunicato%20Sustainable%20Style/8_Comunicato_Sustainable_Style.pdf (дата обращения: 07.11.2021).
20. Exhibitions Shows Conferences // Knitting Industry URL: <https://www.knittingindustry.com/interview-karine-van-tassel-founder-and-organizer-spin-expo/> (дата обращения: 07.11.2021).
21. 33rd Edition of Milano Unica // MILANO UNICA - EXHIBITION URL: <https://www.milanounica.it/en/mu-33-opening-press-release> (дата обращения: 22.11.2021).
22. The Sustainability Project of the 33rd edition of Milano Unica // MILANO UNICA - EXHIBITION URL: <https://www.milanounica.it/en/the-sustainability-project-of-the-33rd-edition-of-milano-unica> (дата обращения: 22.11.2021).
23. k.innovation CREATE // KARL MAYER STOLL URL: <https://www.stoll.com/en/software/kinnovation-create/> (дата обращения: 28.10.2021).
24. Чарковский А.В., Гончаров В.А. Разработка высокообъемного трикотажа с использованием мультифиламентных нитей // Вестник ВГТУ. – 2018, №1 (34). С. 79...86.
25. Хамматова Э.А. Формообразование тектонических систем материалов на основе полимерных волокон // Вестник Казанского технологического университета. – 2011, №8. С. 335...336.
26. APEXFiz // Shima Seiki URL: <https://www.shimaseiki.com/product/design/software/> (дата обращения: 28.10.2021).

27. Ермолаева Е.М., Вигелина О.А., Труевцев А.В. Актуальные методы художественно-технологического проектирования трикотажа в этническом стиле // Изв. вузов. Технологическая текстильная промышленность. – 2021, №4. С. 103...109.
28. Ермолаева Е.М., Вигелина О.А. К вопросу о современных методах художественно-технологического проектирования трикотажа // Тез. докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых: Инновации молодежной науки. – СПб.: СПбГУПТД, 2021.
29. Slow fashion. Kate Fletcher. 1st June 2007 // Ecologist URL: <https://theecologist.org/2007/jun/01/slow-fashion> (дата обращения: 15.11.2021).
30. 3D вязание по требованию // WORTH Partnership Project URL: <https://worthproject.eu/project/3d-knitwear-on-demand/> (дата обращения: 31.10.2021).
31. Бренд UNIQLO. Официальный сайт // Uniqlo URL: <https://www.uniqlo.com> (дата обращения: 31.10.2021).
32. Портфель эко технологий и продуктов компании Nike. // Nike Fans URL: <https://nikefans.ru/brand/sustainable-technologies/> (дата обращения: 31.10.2021).
33. Virtual Catwalks And Digital Fashion: How COVID-19 Is Changing The Fashion Industry. Brooke Roberts-Islam. Apr 6, 2020 // Ecologist URL: <https://www.forbes.com/sites/brookeroberterobertsislam/2020/04/06/virtual-catwalks-and-digital-fashion-how-covid-19-is-changing-the-fashion-industry/?sh=2798d3a6554e> (дата обращения: 15.11.2021).
34. Faria A.P., Providência B., Cunha J. The Foreseeable Future of Digital Fashion Communication After Coronavirus: Designing for Emotions. // In: Kalbaska N., Sádaba T., Cominelli F., Cantoni L. (eds) Fashion Communication in the Digital Age. – 2021, №12. P.510...515.
35. WGSN Insider // WGSN URL: <https://www.wgsn.com/> (дата обращения: 15.11.2021).
36. Bringing digital fashion to life // This Outfit Does Not Exis URL: <https://www.thisoutfitdoesnotexist.com/> (дата обращения: 15.11.2021).
37. Digital fashion store // Replicant URL: <https://replicant.fashion/digitalfashionstore> (дата обращения: 15.11.2021).
38. No waste. No shipping. No size. No gender. Explore exclusive cyber products sampled in various CGI software and existing in the virtual space only. Photo fitted-to-order and digitally delivered to the customer. // TRIBUTE BRAND URL: <https://tribute-brand.com/> (дата обращения: 15.11.2021).
39. Цифровые технологии как движущая сила устойчивых инноваций // Knitting Industry URL: <https://www.knittingindustry.com/creative/webinar-digital-knitwear-development-with-k-innovation-create/> (дата обращения: 01.11.2021).
40. Реалистичное 3D-моделирование одежды // CLO URL: <https://www.clo3d.com/> (дата обращения: 28.10.2021).
41. Новаторские 3D-решения Browzwear для дизайна одежды // Browzwear Solutions Pte URL: <https://browzwear.com/> (дата обращения: 28.10.2021).
42. Программное обеспечение для 3d-дизайна одежды // Tailornova URL: <https://tailornova.com/> (дата обращения: 28.10.2021).
43. Программное обеспечение для проектирования одежды "Все в одном" // C-DESIGN Fashion URL: <https://www.cdesignfashion.com/design-software-en/> (дата обращения: 28.10.2021).
44. Jonas L., Joel P., Heikki M. The knit on demand supply chain // AUTEK Research Journal. – 2012. Vol.12, № 3. P. 67...75.
45. 3D Вязание по требованию // 22factor URL: <https://22factor.com/pages/on-demand-3d-knitting> (дата обращения: 31.10.2021).
46. Трикотаж по вашим меркам // Morozov. Atelier URL: <https://my-suit.ru/jersey/> (дата обращения: 01.11.2021).
47. Вязаный свитер онлайн дизайн // Wildemasche URL: <https://www.wildemasche.com/en/Design-your-knitsweater-online/> (дата обращения: 31.10.2021).
48. ТМ "Элком" // Элком URL: <https://www.elcom-kids.ru> (дата обращения: 31.10.2021).
49. Цифровая инфраструктура для модной и спортивной одежды // Unmade URL: <https://www.unmade.com/> (дата обращения: 01.11.2021).
50. Cashmere Clothes (Ballantyne) // Starck URL: <https://www.starck.com/ballantyne-p2115> (дата обращения: 07.11.2021).
51. Устойчивые стратегии производства трикотажа. // Tintex Официальный сайт URL: <https://store.tintertextiles.com> (дата обращения: 31.10.2021).
52. Трикотажная лаборатория // KNITWEAR LAB URL: / (дата обращения: 01.11.2021).
53. Rajkishore Nayak. Sustainable Technologies for Fashion and Textiles. - Great Britain: Woodhead publishing, 2020.
54. Ramamoorthy S., Ramadoss M., Kandhavadivu P., Jagannathan V.V.K. Evaluation of yarn and fabric properties of environmentally friendly and sustainable chiengora fibers from Pomeranian dog breed for textile applications // Journal of Natural Fibers. – 2021.
55. Plastic-free textiles innovation gathers momentum // Knitting Industry URL: <https://www.knittingindustry.com/creative/plastic-free-textiles-innovation-gathers-momentum/> (дата обращения: 03.11.2021).
56. The Sweater Brewed Protein // Spiber URL: <https://www.spiber.inc/thesweater/> (дата обращения: 03.11.2021).

REFERENCES

1. Sodeystvie ustoychivomu razvitiyu // Organizatsiya Ob"edinennykh Natsiy URL: <https://www.un.org/ru/our-work/support-sustainable-development-and-climate-action> (дата обращения: 30.10.2021).
2. Bekbergeneva D.E. Klyuchevye napravleniya razvitiya Industrii 4.0 v sovremennykh usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki // Ekonomicheskie nauki. – 2020, №185. S. 61...65.
3. Konets mody. Odezhdа i kostyum v epokhu globalizatsii / Pod red. Adama Gechi i Viki Karaminas; per.

s angl. T. Pirusskoy. – M.: Novoe literaturnoe obozrenie, 2020.

4. Asadollahi-Yazdi E., Couzon P., Nguyen N., Ouazene Y. and Yalaoui F. Industry 4.0: Revolution or Evolution? // American Journal of Operations Research. – 2020, № 10. S. 241...268.

5. Yunos S. and Din R. The Generation Z Readiness for Industrial Revolution 4.0. // Creative Education. – 2019, № 10. S. 2993...3002.

6. Smit J., Kreutzer S., Moeller C., Carlberg M. Industry 4.0. - European Union: Policy Department A: Economic and Scientific Policy. – 2016.

7. Wu Y. and Duan Y. "Made in China": Building Chinese Smart Manufacturing Image. // Journal of Service Science and Management. – 2018, № 11. S.590...608.

8. Mitrofanova N.Yu. Osnovnye aspekty "eko reabilitatsii" tekstilya v sovremennom mire // Mat. XXIII Mezhdunar.nauchn. konf.: Moda i dizayn: Istoricheskiy opyt. Novye tekhnologii". 26-29.05.2020. – SPb.: SPGUPTD, 2020. S. 204...208.

9. Fletcher K. Medlennaya moda: izmenit' sistemu // Teoriya mody: odezhd, telo, kul'tura. – M.: Novoe literaturnoe obozrenie, 2019. S. 9...17.

10. Andò R., Corsini F., Terracciano B., Rossi G. Understanding Fashion Consumption in the Networked Society: A Multidisciplinary Approach. // Fashion Communication in the Digital Age. – FACTUM 2019. P.3...8.

11. Larsson J., Mouwitz P., Peterson J. Knit on Demand - mass customisation of knitted fashion products // Textile Journal. – 2013. P. 109...121.

12. Peterson J. The Co-design Process in Mass Customization of Complete Garment Knitted Fashion Products // Journal of Textile Science & Engineering. – 2016, №6:5. P. 270...278.

13. Organizatsiya mezhdunarodnykh vystavok i reklamnykh meropriyatiy vo vseh sektorakh mody. Pitti Immagine URL: <https://filati.pittimmagine.com/it> (data obrashcheniya: 29.10.2021).

14. Biznes-akselerator mirovoy industrii mody // Première Vision URL: <https://www.premierevision.com/en/> (data obrashcheniya: 29.10.2021).

15. Vedushchaya mezhdunarodnaya otraslevaya vystavka, posvyashchennaya innovatsiyam v oblasti pryazhi, volokon i trikotazha. // SPINEXPO URL: <http://www.spinexpo.com/new-york/> (data obrashcheniya: 29.10.2021). (data obrashcheniya: 29.10.2021).

16. Milano Unica Events // Milano Unica <https://www.milanounica.it/mosaic/en/about-us-milano-unica-corporate-info>

17. PITTI FILATI 85 // Pittimmagine URL: https://media.pittimmagine.com/image/upload/v1618715725/EPITTI/FILATI/2019_85/PRESS/ita/Comunicato-Apertura_Pitti-Filati-85_ITA.pdf (data obrashcheniya: 07.11.2021).

18. Pitti Studios novyy servis 3D vizualizatsii // Pittimmagine URL: <https://filati.pittimmagine.com/it/pittimmagine/archive/filati89/news/pitti-studios> (data obrashcheniya: 31.10.2021).

19. Sustainable Style #3 // Pittimmagine URL: https://media.pittimmagine.com/image/upload/v1633602722/EPITTI/UOMO/2021_100/PRESS/per%20caricamento%20comunicato%20Sustainable%20Style/8_Comunicato_Sustainable_Style.pdf (data obrashcheniya: 07.11.2021).

20. Exhibitions Shows Conferences // Knitting Industry URL: <https://www.knittingindustry.com/interview-karine-van-tassel-founder-and-organizer-spinexpo/> (data obrashcheniya: 07.11.2021).

21. 33rd Edition of Milano Unica // MILANO UNICA - EXHIBITION URL: <https://www.milanounica.it/en/mu-33-opening-press-release> (data obrashcheniya: 22.11.2021).

22. The Sustainability Project of the 33rd edition of Milano Unica // MILANO UNICA - EXHIBITION URL: <https://www.milanounica.it/en/the-sustainability-project-of-the-33rd-edition-of-milano-unica> (data obrashcheniya: 22.11.2021).

23. k.innovation CREATE // KARL MAYER STOLL URL: <https://www.stoll.com/en/software/innovation-create/> (data obrashcheniya: 28.10.2021).

24. Charkovskiy A.V., Goncharov V.A. Razrabotka vysokoob"emnogo trikotazha s ispol'zovaniem multi-filamentnykh nitay // Vestnik VGTU. – 2018, №1 (34). S. 79...86.

25. Khammatova E.A. Formoobrazovanie tektonicheskikh sistem materialov na osnove polimernykh volokon // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2011, №8. S. 335...336.

26. APEXFiz // Shima Seiki URL: <https://www.shimaseiki.com/product/design/software/> (data obrashcheniya: 28.10.2021).

27. Ermolaeva E.M., Vigelina O.A., Truetsev A.V. Aktual'nye metody khudozhestvenno-tekhnologicheskogo proektirovaniya trikotazha v etnicheskom stile // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, №4. S. 103...109.

28. Ermolaeva E.M., Vigelina O.A. K voprosu o sovremennykh metodakh khudozhestvenno-tekhnologicheskogo proektirovaniya trikotazha // Tez. dokl. Vseros. nauch. konf. molodykh uchenykh: Innovatsii molodezhnoy nauki. – SPb.: SPbGUPTD, 2021.

29. Slow fashion. Kate Fletcher. 1st June 2007 // Ecologist URL: <https://theecologist.org/2007/jun/01/slow-fashion> (data obrashcheniya: 15.11.2021).

30. 3D vyazanie po trebovaniyu // WORTH Partnership Project URL: <https://worthproject.eu/project/3d-knitwear-on-demand/> (data obrashcheniya: 31.10.2021).

31. Brend UNIQLO. Ofitsial'nyy sayt // Uniqlo URL: <https://www.uniqlo.com> (data obrashcheniya: 31.10.2021).

32. Portfel' eko tekhnologii i produktov kompanii Nike. // Nike Fans URL: <https://nikefans.ru/brand/sustainable-technologies/> (data obrashcheniya: 31.10.2021).

33. Virtual Catwalks And Digital Fashion: How COVID-19 Is Changing The Fashion Industry. Brooke Roberts-Islam. Apr 6, 2020 // Ecologist URL: <https://www.forbes.com/sites/brookerobertsislam/>

2020/04/06/virtual-catwalks-and-digital-fashion-how-covid-19-is-changing-the-fashion-industry/?sh=2798d3a6554e (data obrashcheniya: 15.11.2021).

34. Faria A.P., Providência B., Cunha J. The Foreseeable Future of Digital Fashion Communication After Coronavirus: Designing for Emotions. // In: Kalbaska N., Sádaba T., Cominelli F., Cantoni L. (eds) Fashion Communication in the Digital Age. – 2021, №12. P.510...515.

35. WGSN Insider // WGSN URL: <https://www.wgsn.com/> (data obrashcheniya: 15.11.2021).

36. Bringing digital fashion to life // This Outfit Does Not Exis URL: <https://www.thisoutfitdoesnotexist.com/> (data obrashcheniya: 15.11.2021).

37. Digital fashion store // Replicant URL: <https://replicant.fashion/digitalfashionstore> (data obrashcheniya: 15.11.2021).

38. No waste. No shipping. No size. No gender. Explore exclusive cyber products sampled in various CGI software and existing in the virtual space only. Photo fitted-to-order and digitally delivered to the customer. // TRIBUTE BRAND URL: <https://tribute-brand.com/> (data obrashcheniya: 15.11.2021).

39. Tsifrovye tekhnologii kak dvizhushchaya sila ustoychivyykh innovatsiy // Knitting Industry URL: <https://www.knittingindustry.com/creative/webinar-digital-knitwear-development-with-k-innovation-create/> (data obrashcheniya: 01.11.2021).

40. Realistichnoe 3D-modelirovanie odezhdyy // CLO URL: <https://www.clo3d.com/> (data obrashcheniya: 28.10.2021).

41. Novatorskie 3D-resheniya Browzwear dlya dizayna odezhdyy // Browzwear Solutions Pte URL: <https://browzwear.com/> (data obrashcheniya: 28.10.2021).

42. Programmnoe obespechenie dlya 3d-dizayna odezhdyy // Tailornova URL: <https://tailornova.com/> (data obrashcheniya: 28.10.2021).

43. Programmnoe obespechenie dlya proektirovaniya odezhdyy "Vse v odnom" // C-DESIGN Fashion URL: <https://www.cdesignfashion.com/design-software-en/> (data obrashcheniya: 28.10.2021).

44. Jonas L., Joel P., Heikki M. The knit on demand supply chain // AUTEX Research Journal. – 2012. Vol.12, № 3. P. 67...75.

45. 3D Vyazanie po trebovaniyu // 22factor URL: <https://22factor.com/pages/on-demand-3d-knitting> (data obrashcheniya: 31.10.2021).

46. Trikotazh po vashim merkam // Morozov.Atelier URL: <https://my-suit.ru/jersey/> (data obrashcheniya: 01.11.2021).

47. Vyazanyy sviter onlayn dizayn // Wildemasche URL: <https://www.wildemasche.com/en/Design-your-knitsweater-online/> (data obrashcheniya: 31.10.2021).

48. TM "Elkom" // Elkom URL: <https://www.elkom-kids.ru> (data obrashcheniya: 31.10.2021).

49. Tsifrovaya infrastruktura dlya modnoy i sportivnoy odezhdyy // Unmade URL: <https://www.unmade.com/> (data obrashcheniya: 01.11.2021).

50. Cashmere Clothes (Ballantyne) // Starck URL: <https://www.starck.com/ballantyne-p2115> (data obrashcheniya: 07.11.2021).

51. Ustoychivyye strategii proizvodstva trikotazha. // Tintex Ofitsial'nyy sayt URL: <https://store.tintextiles.com> (data obrashcheniya: 31.10.2021).

52. Trikotazhnaya laboratoriya // KNITWEAR LAB URL: / (data obrashcheniya: 01.11.2021).

53. Rajkishore Nayak. Sustainable Technologies for Fashion and Textiles. - Great Britain: Woodhead publishing, 2020.

54. Ramamoorthy S., Ramadoss M., Kandhavadi P., Jagannathan V.V.K. Evaluation of yarn and fabric properties of environmentally friendly and sustainable chiengora fibers from Pomeranian dog breed for textile applications // Journal of Natural Fibers. – 2021.

55. Plastic-free textiles innovation gathers momentum // Knitting Industry URL: <https://www.knittingindustry.com/creative/plastic-free-textiles-innovation-gathers-momentum/> (data obrashcheniya: 03.11.2021).

56. The Sweater Brewed Protein // Spiber URL: <https://www.spiber.inc/thesweater/> (data obrashcheniya: 03.11.2021).

Рекомендована кафедрой технологии и художественного проектирования трикотажа. Поступила 05.04.22.

**ВЛИЯНИЕ РАСТВОРОВ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В ПАРЕ ТРЕНИЯ "ТКАНЬ – ТРАНСПОРТИРУЮЩИЙ РОЛИК"***

**THE INFLUENCE OF SURFACTANT SOLUTIONS
ON TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF TEXTILE MATERIALS
IN THE "FABRIC – CONVEYING ROLLER" FRICTION PAIR**

О.В. БЛИНОВ, В.Б. КУЗНЕЦОВ, Е.Н. КАЛИНИН

O.V. BLINOV, V.B. KUZNETSOV, E.N. KALININ

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: oleg_blinov@ro.ru; kuznetsovtex@gmail.com; enkalini@gmail.com

В работе исследовано влияние водных растворов неионогенных поверхностно-активных веществ различной концентрации на изменение триботехнических показателей на примере хлопчатобумажных тканей "Рогожка" и бязь "Стандарт" при их движении по стальным транспортирующим роликам.

Триботехнические показатели исследуемой системы трения определены по изменению потребляемой мощности экспериментальной установки, имитирующей процесс взаимодействия ткани с поверхностью стального транспортирующего ролика, и методами современных IT-технологий в области программно-аппаратных средств, обеспечивающих решение интегрированных вычислительных проектных задач на основе принципов программирования потоков данных в динамике процесса транспортирования ткани через технологические зоны технологической машины с учетом сил трения в рассматриваемой киберфизической производственной системе как базового компонента методологии Индустрии 4.0.

The influence of aqueous solutions of nonionic surfactants of various concentrations on the change in the tribotechnical parameters of cotton fabrics "Gunny" and coarse calico "Standard" moving along steel transport rollers was studied.

The tribotechnical parameters of the friction system under study are determined by the change in the power consumption of the experimental setup simulating the process of interaction between the fabric and the surface of the steel transport roller and the methods of modern IT technologies in the field of software and hardware that provide the solution of integrated computational design problems based on the principles of programming data flows in the dynamics of the process transportation of tissue through the technological zones of the technological machine, taking into account the forces of friction in the considered cyber-physical production system as a basic component of the methodology Industry 4.0.

* Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ по проекту 20-43-370007 р_а_ Ивановская область: «Развитие научных основ прогнозирования функциональных и конструкционных параметров, синтезируемых полимерных волокнистых композитных систем».

Ключевые слова: триботехнические показатели, неионогенные поверхностно-активные вещества, ткань "Рогожка", переплетение, структура ткани, пара трения "ткань-транспортирующий ролик", коэффициент трения.

Keywords: tribotechnical indicators, non-ionic surfactants, "Rogozhka" fabric, harsh, coarse calico fabric "Standard", fabric structure, coefficient of friction of textile material.

Введение.

Триботехнические свойства текстильных материалов оказывают существенное влияние на процесс их обработки при движении по различным видам технологического оборудования, влияя в конечном итоге на качественные показатели готовых тканей.

В результате существенно осложняются возможности математического моделирования данного процесса [1] и, как следствие, перспективы создания эффективных средств автоматизации отделочного оборудования.

При этом на триботехнические показатели тканей оказывают влияние различные факторы, а именно физико-механические характеристики суровых текстильных материалов и виды переплетения [2], [3], а также наличие в рабочих растворах различных текстильных вспомогательных веществ (ПАВ). Среди применяемых текстильных вспомогательных веществ наибольшее распространение имеют поверхностно-активные вещества, имеющие смачивающее, эмульгирующее и диспергирующее действие и влияющие на изменение поверхностного натяжения рабочих растворов [4...6].

Основная часть.

Для оценки влияния растворов ПАВ на изменение коэффициента трения текстильного материала была разработана специальная установка, имитирующая процесс взаимодействия ткани с поверхностью стального транспортирующего ролика. Установка представляет собой вращающийся диск с гладкой поверхностью, с которым контактирует образец ткани, предвари-

тельно выдержанный в растворе поверхностно-активного вещества соответствующей концентрации при комнатной температуре. По изменению потребляемой мощности экспериментальной установки определены триботехнические показатели исследуемой пары трения методами современных IT-технологий в области программно-аппаратных средств, обеспечивающих решение интегрированных задач на основе технологии Программирования потоков данных [7] динамики процесса транспортирования ткани через технологические зоны с учетом сил трения.

В качестве поверхностно-активных веществ были выбраны представители класса неионогенных соединений, имеющих наиболее широкое распространение [8]. Для проведения исследований среди ассортимента имеющихся неионогенных ПАВ были выбраны Стеарокс-6, ОП-7 и ОС-20, имеющие разное химическое строение и обладающие различной эмульгирующей способностью при образовании эмульсий типа "масло в воде".

В табл. 1 (характеристики поверхностно-активных веществ и величина коэффициента трения (μ)) приведены физико-химические показатели ПАВ и полученные экспериментальные результаты по изменению коэффициента трения ткани.

Одной из важнейших характеристик эффективности действия поверхностно-активных веществ является гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ). При этом, чем выше величина ГЛБ, тем легче происходит образование эмульсий типа "масло в воде" при удалении жировосков, присутствующих на хлопчатобумажных тканях.

Таблица 1

ПАВ	Молекулярная масса	ГЛБ	Коэффициент трения μ (усл.ед) при концентрации ПАВ, г/л				
			0	0,5	1,0	1,5	2,0
Стеарокс -6	512	6,8	0,067	0,065	0,074	0,09	0,13
ОП-7	490...542	10,9	0,067	0,067	0,070	0,84	0,12
ОС-20	1150	14,8...17,0	0,067	0,090	0,100	0,11	0,18

В качестве текстильного материала использовали суровые хлопчатобумажные ткани "Рогожка" и бязь "Стандарт", физико-

механические характеристики которых представлены в табл.2.

Таблица 2

Физико-механические характеристики тканей	Линейная плотность, текс (№), основа / уток	Поверхностная плотность, г/м ²	Число нитей на 10 см		Разрывная нагрузка полоски ткани размером 50×200 мм, кгс не менее	
			основа	уток	основа	уток
Бязь - Стандарт суровая	29 (34)/29 (34)	140	224	220	30	21
Рогожка суровая	29 (34)/50 (20)	164	220	175	37	44

Представленные данные свидетельствуют о том, что ткани имеют значительные отличия по физико-механическим показателям – в первую очередь, по линейной плотности используемой пряжи, а также количеству нитей в основе и утке. Ткани имеют разный размер ячеек, образованных нитями основы и утка, что подтверждается микрофотографиями на рис.1 (микрофотографии структуры ткани: а) "Рогожка"; б) бязь – "Стандарт").

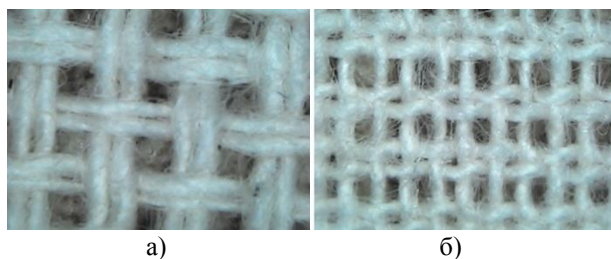


Рис.1

Полученные результаты по триботехническим показателям исследуемых тканей в паре трения "ткань – транспортирующий ролик", представленные на диаграмме рис.2 (коэффициент трения (μ) сухих суровых тканей "Рогожка" и бязь "Стандарт"), свидетельствуют, что для сухой суровой ткани "Рогожка" коэффициент трения практически в три раза выше, чем для суровой бязи "Стандарт".

Это обусловлено видом уточной пряжи, используемой для изготовления ткани

"Рогожка", которая имеет гораздо больший диаметр и более грубую поверхность, чем пряжа, из которой изготавливается бязь "Стандарт".

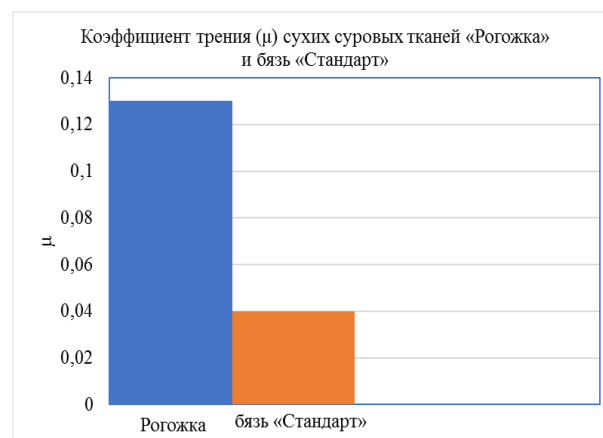


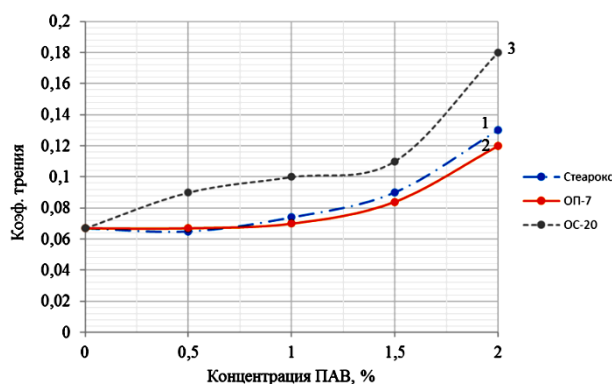
Рис. 2

На рис. 3 представлены графические зависимости влияния концентрации поверхностно-активных веществ на триботехнические свойства ткани "Рогожка" суровая (а) и ткани бязь "Стандарт" суровая (б) (1 – стеарокс–6; 2 – ОП-7; 3 – ОС-20).

Представленные результаты свидетельствуют о значительном изменении величины трения, как у ткани "Рогожка" суровая, так и ткани бязь "Стандарт". Причем это влияние тем больше, чем выше концентрация поверхностно-активного вещества.

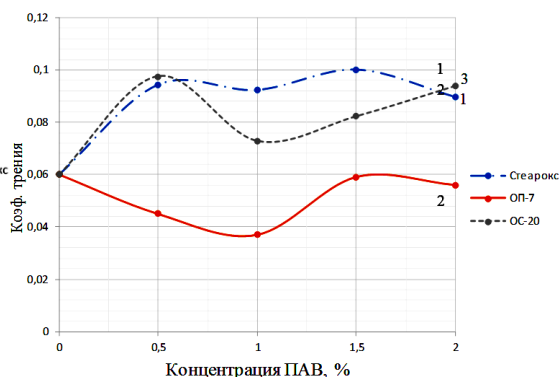
Так, для Стеарокс-6 и ОП-7, у ткани "Рогожка", коэффициент трения ткани при-

мерно одинаков. В случае ОС-20 наблюдается существенное повышение величины



а)

коэффициента трения примерно на 50% при максимальной концентрации ПАВ.



б)

Рис. 3

Следует отметить, что при малых концентрациях ПАВ (0,5 г/л) коэффициент трения ткани "Рогожка" практически не отличается от полученного при использовании воды. При увеличении концентрации ПАВ до 2 г/л коэффициент трения существенно возрастает в случае Стеарокса-6 и ОП-7 примерно в 2 раза, а в случае ОС-20 практически в 3 раза.

Несколько иная картина наблюдается для ткани бязь "Стандарт". Для Стеарокса-6 и ОС-20 происходит рост коэффициента трения примерно в 1,5 раза даже при концентрации 0,5 г/л. При дальнейшем увеличении концентрации Стеарокса-6 наблюдается незначительное колебание коэффициента трения в пределах 10%, снижаясь при концентрации 1,0 г/л и повышаясь на те же 10% при ее увеличении до 1,5 г/л. В случае ОС-20 отмечается резкое падение коэффициента трения примерно в 1,3 раза при повышении концентрации препарата до 1,0 г/л, а затем дальнейший рост практически до уровня, соответствующего концентрации препарата 0,5 г/л. При обработке ткани бязь "Стандарт" водными растворами ОП-7 наблюдается абсолютно противоположная картина. Сначала снижение коэффициента трения до минимума при концентрации препарата 1,0 г/л и затем его повышение до уровня, соответствующего коэффициенту трения для воды без поверхностно-активного вещества.

Вероятно, изменение триботехнических показателей исследованных тканей обусловлено различной способностью поверхностно-активных веществ к эмульгированию жировосков и набуханию волокнистой составляющей, влияющих на коэффициент трения текстильных материалов.

В Ы В О Д Ы

Исследовано влияние растворов поверхностно-активных веществ на триботехнические свойства тканей "Рогожка" суровая и бязь "Стандарт" суровая в паре трения "текстильный материал – транспортирующий ролик". Показано, что использование водных растворов неионогенных ПАВ различной природы оказывает существенное влияние на изменение коэффициента трения текстильных материалов в паре трения "ткань– транспортирующий ролик".

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Фомичев В.Т., Глазунов А.В. Математическое моделирование динамики однороликовой зоны транспортирования ткани с учетом сил трения // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, №1. С.119...122.
2. Годлевский В.А., Блинов О.В., Калинин Е.Н., Кузнецов В.Б., Митронов Д.В. Исследование триботехнических свойств текстильных материалов на триботестере ТАУ-1 // Сб. мат. X Всероссийской научн.-практ. конф.: Надежность и долговечность машин и механизмов: Ивановская пожарно-спасательная ака-

демия ГПС МЧС России. – Иваново, 2019. С. 258...262.

3. *Годлевский В.А., Кузнецов В.Б., Блинов О.В., Калинин Е.Н.* Экспресс-метод анализа трибологических свойств текстильной структуры полимерного наполнителя с учетом факторов внешнего воздействия. Физика волоконистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (Smartex). Учредители: Ивановский государственный политехнический университет (Иваново), ISSN: 2413-6514. – 2020, №1. С. 35...40.

4. *Рибиндер П.А.* Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. Избранные труды. – М.: Наука, 1978.

5. *Войцкий С.С.* Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1976.

6. *Клейтон В.* Эмульсии. Их теория и технические применения. – М.: Иностранная литература, 1950.

7. *Carkci M.* Dataflow and Reactive Programming Systems: A Practical Guide. — CreateSpace Independent Publishing Platform. – 2014. ISBN 9781497422445.

8. *Верников Я.Н., Андросов В.Ф.* Обработка текстильных изделий в водных растворах СМС. – М.: Легпромбытиздат, 1986.

REFERENCES

1. Fomichev V.T., Glazunov A.V. Matematiceskoe modelirovanie dinamiki odnorolikovoy zony transportirovaniya tkani s uchetom sil treniya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2003, №1. S.119...122.

2. Godlevskiy V.A., Blinov O.V., Kalinin E.N., Kuznetsov V.B., Mitronov D.V. Issledovanie tribologicheskikh svoystv tekstil'nykh materialov na tribometre TAU-1 // Sb. mat. X Vserossiyskoy nauchn.-prakt. konf.: Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov: Ivanovskaya pozharno-spatatel'naya akademiya GPS MChS Rossii. – Ivanovo, 2019. S. 258...262.

3. Godlevskiy V.A., Kuznetsov V.B., Blinov O.V., Kalinin E.N. Ekspress-metod analiza tribologicheskikh svoystv tekstil'noy struktury polimernogo napolnitelya s uchetom faktorov vneshnego vozdeystviya. Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (Smartex). Uchrediteli: Ivanovskiy gosudarstvennyy politekhnicheskii universitet (Ivanovo), ISSN: 2413-6514. – 2020, №1. S. 35...40.

4. Rebinder P.A. Poverkhnostnye yavleniya v dispersnykh sistemakh. Kolloidnaya khimiya. Izbrannye trudy. – М.: Nauka, 1978.

5. Voyutskiy S.S. Kurs kolloidnoy khimii. – М.: Khimiya, 1976.

6. Kleyton V. Emul'sii. Ikh teoriya i tekhnicheskie primeneniya. – М.: Inostrannaya literatura, 1950.

7. Carkci M. Dataflow and Reactive Programming Systems: A Practical Guide. — CreateSpace Independent Publishing Platform. – 2014. ISBN 9781497422445.

8. Vernikov Ya.N., Androsov V.F. Obrabotka tekstil'nykh izdeliy v vodnykh rastvorakh SMS. – М.: Legprombytizdat, 1986.

Рекомендована кафедрой мехатроники и радиоэлектроники. Поступила 24.02.22.

УДК 677.054.89:004.94

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_237

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ТКАЦКОГО СТАНКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУШИЛЬНЫХ СЕТОК

DIAGNOSIS AND DEVELOPMENT OF THE WEAVING MACHINE OPERATIONAL MONITORING SYSTEMS FOR THE PRODUCTION OF DRYING NETS

В.В. СИГАЧЕВА, И.Е. МЕНЯЙЛО

V.V. SIGACHEVA, I.E. MENIAILO

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: sigacheva2006@mail.ru

Современные сушильные сетки, применяемые в производстве бумаги, не должны иметь технологических дефектов, возникающих при неудовлетворительном техническом состоянии оборудования. Приведены данные пред-

варительного диагностического обследования ткацкого станка с использованием переносного многовходового микропроцессорного прибора с энергонезависимой памятью, работающего с датчиками ускорения.

Датчики ускорения измеряют вибрацию в местах установки, отражающую износ кинематических пар механизмов ткацкого станка. Установлены диагностические показатели, критерии достоверности информации и выполнена ее идентификация реальному состоянию.

Разработан встраиваемый в ткацкий станок аппаратно-программный комплекс мониторинга технического состояния ткацкого станка, на основе датчиков вибрации, контроллера сбора данных и базы данных. Программа диагностирования выполняет обработку информации, определяет диагностические параметры, которые сравниваются с базовыми показателями, формируется вывод о техническом состоянии механизма или станка в целом. Результаты записываются, выводятся на экран, что позволит своевременно устранять технические неполадки. Предусмотрена сигнализация персоналу о предельных отклонениях технического состояния объекта. Все полученные измерения и основная диагностическая информация записываются в базу данных архива.

Modern drying nets used in the paper production should not have process defects that occur when the technical condition of the equipment is unsatisfactory. The data of a loom preliminary diagnostic using a portable multi-input microprocessor device with non-volatile memory, working with acceleration sensors, is presented. Acceleration sensors measure vibration at installation sites, reflecting the wear of kinematic pairs of loom mechanisms. Diagnostic indicators, criteria for the information reliability were established and its identification to the real state was performed.

A hardware-software complex for monitoring the technical condition of the loom, built into a loom, based on vibration sensors, a data collection controller and a database, has been developed. The diagnostic program performs information processing, determines diagnostic parameters that are compared with baseline parameters, and forms a conclusion about the technical condition of the mechanism or loom as a whole. The results are recorded and displayed on the screen, which will allow timely elimination of technical problems. Signaling to personnel about the maximum deviations of the technical condition of the facility is provided. All obtained measurements and basic diagnostic information are recorded into the archive database.

Ключевые слова: ткацкий станок, техническое состояние, мониторинг, программно-аппаратный комплекс, контроллер, вибрация, измерительный блок, диагностические параметры, сигнализация.

Keywords: loom, technical condition, monitoring, hardware-software complex, controller, vibration, measuring unit, diagnostic parameters, signaling.

Введение

Сушильные сетки, применяемые в производстве бумаги, должны обеспечивать их технологическую работоспособность и эксплуатационную надежность [1]. Эксплуатация сеток происходит в течение длительного срока в условиях высокой темпера-

туры (до 170°C), влажности, кислой среды ($pH = 4 \pm 0,5$), при скоростях до 1000 м/с и больших динамических нагрузках. Тканые полотна сетки вырабатываются из химических монопитей и специальных комплексных нитей с высокими механическими характеристиками, на тяжелых ткацких стан-

ках с рабочей шириной от 2 до 10 м. Требования к качеству сеток очень высокие. Сетки не должны иметь технологических дефектов, возникающих в процессе изготовления при неудовлетворительном техническом состоянии оборудования.

Модернизация эксплуатируемого оборудования посредством внедрения встроенной в станок диагностической системы позволит своевременно устранять технические неполадки и стабилизировать технологический процесс.

Дополнительная вибрация валов, приводных кулачково-рычажных механизмов рабочих органов возникает вследствие износа подшипников, муфт, соединений, способы диагностики которых описаны в трудах [2], [3]. Специфика ткацких станков, оснащенных всеми типами механизмов, требует индивидуального подхода к их диагностированию. Современный уровень приборостроения, увеличение сроков службы датчиков позволил разработать концепцию встроенной диагностической аппаратуры [4].

Разработан встраиваемый в ткацкий станок аппаратно-программный комплекс мониторинга технического состояния ткацкого станка на основе датчиков вибрации, контроллера сбора данных и базы данных.

Результаты и обсуждения

Разработке предшествовало предварительное диагностическое обследование

ткацкого станка с использованием переносного многоходового микропроцессорного прибора с энергонезависимой памятью, работающего с датчиками ускорения. Обработка массивов данных всех механизмов для определения диагностических параметров (ДП) технического состояния выполнялась на компьютере с использованием специально разработанного программного обеспечения [5]. По диагностическим параметрам оценивается остаточный рабочий ресурс, ремонтпригодность механизмов. Как показали исследования [6], при плановом использовании автоматизированной диагностической системы механизмов повышается ресурсосбережение ткацких станков за счет снижения энергопотребления, увеличения сроков эксплуатации.

Результаты предварительного диагностического обследования механизма батана показали: спектр колебаний отражает собственные частоты механизмов; низкочастотная составляющая ускорения подобна кинематическому ускорению, анализ ДП для механизма батана показал их корреляцию с износом муфтовых соединений, подшипников.

Для механизма батана одного из станков приведены результаты анализа экспериментального ускорения (рис. 1: а) – исходный процесс, б) – низкочастотная составляющая, в) – частотный спектр).

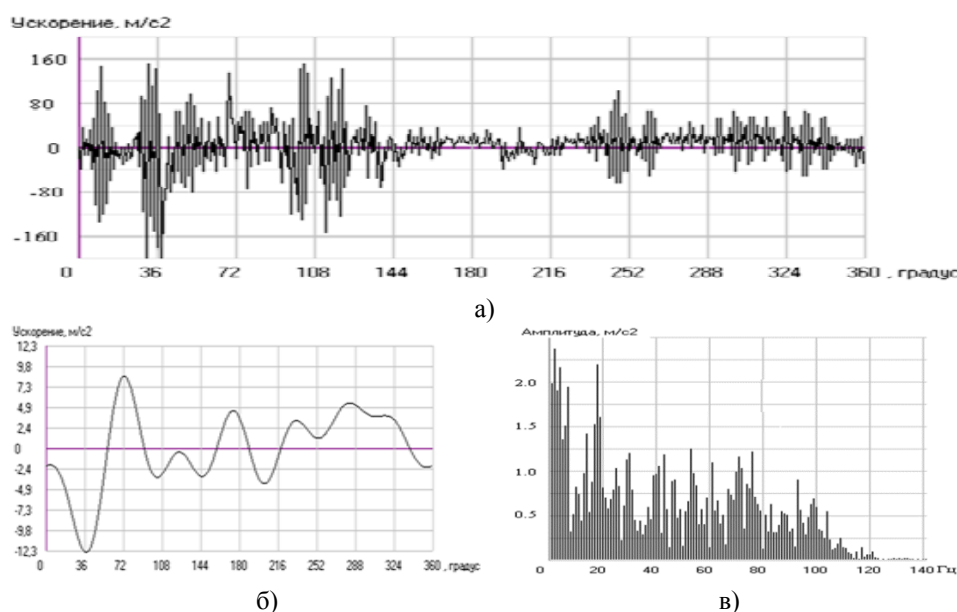


Рис. 1

У механизма батана станка № 5, в области частот 10-50 Гц, ДП в 2 раза выше нормы. Этот диапазон частот связан с узлом главного вала. Неисправность может быть в муфтовых соединениях главного вала, подшипниках. По процессу исходного ускорения, где 0 угла поворота главного вала соответствует началу прибоа утка, видно, что в связи с неисправностями в узле главного вала в период прибоа, поскольку нити сетки жесткие, возбуждаются колебания, амплитуда которых в 10 раз превосходит кинематическое ускорение. В то же время низкочастотная составляющая ускорения, определяющая инерционную силу прибоа? недостаточна по уровню. Это ухудшает качество прибоа утка. В начале движения батана назад снова возбуждаются колебания, как и при возврате в крайнее положение. Возбуждение колебаний в период выстоя ухудшает условия пролета челнока, повышает обрывность как уточной, так и основных нитей.

Предварительно установлены диагностические показатели, критерии достоверности информации и выполнена ее идентификация реальному состоянию. В качестве информационного сигнала выбрано ускорение. Для каждого параметра должна быть установлена "диагностическая точка", которая должна отвечать следующим требованиям: доступность для крепления датчика без нарушения технологического процесса; достаточный уровень выходного сигнала, формируемого датчиком.

Результаты предварительного эксперимента позволили обосновать техническое, алгоритмическое, программное и информационное обеспечения встроенной системы диагностирования и прогнозирования технического состояния станка.

Аппаратно-программный комплекс мониторинга технического состояния ткацкого станка (рис. 2 – структурная схема встроенной автоматизированной системы мониторинга технического состояния ткацкого станка (ПА – процессор автоматизированного комплекса; ЦМ – центральный модуль; ИМ – исполнительный механизм; DI/DO – модули дискретного ввода/вывода, AI/AO – модули аналогового ввода/вывода,

АРМ – автоматизированное рабочее место)) включает датчики вибропараметров, которые устанавливаются на ткацком станке, подлежащем обследованию. Датчики соединены с модулями сбора и обработки данных (модули дискретного и аналогового ввода DI/AI) [7]. Модули принимают и обрабатывают информацию с датчиков и передают ее в ЦМ, выполняющий обработку полученных данных, формирование пакета сообщений и передачу их через коммутатор на автоматизированное рабочее место (АРМ), и в архив. Пакеты сообщений формируются в соответствии с требуемыми протоколами передачи данных.

Данные по параметрам вибрации сравниваются с эталонными значениями. При превышении пороговых значений сформированные указания – управляющие сигналы поступают от ЦМ на модули аналогового и дискретного вывода, к которым подключаются исполнительные механизмы.

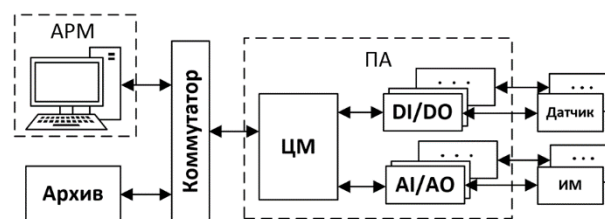


Рис. 2

Управление оборудованием также можно осуществлять и удаленно через автоматизированное рабочее место (АРМ) с использованием встроенного программного обеспечения. Все текущие основные контролируемые параметры отображаются на мониторе АРМ. Оператор может контролировать данные параметры и, при необходимости, собственноручно управлять оборудованием станка.

Архив данных необходим для сбора контролируемых параметров и анализа данных. С помощью архива можно отслеживать изменение параметров вибрации за определенный промежуток времени, а также архив данных позволяет организовать алгоритмы диагностики текущего состояния оборудования по полученным данным [8]. Данные собираются за определенный промежуток времени и, в соответствии

с динамикой изменения контролируемых параметров, позволяют отследить изменение состояния оборудования.

Оператор также может самостоятельно отследить динамику изменения контролируемых параметров с помощью АРМ. АРМ подключается к архиву данных через коммутатор, и с помощью соответствующего программного обеспечения оператор в любой момент времени может произвести запрос и анализ состояния оборудования станка.

Программное обеспечение встроенной диагностической системы мониторинга технического состояния ткацкого станка состоит из двух основных частей: сканирование модулей и штатного функционирования.

При включении системы в работу сразу запускается процесс сканирования модулей, который включает в себя процесс создания таблицы данных, в которой отображен список подключенных модулей, их функции, состояние и значение контролируемого параметра.

Далее программа переходит к выполнению запуска штатного функционирования, где выполняется обработка полученных данных, их сравнение с эталонными значениями и формирование пакета сообщений для передачи данных в автоматизированное рабочее место (АРМ) и в архив. Штатное функционирование также отслеживает изменение определенных параметров, например, при изменении текущего состояния оборудования оператором.

После выполнения штатного функционирования программа переходит в начало цикла, тем самым данный процесс повторяется заново. Поэтому программное обеспечение каждый раз формирует таблицу данных, в которой отображено текущее состояние оборудования станка.

ВЫВОДЫ

В результате предварительного диагностического обследования ткацкого станка и разработки системы эксплуатационного мониторинга ткацкого станка для производства сушильных сеток были достигнуты следующие результаты.

1. На основании выполненного диагностирования ткацкого станка с использованием переносного многоходового микропроцессорного прибора с энергонезависимой памятью, работающего с датчиками ускорения, установлены диагностические показатели, критерии достоверности информации и выполнена ее идентификация реальному состоянию, в качестве информационного сигнала выбрано ускорение.

2. Разработана структура встраиваемого в ткацкий станок аппаратно-программного комплекса мониторинга технического состояния ткацкого станка, включающего автоматизированное рабочее место и архив, на основе контроллера сбора данных, базы данных и датчиков вибрации.

3. Программа диагностирования выполняет обработку информации, определяет диагностические параметры, которые сравниваются с базовыми показателями, формируется вывод о техническом состоянии механизма или станка в целом.

4. Результаты записываются, выводятся на экран, что позволяет своевременно устранять технические неполадки. Предусмотрена сигнализация персоналу о предельных отклонениях технического состояния объекта. Все полученные измерения и основная диагностическая информация записываются в базу данных архива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусаков А.В., Могильный А.Н., Попов Л.Н., Привалов С.Ф. Производство технических сукон и сеток – СПб.: Недра, 1999.
2. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования – М.: Машиностроение, 1996.
3. Балицкий Ф.Я., Барков А.В., Баркова Н.А. и др. Вибродиагностика / Под ред. Клюева В.В. Неразрушающий контроль. – Том 7. Книга 2. – М.: Машиностроение, 2005.
4. Меняйло И.Е., Сигачева В.В. Разработка технического обеспечения мониторинга работоспособности ткацкого станка // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2021, № 1. С. 123...126.
5. Технические средства и методы виброакустической диагностики оборудования текстильной и легкой промышленности / Сигачева В.В., Климов В.А., Маежов Е.Г. и др. – М.: Легпромбытиздат, 1993.

6. Сигачева В.В., Маежов Е.Г. Повышение ресурсосбережения ткацких станков при плановом использовании автоматизированной диагностической системы механизмов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Серия 1 Естественные и технические науки. – 2019, № 4. С.86...88.

7. Сигачева В.В., Меняйло И.Е. Разработка встроенной системы мониторинга технического состояния ткацкого станка СТБ // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2021, № 2. С. 130...133.

8. Gunerkar R.S., Jalan A.K. Classification of Ball Bearing Faults Using Vibro-Acoustic Sensor Data Fusion // Experimental Techniques 8 April 2019.

REFERENCES

1. Gusakov A.V., Mogil'nyy A.N., Popov L.N., Privalov S.F. Proizvodstvo tekhnicheskikh sukon i setok – SPb.: Nedra, 1999.

2. Shirman A.R., Solov'ev A.B. Prakticheskaya vibrodiagnostika i monitoring sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya – M.: Mashinostroenie, 1996.

3. Balitskiy F.Ya., Barkov A.V., Barkova N.A. i dr. Vibrodiagnostika / Pod red. Klyueva V.V. Nerazrushayushchiy kontrol'. – Tom 7. Kniga 2. – M.: Mashinostroenie, 2005.

4. Menyaylo I.E., Sigacheva V.V. Razrabotka tekhnicheskogo obespecheniya monitoringa rabotosposobnosti tkatskogo stanka // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizayna. Seriya 1: Estestvennyye i tekhnicheskije nauki. – 2021, № 1. S. 123...126.

5. Tekhnicheskie sredstva i metody vibroakusticheskoy diagnostiki oborudovaniya tekstil'noy i legkoy promyshlennosti / Sigacheva V.V., Klimov V.A., Maezhov E.G. i dr. – M.: Legprombytizdat, 1993.

6. Sigacheva V.V., Maezhov E.G. Povyshenie resursosberezheniya tkatskikh stankov pri planovom ispol'zovanii avtomatizirovannoy diagnosticheskoy sistemy mekhanizmov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta promyshlennykh tekhnologii i dizayna. Seriya 1 Estestvennyye i tekhnicheskije nauki. – 2019, № 4. S.86...88.

7. Sigacheva V.V., Menyaylo I.E. Razrabotka vstroennoy sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya tkatskogo stanka STB // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizayna. Seriya 1: Estestvennyye i tekhnicheskije nauki. – 2021, №2. S. 130...133.

8. Gunerkar R.S., Jalan A.K. Classification of Ball Bearing Faults Using Vibro-Acoustic Sensor Data Fusion // Experimental Techniques 8 April 2019.

Рекомендована кафедрой автоматизации производственных процессов. Поступила 24.02.22.

УДК 539.434:677.494

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_243

**СПЕКТРАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
РЕЛАКСАЦИОННЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ***

**SPECTRAL MODELING
OF POLYMER TEXTILE MATERIALS RELAXATION
AND DEFORMATION PROCESSES**

А.Г. МАКАРОВ, Н.В. ПЕРЕБОРОВА, А.М. ЛИТВИНОВ, А.А. КОЗЛОВ

A. G. MAKAROV, N. V. PEREBOROVA, A. M. LITVINOV, A. A. KOZLOV

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: makvin@yandex.ru; nina1332@yandex.ru; litalmih@yandex.ru; aakozlov92@mail.ru

В статье рассматривается спектральное моделирование релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов, на основе которых осуществляется их компьютерное прогнозирование. Рассматриваются релаксационные и деформационные процессы различной сложности – от простой релаксации при постоянной деформации и простой ползучести при постоянной нагрузке до сложных процессов обратной релаксации и деформационно-восстановительных процессов с многоступенчатой нагрузкой.

The article deals with spectral modeling of polymeric textile materials relaxation and deformation processes, on their basis the computer prediction is carried out. Relaxation and deformation processes of varying complexity are considered - from simple relaxation under constant deformation and simple creep under constant load to complex processes of reverse relaxation and deformation-recovery processes with multistage load.

Ключевые слова: компьютерное прогнозирование, спектральное моделирование, деформационные процессы, релаксация, ползучесть, полимерные текстильные материалы.

* Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки РФ, Проект № FSEZ-2020-0005.

Keywords: computer forecasting, spectral modeling, deformation processes, relaxation, creep, polymer textile materials.

Введение

На изучаемые деформационные свойства полимерных материалов оказывают влияние температурные воздействия, а также уровни и длительности механических воздействий. Для сравнительного анализа и прогнозирования указанных свойств необходима разработка математической модели на основе физически обоснованного аналитического описания этих влияний. В этом направлении постоянно проводятся исследования по применению уравнений наследственной механики твердых деформируемых тел к различным полимерным материалам, включая текстильные материалы, в том числе синтетические нити, ткани, пряжу, ленты, жгуты и др. Различия в предлагаемых решениях этих задач объясняются их сложностью. Наибольшего внимания заслуживают те варианты решений, когда имеется физическая обоснованность выбранных уравнений в сочетании с минимумом количества используемых параметров [1].

Следует заметить, что изучение механических свойств указанных материалов, проявляющихся в условиях эксплуатации, гораздо сложнее, чем измерение только лишь разрывных характеристик, которые далеки от объективной оценки свойств материала. Задача значительно усложняется, когда у полимерных материалов помимо вязкоупругих свойств проявляются также и пластические свойства, то есть появляется необратимый компонент деформации, которому также следует уделять особое внимание [2].

Особую ценность имеют решения таких задач для полимерных материалов, когда помимо сопоставления механических свойств материалов приходится также делать расчеты на условия эксплуатации изделий. Без измерений таких простых процессов, как ползучесть, релаксация и восстановление, такую задачу решить невозможно. Именно поэтому у материаловедческих лабораторий имеются определенные преимущества по отношению к теоре-

тическим разработкам [3].

В настоящее время широкое разнообразие полимерных материалов и большой объем накопленного эксперимента доказывают необходимость, как разработки новых методов исследования их релаксационных свойств и ползучести, так и создания на этой основе практических методик. Появление новых полимерных материалов с различными вязкоупругими свойствами обосновывает поиск новых математических моделей указанных свойств и применение для исследований компьютерных методов обработки экспериментальной информации. Создание новых методов исследования механических свойств полимерных материалов способствует наиболее достоверному прогнозированию релаксационных процессов и ползучести.

Методы

Для исследования релаксационных свойств и ползучести полимерных материалов, наряду с традиционными моделями, предлагаются математические модели релаксации (изменение во времени напряжения σ , зависящего от деформации ε):

$$\sigma(\varepsilon, t) = E_0 \varepsilon - \frac{E_0 - E_\infty}{2} \varepsilon \left(1 + \operatorname{th} \left(\frac{A_\varepsilon}{2} \ln \left(\frac{t}{\tau(\varepsilon)} \right) \right) \right), \quad (1)$$

и ползучести (изменение во времени деформации ε , зависящей от напряжения σ):

$$\varepsilon(\sigma, t) = \frac{\sigma}{E_0} + \frac{E_0 - E_\infty}{2E_0 E_\infty} \sigma \left(1 + \operatorname{th} \left(\frac{A_\sigma}{2} \ln \left(\frac{t}{\tau(\sigma)} \right) \right) \right), \quad (2)$$

где t – время; E_0 – модуль упругости; E_∞ – модуль вязкоупругости, $\tau(\varepsilon)$ – время релаксации, как функция деформации; $\tau(\sigma)$ – время запаздывания, как функция напряжения.

Несомненным достоинством моделей (1) и (2) является то, что они содержат минимальное число параметров, имеющих

определенный физический смысл:

$$- E_0 = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\sigma(\varepsilon, t)}{\varepsilon} - \text{модуль упругости,}$$

характеризующий квазимгновенное значение модуля релаксации $E(\varepsilon, t) = \frac{\sigma(\varepsilon, t)}{\varepsilon}$, то есть его значение в начале процесса релаксации;

$$- E_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\sigma(\varepsilon, t)}{\varepsilon} - \text{модуль вязкоупругости,}$$

характеризующий квазиравновесное значение модуля релаксации, то есть его значение в конце процесса релаксации;

- структурные параметры A_ε и A_σ , характеризующие скорость (интенсивность) процессов релаксации и ползучести;

- время релаксации $\tau(\varepsilon)$, характеризующее время прохождения половины процесса релаксации при заданном значении деформации ε ;

- время запаздывания $\tau(\sigma)$, характеризующее время прохождения половины процесса ползучести при заданном значении напряжения σ .

Другим достоинством предлагаемых моделей релаксации (1) и ползучести (2) является то, что производные $\frac{\partial \sigma(\varepsilon, t)}{\partial \ln(t/\tau(\varepsilon))}$ и

$$\frac{\partial \sigma(\sigma, t)}{\partial \ln(t/\tau(\sigma))}$$
 рекуррентным образом выра-

жаются через параметры модели [7], что оптимальным образом сказывается как на упрощении дальнейших аналитических преобразований, так и на повышении точности определения вязкоупругих параметров-характеристик и, как следствие, на повышении достоверности прогнозирования деформационных процессов [4]

$$\frac{\partial \sigma(\varepsilon, t)}{\partial \ln(t/\tau(\varepsilon))} = -(E_0 - E_\infty) \varepsilon A_\varepsilon \varphi(\varepsilon, t) (1 - \varphi(\varepsilon, t)), \quad (3)$$

$$\frac{\partial \varepsilon(\sigma, t)}{\partial \ln(t/\tau(\sigma))} = \frac{E_0 - E_\infty}{E_0 E_\infty} \sigma A_\sigma \varphi(\sigma, t) (1 - \varphi(\sigma, t)), \quad (4)$$

где

$$\varphi(\varepsilon, t) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{th} \left(\frac{A_\varepsilon}{2} \ln \left(\frac{t}{\tau(\varepsilon)} \right) \right) \right) - \quad (5)$$

функция релаксации,

$$\varphi(\sigma, t) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{th} \left(\frac{A_\sigma}{2} \ln \left(\frac{t}{\tau(\sigma)} \right) \right) \right) - \quad (6)$$

функция запаздывания, что упрощает аналитические преобразования.

Математические модели релаксации и ползучести (1), (2) с нормированной функцией в виде гиперболического тангенса (5), (6), кроме вышесказанного, имеют преимущество перед другими известными математическими моделями при прогнозировании быстротекущих релаксационных процессов и быстротекущей ползучести. Данное обстоятельство вытекает из достаточно быстрой сходимости функций (5) и (6) к своим асимптотическим значениям по сравнению с другими известными математическими моделями и подтверждено сравнением расчетного прогнозирования с экспериментальными данными.

Следует заметить, что выбор аналогов нормированных функций (5), (6) для моделей механических свойств полимерных материалов осложняется тем, что нельзя априорно отдать предпочтение какой-то из них. Основным критерием для отбора служит эксперимент. Наличие нескольких нормированных функций для моделирования позволяет сделать оптимальный выбор и, тем самым, повысить надежность прогнозирования.

При прогнозировании релаксационных процессов и процессов ползучести на основе известных интегральных соотношений Больцмана-Вольтерра [5] для повышения точности прогноза следует учитывать пластическую компоненту деформации $\varepsilon_{пл}$ в виде введения в определяющие уравнения вязкоупругости коэффициента обратимости деформации η :

$$\eta = \frac{\varepsilon_{полн} - \varepsilon_{ост}}{\varepsilon_{полн}}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{ост} = \varepsilon_{полн} (1 - \eta), \quad (8)$$

где $\varepsilon_{полн}$ – значение "полной" деформации,

то есть перед снятием нагрузки; $\varepsilon_{ост}$ – значение "остаточной" деформации, то есть после снятия нагрузки.

Коэффициент обратимости деформации η определяется экспериментально по деформационно-восстановительному процессу на основе соотношения (8), которое получается из (7).

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E_0} \sigma(t) + \frac{E_0 - E_\infty}{E_0 E_\infty} \frac{A_\sigma}{4} \int_0^t \sigma(t - \theta) \left(1 - \text{th}^2 \left(\frac{A_\sigma}{2} \ln \frac{\theta}{\tau(\sigma)} \right) \right) \frac{1}{\theta} d\theta. \quad (10)$$

Аналогично учет коэффициента обратимости при прогнозировании процесса релаксации проводится по формуле [15]

$$\sigma_{\text{прог}} = \eta \sigma(t) + (1 - \eta) E_0 \varepsilon(t), \quad (11)$$

$$\sigma(t) = E_0 \varepsilon(t) - (E_0 - E_\infty) \frac{A_\varepsilon}{4} \int_0^t \varepsilon(t - \theta) \left(1 - \text{th}^2 \left(\frac{A_\varepsilon}{2} \ln \frac{\theta}{\tau(\varepsilon)} \right) \right) \frac{1}{\theta} d\theta. \quad (12)$$

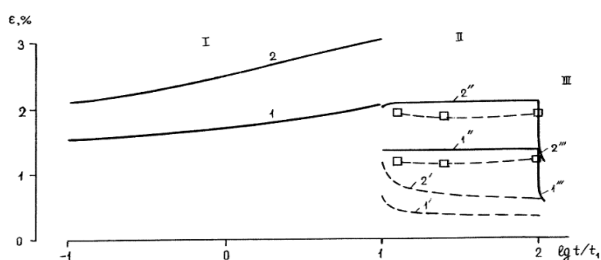


Рис. 1

В качестве примера сложного режима деформирования можно привести процесс сложной ползучести, происходящий после квазимгновенного изменения нагрузки [8].

На рис. 1 (деформационно-восстановительный процесс (1; 2) полиэфирной нити с полным разгрузением (1'; 2') и со ступенчатым разгрузением: (1''; 2'') - снятие половинной нагрузки; (1'''; 2''') - полное снятие нагрузки. $T = 40^\circ\text{C}$. Напряжение: 121 МПа (1), 146 МПа (2); 0 МПа (1'; 2'); 60,5 МПа (1''), 73 МПа (2''); 0 МПа (1'''; 2'''). □ - расчет точек линий 1''; 2''') приведены два варианта такого изменения: деформационно-восстановительный процесс с полным разгрузением и деформационно-восстановительный процесс с частичным разгрузением. Расчет

Учет коэффициента обратимости деформации при прогнозировании процесса ползучести приводит к расчетной формуле для деформации [6]:

$$\varepsilon_{\text{прог}} = (1 - \eta) \varepsilon_{\text{полн}} + \eta \varepsilon(t), \quad (9)$$

где $\varepsilon_{\text{прог}}$ – прогнозируемое значение деформации; $\varepsilon(t)$ – значение деформации, вычисленное по формуле:

где $\sigma_{\text{прог}}$ – прогнозируемое значение напряжения; $\sigma(t)$ – значение напряжения, вычисленное по формуле [7]:

указанных процессов проводится по формулам (9), (10).

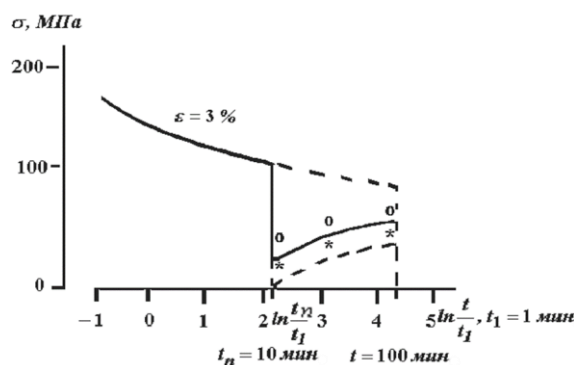


Рис. 2

Аналогично рассматривался сложный режим обратной релаксации, расчет которого проводится по формулам (11), (12). На рис. 2 (процесс обратной релаксации полиэфирной нити с полным разгрузением (---) и со снятием половинной нагрузки (—)). $T = 40^\circ\text{C}$. * – расчет процесса с полным разгрузением; o – расчет процесса с половинной разгрузкой) приведен пример такого процесса с полной и с половинной разгрузкой [9].

Точность прогнозирования как простых (при $\sigma = \text{const}$ или $\varepsilon = \text{const}$), так и сложных (при $\sigma \neq \text{const}$ или $\varepsilon \neq \text{const}$) деформационных процессов зависит не только от надежности определения вязкоупругих характеристик и от выбора соответствующей математической модели релаксации или ползучести, но и от способа вычисления несобственных нелинейно-наследственных интегралов, входящих в формулы (10) и (12), обладающих сингулярной особенностью.

Предлагается несколько вариантов вычисления указанных несобственных интегралов, отличающихся друг от друга способами разбиения временной шкалы с учетом специфики прогнозируемого процесса и приводящие к оптимизации вычислительного процесса [10].

Например, следует учитывать, что при прогнозировании активных (быстропротекающих) процессов, характеризующихся ростом скорости деформирования, целесообразно проводить разбиение временной шкалы по возрастающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета влияния квазимгновенного фактора деформирования в начале процесса, а при прогнозировании длительных процессов, характеризующихся снижением скорости деформирования, целесообразно разбиение временной шкалы по убывающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета длительных деформационных воздействий.

В рамках предложенной математической модели релаксации (11), (12) предлагаются методики выделения энергетических компонент – упругой и вязкоупруго-пластической составляющих механической работы деформирования [11].

Выделение вышеуказанных энергетических компонент важно, например, при оценке эксплуатационных свойств материала. Чем большее значение имеет упругая компонента по сравнению с вязкоупруго-пластической, тем материал более износостойкий. И наоборот, материалы с преобладанием вязкоупруго-пластической энергетической компоненты целесообразно использовать, например, при конструиро-

вании ударозащитных конструкций, где важна способность материала гасить вредные ударные воздействия, а сохранение формы материала не столь важно.

Разработаны методики оптимального выбора математической модели из предложенных вариантов. Оптимизация такого выбора основана на применении интегральных критериев релаксации и ползучести, полученных из уравнений нелинейно-наследственной вязкоупругости (10), (12) [12]:

$$\left| E_0 D(\sigma, t) + \int_0^t D(\sigma, t - \theta) \frac{\partial D(\varepsilon, \theta)}{\partial \theta} d\theta - 1 \right| \rightarrow \min, \quad (13)$$

$$\left| D_0 E(\varepsilon, t) + \int_0^t E(\varepsilon, t - \theta) \frac{\partial D(\sigma, \theta)}{\partial \theta} d\theta - 1 \right| \rightarrow \min. \quad (14)$$

Чем удачнее выбор интегральных ядер, тем меньше отклонение функций [25]

$$\chi \left(\ln \frac{t}{\tau(\sigma)} \right) = E_0 D(\sigma, t) + \int_0^t D(\sigma, t - \theta) \frac{\partial D(\varepsilon, \theta)}{\partial \theta} d\theta, \quad (15)$$

$$\chi \left(\ln \frac{t}{\tau(\varepsilon)} \right) = D_0 E(\varepsilon, t) + \int_0^t E(\varepsilon, t - \theta) \frac{\partial D(\sigma, \theta)}{\partial \theta} d\theta, \quad (16)$$

от "единицы":

Критерии оптимальности выбора математической модели вязкоупругости (13), (14) можно использовать для численного нахождения оптимального ядра релаксации по заданному ядру запаздывания и наоборот, нахождению оптимального ядра запаздывания по заданному ядру релаксации [13].

Данная задача для случая нелинейной вязкоупругости в аналитическом виде не решена. Сложность решения указанной задачи при нелинейности вязкоупругих свойств полимерных материалов объясняется необходимостью учета активирующего влияния приложенной деформации и нагрузки на времена релаксации и запаздывания. Указанное влияние зависит от многих факторов – компонентного состава, внутренней структуры полимерных материалов, температуры и т.д. Учет активирующего влияния деформации и нагрузки на ускорение процессов релаксации и ползучести возможен только при компьютерной

обработке экспериментальных данных [14].

Условия (13), (14) позволяют также контролировать степень точности определения вязкоупругих параметров-характеристик и степень надежности прогнозирования релаксационных процессов и процессов ползучести. Рассмотренные критерии могут также использоваться для подтверждения достоверности определения среднестатистических времен релаксации и запаздывания, которые не подлежат непосредственному определению из эксперимента, а определяются только как параметры модели [15].

Времена релаксации и запаздывания характеризуют времена перехода "релаксирующих" или "запаздывающих" частиц из одного устойчивого состояния в другое. Характер таких переходов может быть различным и обусловлен как строением полимера, так и величиной приложенной деформации или нагрузки. В одних случаях он объясняется конформационными

переходами внутри макромолекулы полимера, когда меняется ее форма. В других случаях происходят сдвиги макромолекул друг относительно друга и т.д. [16].

Для построения обоснованных математических моделей релаксации и ползучести полимерных материалов полезно иметь представление о спектрах релаксации \bar{H} и запаздывания \bar{Q} , то есть о распределениях релаксирующих или запаздывающих частиц по собственным временам релаксации или запаздывания [6]. Форма спектров релаксации и запаздывания для случая математической модели (1), (2) определяется соответственно структурными коэффициентами A_ε и A_σ . Например, спектры релаксации и запаздывания полиэфирной нити показаны на рис. 3 (форма спектра времен релаксации полиэфирной нити, $T = 40^\circ\text{C}$) и рис. 4 (форма спектра времен запаздывания полиэфирной нити, $T = 40^\circ\text{C}$) [17].

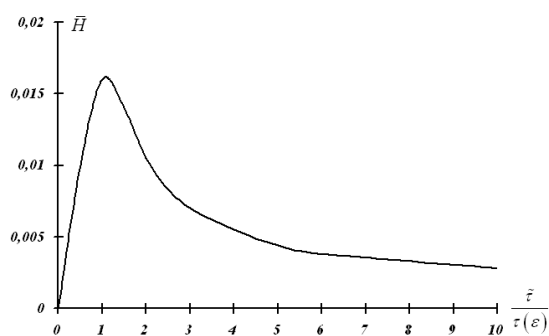


Рис. 3

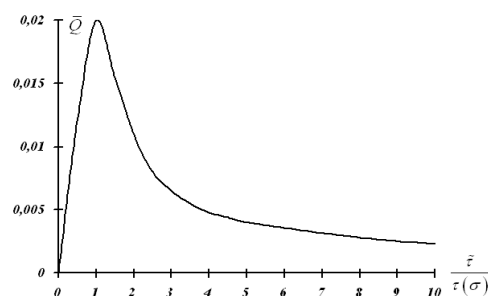


Рис. 4

Следует заметить, что в первом приближении спектры времен релаксации \bar{H}_1 и спектры времен запаздывания \bar{Q}_1 представляют собой производные по логарифмическо-временной шкале от нормированных функций релаксации (5) и запаздывания (6) соответственно. С учетом формул (3), (4), получаем [18]

$$\bar{H}_1 = A_\varepsilon \varphi_{\text{et}} (1 - \varphi_{\text{et}}) \Big|_{t=\tilde{\tau}}, \quad (17)$$

$$\bar{Q}_1 = A_\sigma \varphi_{\text{ot}} (1 - \varphi_{\text{ot}}) \Big|_{t=\tilde{\tau}}. \quad (18)$$

Имея представление о форме спектров релаксации и запаздывания, можно

интегрированием получить соответствующую нормированную функцию – основу математической модели вязкоупругих свойств [19].

Для последующих приближений спектров релаксации \bar{H}_k и спектров запаздывания \bar{Q}_k была получена рекуррентная формула, а в ходе исследования было показано, что приближения спектров достаточно быстро сходятся к своим предельным значениям \bar{H} и \bar{Q} соответственно, что характеризует устойчивость выбранной математической модели вязкоупругости на основе гиперболического тангенса [20].

ВЫВОДЫ

Разработанные методики носят универсальный характер, они применимы для исследования релаксационных свойств и ползучести широкого класса полимерных материалов, применяемых как в текстильной и легкой промышленности, так и в других отраслях техники.

Таким образом:

1. Предлагается критерий оптимального выбора нормированной функции – основы математической модели релаксационных свойств и ползучести полимерных материалов в зоне неразрушающих механических воздействий, позволяющей наиболее достоверно описывать релаксационные процессы и процессы ползучести.

2. Разработаны методики определения характеристик релаксации и ползучести, а также расчетного прогнозирования кратковременных и длительных релаксационных процессов и процессов ползучести полимерных материалов на основе математической модели с нормированной функцией гиперболический тангенс, оптимально учитывающие характер нелинейности процесса.

3. Предлагаются методики расчета упругой и вязкоупругопластической энергетической компоненты механической работы деформирования.

4. Разработаны методики учета необратимого псевдопластического компонента деформации, повышающие надежность прогнозирования сложных режимов релаксации и ползучести полимерных материалов.

5. В рамках построенных математических моделей релаксации и ползучести полимерных материалов на основе гиперболического тангенса разработаны методики определения спектров времен релаксации и спектров времен запаздывания. Показано, что формы указанных спектров характеризуются только параметрами интенсивности процессов релаксации и ползучести.

6. Разработанные методики определения параметров-характеристик релаксации и ползучести, а также прогнозирования процессов релаксации и процессов ползучести полимерных материалов позволяют

решать задачи технологической направленности по отбору материалов, обладающих оптимальными характеристиками с точки зрения эксплуатационных свойств.

7. Применение разработанных методик прогнозирования нелинейно-наследственной релаксации и нелинейно-наследственной ползучести к большой группе полимерных материалов позволяет сделать вывод об универсальности построенной теории и разработанных методик, а также рекомендовать их использование в материаловедческих исследованиях для изучения вязкоупругих свойств широкого круга перспективных полимерных материалов технического назначения в различных отраслях народного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров А.Г. Контроль параметров нелинейно-наследственных ядер релаксации и запаздывания синтетических нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 2. С.12...16.

2. Макаров А.Г. Определение аналитической взаимосвязи нормированных ядер релаксации и ползучести в линейной теории вязкоупругости текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, № 2. С. 13...17.

3. Макаров А.Г., Демидов А.В., Переборова Н.В., Егорова М.А. Моделирование и расчетное прогнозирование релаксационных и деформационных свойств полимерных парашютных строп // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 6. С. 194...205.

4. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А. Прогнозирование деформационно-релаксационных процессов полиамидных тканей, применяемых для изготовления куполов парашютов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 1. С. 250...258.

5. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М. Качественный анализ деформационно-релаксационных свойств арамидных шнуров горноспасательного назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 2. С.309...313.

6. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М. Математическое моделирование деформационно-релаксационных процессов полимерных материалов в условиях переменной температуры // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 4. С. 287...292.

7. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Егорова М.А., Климова Н.С. Методы повышения конкурентоспособности отечественных арамидных текстильных материалов на основе комплексного анализа их

функциональных свойств // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С.267...272.

8. *Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С.* Моделирование релаксационно-деформационных процессов арамидных текстильных материалов - основа анализа их эксплуатационных свойств // Химические волокна. – 2018, № 2. С.36...39.

9. *Переборова Н.В., Макаров А.Г., Козлов А.А., Васильева Е.К.* Разработка интегральных критериев оптимальности математического моделирования релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов // Химические волокна. – 2018, № 4. С. 54...56.

10. *Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Егорова М.А., Климова Н.С.* Спектральный анализ вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Химические волокна. – 2018, № 4. С.117...120.

11. *Переборова Н.В., Макаров А.Г., Егорова М.А., Козлов А.А.* Математическое моделирование и сравнительный анализ деформационно-восстановительных свойств и усадки арамидных текстильных материалов // Химические волокна. – 2018, № 5. С.89...92.

12. *Переборова Н.В., Макаров А.Г., Васильева Е.К., Шванкин А.М., Егоров И.М.* Математическое моделирование и компьютерное прогнозирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Химические волокна. – 2018, № 6. С.3...6.

13. *Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С.* Спектральный анализ вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен и его применение для оценки их функциональности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 2. С. 192...198.

14. *Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С.* Повышение конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на основе применения интегральных критериев достоверности математического моделирования вязкоупругости на стадии их проектирования и организации производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 3. С.242...247.

15. *Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С.* Математическое моделирование и расчетное прогнозирование вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен - средство оценки их функционально-эксплуатационного назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 4. С. 229...234.

16. *Макаров А.Г., Максимов В.В., Коновалов А.С., Козлов А.А., Вагнер В.И., Васильева Е.К.* Компьютерное моделирование и качественный анализ деформационно-релаксационных свойств полимерных материалов для парашютостроения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 5. С. 248...253.

17. *Переборова Н.В., Макаров А.Г., Коробовцева А.А., Макарова А.А., Чистякова Е.С.* Математическое моделирование и качественный анализ деформационных и восстановительных процессов полимерных текстильных эластомеров, применяемых в хирургической имплантологии // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 6. С.196...201.

18. *Макаров А.Г., Переборова Н.В., Буряк Е.А., Козлов А.А.* Математическое моделирование и методы определения функционально-потребительских релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов // Химические волокна. – 2020, № 3. С. 3...7.

19. *Переборова Н.В., Макаров А.Г., Егоров И.М., Вагнер В.И.* Методы численного прогнозирования релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов // Химические волокна. – 2020, № 3. С. 21...24.

20. *Переборова Н.В.* Критерии качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Химические волокна. – 2020, № 3. С.39...42.

REFERENCES

1. Makarov A.G. Kontrol' parametrov nelineynonasledstvennykh yader relaksatsii i zapazyvaniya sinteticheskikh nitey // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2000, № 2. S.12...16.

2. Makarov A.G. Opredelenie analiticheskoy vzaimosvyazi normirovannykh yader relaksatsii i polzuchesti v lineynoy teorii vyazkouprugosti tekstil'nykh materialov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2002, № 2. S. 13...17.

3. Makarov A.G., Demidov A.V., Pereborova N.V., Egorova M.A. Modelirovanie i raschetnoe prognozirovanie relaksatsionnykh i deformatsionnykh svoystv polimernykh parashyutnykh strop // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, № 6. S. 194...205.

4. Demidov A.V., Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A. Prognozirovanie deformatsionno-relaksatsionnykh protsessov poliamidnykh tkaney, primenyaemykh dlya izgotovleniya kupolov parashyutov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 1. S. 250...258.

5. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A., Egorov I.M. Kachestvennyy analiz deformatsionno-relaksatsionnykh svoystv aramidnykh shnurov gornospatel'nogo naznacheniya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 2. S.309...313.

6. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A., Egorov I.M. Matematicheskoe modelirovanie deformatsionno-relaksatsionnykh protsessov polimernykh materialov v usloviyakh peremennoy temperatury

// *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2017, № 4. S. 287...292.

7. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Klimova N.S. Metody povysheniya konkurentosposobnosti otechestvennykh aramidnykh tekstil'nykh materialov na osnove kompleksnogo analiza ikh funktsional'nykh svoystv // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2018, № 6. S.267...272.

8. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Modelirovanie relaksatsionno-deformatsionnykh protsessov aramidnykh tekstil'nykh materialov - osnova analiza ikh ekspluatatsionnykh svoystv // *Khimicheskie volokna.* – 2018, № 2. S.36...39.

9. Pereborova N.V., Makarov A.G., Kozlov A.A., Vasil'eva E.K. Razrabotka integral'nykh kriteriev optimal'nosti matematicheskogo modelirovaniya relaksatsionno-vosstanovitel'nykh protsessov polimernykh tekstil'nykh materialov // *Khimicheskie volokna.* – 2018, № 4. S. 54...56.

10. Makarov A.G., Pereborova N.V., Vagner V.I., Egorova M.A., Klimova N.S. Spektral'nyy analiz vyazkouprugoy polzuchesti geotekstil'nykh netkanykh materialov // *Khimicheskie volokna.* – 2018, № 4. S.117...120.

11. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Kozlov A.A. Matematicheskoe modelirovanie i sravnitel'nyy analiz deformatsionno-vosstanovitel'nykh svoystv i usadki aramidnykh tekstil'nykh materialov // *Khimicheskie volokna.* – 2018, № 5. S.89...92.

12. Pereborova N.V., Makarov A.G., Vasil'eva E.K., Shvankin A.M., Egorov I.M. Matematicheskoe modelirovanie i komp'yuternoe prognozirovanie vyazkouprugoy polzuchesti geotekstil'nykh netkanykh materialov // *Khimicheskie volokna.* – 2018, № 6. S.3...6.

13. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Spektral'nyy analiz vyazkouprugosti geotekstil'nykh netkanykh poloten i ego primeneniye dlya otsenki ikh funktsional'nosti // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2019, № 2. S. 192...198.

14. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Povyseniye konkurentosposobnosti polimernykh tekstil'nykh materialov na osnove primeneniya integral'nykh kriteriev dostovernosti matema-

ticheskogo modelirovaniya vyazko-uprugosti na stadii ikh proektirovaniya i organizatsii proizvodstva // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2019, № 3. S.242...247.

15. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Matematicheskoe modelirovanie i raschetnoe prognozirovanie vyazkouprugosti geotekstil'nykh netkanykh poloten - sredstvo otsenki ikh funktsional'no-ekspluatatsionnogo naznacheniya // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2019, № 4. S. 229...234.

16. Makarov A.G., Maksimov V.V., Konovalov A.S., Kozlov A.A., Vagner V.I., Vasil'eva E.K. Komp'yuternoe modelirovanie i kachestvennyy analiz deformatsionno-relaksatsionnykh svoystv polimernykh materialov dlya parashyutostroeniya // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2019, № 5. S. 248...253.

17. Pereborova N.V., Makarov A.G., Korobovtseva A.A., Makarova A.A., Chistyakova E.S. Matematicheskoe modelirovanie i kachestvennyy analiz deformatsionnykh i vosstanovitel'nykh protsessov polimernykh tekstil'nykh elastomerov, primenyaemykh v khirurgicheskoy implantologii // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2020, № 6. S.196...201.

18. Makarov A.G., Pereborova N.V., Buryak E.A., Kozlov A.A. Matematicheskoe modelirovanie i metody opredeleniya funktsional'no-potrebitel'skikh relaksatsionno-vosstanovitel'nykh svoystv polimernykh tekstil'nykh materialov // *Khimicheskie volokna.* – 2020, №3. S. 3...7.

19. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorov I.M., Vagner V.I. Metody chislennogo prognozirovaniya relaksatsionno-vosstanovitel'nykh svoystv polimernykh tekstil'nykh materialov // *Khimicheskie volokna.* – 2020, № 3. S. 21...24.

20. Pereborova N.V. Kriterii kachestvennoy otsenki relaksatsionno-vosstanovitel'nykh svoystv polimernykh tekstil'nykh materialov tekhnicheskogo naznacheniya // *Khimicheskie volokna.* – 2020, № 3. S.39...42.

Рекомендована кафедрой интеллектуальных систем и защиты информации. Поступила 17.03.22.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИТ-РЕШЕНИЙ ПРОЕКТА
РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**DEVELOPMENT OF AUTOMATION SYSTEM
PRODUCTION PROCESSES OF THE TEXTILE INDUSTRY**

Е.Р. ХОРОШЕВА, Н.М. ФИЛИМОНОВА, С.М. БАШАРИНА, М.В. ЯКУНИНА

E.R. KHOROSHEVA, N.M. FILIMONOVA, S.M. BASHARINA, M.V. YAKUNINA

(Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Всероссийский научно-исследовательский институт труда
Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации,
Анапский филиал Московского педагогического государственного университета)

(Vladimir State University named after Alexander and Nikolai Stoletovs,
All-Russian Scientific Research Institute of Labor Ministry
of Labor and Social Protection of the Russian Federation,
Anapa Branch of the Moscow State Pedagogical University)

E-mail: marinavladimir3@rambler.ru

Статья посвящена оценке эффективности ИТ-решений проекта разработки системы автоматизации производственных процессов текстильной промышленности. Предложен многокритериальный анализ, по результатам которого принимается решение по выбору наилучшей альтернативы ИТ-решения проекта разработки системы автоматизации производственных процессов текстильной промышленности.

The article is devoted to the evaluation of the system development project's IT-solutions effectiveness for automating production processes in the textile industry. A multi-criteria analysis is proposed; on the basis of the analysis a decision is made concerning choosing the best alternative to an IT solution for the development of a system for automating production processes in the textile industry.

Ключевые слова: оценка эффективности ИТ-решений проекта, методы свертки, процесс многокритериального сравнения альтернатив.

Keywords: evaluation of the effectiveness of IT solutions of the project, methods of convolution, the process of multi-criteria comparison of alternatives.

Введение

Проблема оценки эффективности создаваемых ИТ-решений постоянно присутствует в центре внимания ИТ-специалистов. Зачастую это связано с тем, что заказчику (инвестору) той или иной системы необходимо знать о результатах реализации системы, сроках окупаемости, условиях возврата различных ресурсов и т.п. для осознания направления улучшения

системы, распределения ресурсов, а также необходимости ее дальнейшего финансирования.

Ведение производственно-хозяйственной деятельности предприятиями текстильной промышленности сопровождается жесткими условиями конкурентной среды, последствиями внешних экономических мер ограничительного характера в отношении российской экономики [1]. В условиях

реализации мер по предотвращению распространения COVID-19 возникает необходимость поиска ИТ-решений, направленных на обеспечение роста конкурентоспособности предприятий текстильной промышленности. Термин "ИТ-решение" используется для отдельно взятого решения (техническое, программное или интеграционное решение) внутри одного проекта [2].

Эффективность проекта – это в первую очередь оценка соответствия проекта целям и интересам его участников. Поэтому на этапе оценки эффективности ИТ-решения

проекта разработки системы автоматизации производственных процессов текстильной промышленности эффективность ИТ-решения оценивается исполнителем и заказчиком проекта. Алгоритм оценки эффективности ИТ-решений проекта представлен на рис. 1 [2].

Для исполнителя проекта оценка эффективности выполняется в начале разработки, на протяжении всех итераций разработки, а также по завершению разработки ИТ-решения (рис.1) [2].

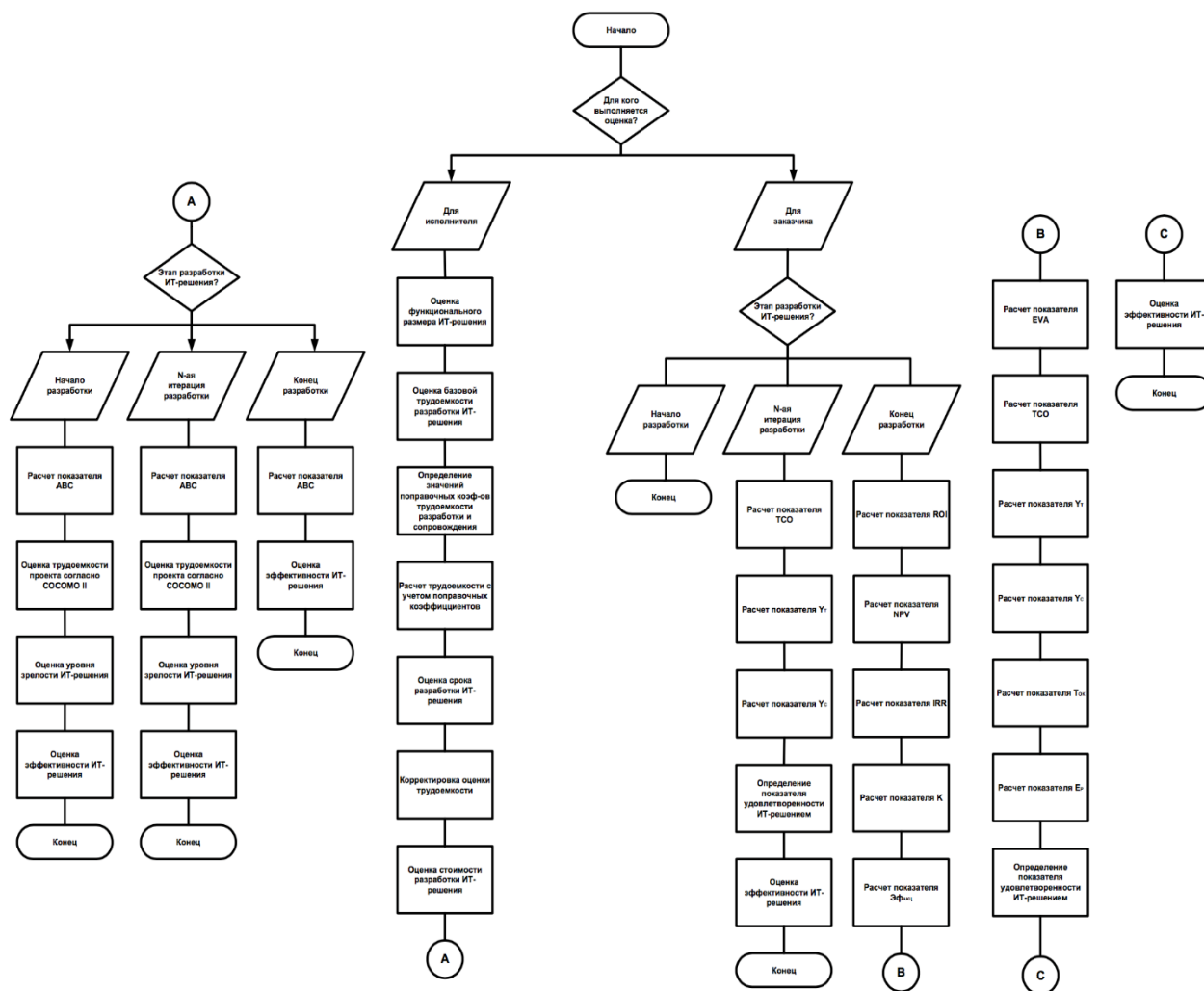


Рис. 1

Для заказчика проекта оценка эффективности не выполняется в начале разработки, но выполняется на протяжении всех итераций разработки и по завершению разработки ИТ-решения (рис.1) [2].

Задача оценки эффективности ИТ-решений проекта разработки систем автоматизации

производственных процессов текстильной промышленности является многокритериальной, требующей преобразования каждого векторного критерия оценки (критерий оценки "плюсов" ИТ-решения проекта, критерий оценки "минусов" ИТ-решения проекта, критерий оценки проекта

инвесторами) одной из нескольких альтернатив в скалярные критерии с помощью функции свертки.

Методы

Возможности аналитического решения многокритериальных задач весьма ограничены. Перед исследователями всегда стоит проблема объединения критериев (свертки) с целью перехода от многокритериальной задачи к нахождению оптимальных решений однокритериальных (одномерных) задач. Методы свертки достаточно изучены и разработаны. Выделим среди них аддитивную и мультипликативную.

Характерным свойством мультипликативной свертки является то, что она отдает предпочтение тем альтернативам, которые имеют более равномерное распределение в абсолютной шкале значений критериев при одинаковых средних всех альтернатив.

При этом скалярный критерий ($k(a)$), представляет собой некоторую функцию от значений компонентов векторного критерия:

$$k(a) = f(k_1(a), k_2(a), \dots, k_j(a), \dots)$$

Результаты и обсуждения

Приведем этапы мультипликативной свертки компонентов векторного критерия: обоснование допустимости свертки, нормализация критериев, учет приоритетов критериев, построение функции свертки [3].

Обоснование допустимости свертки – этап подтверждения однородности рассматриваемых показателей эффективности ИТ-решений проекта. Входящие показатели по критериям оценки "плюсов" K_{+} и критериям оценки "минусов" K_{-} являются однородными по каждому из критериев. Следовательно, по данным критериям свертку проводить можно. Что же касается критерия оценки проекта инвесторами (заказчиком), то входящие в него показатели нельзя отнести к однородным. В этом случае предлагается сравнение имеющихся альтернатив по каждому отдельному входящему показателю.

В табл. 1 приведены показатели, используемые для оценки эффективности, соответствующие им квалификационные группы и условия целесообразности рассчитанных показателей.

Т а б л и ц а 1

№	Группа	Показатель	Условия для принятия решения
1	Оценка "плюсов"	S (Оценка стоимости разработки ИТ-решения)	Исполнитель: $S \rightarrow \max$
2	Оценка "плюсов"	ROI (Оценка возврата инвестиций)	Заказчик: 1. Если $ROI > 1$, то целесообразна реализация проекта 2. Если $ROI < 1$, то проект следует отвергнуть 3. Если $ROI = 1$, то проект ни прибыльный, ни убыточный
3	Оценка "плюсов"	NPV (Метод чистой приведенной стоимости)	Заказчик: 1. Если $NPV > 0$, то проект следует осуществлять 2. Если $NPV < 0$, то проект должен быть отклонен 3. Если $NPV = 0$, то проект ни прибыльный, ни убыточный
4	Оценка "плюсов"	K (Коэффициент оборота активов)	Заказчик: 1. Если $K > 1$, то целесообразна реализация проекта, причем, чем больше K превышает единицу, тем больше инвестиционная привлекательность проекта 2. Если $K < 1$, то проект следует отвергнуть 3. Если $K = 1$, то проект ни прибыльный, ни убыточный
5	Оценка "плюсов"	ЭФ _{акц} (Цена акционера)	Заказчик: $ЭФ_{акц} \rightarrow \max$

6	Общая оценка проекта	IRR (Внутренняя норма доходности)	Заказчик: IRR должен быть выше средневзвешенной цены инвестиционных ресурсов. IRR показывает максимально допустимый уровень инвестиционных затрат в оцениваемый проект
7	Оценка "плюсов"	EVA (Экономическая добавленная стоимость)	Заказчик: EVA показывает величину превышения операционного дохода над средневзвешенной стоимостью задействованного капитала в абсолютном размере. Следовательно, $EVA \rightarrow \max$
8	Оценка "плюсов"	ABC (Учет затрат по видам деятельности)	Исполнитель: $ABC \rightarrow \max$
9	Оценка "минусов"	ТСО (Полная стоимость владения)	Заказчик: $ТСО \rightarrow \min$
10	Оценка "минусов"	СОСОМО II (оценка трудоемкости проекта)	Исполнитель: $СОСОМО II \rightarrow \min$
11	Оценка "минусов"	Y_T (Индекс снижения трудовых затрат)	Заказчик: $Y_T \rightarrow \min$
12	Оценка "минусов"	Y_C (Индекс изменения стоимостных затрат)	Заказчик: $Y_C \rightarrow \min$
13	Оценка "минусов"	T_{OK} (Срок окупаемости затрат на внедрение проекта)	Заказчик: $T_{OK} \rightarrow \min$
14	Оценка "плюсов"	E_p (Коэффициент эффективности капитальных затрат)	Заказчик: $E_p \rightarrow \max$ (получение максимальной прибыли от вложенных средств)
15	Оценка "плюсов"	Удовлетворенность заказчика	Заказчик: Удовлетворенность заказчика $\rightarrow \max$
16	Оценка "плюсов"	Уровень зрелости ИТ-решения	Исполнитель: Уровень зрелости $\rightarrow \max$

Анализируемые классификационные группы показателей (табл. 1) оценивают инвестиции в конкретное ИТ-решение проекта с разных сторон:

- 1) оцениваются выгоды от данного проекта;
- 2) оцениваются издержки и риски принятия данного проекта;
- 3) оценивается ИТ-решение со стороны инвесторов.

Таким образом по каждому альтернативному варианту в результате получаем три критерия оценки:

1) Критерий оценки "плюсов" ИТ-решения проекта, значение которого должно быть максимальным по сравниваемым альтернативным вариантам. Обозначим данный критерий так: $K_{+,i} \rightarrow \max$.

2) Критерий оценки "минусов" ИТ-решения проекта, значение которого должно быть минимальным по сравниваемым альтернативным вариантам. Обозначим данный критерий так: $K_{-,i} \rightarrow \min$.

3) Критерий оценки ИТ-решения проекта инвесторами, значение которого по сравниваемым альтернативным вариантам будет попадать в интервал $(-k_i; +k_j)$. При этом, если результат показателей, входящих в состав данного критерия оценки попадает в положительный промежуток, то инвестиции эффективны. Соответственно, чем больше значение полученного результата, тем лучше. Обозначим данный критерий так: $K_{\text{цел}} \in (-k_i; +k_j)$.

Критерии оценки "плюсов" ИТ-решения проекта содержат показатели эффективности, относящиеся к первой группе: оценка стоимости разработки ИТ-решения S , оценка возврата инвестиций ROI , чистая текущая стоимость NPV , коэффициент оборота активов K , цена акционера $\Phi_{\text{АКЦ}}$, экономическая добавленная стоимость EVA , затраты по видам деятельности ABC , коэффициент эффективности капитальных затрат E_p , удовлетворенность заказчика и уровень зрелости ИТ-решения [4], [5].

Таким образом, первая группа показателей содержит:

$Гр^{+,+} = \{S; ROI; NPV; K; Эф_{АКЦ}; EVA; ABC; E_p; Уд.; Зр\}$.

Множество критериев оценки по каждому показателю обозначим $K^{+,+}_N$, где N – порядковый номер критерия. Критерий оценки "плюсов" проекта имеет вид:

$K^{+,+} = \{S; ROI; NPV; K; Эф_{АКЦ}; EVA; ABC; E_p; Уд.; Зр\}$.

Критерии оценки "минусов" ИТ-решения проекта содержат показатели эффективности, относящиеся ко второй группе: полная стоимость проекта TCO , трудоемкость проекта $SOCOMO II$, индекс снижения трудовых затрат Y_T , индекс изменения стоимостных затрат Y_C , срок окупаемости затрат на внедрение проекта T_{OK} [6], [7].

Таким образом, вторая группа показателей содержит:

$Гр^{+,-} = \{TCO; SOCOMO II; Y_T; Y_C; T_{OK}\}$

Множество критериев оценки по каждому показателю обозначим $K^{+,-}_N$, где N – порядковый номер критерия. Критерий оценки "минусов" проекта имеет вид:

$K^{+,-} = \{TCO; SOCOMO II; Y_T; Y_C; T_{OK}\}$.

Критерии "общей оценки проекта" содержат показатели эффективности, относящиеся к третьей группе: внутренняя норма доходности IRR .

Таким образом, третья группа показателей содержит:

$Гр_{ин} = \{IRR\}$.

Множество критериев оценки по каждому показателю обозначим $K_{ин}N$, где N – порядковый номер критерия. Критерий оценки "общей оценки проекта" проекта имеет вид:

$K_{ин} = \{IRR\}$.

Каждый из альтернативных вариантов характеризуется рядом показателей оценки эффективности, которые, в свою очередь, имеют целевое значение, определяемое каждой организацией в отдельности.

Нормализация критериев проводится по принципу – определение доли достижения на данный момент значений плановых показателей. Результаты нормализации сведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Критерий	Фактическое значение	Целевое значение	Нормализованное значение
$K^{+,+}_1$	$K^{+,+}_1(\text{факт})$	$K^{+,+}_1(\text{цел})$	$K^{+,+}_1(\text{норм}) = \frac{K^{+,+}_1(\text{факт})}{K^{+,+}_1(\text{цел})}$
$K^{+,+}_2$	$K^{+,+}_2(\text{факт})$	$K^{+,+}_2(\text{цел})$	$K^{+,+}_2(\text{норм}) = \frac{K^{+,+}_2(\text{факт})}{K^{+,+}_2(\text{цел})}$
$K^{+,+}_3$	$K^{+,+}_3(\text{факт})$	$K^{+,+}_3(\text{цел})$	$K^{+,+}_3(\text{норм}) = \frac{K^{+,+}_3(\text{факт})}{K^{+,+}_3(\text{цел})}$
$K^{+,+}_4$	$K^{+,+}_4(\text{факт})$	$K^{+,+}_4(\text{цел})$	$K^{+,+}_4(\text{норм}) = \frac{K^{+,+}_4(\text{факт})}{K^{+,+}_4(\text{цел})}$
$K^{+,+}_5$	$K^{+,+}_5(\text{факт})$	$K^{+,+}_5(\text{цел})$	$K^{+,+}_5(\text{норм}) = \frac{K^{+,+}_5(\text{факт})}{K^{+,+}_5(\text{цел})}$
$K^{+,+}_6$	$K^{+,+}_6(\text{факт})$	$K^{+,+}_6(\text{цел})$	$K^{+,+}_6(\text{норм}) = \frac{K^{+,+}_6(\text{факт})}{K^{+,+}_6(\text{цел})}$
$K^{+,+}_7$	$K^{+,+}_7(\text{факт})$	$K^{+,+}_7(\text{цел})$	$K^{+,+}_7(\text{норм}) = \frac{K^{+,+}_7(\text{факт})}{K^{+,+}_7(\text{цел})}$
$K^{+,+}_8$	$K^{+,+}_8(\text{факт})$	$K^{+,+}_8(\text{цел})$	$K^{+,+}_8(\text{норм}) = \frac{K^{+,+}_8(\text{факт})}{K^{+,+}_8(\text{цел})}$
$K^{+,+}_9$	$K^{+,+}_9(\text{факт})$	$K^{+,+}_9(\text{цел})$	$K^{+,+}_9(\text{норм}) = \frac{K^{+,+}_9(\text{факт})}{K^{+,+}_9(\text{цел})}$

K_{+}^{*10}	$K_{+}^{*10}(\text{факт})$	$K_{+}^{*10}(\text{цел})$	$K_{+}^{*10}(\text{норм}) = \frac{K_{+}^{*10}(\text{факт})}{K_{+}^{*10}(\text{цел})}$
K_{-}^{*1}	$K_{-}^{*1}(\text{факт})$	$K_{-}^{*1}(\text{цел})$	$K_{-}^{*1}(\text{норм}) = \frac{K_{-}^{*1}(\text{факт})}{K_{-}^{*1}(\text{цел})}$
K_{-}^{*2}	$K_{-}^{*2}(\text{факт})$	$K_{-}^{*2}(\text{цел})$	$K_{-}^{*2}(\text{норм}) = \frac{K_{-}^{*2}(\text{факт})}{K_{-}^{*2}(\text{цел})}$
K_{-}^{*3}	$K_{-}^{*3}(\text{факт})$	$K_{-}^{*3}(\text{цел})$	$K_{-}^{*3}(\text{норм}) = \frac{K_{-}^{*3}(\text{факт})}{K_{-}^{*3}(\text{цел})}$
K_{-}^{*4}	$K_{-}^{*4}(\text{факт})$	$K_{-}^{*4}(\text{цел})$	$K_{-}^{*4}(\text{норм}) = \frac{K_{-}^{*4}(\text{факт})}{K_{-}^{*4}(\text{цел})}$
K_{-}^{*5}	$K_{-}^{*5}(\text{факт})$	$K_{-}^{*5}(\text{цел})$	$K_{-}^{*5}(\text{норм}) = \frac{K_{-}^{*5}(\text{факт})}{K_{-}^{*5}(\text{цел})}$
$K_{ин1}$	$K_{ин1}(\text{факт})$	$K_{ин1}(\text{цел})$	$K_{ин1}(\text{норм}) = \frac{K_{ин1}(\text{факт})}{K_{ин1}(\text{цел})}$

Учет приоритетов критериев осуществляется путем задания вектора коэффициентов важности критериев:

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_I), \sum_{i=1}^I \lambda_i = 1, \quad (1)$$

где λ_i – коэффициент важности критерия k_i .

Определение коэффициентов важности критериев выполняется с помощью экспертных оценок. В качестве метода экспертного оценивания использован метод рангов [8]. Этот метод позволяет при сравнении нескольких объектов, критериев, свойств и т.д. ранжировать их по важности. При этом максимальный вес соответствует наиболее предпочтительному объекту из

сравниваемых объектов, а минимальный – наимудшему объекту (1 - незначительный для оценки эффективности критерий, 5 - наиболее важный для оценки критерий). В результате обработки экспертных оценок методом рангов определяются веса каждого критерия оценки эффективности.

Рассмотрим определение важности двух групп критериев: критериев оценки "плюсов" и "минусов" ИТ-решения проекта. По группе критериев оценки "плюсов" ИТ-решения проекта оценивалось десять объектов, по группе критериев оценки "минусов" ИТ-решения проекта - пять объектов пятью экспертами (Э1-Э5) методом рангов. Полученные результаты представлены в табл. 3 и 4.

Т а б л и ц а 3

Критерий	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Сумма рангов, X_i	Суммарный ранг, R_i	Стандартизованный балл, V_i	Вес, V_i
K_{+}^{*1}	1	2	2	1	1	7	1	10	0,18
K_{+}^{*2}	4	4	4	4	4	20	10	1	0,02
K_{+}^{*3}	2	1	1	2	2	8	2	9	0,16
K_{+}^{*4}	2	2	3	3	4	14	8	3	0,05
K_{+}^{*5}	1	1	3	2	3	10	4	7	0,13
K_{+}^{*6}	4	2	1	2	2	11	5	6	0,11
K_{+}^{*7}	3	1	1	1	3	9	3	8	0,15
K_{+}^{*8}	3	1	4	2	2	12	6	5	0,09
K_{+}^{*9}	3	3	1	2	4	13	7	4	0,07
K_{+}^{*10}	2	4	2	3	4	15	9	2	0,04
								сумма, Σ	1

Т а б л и ц а 4

Критерий	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Сумма рангов X_i	Суммарный ранг R_i	Стандартизованный балл V_i	Вес V_i
$K_{+,1}$	2	2	1	2	4	11	4	2	0,13
$K_{+,2}$	1	1	2	1	1	6	1	5	0,33
$K_{+,3}$	2	3	3	2	2	12	5	1	0,07
$K_{+,4}$	1	1	2	3	1	8	2	4	0,27
$K_{+,5}$	2	2	1	2	2	9	3	3	0,20
								сумма, Σ	1

Согласованность мнения экспертов оценивается по величине коэффициента конкордации W [9]:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)},$$

где S – сумма квадратов отклонений; m – число экспертов; n – число показателей.

Для расчета значения W находится средняя сумма рангов. Среднее число суммы рангов \bar{r} определяется по формуле:

$$\bar{r} = \frac{m(n+1)}{2},$$

где m – число экспертов; n – число показателей.

Для группы критериев оценки "плюсов" ИТ-решения проекта средняя сумма рангов:

$$\bar{r} = \frac{5(10+1)}{2} = 27,5.$$

Для группы критериев оценки "минусов" ИТ-решения проекта средняя сумма рангов:

$$\bar{r} = \frac{5(5+1)}{2} = 15.$$

Результаты расчета суммы квадратов отклонений для группы критериев оценки "плюсов" ИТ-решения проекта представлены в табл. 5, для группы критериев оценки "минусов" ИТ-решения проекта – в табл. 6. Значения коэффициентов конкордации для двух групп критериев представлены в табл. 7.

Таблица 5

Критерий	Сумма рангов X_i	$\Delta_i = X_i - \bar{r}$	Δ_i^2
$K_{+,1}$	7	-20,5	420,25
$K_{+,2}$	20	-7,5	56,25
$K_{+,3}$	8	-19,5	380,25
$K_{+,4}$	14	-13,5	182,25
$K_{+,5}$	10	-17,5	306,25
$K_{+,6}$	11	-16,5	272,25
$K_{+,7}$	9	-18,5	342,25
$K_{+,8}$	12	-15,5	240,25
$K_{+,9}$	13	-14,5	210,25
$K_{+,10}$	15	-12,5	156,25
		сумма, Σ	2566,50

Значение коэффициента конкордации W для критериев оценки "плюсов" ИТ-решения проекта:

$$W = \frac{12 \times 2566,50}{(5^2 \times (10^3 - 10))} = 1,24.$$

Таблица 6

Критерий	Сумма рангов X_i	$\Delta_i = X_i - \bar{r}$	Δ_i^2
$K_{-,1}$	4	-11	121
$K_{-,2}$	1	-14	196
$K_{-,3}$	5	-10	100
$K_{-,4}$	2	-13	169
$K_{-,5}$	3	-12	144
		сумма, Σ	730

Значение коэффициента конкордации W для критериев оценки "минусов" ИТ-решения проекта:

$$W = \frac{12 \times 730}{(5^2 \times (5^3 - 5))} = 2,92.$$

Т а б л и ц а 7

Критерий оценки проекта	Коэффициент конкордации W
Критерий оценки "плюсов" проекта ($K_{+,}$)	1,24
Критерий оценки "минусов" проекта ($K_{-,}$)	2,92

Значимость расчетных значений коэффициентов конкордации оценивается по критерию Пирсона χ^2 :

$$\chi^2 = m(n-1)W,$$

где m – число экспертов; n – число показателей; W – коэффициент конкордации.

Расчетное значение (для критериев оценки "плюсов" ИТ-решения проекта) $\chi^2 = 55,80$. Для 1% уровня значимости при девяти степенях свободы табличное значение коэффициента Пирсона: $\chi^2_{\text{табл.}} = 21,67$. Согласованность мнений экспертов не случайна, так как $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл.}}$.

Расчетное значение (для критериев оценки "минусов" ИТ-решения проекта) $\chi^2 = 58,40$. Для 1% уровня значимости при четырех степенях свободы табличное значение коэффициента Пирсона $\chi^2_{\text{табл.}} = 13,28$. Согласованность мнений экспертов не случайна, так как $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл.}}$.

Построение функции свертки, исходя из обоснования допустимости свертки построения функции свертки, применимо только для двух групп критериев: критерий оценки "плюсов" ИТ-решения и критерий оценки "минусов" ИТ-решения проекта.

Критерий оценки "плюсов" ИТ-решения проекта должен иметь максимальное значение по сравниваемым альтернативным вариантам. Соответственно обобщенный скалярный критерий будет следующим: $k_{+,}(a_i) \rightarrow \max$. Функция свертки по критерию оценки "минусов" ИТ-решения проекта должна принимать минимальное значение по сравниваемым альтернативным вариантам: $k_{-,}(a_i) \rightarrow \min$.

Поскольку по третьей группе критериев (оценка ИТ-решений проекта инвесторами) недопустимо построение функции свертки, то сравнение по каждой альтернативе A_1 и A_2 проводится по каждому показателю критерия оценки проекта инвесторами (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

Альтернативы Критерии	A_1	A_2	Условия для принятия решения по определению неподходящих по прогнозируемости значений показателей оценки эффективности (правила критериального сравнения)
	Критерий оценки "плюсов" проекта	$k_{+,}(a_1)$	
Критерий оценки "минусов" проекта	$k_{-,}(a_1)$	$k_{-,}(a_2)$	Определение минимального приближения (~10% от значения a_2) показателя a_1 к показателю a_2
Критерий оценки проекта инвесторами: $K_{\text{ин1}}$ (норм) - внутренняя норма доходности (IRR)	$k_{\text{ин1}}(a_1)$	$k_{\text{ин1}}(a_2)$	Определение максимального приближения (~10% от значения a_2) показателя a_1 к показателю a_2

Процесс многокритериального сравнения альтернатив, отраженный в табл. 8, завершается анализом сравнительных оценок. При этом наилучшей будет счи-

таться та альтернатива, у которой наибольшее количество выполненных условий принятия решения, отмеченные в табл. 8.

ВЫВОДЫ

Оценка экономической эффективности ИТ-решений может выполняться на протяжении всего жизненного цикла проекта [10]. По результатам многокритериального анализа принимается решение по выбору наилучшей альтернативы ИТ-решения проекта разработки системы автоматизации производственных процессов текстильной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хорошева Е.Р., Якунина М.В., Герасимов А.В. Адаптированная методология управления проектами разработки систем автоматизации производственных процессов текстильной промышленности в условиях кластерного взаимодействия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 5.
2. Хорошева Е.Р., Якунина М.В., Пронин М.Е. Алгоритм оценки эффективности ИТ-решений разработки систем автоматизации производственных процессов текстильной промышленности // Электронный научный журнал "Век качества". – 2021, №1.
3. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении / Под ред. А.А. Емельянова – М.: Финансы и статистика, 2003.
4. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика. – М.: Дело, 2002.
5. Кондукова Э.В. ABC: Себестоимость без искажений. – М.: Эксмо, 2008.
6. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов. – М.: Финансы и статистика, 2000.
7. Миньков С.Л. Разработка и применение PPP в экономике. – Томск: ТМЦДО, 2002.
8. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980.
9. Балдин К.В., Рукосуев А.В. Общая теория статистики. – 2-е изд. – М.: ИТК "Дашков и К", 2018.

10. Marsh Sarah J., Stock Gregory N. Building dynamic capabilities in new product development through international integration // Journal of product innovation management. – V.20. №2. 2003. P.136...148.

REFERENCES

1. Khorosheva E.R., Yakunina M.V., Gerasimov A.V. Adaptirovannaya metodologiya upravleniya proektami razrabotki sistem avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov tekstil'noy promyshlennosti v usloviyakh klaster'nogo vzaimodeystviya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, № 5.
2. Khorosheva E.R., Yakunina M.V., Pronin M.E. Algoritm otsenki effektivnosti IT-resheniy razrabotki sistem avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov tekstil'noy promyshlennosti // Elektronnyy nauchnyy zhurnal "Vek kachestva". – 2021, №1.
3. Anfilatov V.S., Emel'yanov A.A., Kukushkin A.A. Sistemnyy analiz v upravlenii / Pod red. A.A. Emel'yanova – M.: Finansy i statistika, 2003.
4. Vilenskiy P.L., Livshits V.N., Smolyak S.A. Otsenka effektivnosti investitsionnykh projektov: Teoriya i praktika. – M.: Delo, 2002.
5. Kondukova E.V. ABC: Sebestoimost' bez iskazheniy. – M.: Eksmo, 2008.
6. Kovalev V.V. Metody otsenki investitsionnykh projektov. – M.: Finansy i statistika, 2000.
7. Min'kov S.L. Razrabotka i primeneniye PPP v ekonomike. – Tomsk: TMTsDO, 2002.
8. Beshelev S.D., Gurchich F.G. Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok. – M.: Statistika, 1980.
9. Baldin K.V., Rukosuev A.V. Obshchaya teoriya statistiki. – 2-e izd. – M.: ITK "Dashkov i K", 2018.
10. Marsh Sarah J., Stock Gregory N. Building dynamic capabilities in new product development through international integration // Journal of product innovation management. – V.20. №2. 2003. P.136...148.

Рекомендована кафедрой информационных систем и программной инженерии ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Поступила 26.04.22.

**АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ
ИНСТРУМЕНТОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ
В ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**ASPECTS OF APPLYING
DIGITALIZATION TOOLS
IN THE TEXTILE AND LIGHT INDUSTRY**

A.P. ИБАТУЛЛИНА, И.В. КРАСИНА, В.В. БРОНСКАЯ
A.R. IBATULLINA, I.V. KRASINA, V.V. BRONSKAYA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: twopizzas@mail.ru

В работе рассмотрены некоторые аспекты цифровизации индустрии моды и инструменты для ведения производственного процесса текстильных и швейных предприятий. В статье приведен алгоритм тренировки нейросети по распознаванию переплетений текстильного полотна и классификации изображений с целью обнаружения дефектов изделия.

The paper considers some aspects of the digitalization of the fashion industry and tools for conducting the production process of textile and clothing enterprises. The article presents an algorithm for training a neural network to recognize the weaves of a textile fabric and classify images in order to detect product defects.

Ключевые слова: цифровизация, проектирование, программное обеспечение, мониторинг, системы автоматизированного проектирования, нейросети.

Keywords: digitalization, design, software, monitoring, computer-aided design systems, neural networks.

На сегодняшний день тема цифровизации является крайне актуальной во всех областях, и отрасль текстильной и легкой промышленности не является исключением. Особенно актуальны такие цифровые разработки, как система автоматизированного проектирования (САПР) и система планирования и мониторинга производственных заказов (СПМПЗ). САПР в сочетании с системой для примерки изделий в виртуальной среде позволяет в разы сократить время на изготовление опытного образца и уменьшает число опытных образцов, необходимых для "подгонки" по фигуре человека до одной единицы. В других отраслях промышленности, например, таких как

горнодобывающая, нефтяная СПМПЗ уже активно внедряются и успешно применяются для мониторинга и контроля сроков, оптимизации временных затрат с помощью централизации всех систем производства.

Внедрение информатизации производственного процесса на предприятии легкой промышленности может рационализировать формирование плана производства на основе списка заказов или объемного плана. Распределение производственных заданий на основании реального графика работы оборудования и персонала, его доступности и производительности, а также указание и отслеживание комплектующих изделия и количества изделий в необхо-

димой для выпуска партии помогает оптимизировать временные затраты.

Применение информационных и цифровых технологий также актуально при ведении научных разработок для моделирования процессов инновационных отделочных операций текстильных изделий и модификации их свойств [1], [2].

Рассмотрим современное состояние нейросетевого моделирования в области перспективных пакетов прикладных программ для анализа и прогнозирования поведения объектов легкой промышленности [3...10].

Нейронные сети применяются с целью:

- повышения эффективности планирования и управления производством в легкой промышленности с построением функции регрессии;

- классификации изображений;
- нахождения дефектов изделия.

Общим для всех этих задач является то, что вход в сеть представляет собой некую последовательность. Эти входные данные обычно имеют переменную длину, что означает, что сеть может одинаково хорошо работать как с короткими, так и с длинными последовательностями. Что отличает различные задачи обучения последовательности, так это форма вывода сети. Здесь существует большое разнообразие методов с соответствующими формами вывода:

Для моделей авторегрессионного языка, используемых для моделирования вероятности конкретной последовательности, выходом является следующий элемент последовательности. В случае текстовой модели это символ или маркер, декодированный с помощью "Класс", "Символы" или "Токен".

Приведем алгоритм построения регрессии в условиях неопределенности.

1. Построить сеть, которая принимает входное число и использует многослойный перцептрон для создания трех отдельных векторов. Каждый вектор содержит шесть чисел, которые представляют параметры для шести отдельных гауссовских компонентов. Два из этих векторов ("среднее" и "стандартное отклонение") представляют собой среднее и стандартное отклонение. Конечный вектор ("вес") – это вектор

вероятности, который представляет, как смешать эти шесть компонентов для получения единого распределения.

2. Затем необходимо построить более крупную сеть, обучающую эту сеть параметров. Более крупная сеть берет фактические значения x и y из нашего распределения данных и вычисляет меру того, насколько вероятно данные соответствуют модели, которую представляет наша сеть параметров. Минимизируя эту отрицательную логарифмическую вероятность, мы эффективно максимизируем вероятность фактических данных, что является обычным методом обучения вероятностной модели.

4. Построить обучающую сеть.

5. Обучить модель, что соответствует одновременному максимальному увеличению вероятности того, что модель создаст каждую точку в нашем наборе данных. После обучения мы извлечем сеть параметров изнутри обученной сети.

6. Тренировка сети.

Для моделей распознавания и классификации входная последовательность используется для формирования последовательности прерывистых прогнозов для целевой последовательности, которая всегда короче входной последовательности. Примеры этого включают распознавание рукописного текста на основе данных пикселей или штрихов, при которых ввод сегментируется на отдельные символы, или транскрипция звука, в которой особенности звука сегментируются на символы или фонемы.

Приведем алгоритм классификации изображений, с целью нахождения дефектов изделия.

1. Получить данные для обучения и проверки.

2. Определить сверточную нейронную сеть, которая принимает в качестве входных данных изображения в оттенках.

3. Обучить сеть (с помощью аппарата предоставленного прикладным пакетом программ).

4. Оценить обученную сеть непосредственно на изображениях, случайно выбранных из набора для проверки. То есть выбираются изображения, для которых сеть дает самые высокие и самые низкие

предсказания энтропии. Входные данные с высокой энтропией можно истолковать как те, для которых сеть наиболее не уверена в правильном классе.

5. Получить оценки вероятности всех классов для определенного входа.

6. Проверить производительность классификации обученной сети на тестовом наборе.

Важной теоретической и прикладной задачей является многомерный анализ альтернатив нейросетевого моделирования с обоснованием их архитектуры и технологических параметров с целью принятия более обоснованных управленческих решений. Нейронные сети хорошо подходят для обучения на очень больших наборах данных, даже на тех, которые слишком велики, чтобы уместиться в памяти. Наиболее популярные алгоритмы оптимизации для обучения нейронных сетей представляют собой разновидности подхода, называемого стохастическим градиентным спуском. В этом подходе небольшие пакеты данных случайным образом выбираются из полного набора обучающих данных и используются для обновления параметров. Таким образом, нейронные сети являются примером алгоритма онлайн-обучения, что не требует, чтобы весь набор обучающих данных находился в памяти. Это контрастирует с такими методами, как алгоритм опорных векторов и случайный лес, которые обычно требуют, чтобы весь набор данных находился в памяти во время обучения.

Результат нейронной сети часто является предсказанием. Для задачи регрессии этот прогноз обычно представляет собой точечную оценку, что означает, что это одно число, представляющее значение, которое, по мнению сети, наиболее вероятно для задачи.

Для задач классификации выходом сети обычно является вектор, компоненты которого представляют вероятность каждого класса. Например, сеть, которая классифицирует изображения виды плетения, создает вектор с компонентами, сумма которых равна единице, представляя вероятности этих классов.

Для такого рода выходных векторов вероятностей мы обычно заботимся о наиболее

вероятном классе, а не о необработанных вероятностях. Чтобы определить это, мы должны знать, как классы связаны с конкретными компонентами вектора.

Есть также другие свойства, которые мы также можем вычислить из вектора вероятности, такие как верхние n вероятностей (если у нас много классов), вероятность определенного класса или мера неопределенности прогноза.

Для реализации работы моделей нейронных сетей разного вида существует специальное программное обеспечение. В качестве наиболее удобного и адаптированного для квалифицированного пользователя средства могут быть рекомендованы:

1. Statistica Neural Networks
2. Надстройка ExcelNeuralPackage
3. Пакет MatLab, Matlab Simulink
4. Пакет Wolfram Mathematica.

Нейронные сети могут быть модулем в системе управления технологическим процессом на предприятии легкой промышленности и ускорить процесс обработки большого числа данных, осуществлять мониторинг качества продукции, в перспективе в сочетании с другими средствами цифровизации, оптимизировать технологическую схему процесса.

Рассмотрим далее практические аспекты применения инструментов цифровизации в текстильной и легкой промышленности.

Полный цикл цифрового производства изделий легкой промышленности включает:

- проектирование чертежей и лекал,
- отладку лекал с помощью виртуальной примерки на аватара с заданными параметрами фигуры,
- уточнение расположения рисунка или совмещение узора ткани на частях изделия,
- цифровые технологии текстильной печати,
- цифровые технологии раскроя,
- пошив готового изделия.

Для ведения бизнеса в соответствии с требованиями Индустрии 4.0 предприятия текстильной и легкой промышленности должны обладать автоматизированным оборудованием и программным обеспечением

нием. На сегодняшний день в России существуют компании, которые ведут подобные разработки и занимаются их распространением. Лидерами на этом рынке является компания Смарт-Т в сотрудничестве с компаниями Ассоль и Веллес. Компания Ассоль зарекомендовала себя на рынке как надежный поставщик текстильного СА-Пра. Фирма Веллес является первым российским брендом промышленных швейных машин, компания также занимается обеспечением предприятий вязальным оборудованием и предлагает полностью автоматизированные производственные линии для пошива таких актуальных изделий, как медицинские маски.

Организация Смарт-Т, как официальный дистрибьютор компании Mimaki в России, занимается поставками новейшего текстильного оборудования.

Список современного оборудования для текстильного рынка включает в себя такие позиции, как принтеры для печати на футболках, УФ-принтеры, режущие плоттеры и многое другое. Так, участок печати может быть представлен широкоформатными принтерами Mimaki TS500, TS300 и Tх300 для печати на синтетическом и натуральном текстиле. Термоперенос и фиксация отпечатков на ткани может осуществляться на каландровых термопрессах TitanJet RTX34 и RTX3. Эти модели являются самым популярным оборудованием в своих сегментах.

Современный раскройный цех целесообразно оборудовать промышленными автоматическими установками, например высокопроизводительным режущим плоттером iECHO BK3 и лазерным станком PHOTONIM Pro с системой автораспознавания контуров края. Такое оборудование позволяет работать с текстильными полотнами, имеющими высокую степень осыпаемости, исключая выкальзывание нитей из срезов даже таких тканей, как шифон. Это высокотехнологичное оборудование имеет точный и достаточно широкий диапазон настраиваемой мощности для тканей с различными требованиями к осуществлению технологических процессов.

На предприятиях текстильной промышленности в силу специфики производства целесообразно внедрение технических решений в виде оборудования непрерывного цикла. Примером такого решения может служить полностью автоматизированная линия переработки текстильных отходов LAROCHE SA (лоскуты, обрезь, брак), включая готовые изделия секонд хенд (с фурнитурами и прочими нетекстильными включениями). Подобные линии как нельзя лучше отвечают целям устойчивого развития. Программное обеспечение таких поточных линий с комплектом оборудования рыхления, очистки и смешивания позволяет без участия человека обеспечить производство нетканых материалов.

Сопутствующее оборудование для контроля (фильтрационная установка, кипный пресс, замасливатель, конвейерный металлодетектор, трубный металлодетектор) позволяет максимально снизить вероятность возникновения брака.

Линии для производства нетканых материалов Airlay Flexiloft (рис. 1) представляют из себя линии полного цикла с прошивкой, термоскреплением и/или другими технологиями уплотнения для следующих областей применения: квилтинг, мебельный текстиль, ковровое покрытие, агротекстиль, термоизоляция, автомобилестроение, геотекстиль, фильтрационные текстильные материалы, гигиенические изделия и многое другое.

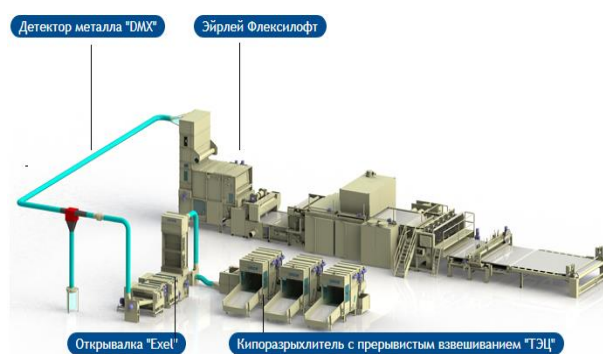


Рис. 1

Линия для производства нетканых материалов на основе смольных соединений представлена на рис. 2.

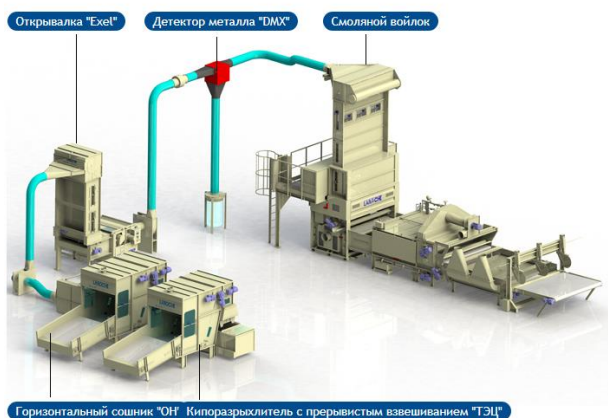


Рис. 2

Благодаря гибкости и универсальности некоторых блоков поточных линий LAROCHE выводит на рынок специальное оборудование для набивки пуха и подушек, линии протирания для последующего прядения и создания нетканых материалов, отдельные линии для подготовки натурального волокна, линии очистки хлопка.

ВЫВОДЫ

Используя потенциал машинного обучения на всех этапах формирования изделия легкой промышленности, начиная с этапа проектирования (с учетом оптимизации затрат и тенденций устойчивого развития) и заканчивая проверкой дефектов готового изделия, появляется возможность выпуска качественного, современного, востребованного на рынке и экологически чистого продукта.

Такие примеры показывают, что информационные технологии, автоматизация и оптимизация процессов текстильной и легкой промышленности при наличии соответствующего материального обеспечения выводят производство на новый уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ibatullina A., Krasina I., Antonova M., Ilushina S., Isayeva E., Mingaliyev R. and Parsanov A. 2020 Structural and chemical changes of aramid fibers modified by low temperature plasma J. Phys.: Conf. Ser. 1588 012020.
2. Sergeeva E.A., Ibatullina A.R. and Kostina K.D. Application of plasma modification for improvement of strength characteristics of aramide fiber // Izvestiya

Vysshihkh Uchebnykh Zavedenii Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2016, № 1. P. 90..93.

3. Russakovsky O. et al. ImageNet large scale visual recognition challenge // Int. J. Comput. Vis. – 115, 211-252 (2015).

4. LeCun Y., Bengio Y. & Hinton G. Deep learning. Nature. – 521, 436-444 (2015).

5. Collobert R. & Weston J. A unified architecture for natural language processing: deep neural networks with multitask learning. In Proc. 25th International Conference on Machine Learning (eds McCallum, A. & Roweis, S.) 160–167 (Helsinki, Finland: ACM, 2008). <https://doi.org/10.1145/1390156.1390177>.

6. Chen L. C. et al. DeepLab: semantic image segmentation with deep convolutional nets, Atrous convolution, and fully connected CRFs. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 40, 834-848 (2018).

7. Long J., Shelhamer E. & Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation. In Proc. 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 3431–3440 (Boston, MA, USA: IEEE, 2015).

8. Rivenson Y. et al. Deep learning enhanced mobile-phone microscopy. ACS Photonics 5, 2354-2364, <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.8b00146> (2018).

9. Tsapaev A.A., Gumerov F.M., Mazanov S.V., Kharitonova O.S., Bronskaya V.V. Neural network model of the process of supercritical water oxidation of utilization of industrial effluent water Journal of Physics: Conference Series. – 2019, 1399(3), 033119

10. Kharitonova O.S., Bronskaya V.V., Ignashina T.V., Al-Muntaser A.A., Khairullina L.E. Modeling of absorption process using neural networks IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019, 315(3), 032025.

REFERENCES

1. Ibatullina A., Krasina I., Antonova M., Ilushina S., Isayeva E., Mingaliyev R. and Parsanov A. 2020 Structural and chemical changes of aramid fibers modified by low temperature plasma J. Phys.: Conf. Ser. 1588 012020.
2. Sergeeva E.A., Ibatullina A.R. and Kostina K.D. Application of plasma modification for improvement of strength characteristics of aramide fiber // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2016, № 1. P. 90..93.
3. Russakovsky O. et al. ImageNet large scale visual recognition challenge // Int. J. Comput. Vis. – 115, 211-252 (2015).
4. LeCun Y., Bengio Y. & Hinton G. Deep learning. Nature. – 521, 436-444 (2015).
5. Collobert R. & Weston J. A unified architecture for natural language processing: deep neural networks with multitask learning. In Proc. 25th International Conference on Machine Learning (eds McCallum, A. & Roweis, S.) 160–167 (Helsinki, Finland: ACM, 2008). <https://doi.org/10.1145/1390156.1390177>.
6. Chen L. C. et al. DeepLab: semantic image segmentation with deep convolutional nets, Atrous

convolution, and fully connected CRFs. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 40, 834-848 (2018).

7. Long J., Shelhamer E. & Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation. In Proc. 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 3431–3440 (Boston, MA, USA: IEEE, 2015).

8. Rivenson Y. et al. Deep learning enhanced mobile-phone microscopy. ACS Photonics 5, 2354-2364, <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.8b00146> (2018).

9. Tsapaev A.A., Gumerov F.M., Mazanov S.V., Kharitonova O.S., Bronskaya V.V. Neural network model of the process of supercritical water oxidation of

utilization of industrial effluent water. Journal of Physics: Conference Series. – 2019, 1399(3), 033119

10. Kharitonova O.S., Bronskaya V.V., Ignashina T.V., Al-Muntaser A.A., Khairullina L.E. Modeling of absorption process using neural networks. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019, 315(3), 032025.

Рекомендована кафедрой технологии натуральных, химических волокон и изделий. Поступила 08.02.22.

УДК 004.42+677.09

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_266

ПРОГРАММНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ РЕГУЛЯРНЫХ ТЕКСТУР В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

SOFTWARE RECOGNITION OF IMAGE DEFECTS OF REGULAR TEXTURES IN THE TEXTILE INDUSTRY

A.B. СИЛАКОВ, С.А. ВАРЛАМОВА, П.В. КОТКОВ

A. V. SILAKOV, S.A. VARLAMOVA, P.V. KOTKOV

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
(Березниковский филиал))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),
Perm National Research Polytechnic University (Berezniki branch))

E-mail: silakov-av@rguk.ru; varlamovasa@mail.ru; iliiryap@yandex.ru

Работа посвящена проблеме обнаружения дефектов в изделиях текстильной промышленности с применением методов компьютерного зрения. Показана актуальность рассматриваемой предметной области. Приведены способы контроля качества продукции. Кратко представлены различные методы обнаружения границ, в том числе с применением нечеткой логики. С помощью тестирования выбран метод на основе нечеткой логики, позволяющий получить приемлемый результат. Описанный в работе метод модернизирован путем разделения процесса обработки на две фазы: быструю – позволяющую предположить наличие дефекта, и тщательную – позволяющую дефект выделить цветом. Модернизированный метод протестирован на нескольких видах тканей, для которых получено среднее фоновое распределение, позволяющее отделять текстуру и цвет ткани от возможного дефекта. А также выполнены тесты на материалах с разной освещенностью, разным количеством и типом дефектов, получены процентные соотношения качества обнаружения дефектов и предложены пути модернизации системы.

The article is about a problem of detecting defects in textile products by computer vision methods. The relevance of the considered subject area is shown. The main methods of product defects quality control are presented using ready-made measuring and grading machines. Various methods of boundary detection, including those using fuzzy logic, are briefly presented. The method based on fuzzy logic was chosen with the help of testing different ways. It allows to obtain an acceptable result. The described method is modernized by dividing the process into two phases: a fast one, which allows us to assume the presence of a defect, and a thorough one, which allows highlighting the defect in color. The modernized method is tested on several types of fabrics for which an average background distribution was obtained. As a result we can separate the texture and color of the fabric from possible defects. Tests were carried out on materials with different illumination, different numbers and types of defects, percentage ratios of the defect detection quality were obtained. Some ways of the system modernizing are proposed.

Ключевые слова: текстиль, дефекты продукции, контроль качества, машинное зрение, нечеткая логика, выделение границ, текстура ткани, распознавание.

Keywords: textiles, product defects, quality control, machine vision, fuzzy logic, border delineation, fabric texture, recognition.

Проверка качества текстильных изделий тяжело поддается автоматизации. Развитие систем компьютерного зрения позволяет поднимать вопросы о повышении эффективности текстильных производств за счет снижения брака. Вся работа систем, основанных на компьютерном зрении, решающих задачи контроля качества продукции, сводится к нескольким действиям, описанным в литературе, например [Ошибка! Источник ссылки не найден.], [2].

Система, решающая проблему поиска дефектов продукции, должна выполнять следующие функции [3], [4].

– Считывание изображения. Полученные изображения могут считываться с нескольких датчиков или с одного датчика (все это зависит от требований к проверке на производстве). В качестве приборов, считывающих изображения, могут применяться разные датчики (снимающие изображения только в черно-белом формате или получающие изображения в различных цветовых спектрах).

– Быстрая фаза обработки (предварительная фаза) – зависит от методов обработки полученных изображений, возможно, изображения требуют специаль-

ного метода корректировки (удаления шумов, размытия при движении и т.д.).

– Сегментация – выбираются участки изображения, которые, возможно, содержат искомые системой дефекты.

– Глубокая фаза обработки – проверка участка изображения, выявленного при сегментации.

В статье рассматриваются методы автоматического обнаружения дефектов тканей путем анализа их внешнего вида в системе компьютерного зрения. Стоит учитывать, что дефекты внешнего вида тканей возникают на различных стадиях производства и обусловлены как некачественным сырьем, так и нарушениями в технологических процессах выпуска изделий и ошибках оборудования.

Российские производители практически не представляют автоматизированные комплексы, обеспечивающие контроль качества текстильной промышленности. Даже такая крупная компания, как «Роллтекс», поставляет только мерильно-браковочное оборудование для контроля перемотки из одного рулона в другой, но не для контроля брака [5].

Существуют зарубежные аналоги российских решений, например, «Cognex

SmartView» [6]. Внедрение такой системы позволяет использовать датчики и программное обеспечение для непрерывного поиска дефектов ткани. Однако использование такой машины требует значительных материальных затрат, и в последнее время может возникнуть вопрос возможности взаимодействия с иностранным поставщиком.

Можно обеспечить контроль качества продукции с помощью более гибкой и более бюджетной системы, которая использует алгоритмы обработки видеопотока. Такие методы достаточно универсальны и могут подойти под любой этап производства.

Для обнаружения дефектов изделий в машинном зрении обычно применяются методы обнаружения границ [7]. К ним относятся: оператор Роберта [8], основанный на использовании перекрестного матричного оператора, содержащего конечные разности соседних элементов, оператор Прюитта [9], использующий понятие центральной разности, однако этот оператор имеет большую чувствительность к шуму, оператор Собеля [10], так же основанный на центральных разностях, но вес центральных элементов увеличен в два раза, оператор Лаласа, в котором используется дифференциальное выделение контуров с применением лапласиана, то есть производных второго порядка [11], оператор Кенни, использующий многоступенчатый алгоритм обнаружения границ (сглаживание, поиск градиентов, подавление немаксимумов,

фильтрацию и трассировку области неоднозначности) и другие.

При распознавании границ изображений также получили широкое применение методы нечеткой логики [12]. Вначале происходит предварительная обработка изображения – изображение преобразуется в оттенки серого. Затем выполняется фаззификация – преобразование изображения к нечеткому множеству. На следующем этапе степень принадлежности элементов нечеткого множества измеряется в соответствии с базой знаний. Последним этапом является дефаззификация нечеткого результата – преобразование значений функций принадлежности в реальные значения яркости. Основными преимуществами метода являются широкое поле подстройки параметров алгоритма и устойчивость к помехам.

Перечисленные методы дают различные результаты при обнаружении границ различных объектов, это доказано многими авторами, например [13]. Поэтому в каждой задаче распознавания проводят тестирование методов для возможности их применения в конкретной предметной области. Для обнаружения брака в текстильной промышленности было выбрано исходное изображение и к нему применены различные методы обнаружения границ (рис. 1 – исходное изображение (слева), результат применения метода Кенни (в центре) и метода на основе метода нечеткой логики (справа)).

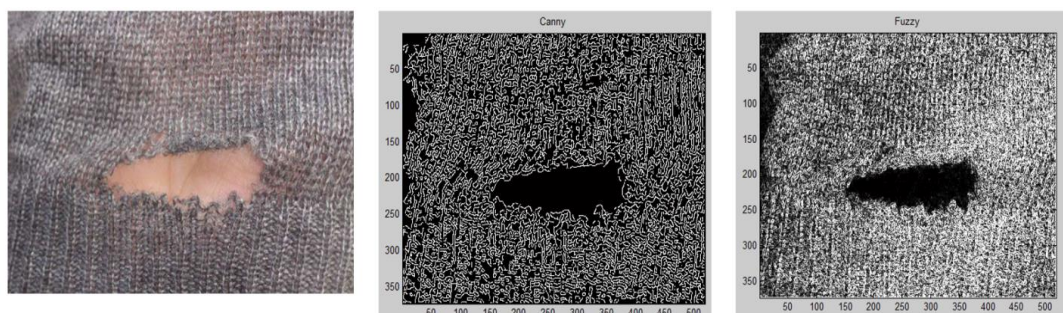


Рис. 1

В результате сравнения всех упомянутых методов лучшие результаты показали метод Кэнни и метод, основанный на нечеткой логике. Последний предпочтительнее, так как позволяет использовать различные

варианты гибких настроек системы: лингвистических переменных, базы правил, весовых коэффициентов, а также различных алгоритмов дефаззификации.

Описанный в литературе прототип метода [15], [16], основанного на нечеткой логике, не учитывает нерезкие цветовые перепады изображения – с помощью этих перепадов можно определить заломы (неровность полотна), а также неравномерность плотности полотна (плотность одной части не соответствует другой части полотна). Поэтому предложено усовершенствовать метод для расширения спектра обнаруживаемых дефектов. Модифицированный метод обработки включает две фазы:

- Первая фаза (быстрая):
 - Получение изображения и его перевод в оттенки серого.
 - Получение относительной яркости изображения.
 - Динамическое вычисление границ входных функций принадлежности, так как разные типы ткани при фото- и видеосъемке имеют разную яркость, контрастность.
 - Преобразование через систему нечеткого ввода и вывода.
 - Предварительный анализ перехода ко второй фазе обработки.
- Вторая фаза (тщательная).
 - Выделение возможного дефекта.
 - Проверка граничного условия.
 - Вывод изображения с дефектом на экран.

Применение двух фаз обработки необходимо для большего быстродействия. Если при быстрой фазе обработки дефект будет обнаружен, только тогда изображение будет передано на второй этап обработки. При этом компьютер сможет заниматься быстрой фазой обработки следующего изображения.

В модифицированном методе, подобранном специально для обработки с учетом особенностей продукции легкой промышленности, используются следующие входные и выходные функции (рис. 2). Вместо двух входных лингвистических переменных исходного метода используется одна с тремя функциями принадлежности. Выходная лингвистическая переменная также осталась одна, но имеет 3 трапецидальных функции принадлежности.

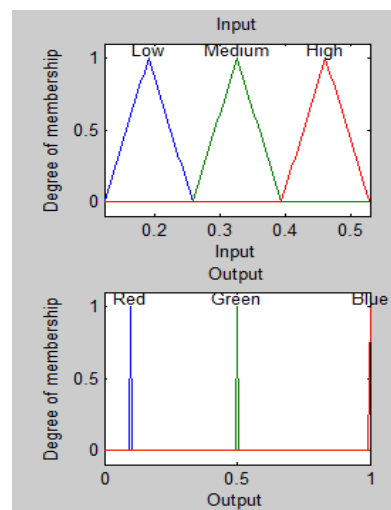


Рис. 2

Каждый пиксель будет проверен на соответствие трем функциям принадлежности входной лингвистической переменной, если значения пикселя изображения можно отнести к первой трети получившегося промежутка, то этот пиксель можно условно назвать красным и использовать значения выходной лингвистической переменной – соответствующей первой функции принадлежности, так же последовательно можно поступить со второй и третьей функциями принадлежности входной лингвистической переменной.

Так как средние значения яркости и контрастности у каждого изображения материала различны, то необходимо для каждого типа изображения настраивать диапазон входной лингвистической переменной и ее функций принадлежности, а также пиков этих функций:

- После получения относительной яркости изображения необходимо найти минимальные и максимальные значения полученного изображения.

- Из двух полученных значений можно получить границы и пики функций принадлежности:

- Необходимо просчитать общую длину каждой функции принадлежности: $f_l = (Y_{\max} - Y_{\min}) / 3$, где Y_{\max} – максимальное значение пиксела полученного изображения, а Y_{\min} – минимальное значение.

○ Рассчитать границы и пик первой функции принадлежности: $flb = Y_{min}$, $frb = Y_{min} + fl$, $fmv = Y_{min} + ((frb - Y_{min}) / 2)$, где flb – начало функции принадлежности, frb – конец функции принадлежности, fmv – пик функции принадлежности.

– Аналогично сделать расчеты для оставшихся двух цветовых компонентов.

Результаты работы обычного и модернизированного метода с применением нечеткой логики представлены на рис. 3 (ткань с неровностью полотна (слева), работы прототипа нечеткой системы ввода-вывода (в центре) и результат работы изме-

ненного метода нечеткого ввода-вывода (справа)). На рисунке видно, что при неравномерности плотности полотна прототип метода не обнаруживает ничего, в то время как измененный метод обнаруживает указанный дефект. Измененный метод позволяет разделить части изображения на 2 основные части (общий фон и дефект, если таковой существует). Если пропустить через систему нечеткого вывода изображение без каких-либо дефектов, то изображение на выходе будет полностью окрашено одним цветом, или же примеси других цветов будут минимальными.



Рис. 3

Длительная фаза обработки выделяет на изображении найденный дефект. Для получения среднего фона изображения было обработано несколько изображений разного типа ткани, не имеющих при этом выраженных дефектов поверхности. В результате полученные из системы нечеткого вывода пиксели, принадлежащие к каждой из функций принадлежности выходной переменной, будут причислены к трем группам. Группа, имеющая большее процентное отношение к исследуемому изображению, является фоном. Две же остальные группы, имеющие меньшее процентное отношение, скорее всего, являются либо дефектом изображения, либо частью текстуры исследуемого изображения.

Выполнив такую операцию с изображениями тканей каждого типа, получили среднее фоновое распределение для текстур каждого материала, например:

– для джинсовой ткани – среднее фоновое распределение составляет 72%,

– для трикотажного полотна – среднее фоновое распределение составляет 52%,

– для материалов кожаной фактуры (полиуретана) – среднее фоновое распределение составляет 63%,

– для льняной ткани – среднее фоновое распределение составляет 67%.

На различных производствах и при различных условиях данные о фоновом распределении могут отличаться, их конкретные значения можно использовать для перехода от первой фазы анализа изображения ко второй, чтобы подтвердить или опровергнуть наличие дефекта на исследуемом изображении.

Выделение дефекта, если таковой имеется, производится методом обхода. Вокруг исходного пикселя с координатами (i, j) делается 8 шагов с различными изменениями координат. Если все 8 пикселей не являются фоновыми, то исходный пиксель помечается красным цветом на изображении, предназначенном для лица, принимающего решение.

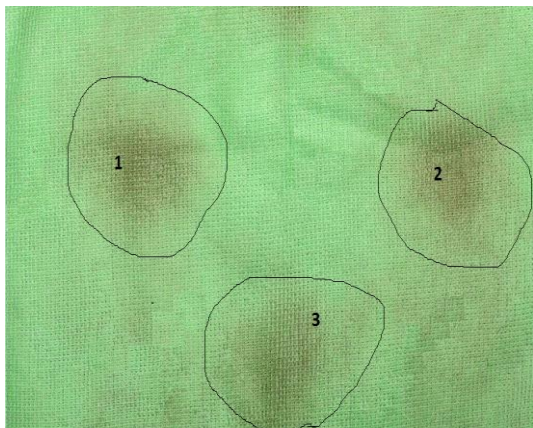


Рис. 4

Рассмотрим все фазы алгоритма на контрольном примере (рис. 4). На рисунке отчетливо видны три крупных пятна (отмечены цифрами и обведены), несколько более мелких грязных областей. Кроме того, само полотно ткани не ровное (ткань мятая).



Рис. 5

При фазе быстрой обработки были получены значения фонового распределения 63%, что меньше 67% для эталонной льняной ткани, значит необходимо приступить к длительной фазе обработки. На рис. 5 изображено выходное изображение после первой фазы.

После длительной фазы обработки для лица, принимающего решение, поступает сигнал о возможном наличии дефекта. На рис. 6 представлены два изображения, иллюстрирующие выделение возможного дефекта красным цветом.

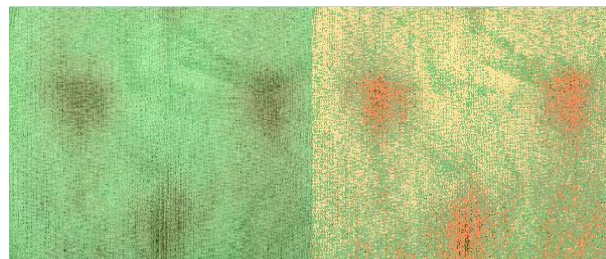


Рис. 6

Описанный алгоритм был протестирован на нескольких типах исходных изображений тканей. Алгоритм хорошо себя показал на материалах разных типов с такими дефектами, как дыры, грязь, участки с неравномерным тоном окрашивания, участки с различной плотностью материала, но алгоритм плохо себя показывает, в тех случаях, когда изображение засвечено, или на изображении находится несколько дефектов.

В результате тестирования алгоритма были получены следующие результаты.

– Из 71 тестового примера, на которых можно визуально отметить какой-либо дефект, алгоритм выделил дефект на 58 изображениях, это – 82% от всех исследуемых изображений.

– При наличии нескольких дефектов на объекте, вероятность неполного выделения дефекта составляет 37% (данную проблему можно решить настройкой модели нечеткого ввода и вывода).

– При наличии засветов на изображении вероятность неполного выделения дефекта составляет 98%, то есть алгоритм сочтет такую деталь на изображении дефектной, но процесс выделения его на изображении будет частично неправильным (данная проблема решается организацией правильного освещения), также существует шанс, что на засвеченном изображении дефекта вовсе не будет обнаружено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zatonkiy A.V., Varlamova S.A. Use of reflection flare spots for automatic recognition of froth parameters in potassium ores flotation // *Obogashchenie Rud.* – 2016 (2). P. 49...56.
2. Rafael C. Gonzalez. Digital Image Processing fourth edition. Richard E. Woods; Pearson. – 2017.

3. Ивановский В.А. Дистанционное обнаружение дефектов ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №5. С 124...126.

4. Якунин М.А. Определение местных пороков ткани с использованием машинного зрения // Естественные и технические науки. – 2010, №6. С.582...585.

5. Мерильно-браковочная машина мод. В02.24 [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.rolltex.ru/oborudovanie/mashina-merilno-brakovochnaya-mod-v02-11spec-280/>.

6. Cognex SmartView with Advanced Auto Winder [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=v7P62sD2viQ>;

7. Zatonkiy A.V., Malysheva A.V. Modernization of algorithms for flare detection of froth layer parameters during flotation of potassium ores // Obogashchenie Rud. – 2018 (2). P. 35...41.

8. Оператор Робертса [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://helpiks.org/6-19184.html>;

9. Оператор Прюитта [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://studfiles.net/preview/5678776/page:5/>;

10. Оператор Собеля [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://habr.com/ru/post/114452/>;

11. Лапласиан [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://masters.donntu.org/2014/fknt/metelytsia/library/article11.htm>;

12. Системы нечеткого вывода [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://habr.com/ru/post/113020/>;

13. Затонский А.В., Варламова С.А., Мальшиева А.А., Мясников А.А. Использование видеографической информации для уточнения динамической стохастической модели процесса флотации калийной руды // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. Т.9. № 2. С. 87

14. Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Кусенкова А.А., Гусев Б.Н., Калинин Е.Н. Ранжирование показателей качества геосинтетических материалов с применением теории нечетких множеств // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №3. С 41...45.

15. Смирнов В.А., Хасанова А.А. Особенности реализации системы управления на нечеткой логике // Изв. Челябинского научного центра, вып. 4 (21). – 2003. С. 33...38.

16. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab. – 2007.

REFERENCES

1. Zatonkiy A.V., Varlamova S.A. Use of reflection flare spots for automatic recognition of froth parameters in potassium ores flotation // Obogashchenie Rud. – 2016 (2). P. 49...56.

2. Rafael C. Gonzalez. Digital Image Processing fourth edition. Richard E. Woods; Pearson. – 2017.

3. Ivanovskiy V.A. Distantionnoe obnaruzhenie defektov tkani // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2010, №5. S 124...126.

4. Yakunin M.A. Opredelenie mestnykh porokov tkani s ispol'zovaniem mashinnogo zreniya // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2010, №6. S.582...585.

5. Meril'no-brakovochnaya mashina mod. V02.24 [Elektronnyy resurs] – rezhim dostupa: <http://www.rolltex.ru/oborudovanie/mashina-merilno-brakovochnaya-mod-v02-11spec-280/>.

6. Cognex SmartView with Advanced Auto Winder [Elektronnyy resurs] – rezhim dostupa: <https://www.youtube.com/watch?v=v7P62sD2viQ>;

7. Zatonkiy A.V., Malysheva A.V. Modernization of algorithms for flare detection of froth layer parameters during flotation of potassium ores // Obogashchenie Rud. – 2018 (2). P. 35...41.

8. Operator Robertsa [Elektronnyy resurs] – rezhim dostupa: <https://helpiks.org/6-19184.html>;

9. Operator Pryuitta [Elektronnyy resurs] – rezhim dostupa: <https://studfiles.net/preview/5678776/page:5/>;

10. Operator Sobelya [Elektronnyy resurs] – rezhim dostupa: <https://habr.com/ru/post/114452/>;

11. Laplassian [Elektronnyy resurs] – rezhim dostupa: <http://masters.donntu.org/2014/fknt/metelytsia/library/article11.htm>;

12. Sistemy nechetkogo vyvoda [Elektronnyy resurs] – rezhim dostupa: <https://habr.com/ru/post/113020/>;

13. Zatonkiy A.V., Varlamova S.A., Malysheva A.A., Myasnikov A.A. Ispol'zovanie videograficheskoy informatsii dlya utochneniya dinamicheskoy stokhasticheskoy modeli protsessa flotatsii kaliy-noy rudy // Internet-zhurnal Naukovedenie. – 2017. T.9. № 2. S.87

14. Lysova M.A., Gruzintseva N.A., Kusenкова А.А., Gusev B.N., Kalinin E.N. Ranzhирование pokazateley kachestva geosinteticheskikh materialov s primeneniem teorii nechetkikh mnozhestv // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, №3. S 41...45.

15. Smirnov V.A., Khasanova A.A. Osobennosti realizatsii sistemy upravleniya na nechetkoy logike // Izv. Chelyabinskogo nauchnogo tsentra, vyp. 4 (21). – 2003. S. 33...38.

16. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami Matlab. – 2007.

Рекомендована кафедрой автоматики и промышленной электроники РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 20.01.22.

**ТРЕХМЕРНОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
РЕАЛИСТИЧНОГО ПОЛОТНЯНОГО ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ
С ПОЛУЧЕНИЕМ ПОРИСТЫХ СТРУКТУР**

**THREE-DIMENSIONAL COMPUTER SIMULATION
OF REALISTIC PLAIN WEAVE AND OBTAINING WEAVE PORES**

Е.А. КУДРЯВЦЕВА, С.С. ЮХИН

E.A. KUDRYAVTSEVA, S.S. YUKHIN

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: kudryavtseva-ea@rguk.ru; ukhin-ss@rguk.ru

В статье представлен алгоритм создания рабочей модели на примере полотняного переплетения. Данный алгоритм в ключевых позициях применим для трехмерного моделирования и других видов переплетений. В статье представлены рендер-изображения трехмерных моделей атласного, сатинового, саржевого, репсового переплетений, построенные по предложенному алгоритму. Порядок ключевых модификаторов выверен так, чтобы модель могла быть использована в последующих исследованиях. Модель не случайно обозначена как рабочая: алгоритм позволяет преодолеть существующие проблемы, возникающие в процессе моделирования и печати на 3d-принтере. При использовании цифровой техники, изменяя входные параметры для формы среза или усиливая параметр, имитирующий физическое взаимодействие частей модели, можно получить полноценный и идентичный реальному компьютерный образец. Результаты, представленные в работе, являются частью научного исследования по моделированию пористых структур, получение которых невозможно без каркасов и оболочек, доступных функциям модификаторов [1]. Моделирование выполнено в популярном и профессиональном редакторе трехмерной графики Autodesk 3Ds Max. Решение новых задач ретопологии модели позволяет обойти проблемы масштабирования, дефектов каркаса, внутренних аномалий. Полученные модели могут быть конвертированы в самые используемые 3d-форматы.

The algorithm for creating a 3d model of a plain weave is presented in the article. This algorithm can be used to model other types of weaving weaves. The article presents renderings of satin, twill, and reps weaves. They are constructed according to the proposed algorithm. The order of the key modifiers does not destroy the functionality of the model. The algorithm overcomes the problems of further use of the model in the process of modeling and printing on any 3d printer. A full-fledged and identical computer sample can be obtained if you change the input parameters for the shape of the slice or enhance the quality of interaction between the parts of the model. The work is part of a scientific study of the porous structures modeling. The frameworks and shells of the model should be effectively managed [1]. The simulation is performed in the popular and professional three-dimensional graphics editor Autodesk 3ds Max. Solving new problems of model retopology allows you to bypass the problems of scaling, frame defects, and internal anomalies. The resulting models can be converted to various formats of three-dimensional graphics.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, 3D-модель тканой структуры, полотняное переплетение, визуализация модели ткани.

Keyword: three-dimensional modeling, 3D model of thread interweaving, plain weave, visualization of the fabric model.

В современных условиях важно брать во внимание экономическую выгоду оперативного проектирования текстильных полотен в соответствии с разнообразными требованиями. Внедрение в процесс проектирования цифровых методов позволяет в короткие сроки решить задачу получения полотен с заданными свойствами [2], [3]. Например, можно судить о воздухопроницаемости тканой структуры на основе моделей ее пор. Однако возникает вопрос о достоверности данных: требуется повысить реалистичность модели, свести к минимуму проблемы сетки каркасов [4].

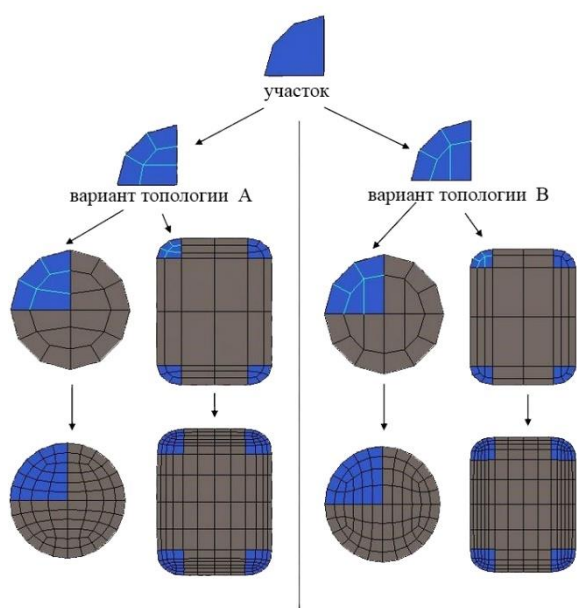


Рис. 1

Каждая из обозначенных задач трехмерного моделирования является существенной и для каждой моделируемой структуры необходимо подобрать свои уникальные комбинации модификаторов и найти путь восстановления топологии¹ сетки [5]. Примеры реализации вариантов правильной

топологии участка примитивов представлены на рис. 1. Проблемы топологии объекта влияют на качество дальнейшей работы с объектом, на его совместимость с модификаторами, на реализацию реалистичного воздействия модификаторов (физических воздействий) и объектов друг на друга [6]. Ошибки топологии приводят к тому, что внешне идентичная реальной компьютерная модель не способна принять какое-либо воздействие или деформацию, которые в случае получения пористых структур неизбежны [7]. Материализация воздушного пространства, не имеющая своего каркаса, возможна, только если каркас модели переплетения будет доступен для применения логических операций вычитания.

Для преодоления ошибок топологии еще на этапе проектирования переплетения была построена упорядоченная схема применения модификаторов. Построенная модель не обходится без проверки и устранения дефектов каркаса. Точнее всего выполнить эту задачу компьютерным методом с помощью программы Blender.

Моделирование тканой структуры выполнено в редакторе трехмерной графики 3ds Max, который имеет требования (минимальные) к возможностям и оснащению компьютера:

- Не менее 2 GB оперативной памяти
- Процессор Intel или AMD 2.4 ГГц
- Не менее 256 МБ памяти видеокарты.

Объекты для проектирования трехмерной модели – это примитивы и сплайны:

- Вох (Куб) – параллелепипед, куб, первый объект среди набора стандартных примитивов.

¹ Топология – это способ организации полигональной сетки 3D-модели. Она описывает форму

соединений простейших многоугольников в сложную форму модели.

– Plane (Плоскость) – это последний инструмент из раздела стандартных примитивов. Плоскость в пространстве задается обычно в окне Top (Вид сверху), создается в одно действие, отличается отсутствием толщины, поэтому в двух из трех окон проекций (Front (Вид спереди), Left (Вид слева)) этот объект выглядит как линия.

– Spline (Сплайн) – кусочно-полиномиальная функция, иначе – двумерный геометрический объект. Сплайн может быть самостоятельным объектом или основой для построения более сложных объемных тел. Внешне представление сплайнов – линии с определенными типами вершин. Вид линии регулируется в зависимости от типа вершин.

– Line (Линия) и Star (Звезда) – представители примитивов сплайнового моделирования.

Моделирование выполнялось с привязкой к координатной сетке, тогда гораздо удобнее перейти на условные единицы измерения. В завершении всех модификаций

выполнить масштабирование, ориентируясь на требуемый диаметр среза нити. Масштабирование модели и полученного простого объекта выполнено после того, как модель или ее части приняты на печать (программы печати могут давать различные ограничения по масштабу печатаемой площади). Если печать не предполагается, то масштабирование может быть выполнено до применения логической операции вычитания.

Основные этапы моделирования:

1. Моделирование формы среза нити,
2. Моделирование нити с учетом формы среза.
3. Моделирование структуры переплетения нитей.
4. Группировка и ретопология,
5. Дублирование модели переплетения.
6. Создание примитива, вписанного в крайние точки дубликата модели.
7. Выполнение логического вычитания примитива из дубликата.
8. Очистка от артефактов.

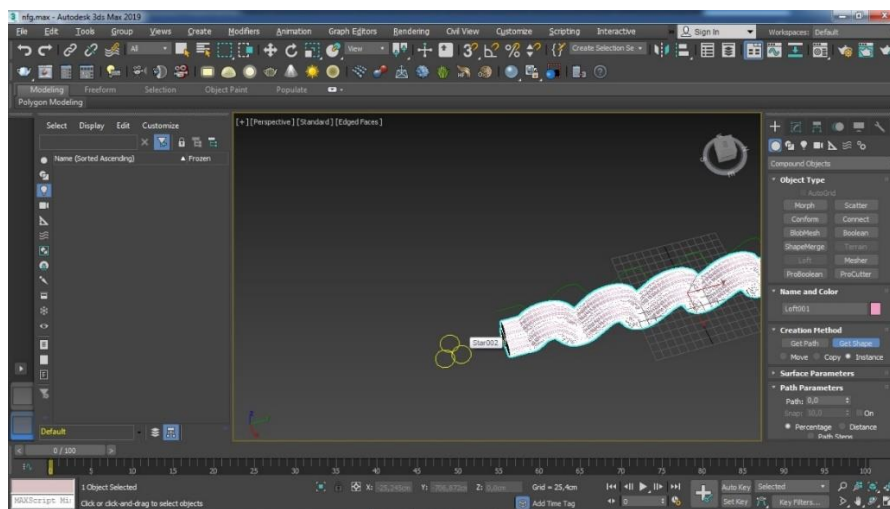


Рис. 2

За форму среза была принята фигура, собранная из примитивов Star. Этот срез стал объектом сечения в модификаторе Loft для созданных линий нитей, которые предварительно необходимо исказить по счету сегментов, чтобы создать волнообразное состояние (рис. 2 – GetShape функция в период создания объема нити). Эффект кручения можно создать с помощью модификатора Twist. В результате этих действий

получена модель нити переплетения. Дублирование, распределение и разворот нового дубликата группы нитей по осям X и Z (180 и 90° соответственно) завершают формирование слоя поперечных объектов. Стыковка моделей нитей по утку и основе может быть выполнена с шагом отступа по счету сдвинутого сегмента, либо сразу, если сегмент при повороте не совпадает. Для автоматизации этапа стыковки на

данный момент в средах трехмерного моделирования нет автоматизированных функций, и программным метом расчет невыполним, поэтому данный шаг выполняется

вручную, шаг продвижения можно указывать сколь угодно малым (рис. 3 – формирование модели плотняного переплетения).

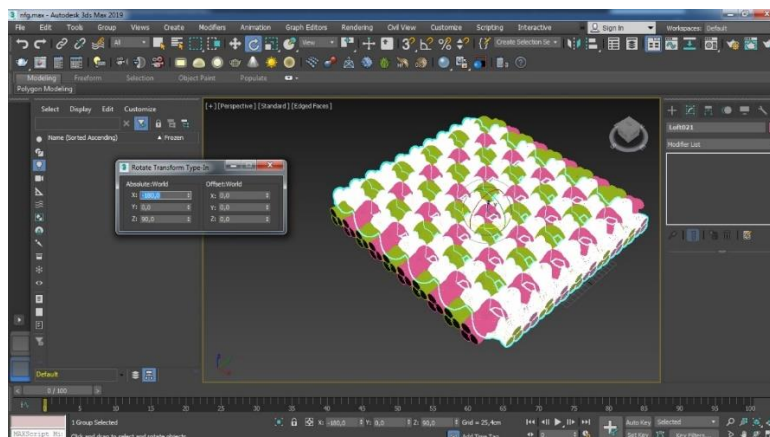


Рис. 3

Следующим этапом моделирования является формирование пористой структуры. После моделирования создается дубликат. По размеру дубликата с помощью примитива создается объект Vox, который должен покрывать фигуру до появления явных выходящих наружу моделей нитей. Именно так можно оставить материал для формирования внешних пор и минимизировать появление «повисших» пористых объектов после логического вычитания.

Полученная модель, кроме объекта Vox, – сложная составная структура. Ее

топология имеет дефекты каркаса, которые не отражаются на качестве визуализации модели, но будут выступать главным препятствием к применению модификатора вычитания объект Vox к сгруппированной модели переплетения. Дефекты неизбежно возникают в сложных структурах после применения различных модификаторов. В случае, если важна правильная организация сетки каркаса, модель отправляют на ретопологию [8]. За эту операцию отвечает единственный в данном случае модификатор Remesh программы Blender.

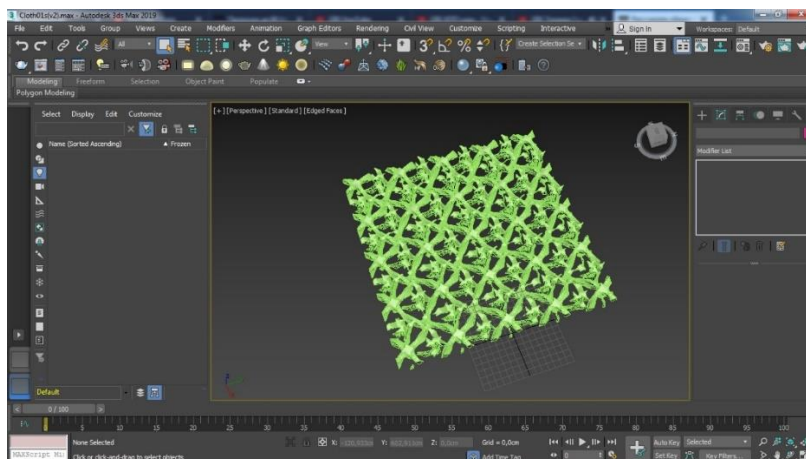


Рис. 4

Модель, открытая в программе Blender, будет восстановлена, с точки зрения топологии по одной команде. Внешних изме-

нений не будет. Однако теперь данный объект может участвовать в логических операциях. Математический расчет топологии в

ходе обработки модели с помощью Remesh будет исключать дефекты внутри объектов переплетения, а снаружи произойдет сегментирование по форме каждого участка [9]. Программа Blender справляется с данной задачей без ошибок: после ретопологии и сохранения модели при работе модификаторов не следовало сообщений об остановках, сбоях, не было выявлено ни одного случая выворачивания сегмента, которые обычно свидетельствуют о ненадлежащем качестве обработки.

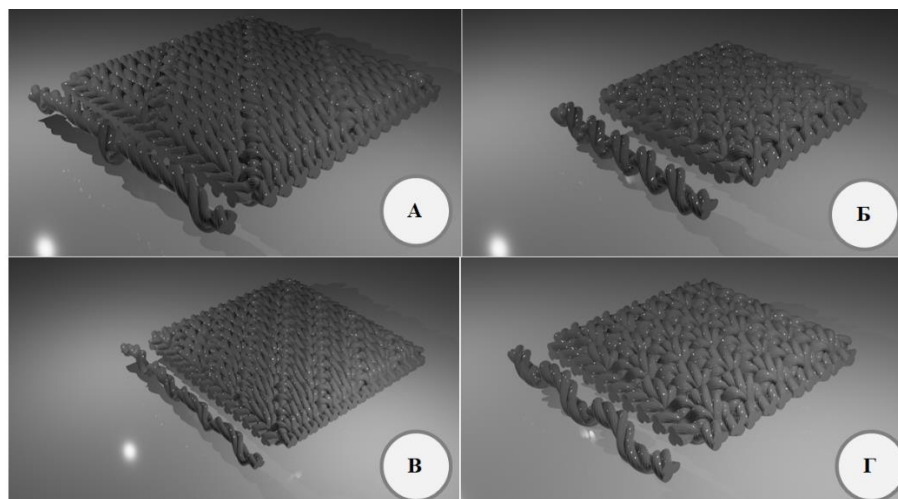


Рис. 5

ВЫВОДЫ

В работе описаны объекты построения полотняного переплетения. Представлен порядок построения полотняного переплетения с выделением из его структуры пор как отдельных цифровых объектов.

Предложенный порядок использования функций и очередность создания фигур разработаны с учетом их дальнейшего применения для построения других ткацких переплетений. В работе решен вопрос визуализации бескаркасных и несуществующих материально объектов, таких как поры. Даже в цифровом пространстве пора не имеет собственной оболочки, но возможности программы трехмерного моделирования позволяют облечь в материал то, чего существовать в материальном мире не может. С использованием предложенной методики спроектированы несколько моделей тканых структур (рис. 5 – группа рендер-

Восстановленная топология модели переплетения позволяет применить к модели и объекту Vox операцию ProBoolean [10]. В результате модель переплетения распадется на целые и словно оборванные нити, а между ними останется пористая структура. Поры структуры будут визуализируемы даже если не имеют связи с соседними объектами (рис. 4 – пористая структура модели полотняного переплетения).

файлов спроектированных моделей тканых структур: атласное переплетение ($R=7/2$), саржевое переплетение ($R=3/1$), сатиновое ($R=5/2$), репсовое ($R_0=2$, $R_y=4$), а также получены модели их пористых объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Torben Prill, Claudia Redenbach, Diego Roldan, Michael Godehardt, Katja Schladitz, Sören Höhnc, Kerstin Sempf.* Simulating permeabilities based on 3D image data of a layered nano-porous membrane // *International Journal of Solids and Structures.* – 2020. Vol. 184. P. 3...13.
2. *Mahadik Y., Hallett S.R.* Finite element modelling of tow geometry in 3D woven fabrics // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* – 2010. Vol. 71. № 9. P. 1192...1200.
3. *Bohong Gu.* 6-Modelling of 3D woven fabrics for ballistic protection // *Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection.* Woodhead Publishing. – 2016. P. 145...197.
4. *Guillaume Desbois, Janos L. Urai, Peter A. Kukla, Jan Konstanty, Claudia Baerle.* High-resolution 3D fabric and porosity model in a tight gas sandstone

reservoir: A new approach to investigate microstructures from mm- to nm-scale combining argon beam cross-sectioning and SEM imaging // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2011. Vol. 78. № 2. P. 243...257.

5. *Mohammad Mahdi Behzadi, Horea T.* Real-Time Topology Optimization in 3D via Deep Transfer Learning // *Computer-Aided Design*. – 2021. Vol. 135. №103014.

6. Topology guide. How to retopologize 3D scans into low poly game assets [Electronic resource]. – URL: <https://topologyguides.com/page-2> (date of treatment: 04.06.2021)

7. Topology guide. Cutting custom shapes [Electronic resource]. – URL: <https://topologyguides.com/cutting-custom-shapes> (date of treatment: 04.06.2021)

8. *Guskov I., Wood Z.J.* Topological Noise Removal. In *GI 2001 proceedings*. – 2001. June. P. 19...26.

9. *Цветов В.А.* Электронное учебное пособие «3D-моделирование в программе Blender3D» // Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Ин-тинж.-пед. образования, Каф. информ. систем и технологий. – Екатеринбург, 2019.

10. *Feito F.R., Ogayar C.J., Segura R.J., Rivero M.L.* Fast and accurate evaluation of regularized Boolean operations on triangulated solids // *Computer-Aided Design*. – 2013. Vol. 45. P. 705...716.

REFERENCES

1. *TorbenPrill, Claudia Redenbach, Diego Rol-dan, Michael Godehardt, KatjaSchladitz, Sören-Höhnc, Kerstin Sempf.* Simulating permeabilities based on 3D image data of a layered nano-porous mem-brane // *International Journal of Solids and Structures*. – 2020. Vol. 184. P. 3...13.

2. *Mahadik Y., Hallett S.R.* Finite element modeling of tow geometry in 3D woven fabrics // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* – 2010. Vol. 71. № 9. P. 1192...1200.

3. *BohongGu.* 6-Modelling of 3D woven fabrics for ballistic protection // *Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection*. Woodhead Publishing. – 2016. P. 145...197.

4. *Guillaume Desbois, Janos L. Urai, Peter A. Kukla, Jan Konstany, Claudia Baerle.* High-resolution 3D fabric and porosity model in a tight gas sandstone reservoir: A new approach to investigate microstructures from mm- to nm-scale combining argon beam cross-sectioning and SEM imaging // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2011. Vol. 78. № 2. P. 243...257.

5. *Mohammad Mahdi Behzadi, Horea T.* Real-Time Topology Optimization in 3D via Deep Transfer Learning // *Computer-Aided Design*. – 2021. Vol. 135. №103014.

6. Topology guide. How to retopologize 3D scans into low poly game assets [Electronic resource]. – URL: <https://topologyguides.com/page-2> (date of treatment: 04.06.2021)

7. Topology guide. Cutting custom shapes [Electronic resource]. – URL: <https://topologyguides.com/cutting-custom-shapes> (date of treatment: 04.06.2021)

8. *Guskov I., Wood Z.J.* Topological Noise Removal. In *GI 2001 proceedings*. – 2001. June. P. 19...26.

9. *Tsvetov V.A.* Elektronnoe uchebnoe posobie «3D-modelirovanie v programme Blender3D» // Ros. gos. prof.-ped. un-t, Intinzh.-ped. obrazovaniya, Kaf. inform. sistem i tekhnologiy. – Ekaterinburg, 2019.

10. *Feito F.R., Ogayar C.J., Segura R.J., Rivero M.L.* Fast and accurate evaluation of regularized Boolean operations on triangulated solids // *Computer-Aided Design*. – 2013. Vol. 45. P. 705...716.

Рекомендована кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий. Поступила 20.04.22.

УДК 688.35

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_279

**КОНЦЕПЦИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ОНЛАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КАСТОМИЗИРОВАННЫХ АКСЕССУАРОВ
НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ОСОЗНАННОЙ МОДЫ**

**THE CONCEPT OF ARTISTIC ONLINE DESIGN
OF CUSTOMIZED ACCESSORIES
BASED ON THE PRINCIPLES OF CONSCIOUS FASHION**

*Ю.С. КОНАРЕВА, В.В. КОСТЫЛЕВА, И.А. МАКСИМОВА,
Е.В. ЛИТВИН, А.И. КАРАСЕВА, О.В. СИНЕВА*

*Yu.S. KONAREVA, V.V. KOSTYLEVA, I.A. MAKSIMOVA,
E.V. LITVIN, A.I. KARASEVA, O.V. SINEVA*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: job-rgutdi@mail.ru

В статье предложен актуальный инструмент разработки конструкций аксессуаров на основе принципов осознанной моды, который необходимо использовать в дизайне изделий легкой промышленности.

Целью статьи является разработка концепции осознанного подхода к дизайн-проектированию сумок для визуализации персонифицированных изделий. Для достижения поставленной цели применяются методы анализа, классификации и маркетинговые исследования в форме опроса. Обозначены возможности внедрения кастомизированного производства[^] связанные с появлением, развитием и удешевлением 3D-печати, интернет-технологий, технологий декоративной отделки и обработки на разных носителях. Диссеминация кастомизации позволит решить проблемы по снижению объемов невостребованных товаров.

Приведены результаты маркетинговых исследований потребительских предпочтений при выборе сумок. Для формирования баз данных и принципов построения «онлайн-конструктора», позволяющего удаленно осуществлять проектирование кастомизированных аксессуаров, представлены отличительные особенности ручек на основе анализа современных конструкций сумок известных модных брендов. Результаты исследований сведены к форме классификаций, структуры которых составляют основу для создания баз данных. Сформировано представление об особенностях развития художественного онлайн-проектирования изделий с участием потребителя, что способствует укоренению принципов устойчивой и осознанной моды.

The article offers an up-to-date tool for developing accessory designs based on the principles of conscious fashion, which should be used in the design of light industry products.

The purpose of the article is to develop the concept of a conscious approach to the design of bags for the visualization of personalized products. To achieve this goal, methods of analysis, classification and marketing research in the form of a survey are used. The possibilities of introducing customized production associated with the emergence, development and cheapening of 3D printing, Internet technologies, technologies of decorative finishing and processing on different media are outlined. The dissemination of customization will solve the problems of reducing the volume of unclaimed goods.

The results of marketing research of consumer preferences when choosing bags are presented. For the formation of databases and the principles of building an "online designer" that allows you to remotely design customized accessories, the distinctive features of handles are presented based on the analysis of modern designs of bags of famous fashion brands. The research results are reduced to the form of classifications, the structures of which form the basis for creating databases. An idea has been formed about the features of the development of artistic online product design with the participation of the consumer, which contributes to the rooting of the principles of sustainable and conscious fashion.

Ключевые слова: дизайн-проектирование, осознанное потребление, потребитель, кастомизация, онлайн-конструктор, сумки, классификация.

Keywords: design-design, conscious consumption, consumer, customization, online designer, bags, classification.

Одним из актуальных направлений нынешнего времени является внедрение в массы осознанного потребления и устойчивой моды. Осознанный подход – это выражение отношения современного человека к себе и природе в целом.

Дизайн и проектирование изделий с учетом принципов устойчивой и осознанной моды будет способствовать изменению мышления потенциальных потребителей, что в свою очередь обеспечит экологически сознательный потребительский рынок [1].

В настоящей работе предлагается рассмотреть концепцию разработки "онлайн-конструктора потребителя" с целью создания персонализированных конструкций сумок. В основе концепции – базовые модели и их узлы, вариация которых на этапе разработки допускает проектирование одного востребованного изделия, то есть сократить число объектов одинакового функционального назначения и свести к единственному варианту. Такой подход допускает эффективную организацию поиска и структуры дизайна изделия [2].

Проведенные маркетинговые исследования позволили определить требования потребителей, ориентирующие производство на выпуск продукции, отвечающей их запросам.

В онлайн-опросе приняло участие 140 человек. По результатам опроса выявлено, что 93,5% из опрошенных женщины, преимущественно в возрасте от 18 до 25 лет. Большая часть респондентов по роду деятельности являются обучающимися и имеют низкий доход, средним уровнем дохода располагают 38%. Из общего числа респондентов 75,8% считает сумки базовой частью гардероба.

Ведущими характеристиками при выборе сумок являются качество, удобство при носке и дизайн изделия. Так, треть потребителей обращает внимание на доступность цены, а четверть – на неповторимость изделия. Об экологичности изделия задумывается малая часть респондентов – 12,8%, но тенденция в этом направлении просматривается. Почти для всех участни-

ков опроса при выборе сумки бренд является не существенным критерием.

Результаты опроса показывают, что современному потребителю интересна услуга по кастомизации изделий.

Кастомизированное производство, которое ориентировано не на сегментацию потребителей, а на определенного индивида, стремительно внедряется на предприятиях легкой промышленности и кожгалантерейных, в частности [3]. Тотальную персонализацию пользовательского предложения и повышение эффективности производства обеспечивают перспективные технологии: искусственный интеллект и большие данные [4...7].

Для реализации процесса непосредственного участия потенциального потребителя в разработке дизайн-проекта изделия с использованием специализированных программных продуктов нами проведен анализ современных конструкций сумок известных модных брендов. Он послужил основой для описания принципов построения "онлайн-конструктора", позволяющего визуализировать проработку корпуса и других деталей нового изделия. Работа "онлайн-конструктора потребителя" основывается на использовании принципов унификации и модульного проектирования, которые базируются на классификационных признаках изделий, деталей и узлов [8...11].

Для автоматизации проектных работ по определению конструктивно-технологических решений конструкций в целом и отдельных деталей сумок существует множество классификаций, составляющих основу информационного обеспечения. Однако функциональность, удобство и красота сумки во многом зависит и от ручек. Ассортимент ручек, применяемых при изготовлении сумок, весьма обширен. Следовательно, для информационного обеспечения художественного онлайн-проектирования кастомизированных аксессуаров необходима систематизация классификационных признаков, характеризующих конструктивные особенности ручек. Для этого нами исследованы готовые изделия известных

брендов и выделены критерии, которые определяют узел ручки.

Так, по способу изготовления ручки разделены на:

- изготавливаемые из материала наружных деталей;
- готовые;
- комбинированные.

Ручки, изготавливаемые из материала наружных деталей, в свою очередь, определяют такие признаки, как вид, тип, конструкция, степень жесткости, число деталей.

По виду выделены ручки:

- обычная, длиной 350...400 мм;
- фигурная – выкраивается вместе со стенками сумки;
- ручка-ремень, длиной 600...900 мм;
- ручка-продержка, которая проходит через отверстия в корпусе сумки и закрывает ее путем стягивания.

По типу обычные ручки разделены на традиционные, портфельные, ручки-браслеты. По конструкции обычные ручки делятся на плоские и объемные. Однако анализ деталей современных сумок показал, что встречаются ручки комбинированных конструкций. Они выделены нами, как плоско-объемные.

Фигурная ручка – одного типа, выкроена в стенках сумки и имеет одну конструкцию – прорезную. Размерные признаки фигурных ручек обусловлены их формой. Так, для прямоугольных ручек – это длина, ширина и высота; для трапециевидных – длины верхнего и нижнего (условно) оснований, ширина и высота; для овальных – высота, ширина, радиус кривизны R , длина нижнего основания.

Ручки-ремни по типу разделены на съемные и несъемные. Конструкции ручек-ремней подразделены на раздвижные, состоящие из двух частей, ручки-лямки, ручки-петли.

Ручка-продержка встречается одного типа – замкнутая.

По степени жесткости ручки обычные и фигурные классифицированы как мягкие и полужесткие. Ручки-ремни и ручки-продержки – только мягкие.



Рис. 1

Все виды ручек, изготавливаемых из материала наружных деталей, состоят из:

- одной детали;
- двух деталей;
- одной детали с объемной "жилкой";
- двух деталей с объемной "жилкой";
- двух и более деталей.

На основе выполненного анализа ручек, изготавливаемых из материала наружных деталей, разработана классификация (рис. 1).

Ручки готовые (ручки-фурнитура) классифицированы по:

- виду – цепочка, ручка-канат, ручка-ремень, ручка-стропа, фигурная;
- типу – замкнутая и открытая;
- материалу – текстиль, металл, пластмасса, дерево, комбинированный;
- форме – круглая (кольцо), полукольцо, овальная, квадратная, прямоугольная, трапециевидная, многогранная, произвольная и др.

На основе выполненного анализа ручек-фурнитуры, разработана классификация (рис.2).

Ручки комбинированные состоят из нескольких частей и включают элементы ручек, изготавливаемых из материала наружных деталей и ручек-фурнитуры.

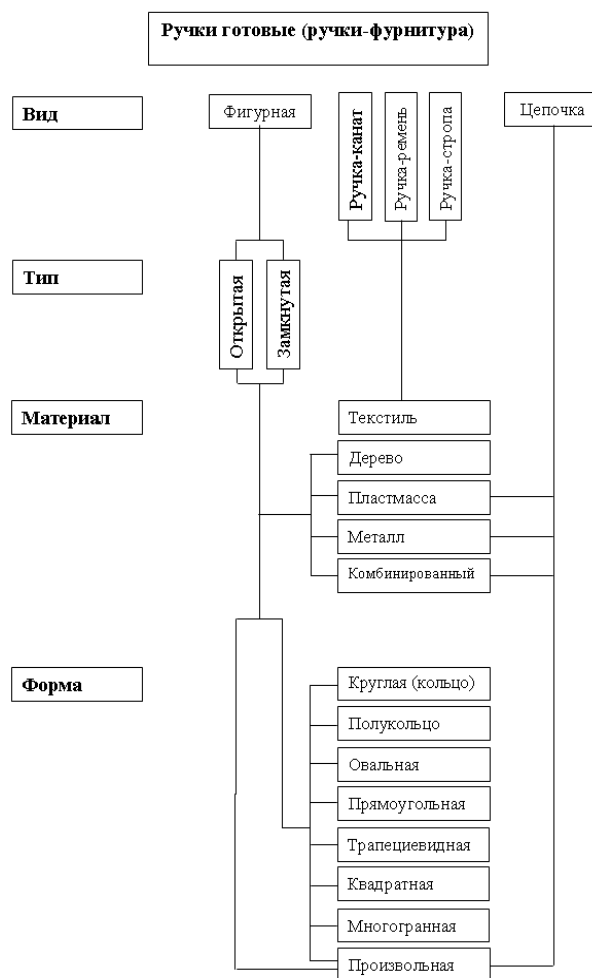


Рис. 2

Таким образом, на основе исследований впервые в женских сумках выделены отличительные особенности ручек, сведенные к форме классификаций, которые могут дополнить базу данных "онлайн-конструктора" для проектирования кастомизированных аксессуаров.

Классификационные признаки помогут потребителю удаленно сформировать дизайн кастомизированного изделия и его конструкцию с учетом принципов устойчивой и осознанной моды, а производителю – установить конструктивно-технологическую связь между проектируемыми моделями одного назначения и сократить время разработки конструкторской и технологической документации.

Вышеперечисленное позволяет говорить о возможности автоматизированного онлайн-проектирования персонализированных сумок из модульных элементов с использованием специализированных программ. Информационное обеспечение – база данных – допускает наращивание для расширения возможностей "онлайн-конструктора потребителя".

ВЫВОДЫ

Таким образом, концепция художественного онлайн-проектирования кастомизированных аксессуаров на основе принципов осознанной моды предполагает интеллектуализацию, реализуемую в виртуальной среде с помощью инструментов специализированных программ, выбора конструктивно-технологических решений, которые в наибольшей степени отвечают перспективным потребностям общества. Функционирование "онлайн-конструктора" построено на принципах унификации и модульного проектирования, которые предполагают систематизацию изделий, деталей и узлов по классификационным признакам. Самостоятельное формирование кастомизированного изделия для воплощения своих предпочтений – потребительская услуга, которая отвечает мировой тенденции на экологичность и минимализм.

1. *Краснова А.В., Леденева И.Н., Костылева В.В., Конарева Ю.С.* Экологические тренды в производстве обуви на основе осознанного дизайна // Сб. научн. тр. Междунар. научн.-практ. конф.: Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы. – Часть 2. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021. С. 108...116.

2. *Волкова М.Д., Смирнова Н.А.* Дизайн-проектирование сумок и рюкзаков с учетом свойств материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 6. С. 184...188.

3. *Guryanova D & Guryanov A. & Zharinov I.* (2020). Omni-channel customization of industrial production. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 862. 042038. 10.1088/1757-899X/862/4/042038.

4. *Пушкарёва Т.А., Конарева Ю.С.* Об опыте кастомизации в индустрии моды // Сб. мат. I Междунар. научн.-практ. конф.: Инновации и технологии к развитию теории современной моды "МОДА (Материалы. Одежда. Дизайн. Аксессуары)", посвященная Фёдору Максимовичу Пармону. – Часть 1. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021. С.213...217.

5. *Латыпова В.Н., Конарева Ю.С.* Разработка ассортимента женской обуви на основе принципа кастомизации // В сб.: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2020) / Сб. мат. Всероссийск. научн. конф. молодых исследователей с международным участием, посвященной Юбилейному году в РГУ имени А.Н. Косыгина. – 2020. С. 125...128.

6. *Костылева В.В., Литвин Е.В., Разин И.Б., Смирнов Е.Е.* Информационные телекоммуникационные технологии в производственно-сбытовой деятельности. Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы / Сб. научн. тр. Междунар. научн.-практ. конф. – Часть 1. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021. С. 64...69.

7. *Marconi Marco & Papetti, Alessandra & Scafà, Martina & Rossi, Marta & Germani, Michele.* (2019). An Innovative Framework for Managing the Customization of Tailor-made Shoes. Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design. 1.3821-3830. 10.1017/dsi.2019389.

8. *Семенова В.В.* Теоретические и методологические основы дизайна кожгалантерейных изделий (модульное проектирование): Дис...докт. техн. наук. – М., 2009.

9. *Ermakova E.O., Kiselev S.U., Kostyleva V.V.* A Concept of Automated Selection of Orthopedic Shoes. Proceedings of the International Conference "Health and Wellbeing in Modern Society" (ICHW 2020). Advances in Health Sciences Research. – Vol. 28. P.119...124.

10. Швец В.А., Конарева Ю.С. Анализ компоновочных решений формообразования "сумки-конструктор" // Сб. научн. тр.: Технологии, дизайн, наука, образование в контексте инклюзии. – Часть 2. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2018. С. 237...243.

11. Конарева Ю.С., Белицкая О.А., Царицина О.А. Трансформационный подход к разработке конструкций современных аксессуаров // Дизайн и технологии. – 2015, №46. С. 29...32.

REFERENCES

1. Krasnova A.V., Ledeneva I.N., Kostyleva V.V., Konareva Yu.S. Ekologicheskie trendy v proizvodstve obuvi na osnove osoznannogo dizayna // Sb. nauchn. tr. Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.: Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya v oblasti inklyuzivnogo dizayna i tekhnologii: opyt, praktika i perspektivy. – Chast' 2. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2021. S. 108...116.

2. Volkova M.D., Smirnova N.A. Dizayn-proektirovanie sumok i ryuzzakov s uchetom svoystv materialov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.. – 2020, № 6. S. 184...188.

3. Guryanova D & Guryanov A. & Zharinov I. (2020). Omni-channel customization of industrial production. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 862. 042038. 10.1088/1757-899X/862/4/042038.

4. Pushkareva T.A., Konareva Yu.S. Ob opyte kastomizatsii v industrii mody // Sb. mat. I Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.: Innovatsii i tekhnologii k razvitiyu teorii sovremennoy mody "MODA (Materialy. Odezhda. Dizayn. Aksessuary)", posvyashchennaya Fedoru Maksimovichu Parmonu. – Chast'1. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2021. S.213...217.

5. Latypova V.N., Konareva Yu.S. Razrabotka assortimenta zhenskoy obuvi na osnove printsipa kastomizatsii // V sb.: Innovatsionnoe razvitie tekhniki i tekhnologii v promyshlennosti (IN-TEKS-2020) / Sb.

mat. Vserossiysk. nauchn. konf. molodykh issledovateley s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy Yubileynomu godu v RGU imeni A.N. Kosygina. – 2020. S. 125...128.

6. Kostyleva V.V., Litvin E.V., Razin I.B., Smirnov E.E. Informatsionnye telekommunikatsionnye tekhnologii v proizvodstvenno-sbytovoy deyatel'nosti. Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya v oblasti inklyuzivnogo dizayna i tekhnologii: opyt, praktika i perspektivy / Sb. nauchn. tr. Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. – Chast' 1. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2021. S. 64...69.

7. Marconi Marco & Papetti, Alessandra & Scafà, Martina & Rossi, Marta & Germani, Michele. (2019). An Innovative Framework for Managing the Customization of Tailor-made Shoes. Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design. 1. 3821-3830. 10.1017/dsi.2019.389.

8. Semenova V.V. Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy dizayna kozhgalantereynykh izdeliy (modul'noe projektirovanie): Dis....dokt. tekhn. nauk. – М., 2009.

9. Ermakova E.O., Kiselev S.U., Kostyleva V.V. A Concept of Automated Selection of Orthopedic Shoes. Proceedings of the International Conference "Health and Wellbeing in Modern Society" (ICHW 2020). Advances in Health Sciences Research. – Vol. 28. P.119...124.

10. Shvets V.A., Konareva Yu.S. Analiz komponovochnykh resheniy formoobrazovaniya "sumki-konstruktor" // Sb. nauchn. tr.: Tekhnologii, dizayn, nauka, obrazovanie v kontekste inklyuzii. – Chast' 2. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2018. S. 237...243.

11. Konareva Yu.S., Belitskaya O.A., Tsaritsina O.A. Transformatsionny podkhod k razrabotke konstruktsiy sovremennykh aksessuarov // Dizayn i tekhnologii. – 2015, №46. S. 29...32.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 20.09.21.

УДК 539.434:677.494

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_285

**ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ
ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ***

**OPTIMIZATION OF MATHEMATICAL MODELING
POLYMERIC TEXTILE MATERIALS
RELAXATION AND RECOVERY PROCESSES**

А.В. ДЕМИДОВ, Н.В. ПЕРЕБОРОВА, А.Г. МАКАРОВ, С.В. КИСЕЛЕВ

A.V. DEMIDOV, N.V. PEREBOROVA, A.G. MAKAROV, S.V. KISELEV

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: rector@sutd.ru; Nina1332@yandex.ru; makvin@mail.ru; sergkise@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы поиска оптимальной математической модели релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов. Оптимизация проводится на основе разработанного интегрального критерия достоверности прогнозирования указанного процесса.

The article deals with the search for an optimal mathematical model of polymeric textile materials relaxation-recovery processes. Optimization is carried out on the basis of the developed integral reliability criterion for predicting the specified process.

Ключевые слова: полимерные материалы, релаксационно-восстановительные процессы, математическое моделирование, критерий оптимальности математического моделирования.

Keywords: polymeric materials, relaxation-recovery processes, mathematical modeling, optimality criterion for mathematical modeling.

* Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки РФ, Проект № FSEZ-2020-0005.

При прогнозировании релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов встает вопрос об оценке точности такого прогнозирования. Для повышения точности указанного прогнозирования релаксационно-восстановительных процессов исследуемых материалов следует провести поиск наилучшей математической модели указанных процессов, применение которой дает наименьшие отклонения прогнозируемых релаксационных характеристик от полученных экспериментально.

В этом и состоит предлагаемая идея оптимизации математического моделирования релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов, которая и будет заложена в основу разработки соответствующего критерия [1...3].

Критерий оптимальности математического моделирования релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов может быть получен из определяющего уравнения релаксационного процесса Больцмана-Вольтерра [4...7]:

$$\sigma_t = E_0 \varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \int_0^t \varepsilon_0 \varphi'_{\varepsilon;t-\theta} d\theta, \quad (1)$$

где t – время; σ_t – напряжение; ε_t – деформация; $\varphi'_{\varepsilon;t}$ – ядро релаксации; E_0 – модуль упругости; E_∞ – модуль вязкоупругости.

Деля обе части уравнения (1) на $\sigma_t = \text{const} \neq 0$, имеем:

$$E_0 D_{\sigma t} + \int_0^t D_{\sigma\theta} E'_{\varepsilon;t-\theta} d\theta = 1, \quad (2)$$

где $D_{\sigma t} = \frac{\varepsilon_t}{\sigma}$ – податливость; $E_{\varepsilon t} = \frac{\sigma_t}{\varepsilon}$ – модуль релаксации; $E'_{\varepsilon t} = \frac{\partial E_{\varepsilon t}}{\partial(\ln(t/t_1))}$.

Или, введя в обозначение безразмерную функцию:

$$\chi \left(\ln \frac{t}{\tau_\sigma} \right) = E_0 D_{\sigma t} + \int_0^t D_{\sigma\theta} E'_{\varepsilon;t-\theta} d\theta, \quad (3)$$

получаем другую форму записи для уравнения (2):

$$\chi \left(\ln \frac{t}{\tau_\sigma} \right) = 1. \quad (4)$$

Уравнение (4) соответствует идеальному варианту модели релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов, являющемуся на практике не достижимым. Поэтому критерий оптимальности математического моделирования указанных процессов может быть записан в виде [8...10]:

$$\max_{t \in [0, T]} \left| \chi \left(\ln \frac{t}{\tau_\sigma} \right) - 1 \right| \rightarrow \min, \quad (5)$$

где T – полное время прогнозирования релаксационно-восстановительного процесса.

Таким образом, идея создания критерия оптимальности математического моделирования функционально-потребительских релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов основана на том факте, что, чем более удачным будет выбор нормированной функции $\varphi_{\varepsilon t}$, а следовательно, и интегрального ядра $\varphi'_{\varepsilon;t}$, тем отклонение левой части уравнения (2) от "единичного" значения будет наименьшим [11...15].

Для иллюстрации сказанного приведем пример использования функции $\varphi_{\varepsilon t}$ при прогнозировании релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов в виде:

- нормированного арктангенса логарифма приведенного времени (НАЛ) – интегральной функции вероятностного распределения Коши;

- интеграла вероятности – интегральной функции нормального вероятностного распределения.

Следует заметить, что функция НАЛ хорошо себя зарекомендовала при прогнозировании релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов сложной макроструктуры [16...18].

Ее можно записать в виде:

$$\varphi_{\text{et}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg(W_{\text{et}}) = \psi(W_{\text{et}}) \quad (6)$$

с аргументом

$$W_{\text{et}} = \frac{1}{b_{\text{не}}} \ln \frac{t}{\tau_{\varepsilon}} = \frac{1}{b_{\text{не}}} \left(\ln \left(\frac{t}{t_1} \right) + \ln \left(\frac{t_1}{\tau_{\varepsilon}} \right) \right), \quad (7)$$

где $b_{\text{не}}$ – параметр интенсивности процесса релаксации, характеризующий скорость указанного процесса; t_1 – некоторое значение базового лабораторного времени, обычно принимаемое за $t_1 = 60\text{с}$; τ_{ε} – время релаксации, то есть время, за которое происходит половина релаксационного процесса при деформации ε .

Тогда, с учетом сказанного, подынтегральное ядро φ'_{et} – производная от функции НАЛ (6) будет выглядеть следующим образом:

$$\varphi'_{\text{et}} = \frac{\partial \varphi_{\text{et}}}{\partial t} = \frac{1}{\pi} \frac{1}{b_{\text{не}}} \frac{1}{1 + W_{\text{et}}^2} \frac{1}{t}. \quad (8)$$

Другим примером выбора нормированной функции φ_{et} при прогнозировании релаксационно-восстановительного процесса полимерных текстильных материалов является интеграл вероятности (ИВ) [19...22]:

$$\varphi_{\text{et}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{a_{\text{не}}^{-1} \ln(t/\tau_{\varepsilon})} e^{-z^2/2} dz, \quad (9)$$

где $a_{\text{не}}$ – параметр интенсивности процесса релаксации.

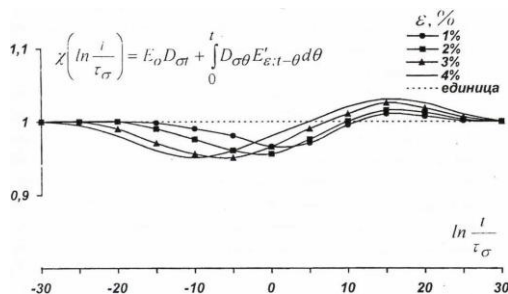


Рис. 1

Практическое применение разработанного интегрального критерия оптимальности математического моделирования

релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов является достаточно трудоемким и существенно облегчается применением компьютерной техники ввиду большого объема численных операций.

На рис. 1 и рис. 2 графически проиллюстрированы результаты применения интегрального критерия (5) оптимальности математического моделирования функционально-потребительских релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов для различных значений деформации ε , соответствующих различным нормированным функциям φ_{et} (6) и (9), при прогнозировании эксплуатационно-потребительских релаксационно-восстановительных процессов полимерной лавсановой нити линейной плотности 114 текс.

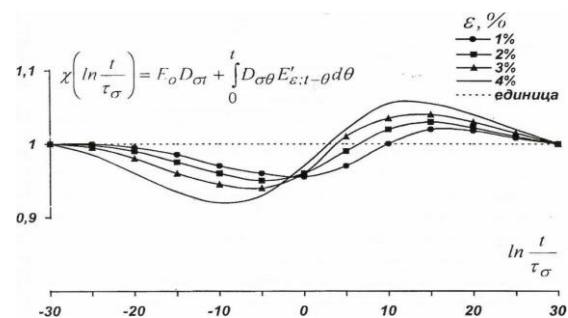


Рис. 2

Приведенные на рис. 1 и рис. 2 результаты применения интегрального критерия оптимальности математического моделирования функционально-потребительских релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов (5) визуально показывают преимущество функции НАЛ перед функцией ИВ при прогнозировании эксплуатационно-потребительских релаксационно-восстановительных характеристик полимерной лавсановой нити.

Этот факт является важным аргументом в пользу выбора для оценки релаксационно-восстановительных свойств и качественных характеристик полимерных текстильных материалов вероятностного распределения Коши, интегральной функцией

распределения которого является функция НАЛ [23...26].

Практическое применение разработанного интегрального критерия оптимальности математического моделирования функционально-потребительских релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов (5) позволяет ответить на вопрос о выборе наилучшей математической модели релаксационно-восстановительных свойств указанных материалов для прогнозирования их функционально-потребительских свойств [27...29].

Разработанный интегральный критерий оптимальности математического моделирования функционально-потребительских релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов (5) позволяет проводить оценку эксплуатационных свойств указанных материалов на стадии ее производства и проектирования.

ВЫВОДЫ

Предложен к практическому применению разработанный интегральный критерий оптимальности математического моделирования релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов;

- основой для разработки интегрального критерия оптимальности математического моделирования релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов является определяющее уравнение Больцмана-Вольтерра указанных процессов, что подтверждает надежность и адекватность такой оптимизации;

- практическое применение интегрального критерия оптимальности математического моделирования релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов достаточно трудоемко и возможно только на основе использования компьютерных технологий ввиду большого объема численных операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rymkevich P.P., Romanova A.A., Golovina V.V., Makarov A.G. The Energy Barriers Model for the

Physical Description of the Viscoelasticity of Synthetic Polymers: Application to the Uniaxial Orientational Drawing of Polyamide Films//Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics. – 2013. Vol. 52. Is. 12. P.1829...1847.

2. Makarov A.G., Slutsker G.Y., Drobotun N.V. Creep and fracture kinetics of polymers//Technical Physics. –Vol. 60. № 2. 2015. P. 240...245.

3. Макаров А.Г., Слуцкер Г.Я., Гофман И.В., Васильева В.В. Начальная стадия релаксации напряжения в ориентированных полимерах//Физика твердого тела. – 2015. Т. 58, № 4. С. 814...820.

4. Макаров А.Г., Демидов А.В., Переборова Н.В., Егорова М.А. Математическое моделирование и компьютерное прогнозирование деформационных процессов полимерных парашютных строп//Химические волокна. – 2015, № 6. С. 60...67.

5. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Васильева Е.К. Сравнительный анализ деформационных свойств арамидных нитей и текстильных материалов из них // Химические волокна. – 2015, № 6. С. 68...72.

6. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Васильева Е.К. Разработка методики проведения сравнительного анализа деформационных и релаксационных свойств арамидных нитей и текстильных материалов на их основе // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 5. С.48...58.

7. Макаров А.Г., Демидов А.В., Переборова Н.В., Егорова М.А. Моделирование и расчетное прогнозирование релаксационных и деформационных свойств полимерных парашютных строп// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 6. С. 194...205.

8. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Васильева Е.К. Сравнительный анализ деформационных свойств арамидных нитей и текстильных материалов из них // Химические волокна. – 2016, № 1. С.37...42.

9. Макаров А.Г., Демидов А.В., Переборова Н.В., Егорова М.А. Математическое моделирование и компьютерное прогнозирование деформационных процессов полимерных парашютных строп // Химические волокна. – 2016, № 2. С. 52...58.

10. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А. Прогнозирование деформационно-релаксационных процессов полиамидных тканей, применяемых для изготовления куполов парашютов// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 1. С. 250...258.

11. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М. Качественный анализ деформационно-релаксационных свойств арамидных шнуров горноспасательного назначения// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №2. С.309...313.

12. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М. Математическое моделирование деформационно-релаксационных процессов полимерных материалов в условиях переменной темпе-

ратуры// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №4. С. 287...292.

13. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М. Разработка методов математического моделирования процессов релаксации и ползучести полимерных нитей на основе их спектральной интерпретации// Химические волокна. – 2017, № 1. С. 69...73.

14. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М. Разработка критериев достоверности прогнозирования деформационных и релаксационных процессов полимерных материалов// Химические волокна. – 2017, № 2. С. 59...63.

15. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А. Варианты математического моделирования и системного анализа механической релаксации и ползучести полимерных материалов// Химические волокна. – 2017, № 4. С. 46...51.

16. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Моделирование релаксационно-деформационных процессов арамидных текстильных материалов - основа анализа их эксплуатационных свойств// Химические волокна. – 2018, № 2. С.36...39.

17. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Козлов А.А., Шванкин А.М. Компьютерное прогнозирование и качественный анализ полимерных парашютных строп// Химические волокна. – 2018, № 3. С. 94...97.

18. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Козлов А.А., Васильева Е.К. Разработка интегральных критериев оптимальности математического моделирования релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов// Химические волокна. – 2018, № 4. С. 54...56.

19. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Егорова М.А., Климова Н.С. Спектральный анализ вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов// Химические волокна. – 2018, № 4. С.117...120.

20. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Егорова М.А., Козлов А.А. Математическое моделирование и сравнительный анализ деформационно-восстановительных свойств и усадки арамидных текстильных материалов// Химические волокна. – 2019, № 5. С.89...92.

21. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Васильева Е.К., Шванкин А.М., Егоров И.М. Математическое моделирование и компьютерное прогнозирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов// Химические волокна. – 2018, № 6. С.3...6.

22. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Егорова М.А., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности арамидных текстильных материалов на основе математического моделирования и анализа их эксплуатационных свойств// Химические волокна. – 2018, № 6. С. 87...90.

23. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С., Васильева Е.К. Методы математического моделирования и качественного анализа релаксационно-деформационных процессов арамидных текстильных материалов// Изв. вузов.

Технология текстильной промышленности. – 2018, № 2. С. 251...255.

24. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Егорова М.А., Козлов А.А., Коновалов А.С. Методы моделирования и сравнительного анализа усадки и деформационно-восстановительных свойств арамидных текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 3. С.253...257.

25. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Шванкин А.М., Егорова М.А., Абрамова И.В. Моделирование и качественный анализ процессов ползучести геотекстильных нетканых материалов - основа повышения их конкурентоспособности// Химические волокна. – 2019, № 5. С. 68...70.

26. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Шванкин А.М., Егорова М.А., Коробовцева А.А. Прогнозирование ползучести, деформационных и восстановительных процессов геотекстильных нетканых материалов// Химические волокна. – 2019, № 5. С.71...73.

27. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Спектральный анализ вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен и его применение для оценки их функциональности// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 2. С. 192...198.

28. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на основе применения интегральных критериев достоверности математического моделирования вязкоупругости на стадии их проектирования и организации производства// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 3. С.242...247.

29. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Математическое моделирование и расчетное прогнозирование вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен - средство оценки их функционально-эксплуатационного назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №4. С. 229...234.

REFERENCES

1. Rymkevich R.R., Romanova A.A., Golovina V.V., Makarov A.G. The Energy Barriers Model for the Physical Description of the Viscoelasticity of Synthetic Polymers: Application to the Uniaxial Orientational Drawing of Polyamide Films//Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics. – 2013. Vol. 52. Is. 12. P.1829...1847.

2. Makarov A.G., Slutsker G.Y., Drobotun N.V. Creep and fracture kinetics of polymers//Technical Physics. –Vol. 60. № 2. 2015. P. 240...245.

3. Makarov A.G., Slutsker G.Ya., Gofman I.V., Vasil'eva V.V. Nachal'naya stadiya relaksatsii napryazheniya v orientirovannykh polimerakh//Fizika tverdogo tela. – 2015. T. 58, № 4. S. 814...820.

4. Makarov A.G., Demidov A.V., Pereborova N.V., Egorova M.A. Matematicheskoe modelirovanie i komp'yuternoe prognozirovanie deformatsionnykh protsessov polimernykh parashyutnykh strop//Khimicheskie volokna. – 2015, № 6. S. 60...67.
5. Makarov A.G., Pereborova N.V., Vagner V.I., Vasil'eva E.K. Sravnitel'nyy analiz deformatsionnykh svoystv aramidnykh nitey i tekstil'nykh materialov iz nikh // Khimicheskie volokna. – 2015, № 6. S. 68...72.
6. Makarov A.G., Pereborova N.V., Vagner V.I., Vasil'eva E.K. Razrabotka metodiki provedeniya sravnitel'nogo analiza deformatsionnykh i relaksatsionnykh svoystv aramidnykh nitey i tekstil'nykh materialov na ikh osnove // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, № 5. S.48...58.
7. Makarov A.G., Demidov A.V., Pereborova N.V., Egorova M.A. Modelirovanie i raschetnoe prognozirovanie relaksatsionnykh i deformatsionnykh svoystv polimernykh parashyutnykh strop// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, № 6. S.194...205.
8. Makarov A.G., Pereborova N.V., Vagner V.I., Vasil'eva E.K. Sravnitel'nyy analiz deformatsionnykh svoystv aramidnykh nitey i tekstil'nykh materialov iz nikh // Khimicheskie volokna. – 2016, № 1. S.37...42.
9. Makarov A.G., Demidov A.V., Pereborova N.V., Egorova M.A. Matematicheskoe modelirovanie i komp'yuternoe prognozirovanie deformatsionnykh protsessov polimernykh parashyutnykh strop // Khimicheskie volokna. – 2016, № 2. S. 52...58.
10. Demidov A.V., Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A. Prognozirovanie deformatsionno-relaksatsionnykh protsessov poliamidnykh tkaney, primenyaemykh dlya izgotovleniya kupolov parashyutov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 1. S. 250...258.
11. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A., Egorov I.M. Kachestvennyy analiz deformatsionno-relaksatsionnykh svoystv aramidnykh shnurrov gornospasatel'nogo naznacheniya// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, №2. S.309...313.
12. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A., Egorov I.M. Matematicheskoe modelirovanie deformatsionno-relaksatsionnykh protsessov poli-mernykh materialov v usloviyakh peremennoy temperatury// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, №4. S. 287...292.
13. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A., Egorov I.M. Razrabotka metodov matematicheskogo modelirovaniya protsessov relaksatsii i polzuchesti polimernykh nitey na osnove ikh spektral'noy interpretatsii// Khimicheskie volokna. – 2017, № 1. S. 69...73.
14. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A., Egorov I.M. Razrabotka kriteriev dostovernosti prognozirovaniya deformatsionnykh i relaksatsionnykh protsessov polimernykh materialov// Khimicheskie volokna. – 2017, № 2. S. 59...63.
15. Demidov A.V., Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A. Varianty matematicheskogo modelirovaniya i sistemnogo analiza mekhanicheskoy relaksatsii i polzuchesti polimernykh materialov // Khimicheskie volokna. – 2017, № 4. S. 46...51.
16. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Modelirovanie relaksatsionno-deformatsionnykh protsessov aramidnykh tekstil'nykh materialov - osnova analiza ikh ekspluatatsionnykh svoystv// Khimicheskie volokna. – 2018, № 2. S.36...39.
17. Makarov A.G., Pereborova N.V., Kozlov A.A., Shvankin A.M. Komp'yuternoe prognozirovanie i kachestvennyy analiz polimernykh parashyutnykh strop// Khimicheskie volokna. – 2018, № 3. S. 94...97.
18. Pereborova N.V., Makarov A.G., Kozlov A.A., Vasil'eva E.K. Razrabotka integral'nykh kriteriev optimal'nosti matematicheskogo modelirovaniya relaksatsionno-vosstanovitel'nykh protsessov polimernykh tekstil'nykh materialov// Khimicheskie volokna. – 2018, № 4. S. 54...56.
19. Makarov A.G., Pereborova N.V., Vagner V.I., Egorova M.A., Klimova N.S. Spektral'nyy analiz vyazkouprugoy polzuchesti geotekstil'nykh netkanykh materialov// Khimicheskie volokna. – 2018, № 4. S.117...120.
20. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Kozlov A.A. Matematicheskoe modelirovanie i sravnitel'nyy analiz deformatsionno-vosstanovitel'nykh svoystv i usadki aramidnykh tekstil'nykh materialov// Khimicheskie volokna. – 2019, № 5. S.89...92.
21. Pereborova N.V., Makarov A.G., Vasil'eva E.K., Shvankin A.M., Egorov I.M. Matematicheskoe modelirovanie i komp'yuternoe prognozirovanie vyazkouprugoy polzuchesti geotekstil'nykh netkanykh materialov// Khimicheskie volokna. – 2018, № 6. S.3...6.
22. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Klimova N.S. Povyshenie konkurentosposobnosti aramidnykh tekstil'nykh materialov na osnove matematicheskogo modelirovaniya i analiza ikh ekspluatatsionnykh svoystv// Khimicheskie volokna. – 2018, № 6. S. 87...90.
23. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S., Vasil'eva E.K. Metody matematicheskogo modelirovaniya i kachestvennogo analiza relaksatsionno-deformatsionnykh protsessov aramidnykh tekstil'nykh materialov// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, № 2. S.251...255.

24. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Kozlov A.A., Kononov A.S. Metody modelirovaniya i sravnitel'nogo analiza usadki i deformatsionno-vosstanovitel'nykh svoystv aramidnykh tekstil'nykh materialov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, № 3. S.253...257.

25. Pereborova N.V., Makarov A.G., Shvankin A.M., Egorova M.A., Abramova I.V. Modelirovanie i kachestvennyy analiz protsessov polzuchesti geotekstil'nykh netkanykh materialov - osnova povysheniya ikh konkurentosposobnosti// Khimicheskie volokna. – 2019, № 5. S. 68...70.

26. Pereborova N.V., Makarov A.G., Shvankin A.M., Egorova M.A., Korobovtseva A.A. Prognozirovaniye polzuchesti, deformatsionnykh i vosstanovitel'nykh protsessov geotekstil'nykh netkanykh materialov// Khimicheskie volokna. – 2019, № 5. S.71...73.

27. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Spektral'nyy analiz vyazko-uprugosti geotekstil'nykh netkanykh poloten i ego primeneniye dlya otsenki ikh funktsional'nosti// Izvestiya

Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 2. S. 192...198.

28. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Povysheniye konkurentosposobnosti polimernykh tekstil'nykh materialov na osnove primeneniya integral'nykh kriteriev dostovernosti matematicheskogo modelirovaniya vyazko-uprugosti na stadii ikh proektirovaniya i organizatsii proizvodstva // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 3. S.242...247.

29. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Matematicheskoe modelirovanie i raschetnoye prognozirovaniye vyazkouprugosti geotekstil'nykh netkanykh poloten - sredstvo otsenki ikh funktsional'no-ekspluatatsionnogo naznacheniya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, №4. S. 229...234.

Рекомендована кафедрой интеллектуальных систем и защиты информации. Поступила 17.03.21.

УДК 331.108

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_292

**ЦИФРОВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ПЕРСОНАЛА
КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ИННОВАЦИОННОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

**DIGITAL PERSONNEL COMPETENCIES
AS A TOOL FOR INCREASING THE INNOVATIVENESS OF AN ENTERPRISE**

М.А. МОРОЗОВ, М.М. МОРОЗОВ

M.A. MOROZOV, M.M. MOROZOV

(Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,
Российский новый университет)

(Plekhanov Russian University of Economics,
Russian New University)

E-mail: mmorozov@bk.ru; m.morozov@bk.ru

В статье рассмотрены цифровые компетенции с точки зрения необходимости их формирования в условиях цифровизации экономики. Показано, что инновационное развитие предприятий текстильной промышленности связано с внедрением цифровых технологий, что требует наличия цифровых компетенций у персонала предприятия. Современные компетенции персонала должны быть ориентированы на потребности рынка труда и соответствующие профессиональные стандарты. Целью статьи является изучение цифровых компетенций персонала как необходимого условия повышения инновационности предприятий текстильной промышленности. К важнейшим компетенциям, необходимым в условиях цифровой экономики, отнесены способность коммуницировать и саморазвиваться в цифровой среде, умение управлять цифровой информацией, креативность, критическое мышление. В процессе проведения исследования были применены научные методы системного, монографического и функционально-стоимостного анализа. Предложена методика оценки цифровых компетенций персонала предприятия, позволяющая количественно оценить уровень сформированности ключевых цифровых компетенций у работников и представить его в виде интегрированного индекса. Такая оценка может быть использована в целях совершенствования управления персоналом предприятий текстильной промышленности.

The article examines digital competencies from the point of view of the need for their formation in the context of the digitalization of the economy. It is shown that

the innovative development of enterprises in the textile industry is associated with the introduction of digital technologies, which requires the presence of digital competencies among the personnel of the enterprise. Modern staff competencies should be focused on the needs of the labor market and relevant professional standards. The purpose of the article is to study the digital competencies of personnel as a necessary condition for increasing the innovativeness of enterprises in the textile industry. The most important competencies required in the digital economy include the ability to communicate and self-develop in the digital environment, the ability to manage digital information, creativity, and critical thinking. In the course of the study, scientific methods of systemic, monographic and functional-cost analysis were applied. A method is proposed for assessing the digital competencies of enterprise personnel, which allows to quantify the level of formation of key digital competencies among employees and to present it in the form of an integrated index. Such an assessment can be used to improve the management of personnel in the textile industry.

Ключевые слова: персонал, цифровизация, профессиональные стандарты, текстильная промышленность, инновации, цифровые технологии.

Keywords: personnel, digitalization, professional standards, textile industry, innovation, digital technologies

Введение

Глобальная цифровизация, порожденная четвертой промышленной революцией, коренным образом изменяет все процессы, происходящие в обществе. Важнейшим фактором производства в цифровой экономике становится информация и человеческий капитал, обладающий необходимыми компетенциями. Ключевые компетенции цифрового общества предусматривают наличие цифровой грамотности и цифровой коммуникативности, творчества, креативности и таланта, способности к самообучению, эмоциональной грамотности, концентрации и управления вниманием и др.

В "Стратегия цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности, в целях достижения их "цифровой зрелости" до 2024 года и на период до 2030 года", утвержденной Минпромторгом РФ в июле 2021 года, подчеркнуто, что цифровая трансформация невозможна без высокого уровня цифровой зрелости самих предприятий и соответствующих компетенций сотрудников¹.

Цифровые навыки персонала выступают в качестве необходимого условия инновационного развития предприятий любой сферы деятельности, в том числе текстильной промышленности. Основные инновации в промышленности связаны с внедрением цифровых технологий. Исследование компании PwC показывает, что 90% руководителей промышленных компаний считают, что цифровизация предоставляет больше возможностей, чем рисков, 98% подтверждают, что основной причиной инвестирования в цифровую трансформацию является повышение эффективности производства, снижение затрат на обеспечение качества, более эффективное использование активов [1].

Целью исследования явилось изучение роли и места цифровых компетенций в инновационном развитии предприятий и разработка подходов к оценке их сформированности у персонала предприятий.

В настоящее время цифровые компетенции и их роль в развитии предприятий изучаются в трудах российских и зарубежных ученых [2...4].

¹ Стратегия цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности в целях достижения их "цифровой зрелости" до 2024

года и на период до 2030 года [Электронный ресурс] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_390587/

Методы.

При проведении исследования были использованы системный и монографический методы анализа, метод функционально-стоимостного анализа. На их основе были проанализированы роль и значение цифровых компетенций для инновационного развития предприятий. Метод функционально-стоимостного анализа положен в основу оценки сформированности цифровых компетенций персонала.

Результаты и обсуждения.

Внедрение цифровых технологий в производственные процессы ведет к росту производительности труда, снижению затрат, выступает важным фактором обеспечения конкурентоспособности предприятий [5]. Цифровизация модифицирует исходную бизнес-модель предприятия и создает новые возможности для бизнеса, обеспечивает повышение технологического уровня и инновационного потенциала предприятия [6]. Внедряемые на промышленных предприятиях цифровые технологии отличаются большим разнообразием и включают в себя технологии больших данных (Big Data), промышленный Интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT), искусственный интеллект, машинное обучение, роботизацию, технологию цифровых двойников и др. [7]. На предприятиях текстильной промышленности цифровизация осуществляется как в рамках технологических, так и организационно-управленческих бизнес-процессов [8], [9]. Технологии больших данных находят применение в маркетинговых исследованиях, связанных с изучением потребителей и построением прогнозных моделей их поведения. Робототехника является основой инновационных преобразований технологических процессов. Активно применяются цифровые технологии печатания текстильных материалов и изделий.

Глобальная цифровизация ключевым образом изменила требования с точки зрения компетенций к человеческому капиталу. Цифровизация предъявляет повышен-

ные требования к управленческому и производственному персоналу текстильных предприятий с точки зрения цифровых компетенций [10].

К ключевым компетенциям цифровой экономики относятся следующие²:

1) коммуникация и кооперация в цифровой среде – это способность во взаимодействии с другими людьми применять различные цифровые средства для достижения поставленной цели,

2) саморазвитие в условиях неопределенности – это способность ставить образовательные цели и подбирать способы и средства своего развития в различных ситуационных условиях,

3) креативность – это способность генерировать нестандартные идеи и применять нетривиальные подходы для решения задач в условиях цифровой экономики,

4) управление информацией и данными – способность находить необходимые источники информации, обрабатывать, анализировать и применять эту информацию с целью эффективного решения задач,

5) критическое мышление в цифровой среде – способность критически осмысливать и оценивать информацию с учетом ее достоверности и применять ее при построении логических умозаключений.

В перечень направлений подготовки высшего образования, которые предполагают формирование двух и более ключевых компетенций цифровой экономики, включена укрупненная группа направлений 29.00.00 "Технологии легкой промышленности".

В настоящее время в ряде вузов реализуются инновационные образовательные программы подготовки кадров для текстильной промышленности, в том числе:

- 29.03.02 "Технологии и проектирование текстильных изделий", профили "Цифровое проектирование и технологии текстильных изделий", "Инновационные текстильные технологии" в Ивановском государственном политехническом университете;

² Приказ Минэкономразвития от 24 января 2020 года №40 «Об утверждении методик расчета показателей федерального

проекта «Кадры для цифровой экономики» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»

- 29.03.04 "Технология художественной обработки материалов", профиль "Технологии цифрового проектирования текстильных материалов" в Костромском государственном университете.

Цифровая трансформация текстильной промышленности требует высококвалифицированных специалистов для обработки больших данных и эксплуатации необходимого оборудования, что является важной задачей кадрового обеспечения. Для подготовки и переподготовки работников промышленности создаются специальные обучающие программы и центры компетенций, например, на базе Ивановского государственного политехнического университета функционирует Центр компетенций текстильной и легкой промышленности, в рамках которого осуществляется подготовка и повышение квалификации кадров с учетом цифровых инноваций.

Цифровые компетенции должны найти отражение в профессиональных стандартах, которые систематизируют квалификационные требования, обеспечивают взаимосвязь образования и рынка труда. В профессиональных стандартах находят отражение текущие требования, которые продиктованы достигнутым уровнем развития техники и технологий в соответствующих отраслях. При разработке профессиональных стандартов бизнес-сообщество должно определять и формулировать требования к цифровым знаниям и навыкам, которыми должен обладать работник. Исходя из этого должны создаваться образовательные программы, чтобы готовить кадры, востребованные на рынке труда. В качестве механизма согласования потребностей рынка труда и возможностей образовательной системы выступает Национальная рамка квалификаций (НРК), содержащая обобщенное описание квалификационных уровней и основных путей их достижения.

Для обеспечения рынка труда конкурентоспособными кадрами при формировании образовательных программ учитываются требования соответствующих профессиональных стандартов. В зависимости от уровня образования эта взаимосвязь может быть реализована в различной степени [11].

Например, образовательные программы уровня бакалавриата должны соответствовать профессиональным стандартам в максимальной степени. Для магистратуры и аспирантуры профессиональные стандарты уже не могут рассматриваться как целевой ориентир, их надо рассматривать как минимальную базовую составляющую.

Квалификация персонала формируется в результате освоения конкретной образовательной программы и (или) получения практического опыта. Повышение квалификации сопровождается переходом с одного квалификационного уровня на другой. Обобщенное описание квалификационных уровней и основных путей их достижения описано в Национальной рамке квалификаций (НРК).

Человеческий фактор является определяющим при цифровой модернизации и инновационном развитии предприятий [12]. Персонал должен обладать ключевыми цифровыми компетенциями, степень сформированности которых предлагается оценивать с помощью модели, которая состоит в следующем.

Перечисленные ранее пять ключевых компетенций цифровой экономики будем обозначать K_j , где j – номер компетенции, $j = 1, 2, 3, 4, 5$. В зависимости от специфики профессиональной деятельности эти компетенции имеют разную значимость, что отражается с помощью весового коэффициента R_j . Эти весовые коэффициенты устанавливаются заранее экспертной группой, которая создается на предприятии для проведения оценки цифровых компетенций персонала и в которую обычно входят руководители подразделений и служб предприятия, работники HR-отдела. Например, для сотрудников отдела маркетинга наиболее важной компетенцией является умение коммуницировать в цифровой среде, соответственно для нее весовой коэффициент R_j будет установлен более высокий, чем для других компетенций. Сумма всех весовых коэффициентов R_j в процентах должна равняться 100% или 1000 в баллах.

В свою очередь ключевые цифровые компетенции характеризуются определенными знаниями, умениями, навыками (вла-

дениями), которые обозначим K_{jp} , где $p=1, 2, \dots, m$. Например, компетенция "Коммуникация и кооперация в цифровой среде" предусматривает умение выбирать цифровые средства коммуникации с учетом их специфики и особенностей, умение использовать цифровые коммуникации для взаимодействия с другими людьми и организациями в целях совместной деятельности и т.д. Относящиеся к компетенции знания, умения, навыки также имеют свои весовые коэффициенты r_p , устанавливаемые экспертной группой.

Для оценки степени владения цифровой компетенцией используется коэффициент K_{jrq} , с помощью которого по пятибалльной шкале экспертами оценивается уровень имеющихся у работника знаний, умений, навыков. Причем данная шкала может быть как непрерывной, например, $0,1,2,3, \dots, n$, так и дискретной, как в приведенном примере (табл. 1). Это также определяется группой специалистов, которые проводят оценку персонала.

Для оценки ключевых компетенций цифровой экономики используются экспертные оценки и рассчитываются баллы:

$$S(E_i) = \sum_j \sum_p \sum_q K_{jrq} \leq 1000,$$

где $S(E_i)$ – сумма баллов i -го эксперта.

Общая сумма баллов по всем ключевым цифровым компетенциям рассчитывается следующим образом:

$$S(E) = \sum_i S(E_i),$$

где $S(E)$ – сумма баллов цифровых компетенций.

Уровень владения ключевыми цифровыми компетенциями оценивается следующим образом:

$$I_c = \frac{S(E)}{I},$$

где I_c – индекс соответствия ключевым цифровым компетенциям; I – количество экспертов.

Чем больше значение индекса I_c , тем выше степень соответствия работника ключевым цифровым компетенциям.

Проиллюстрируем применение этого подхода для оценки уровня сформированности цифровых компетенций у персонала предприятия (табл. 1 – пример оценки ключевых компетенций цифровой экономики).

Т а б л и ц а 1

Компетенции K_j	Весовой коэффициент R_j		Основные знания, умения, навыки (владения) (K_{jp})	Весовой коэффициент r_p		Оценка степени сформированности цифровых компетенций K_{jrq}				
	%	баллы		%	баллы	1	2	3	4	5
Коммуникация и кооперация в цифровой среде	30	300	Выбирать цифровые средства коммуникации с учетом их специфики и особенностей	30	90	0	10	30	60	90
			Использовать цифровые коммуникации для взаимодействия с другими людьми и организациями в целях совместной деятельности	30	90	0	10	40	70	90
			Выбирать цифровые медиа в соответствии с культурными, познавательными и личностными особенностями собеседника	20	60	0	10	30	50	60
			Находить и использовать тематические Интернет-сообщества	10	30	0	5	15	25	30
			Соблюдать культуру общения, принятую в цифровой среде	10	30	0	5	15	25	30
			100	300					270	
Саморазвитие в условиях неопределенности	30	300	Формулировать свои образовательные цели с учетом развития ситуации	50	150	0	20	50	100	150
			Находить информацию в целях самообразования и обучения при помощи цифровых инструментов	40	120	0	10	40	90	120

			Адаптироваться к применению новых цифровых технологий	10	30	0	5	15	25	30
				100	300					265
Креативность	20	200	Использовать цифровые средства и ресурсы для генерирования новых идей и решений	50	100	0	20	50	80	100
			Находить нестандартные способы решения задач	30	60	0	10	30	50	60
			Предлагать альтернативные варианты решений с целью выработки оптимальных алгоритмов действий	20	40	0	5	15	30	40
				100	200					150
Управление информацией и данными	10	100	Выбирать цифровые форматы и технологии для сбора, обработки и хранения информации	50	50	0	5	15	35	50
			Защитить информацию при помощи паролей, кодирования	30	30	0	5	20	25	30
			Находить информацию в сети Интернет, оценивать ее на достоверность	20	20	0	5	10	15	20
				100	100					60
Критическое мышление в цифровой среде	10	100	Формулировать и проверять гипотезы	30	30	0	5	15	25	30
			Выбирать и использовать цифровые инструменты для постановки и решения задачи	25	25	0	5	15	20	25
			Оценить информацию на достоверность и релевантность	15	15	0	2	7	10	15
			Отслеживать процесс исполнения задач с помощью цифровых инструментов	10	10	0	2	5	8	10
			Делать логические умозаключения на основании информации в различных цифровых средах	10	10	0	2	5	8	10
			Оценивать результат и последствия своих действий	10	10	0	2	5	8	10
	100							78		
Итого	100	1000			1000					823

Для обеспечения объективности оценки целесообразно учитывать мнения нескольких экспертов, что позволит рассчитать индекс соответствия ключевых компетенций более объективно.

ВЫВОДЫ

Глобальная цифровизация предъявляет высокие требования к формированию цифровых компетенций персонала и владению цифровыми коммуникациями. С целью более полного удовлетворения потребностей предприятий в кадрах, обладающих цифровыми компетенциями, необходимо совершенствовать подготовку кадров в области цифровизации и применять методы оценки цифровых компетенций. Предлагаемая методика имеет важное значение с точки зрения совершенствования системы управления персоналом предприятия текстильной промышленности, так как она позволяет

дать количественную оценку уровню владения ключевыми цифровыми компетенциями и использовать ее для создания программ мотивации персонала. Наличие у персонала предприятий текстильной промышленности цифровых компетенций является важным условием повышения их инновационности. В связи с этим рассчитанный по данной методике индивидуальный для каждого работника индекс соответствия ключевым цифровым компетенциям может быть использован для принятия управленческих решений о повышении цифровой квалификации персонала и формировании кадрового резерва, обладающего цифровыми навыками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Digital-factories-2020-shaping-the-future-of-manufacturing [Электронный ресурс] <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/digital-factories-2020-shaping-the-future-of-manufacturing.pdf>.

2. Герчикова Т.Я., Дегтярев Н.И., Кириленко В.В. Развитие цифровых компетенций персонала // Экономика труда. – 2021. Т. 8. №6. С. 585...600.

3. Iordache C., Mariën I., & Baelden D. (2017). Developing digital skills and competences: A quick-scan analysis of 13 digital literacy models // Italian Journal of Sociology of Education. – 9(1), 6–30.

4. Radovanović D., Hogan B., & Lalić D. (2015). Overcoming digital divides in higher education: Digital literacy beyond Facebook. *New Media and Society*. – 17(10), 1733–1749.

5. Морозов М.А., Морозова Н.С. Ключевые факторы конкурентоспособности в условиях цифровой экономики // В сб.: Теория и практика развития предпринимательства: современные концепции, цифровые технологии и эффективная система. Мат. VI Междунар. научн. конгр. / Под научн. ред. А.В. Шарковой, О.Н. Васильевой, Б. Оторовой. – 2018. С. 380...383.

6. Инновационно-технологическая трансформация промышленности в регионах России как инструмент достижения стратегических целей на пути становления цифровой экономики. – М., Научный консультант, 2019.

7. Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях инновационной экономики. – М., Изд-во: Мир науки.

8. Степанова Д.И. Цифровые технологии управления бизнесом в легкой и текстильной промышленности России // Сб. мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018). – 2018. С. 263...266.

9. Рустамова И.Т., Колесникова О.С. Инновации в текстильной промышленности: современное состояние и перспективы// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №5. С. 228...231.

10. Дмитриев Ю.А., Петрухин А.Б., Хартанович К.В., Чистяков М.С. "Цифровизация" текстильной отрасли экономики// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №1. С. 15...20.

11. Морозов М.А., Морозова Н.С. Подходы к оценке соответствия образовательных программ профессиональным стандартам// Высшее образование сегодня. – 2017, №10. С.13...17.

12. Соколов Л.А., Бальхин М.Г., Волкова Г.Ю. Человеческий фактор инновационного развития предприятий// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №1. С. 12...18.

REFERENCES

1. Digital-factories-2020-shaping-the-future-of-manufacturing [Elektronnyy resurs] <https://www.pwc.de/>

de/digitale-transformation/digital-factories-2020-shaping-the-future-of-manufacturing.pdf.

2. Gerchikova T.Ya., Degtyarev N.I., Kirilenko V.V. Razvitiye tsifrovyykh kompetentsiy personala // Ekonomika truda. – 2021. T. 8. №6. S. 585...600.

3. Iordache C., Mariën I., & Baelden D. (2017). Developing digital skills and competences: A quick-scan analysis of 13 digital literacy models // Italian Journal of Sociology of Education. – 9(1), 6–30.

4. Radovanović D., Hogan B., & Lalić D. (2015). Overcoming digital divides in higher education: Digital literacy beyond Facebook. *New Media and Society*. – 17(10), 1733–1749.

5. Morozov M.A., Morozova N.S. Klyucheveye faktory konkurentosposobnosti v usloviyakh tsifrovoy ekonomiki // V sb.: Teoriya i praktika razvitiya predprinimatel'stva: sovremennye kontseptsii, tsifrovye tekhnologii i effektivnaya sistema. Mat. VI Mezhdunar. nauchn. kongr. / Pod nauchn. red. A.V. Sharkovoy, O.N. Vasil'evoy, B. Otorovoy. – 2018. S. 380...383.

6. Innovatsionno-tekhnologicheskaya transformatsiya promyshlennosti v regionakh Rossii kak instrument dostizheniya strategicheskikh tseley na puti stanovleniya tsifrovoy ekonomiki. – М., Nauchnyy konsul'tant, 2019.

7. Tsifrovaya transformatsiya promyshlennykh predpriyatiy v usloviyakh innovatsionnoy ekonomiki. – М., Izd-vo: Mir nauki.

8. Stepanova D.I. Tsifrovye tekhnologii upravleniya biznesom v legkoy i tekstil'noy promyshlennosti Rossii // Sb. mat. Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.: Dizayn, tekhnologii i innovatsii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti (INNOVATsII-2018). – 2018. S.263...266.

9. Rustamova I.T., Kolesnikova O.S. Innovatsii v tekstil'noy promyshlennosti: sovremennoe sostoyanie i perspektivy// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, №5. S. 228...231.

10. Dmitriev Yu.A., Petrukhin A.B., Khartanovich K.V., Chistyakov M.S. "Tsifrovizatsiya" tekstil'noy otrasli ekonomiki// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, №1. S. 15...20.

11. Morozov M.A., Morozova N.S. Podkhody k otsenke sootvetstviya obrazovatel'nykh programm professional'nym standartam// Vysshee obrazovanie segodnya. – 2017, №10. S.13...17.

12. Sokolov L.A., Balykhin M.G., Volkova G.Yu. Chelovecheskiy faktor innovatsionnogo razvitiya predpriyatiy// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, №1. S. 12...18.

Рекомендована кафедрой управления персоналом РНУ. Поступила 11.04.22.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ БРЕНДОВ В ИНДУСТРИИ МОДЫ

USING OF DIGITAL TECHNOLOGIES TO PROMOTE BRANDS IN THE FASHION INDUSTRY

*И.А. ДРУЖИНИНА, Н.М. КВАЧ, А.В. ГЕНЕРАЛОВА,
Т.Ф. МОРОЗОВА, Н.С. МАКАРОВА, А.В. СИЛАКОВ*

*I.A. DRUZHININA, N.M. KVACH, A.V. GENERALOVA,
T.F. MOROZOVA, N.S. MAKAROVA, A.V. SILAKOV*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: druzhinina-ia@rguk; kvach-nm@rguk.ru

Цель работы - исследование современных цифровых технологий, используемых для продвижения брендов в индустрии моды, и выявление наиболее эффективных инструментов цифрового маркетинга для обеспечения максимальных финансовых результатов деятельности предприятий индустрии. Для реализации поставленной цели в статье рассмотрены следующие основные задачи, которые решались в процессе исследования.

1. Рассмотрены кардинальные изменения, происходящие в индустрии моды в контексте процессов, связанных с цифровизацией современной экономики.

2. Исследованы особенности современного цифрового маркетинга, позволяющего компаниям, работающим в индустрии моды, сформировать индивидуальное предложение и индивидуальный подход для каждого потенциального клиента, позиционируя свои бренды в интернет-пространстве и используя цифровые технологии.

3. Представлены основные элементы цифрового маркетинга, включающие в себя разные коммуникационные каналы по продвижению товаров, услуг и брендов.

4. Определено значение решения проблемы выявления наиболее эффективных форм сочетания различных каналов коммуникации на разных стадиях создания и продвижения модного бренда для получения максимального экономического эффекта.

Для решения поставленной проблемы в исследовании на примере репрезентативной выборки статистической информации одного из предприятий индустрии моды был использован метод корреляционно-регрессионного анализа. В результате анализа определена статистическая связь между затратами, связанными с использованием различных каналов цифровых технологий, и изменением объема продаж брендовой продукции компании.

The purpose of the study is to study modern digital technologies used to promote brands in the fashion industry and to identify the most effective digital marketing tools to ensure the maximum financial results of the activities of commercial enterprises in the industry. To achieve this goal, the article considers the following main tasks that were solved in the process of research:

1. The cardinal changes taking place in the fashion industry in the context of the processes associated with the digitalization of the modern economy are considered.

2. The features of modern digital marketing are studied, which allows companies working in the fashion industry to form an individual offer and an individual approach for each potential client, positioning their brands in the Internet space, and using digital technologies.

3. The main elements of digital marketing are presented, which include various communication channels for the promotion of goods, services and brands.

4. The importance of solving the problem of identifying the most effective forms of combining various communication channels at different stages of creating and promoting a fashion brand to achieve maximum economic effect is determined.

To solve this problem, the method of correlation and regression analysis was used in the study on the example of a representative sample of statistical information from one of the enterprises of the fashion industry. As a result of the analysis, a statistical relationship was determined between the costs associated with the use of various digital technology channels and changes in the sales volume of the company's branded products.

Ключевые слова: цифровой маркетинг, каналы позиционирования, омниканальность, технология BigData, информационные платформы Marketplace, таргетированная реклама в социальных сетях, электронные витрины Яндекс Маркет.

Keywords: Digital marketing, positioning channels, omnichannel. BigData technology, Market place information platforms, targeted advertising in social networks, Yandex Market storefronts, fashion industry.

В настоящее время происходит активное развитие инновационных информационных технологий, которые являются драйверами развития индустрии моды. На смену сезонным коллекциям пришли новые так называемые "фастфэшен коллекции", или быстрая мода. Это привело к увеличению числа ежегодных сезонных коллекций и более динамичному развитию самой отрасли и ее взаимодействию с рынком модной индустрии [10]. В связи с этим традиционные методы управления процессами продвижения продукции на рынках индустрии моды вытесняются новыми современными методами, базирующимися на цифровых технологиях [2], [7], [8].

Особенностью современного цифрового маркетинга является то, что он позволяет сформировать индивидуальное предложение и индивидуальный подход для каждого потенциального клиента [3].

Ведущие мировые и отечественные компании индустрии моды, позиционируют свои бренды в интернет-пространстве и

используют цифровые технологии для изучения спроса и продвижения товаров до потребителя в информационном пространстве. Рост цифрового рынка характеризуется высокими темпами роста, которые опережают темпы роста традиционных рынков [6].

Крупные компании индустрии моды рассматривают Интернет как средство маркетинговых коммуникаций, обеспечивающих позиционирование и продвижение брендов и как результат увеличение объема продаж. Продвижение бренда в индустрии моды – это любая форма сообщений, используемых фирмой для информирования, убеждения или напоминания людям о своих товарах, услугах, образах, идеях, общественной деятельности и их влияния на общество [3].

Социально-экономические процессы, связанные с глобальным экономическим спадом и пандемией в 2020-2021 годах, стали катализатором развития цифровых технологий в сфере розничной торговли, в

том числе и в индустрии моды. Это нашло отражение в создании и развитии маркетплейсов в сфере индустрии моды на базе уже существующих информационных платформ.

В настоящее время на российском потребительском рынке интернет-торговли отсутствует доминирующая компания. В последние годы компании Яндекс и Сбербанк, Mail и Alibaba создали совместные предприятия, которые дают возможность развития маркетплейсов в сфере индустрии моды. Одна из крупнейших интернет-компаний, специализирующаяся на интернет-торговле, – Wildberries занимает первое место по трафику среди международных компаний, продающих одежду и обувь [9].

В индустрии моды в рамках продвижения брендов можно выделить традиционные и инновационные коммуникативные технологии, которые широко используются в российской практике.

К инновационным технологиям продвижения брендов относятся технологии, базирующиеся на цифровом маркетинге, использующем цифровые каналы для привлечения и удержания клиентов [5]. Важно найти наиболее эффективные формы сочетания различных каналов коммуникации на разных стадиях создания и продвижения модного бренда для получения максимального экономического эффекта, который выражается в росте объема продаж.

Начальный этап создания модного бренда связан с проведением маркетингового исследования и сбора информации о спросе и предложениях на целевом сегменте рынка индустрии моды [1], [4]. Цифровые технологии позволяют оперативно в режиме реального времени анализировать информацию о пользователях и их поведении: демографические данные, пол, возраст, интересы, онлайн-активности и т.д. [11].

Современная инновационная технология больших данных (BigData) нашла применение в различных отраслях, в том числе и в индустрии моды. С ее использованием формируются массивы данных о потенциальных клиентах, аккумулированные из разных источников. Полученная информация структурируется по предпочтениям по-

купателей (привычки, обычаи, возраст и т.д.) [11].

В условиях развития цифровых технологий в розничную торговлю в индустрии моды для позиционирования бренда применяют информационные Marketplace платформы, специализирующиеся на установлении связей между продавцом товаров, работ и услуг и потребителем. В России основными Marketplace в сфере интернет-продаж продукции, относящейся к индустрии моды, являются Wildberries, OZON, Бери, Lamoda. Они являются также популярными каналами позиционирования и продаж для небольших компаний индустрии моды [9].

Важнейшим инструментом для увеличения лояльных по отношению к бренду покупателей является реклама, которая в условиях развития цифровых технологий подверглась существенным изменениям. Использование контекстной, таргетированной рекламы позволяет небольшим компаниям с ограниченным рекламным бюджетом избирательно получить доступ к своей аудитории.

Одним из каналов продвижения товаров индустрии моды могут выступать электронные витрины Яндекс Маркет и Google покупки, позволяющие при поисковом запросе в интернете отображать витрину с фотографиями товаров и их ценами.

Для оценки эффективности использования системы цифрового маркетинга может быть применена аналитическая система Яндекс, принадлежащая одноименной интернет-компания. Данная система позволяет аккумулировать и систематизировать информацию о посетителях сайта, что в свою очередь дает возможность оценить посещаемость ресурса и анализировать поведение пользователей [11].

Для оценки эффективности от позиционирования в интернете с использованием цифровых технологий были проведены исследования с использованием оперативной информации одной из компаний российской индустрии моды.

Для этого была использована статистика продаж и затраты рекламного бюджета по месяцам за два последние года с

дифференциацией затрат на использование различных цифровых технологий.

В результате проведенного статистического корреляционно-регрессионного анализа были получены зависимости между затратами компании на применение разных цифровых технологий и ростом выручки от реализации брендовой продукции компании.

Выручка от реализации рассматривалась как результирующая переменная (y). Независимыми переменными явились: расходы, связанные с рассылкой сообщений с использованием смс-сообщений (X_1) и расходы на рекламу, проводимую в социальных сетях (X_2), расходы, связанные с поддержанием сайта в рабочем и актуальном состоянии (X_3), совокупные расходы на сайт и рекламу в социальных сетях (X_4). Были получены уравнения регрессии (1)...(4):

$$y = 4783,8 + 73,57 \times X_1, \quad (1)$$

$$y = 3696,6 + 37,94 \times X_2, \quad (2)$$

$$y = 5572,6 - 15,58 \times X_3, \quad (3)$$

$$y = 4672,9 + 3,31 \times X_4. \quad (4)$$

Все полученные уравнения парной регрессии были проверены с позиции значимости и достоверности полученных параметров. Полученные значения могут быть интерпретированы следующим образом: величина коэффициентов детерминации (R^2) говорит о том, что в большей степени на выручку, из рассматриваемых в работе применяемых цифровых технологий, оказывает влияние реклама в социальных сетях, на долю ее влияния приходится 9%, влияние расходов на поддержание сайта в актуальном состоянии оказывает существенно меньшее значение – 2,5%, и самое незначительное влияние на изменение выручки оказывают расходы на рассылку смс-сообщений, на их долю приходится только 0,7% изменения выручки. Оставшиеся 86,8% изменения выручки сопряжены с влиянием других факторов, характеризующих конкурентоспособность бренда ее продукции.

В работе также были проанализированы совокупные расходы компании, осуществ-

ляемые в целом на поддержание сайта и на проведение рекламной компании в социальных сетях. Установлено, что такие расходы составляют 5% совокупного влияния на величину выручки.

Анализ полученных коэффициентов эластичности позволяет сделать выводы о том, что наибольшую силу влияния на изменение выручки оказывает реклама, проводимая в социальных сетях. Так, увеличение расходов на данную рекламу на 1% приводит в среднем к росту выручки на 25%, а изменение расходов на смс-рассылку на 1% оказывает положительное влияние на выручку только на 3%.

В результате анализа было определено, что затраты на поддержание сайта в актуальном состоянии является наиболее затратным, поэтому динамика их роста опережает рост показатели выручки. Это приводит к тому, что при увеличении затрат на сайт на 1% выручка в среднем сокращается на 13%. Однако предприятие не может отказаться от ведения сайта, так как он является наиболее информативным и объективно необходимым источником информации о деятельности компании. Исходя из этого, нами был рассчитан коэффициент эластичности для суммарных затрат на сайт и продвижение в социальных сетях который показал, что при изменении данных затрат на 1% выручка возрастет на 5%.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основе полученных данных и проведенного анализа можно сделать вывод о том, что наиболее существенную степень влияния на выручку, из рассмотренных в работе технологий, оказывают расходы, связанные с использованием рекламы, проводимой в социальных сетях, ее увеличение на 1% способствует росту выручки в среднем на 25%.

Для широкого использования полученных результатов целесообразно расширение объема статистической выборки по более широкому кругу предприятий индустрии моды. Тем не менее, полученные статистические параметры достаточно красноречиво подтверждают эффективность ис-

пользования цифровых технологий и, в частности, в социальных сетях для продвижения брендов в индустрии моды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аакер Д. Создание сильных брендов. – М.: Издательский дом Гребенникова, 2013.
2. Белгородский В.С., Дружинина И.А., Генералова А.В. Современные методы стратегического менеджмента. – М.: РИО МГУДТ, 2015.
3. Белгородский В.С., Петушкова Т.А. Брендинг в индустрии моды как актуальный способ коммерческой коммуникации XXI века // Мат. Междунар. научн.-техн. конф. (ИННОВАЦИИ-2018). – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина. С.18...24.
4. Дэвис С. Управление активами торговой марки. – С-Пб.: Питер, 2011.
5. Квач Н.М., Пилыавская М.М. Совершенствование сбытовой системы розничной торговли с использованием омниканального подхода // Дизайн и технологии. – 2019, №70(112). С.88...95.
6. Организация Объединенных Наций. Доклад о цифровой экономике. – United Nations Publications, United States of America, 2019.
7. Шальмиева Д.Б., Вахрушина М.О. Роль бренда в повышении конкурентоспособности компании // Дизайн и технологии. – 2018, №63(105). С.95...101.
8. Элвуд А. Основы брендинга. 100 приемов повышения ценности товарной марки. – М.: Фаир-пресс, 2014.
9. Fashion Consulting Group. Ближе к клиенту: ключевые тренды и перспективы российского рынка моды. – М.: Доклад, 2019. С.10...15
10. Официальный сайт компании PricewaterhouseCoopers. Глобальное исследование потребительского поведения за 2019. Настало время сделать потребителя центром компании. - Режим доступа <https://www.pwc.ru/ru/retail-consumer/publications/gcis-2019-ru.pdf> . -(дата обращения 10.05.2021)
11. Официальный сайт компании Яндекс. Как работает Яндекс.Метрика. -Режим доступа <https://yandex.ru/company/technologies/metrika> - (дата обращения 12.05.2021).

REFERENCES

1. Aaker D. Sozdanie sil'nykh brendov. – M.: Izdatel'skiy dom Grebennikova, 2013.
2. Belgorodskiy V.S., Druzhinina I.A., Generalova A.V. Sovremennye metody strategicheskogo menedzhmenta. – M.: RIO MGUDT, 2015.
3. Belgorodskiy V.S., Petushkova T.A. Brending v industrii mody kak aktual'nyy sposob kommercheskoy kommunikatsii XXI veka // Mat. Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf. (INNOVATsII-2018). – M.: RGU imeni A.N. Kosygina. S.18...24.
4. Devis S. Upravlenie aktivami torgovoy marki. – S-Pb.: Piter, 2011.
5. Kvach N.M., Pilyavskaya M.M. Sovershenstvovanie sbytovoy sistemy roznichnoy torgovli s ispol'zovaniem omnikanal'nogo podkhoda // Dizayn i tekhnologii. – 2019, №70(112). S.88...95.
6. Organizatsiya Ob"edinennykh Natsiy. Doklad o tsifrovoy ekonomike. – United Nations Publications, United States of America, 2019.
7. Shal'mieva D.B., Vakhrushina M.O. Rol' brenda v povyshenii konkurentosposobnosti kompanii // Dizayn i tekhnologii. – 2018, №63(105). S.95...101.
8. Ellvud A. Osnovy brendinga. 100 priemov povysheniya tsennosti tovarnoy marki. – M.: Fair-press, 2014.
9. Fashion Consulting Group. Blizhe k klientu: klyuchevye trendy i perspektivy rossiyskogo rynka mody. –M.: Doklad, 2019. S.10...15
10. Ofitsial'nyy sayt kompanii PricewaterhouseCoopers. Global'noe issledovanie potrebitel'skogo povedeniya za 2019. Nastalo vremya sdelat' potrebitelya tsentrom kompanii. - Rezhim dostupa <https://www.pwc.ru/ru/retail-consumer/publications/gcis-2019-ru.pdf> . -(data ob-rashcheniya 10.05.2021)
11. Ofitsial'nyy sayt kompanii Yandeks. Kak rabotat Yandeks.Metrika. -Rezhim dostupa <https://yandex.ru/company/technologies/metrika> - (data obrashcheniya 12.05.2021).

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 20.09.21.

**ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ
И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБУВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ:
ГРУППА КРУПНОТОННАЖНЫХ ПОЛИМЕРОВ ***

**POLYMER MATERIALS FOR 3D PRINTING
AND THE POSSIBILITY OF THEIR USE IN SHOE PRODUCTION
GROUP OF LARGE-TONNAGE POLYMERS**

*О.Б. КОНОВАЛОВА, В.В. МИНЕЦ, Е.С. БОКОВА, В.В. КОСТЫЛЕВА, О.А. БЕЛИЦКАЯ
O.B. KONOVALOVA, V.V. MINETS, E.S. BOKOVA, V.V. KOSTYLEVA, O.A. BELITSKAYA*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: o.b.konovalova@gmail.com; vvminets@yandex.ru; esbokova@ya.ru;
kostyleva.vv@mail.ru; belitskaya-oa@rguk.ru

Любое современное производство невозможно без применения инновационных технологий, к которым относится технология 3D-печати. Причины такого широкого использования объясняются доступностью метода; его пригодностью для мелкосерийного производства; малым количеством отходов; энергоэффективностью; экологичностью; возможностью автоматизации; высокой воспроизводимостью формы; непрерывностью производственных процессов; высокой степенью персонализации изделий а также возможностью их проектирования в цифровом виде.

В статье представлен анализ основных методов 3D-печати и обзор инновационных полимерных материалов, включая биоразлагаемые, применяемых в аддитивном производстве.

Any modern production is impossible without the use of innovative technologies, which include 3D printing technology.

The reasons for such widespread use are explained by the availability of the method. 3d printing is suitable for small-scale production and gives a small amount of waste. Additive manufacturing is characterized by energy efficiency; environmental friendliness; the possibility of automation; high reproducibility of the form; continuity of production processes; a high degree of personalization of products; as well as the possibility of their design in digital form.

The article presents an analysis of the main methods of 3D printing and an overview of innovative polymer materials, including biodegradable ones, used in additive manufacturing.

Ключевые слова: 3D-печать, полимеры, полимерные композиции, биоразлагаемые полимеры, принтеры, наполнители, добавки, обувь.

Keywords: 3D printing, polymers, polymer compositions, biodegradable polymers, printers, fillers, additives, footwear.

* Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ: проект 20-38-90047\20.

1. Введение

Трехмерная 3D-печать, или "аддитивное производство" – это процесс создания цельных трехмерных объектов геометрической формы по моделям компьютерного дизайна путем последовательного нанесения материальных слоев, повторяющих контуры будущего изделия [1], [2].

Фактически, 3D-печать, запатентованная в 1986 году Чарльзом У. Халлом, одним из основателей корпорации 3D Systems, полная противоположность таких традиционных методов механического производства и обработки, как фрезеровка, резка, сверление, шлифование, и составила серьезную конкуренцию "субтрактивному производству", где формирование облика изделия происходит за счет удаления лишнего материала [3].

Если в 1990-х годах метод 3D-печати использовался, главным образом, для создания функциональных или визуальных прототипов (быстрое прототипирование (англ. Rapid Prototyping)), то в настоящее время он все больше применим для распределенного быстрого производства в архитектуре, строительстве, промышленном дизайне, автомобильной, аэрокосмической, военно-промышленной, инженерной и медицинской отраслях, биоинженерии, пищевой промышленности, производстве ювелирных изделий, модной одежды и обуви [4].

Причины такого широкого использования объясняются доступностью метода; его пригодностью для мелкосерийного производства; малым количеством отходов; энергоэффективностью; экологичностью; возможностью автоматизации; высокой воспроизводимостью формы; непрерывностью производственных процессов; высокой степенью персонализации изделий; а также возможностью их проектирования в цифровом виде [5].

Последнее играет решающую роль при изготовлении инклюзивной продукции обувного назначения (ортопедические колдовки, профилактические стельки и др.), относящейся к технологически сложному штучному производству, с одной стороны, требующему индивидуального подхода к каждому конкретному потребителю, а с

другой, возможностью создания модели за счет 3D-сканирования – автоматического сбора и анализа данных реального объекта, а именно формы стопы, ее антропометрических характеристик, с последующим преобразованием в цифровую трехмерную модель.

В ходе печати принтер считывает 3D-печатный файл (как правило, в формате STL), содержащий данные трехмерной модели [6], и наносит последовательные слои жидкого, порошкообразного, листового или ниточного, как правило, полимерного материала, выстраивая трехмерную модель из серии поперечных сечений [7]. Эти слои, соответствующие виртуальным поперечным сечениям в CAD-модели, соединяются или сплавляются вместе для создания объекта заданной формы.

Построение модели с использованием современных технологий занимает от нескольких часов до нескольких дней, в зависимости от используемого метода, а также размера и сложности модели [8]. Традиционные производственные методы, например, литья под давлением, могут обходиться дешевле при производстве крупных партий изделий, но аддитивные технологии обладают преимуществами при мелкосерийном производстве, позволяя достигнуть более высокого темпа производства и гибкости дизайна, наряду с повышенной экономичностью в пересчете на единицу произведенного товара [9]. Кроме того, настольные 3D-принтеры позволяют дизайнерам и разработчикам создавать концептуальные модели и прототипы, не выходя из офиса.

2. Материалы и методы

Исходя из привлекательности 3D-печати, для создания изделий по индивидуальному заказу, актуальным является вопрос обеспечения требуемого баланса между возможной структурной сложностью объекта проектирования, скоростью его изготовления и доступной для потребителя ценой [10]. Решение этих вопросов во многом зависит от выбора метода 3D-печати, а также расходных материалов [11].

В настоящее время доступен широкий спектр методов 3D-печати. Основные раз-

личия заключаются в способе нанесения слоев и используемом сырье [12]. Ряд технологий основывается на размягчении или полном плавлении материалов для создания слоев. Сюда входит выборочное лазерное спекание (SLS); выборочная лазерная плавка (SLM); метод послойного наплавления (FDM, или FFF); струйная трехмерная печать (PolyJet); цифровая светодиодная проекция (DLP); производство твердых изделий методом фотополимеризации, известное как стереолитография (SLA); технология ламинирования листовых материалов (КОМ), при которой тонкие слои материала подвергаются резке до необходимого контура, с последующим соединением в единое целое и др. [13].

Исходным сырьем для технологий 3D-печати может быть металл, полимеры, бумага, гипс [14]. Остановимся подробно на тех методах 3D-печати, использование которых предполагает применение полимерного сырья [15].

Из всех перечисленных методов 3D-печати наиболее коммерчески доступными, дешевыми и распространенными являются методы послойного наплавления (FDM или FFF), разработанные С. Скоттом Трампом в конце 1980-х гг., а также методы спекания порошковых материалов [16].

Согласно методам послойного наслоения, изделие формируется экструзией расплава полимера в форму определенной конфигурации, с последующей фиксацией структуры изделия охлаждением расплава [17]. Экструдер приводится в движение пошаговыми двигателями или сервомоторами, обеспечивающими позиционирование печатной головки в трех плоскостях [18]. Перемещение экструдера контролируется производственным программным обеспечением, привязанным к микроконтроллеру [19].

В методах выборочного теплового или лазерного спекания порошкообразное сырье послойно подвергается воздействию горячего пресса или лазера, вплоть до получения цельной модели. Этот метод появился примерно в то же время, что и SLA, и имеет с ним много общего, только вместо жидко-

сти используется порошкообразный полимер с диаметром частиц 50...100 мкм, который распределяется в горизонтальной плоскости тонкими равномерными слоями [20].

Метод цифровой проекции (DLP) предполагает использование жидких полимерных смол, в которые добавлены специальные реагенты-отвердители, чувствительные к ультрафиолету, излучаемому цифровыми проекторами в рабочей камере печатного устройства [21]. После отверждения каждого элементарного слоя материала рабочая платформа погружается на глубину, равную толщине одного слоя, и жидкий полимер вновь облучается. Процедура повторяется до завершения постройки модели.

В технологии струйной печати PolyJet жидкий полимер распыляется на рабочую платформу, где каждый слой облучается ультрафиолетовым пучком до получения готового изделия [22]. В результате получается модель, готовая к немедленному использованию. В данной технологии предусмотрено дополнительное применение гелеобразного "опорного" водорастворимого полимера, используемого для создания геометрически сложных моделей с полыми элементами, которые получают путем удаления "опорного" элемента из готового изделия методом промывки. Данная технология, в отличие от предыдущих, предусматривает использование не только термопластичных полимеров, но и эластомеров, что дает возможность получения гибких изделий.

Чрезвычайно интересным методом 3D-печати, сопряженным с программами 3D-сканирования, является метод проекционной стереолитографии (SLA), где полимеризация осуществляется с помощью светодиодных проекторов [23]. Этот метод подразумевает разделение цифровой трехмерной модели на горизонтальные слои с преобразованием каждого слоя в двухмерную проекцию, аналогичную фотошаблону. Двухмерные изображения проецируются на последовательные слои фотополимерной смолы, затвердевающие в соответствии с проецируемыми контурами. В некоторых системах проекторы расположены снизу, способствуя выравниванию поверхности

фотополимерного материала при вертикальном движении модели (в данном случае рабочая платформа с нанесенными слоями передвигается вверх, а не погружается в материал) и сокращению производственного цикла до минут вместо часов. Технология позволяет создавать модели со слоями из нескольких материалов с разной скоростью застывания [24].

В качестве расходных материалов для FDM или FFF методов используют термопластичные полимеры, такие как тройной сополимер акрилонитрила с бутадиеном и стиролом (АБС пластик, англ. ABS), поликарбонат (ПК, англ. PC), полилактид (ПЛА, англ. PLA), полиэтилен низкого давления (ПЭНД, англ. HDPE), смеси поликарбоната и ABS-пластика, полифениленсульфон (ПФС, англ. PPSU) и др. [25].

В методе послойного спекания – полиамид (ПА, англ. PA), полиамид, армированный стекловолокном (англ. PA-GF), полистирол (ПС, англ. PS) и другие полимеры, к которым добавляется фотоотвердитель [26].

Рассмотрим некоторые достоинства и недостатки полимерных материалов для 3D-печати, а также новые тенденции в области их модификации [27].

Самым распространенным полимером для 3D-принтеров, в том числе для изготов-

ления каблучков и платформ обуви, является АБС-пластик. Точность изготовления моделей из АБС-пластика достигает 50 микрон (0,05 мм). Технология хороша для индивидуального изготовления обуви, создания коллекций эксклюзивной обуви, а также разработки сезонных коллекций в массовом производстве. Такая популярность сополимера связана с его доступностью, невысокой себестоимостью (от 1500 до 2000 руб. за кг), нетоксичностью, влаго- и маслостойкостью, стойкостью к щелочам и кислотам, высокой прочностью, широким диапазоном эксплуатационных температур: от -40 °С до +90 °С (у модифицированных марок до 103...113°С), хорошей формоустойчивостью, растворимостью в ацетоне, кетонах, эфирах (что позволяет не только склеивать детали из АБС, но и сглаживать с помощью растворителей неровную поверхность) [28].

К недостаткам относится довольно высокая температура печати, порядка 210...270°С; неустойчивость к ультрафиолетовому излучению, высокая термусадка; запах при работе с нитью и необходимость предварительного прогрева рабочего стола, примерно до 110 градусов, во избежание прилипания материала к его поверхности [29].



Рис. 1

Вторым, не менее популярным, полимером для 3D-печати является полилактид PLA – биоразлагаемый, биосовместимый полиэфир, для которого мономером служит молочная кислота, получаемая из природного сырья, например, кукурузы или сахарного тростника (рис. 1 – пример 3D-печати

коллекции обуви из биоразлагаемого полимера (архив кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи, автор Минец В.В.).

К достоинствам полимера, помимо способности к биоразложению и экологической чистоты, относится низкий коэффици-

ент трения; малая термоусадка, особенно в сравнении с АБС; меньшая хрупкость, чем у АБС (при одинаковых нагрузках изделие из ПЛА скорее согнется, чем сломается); более низкая температура переработки чем у АБС (около 180...190 °С), и меньшая температура подогрева рабочего стола (до 50...60°С), отсутствие посторонних запахов при работе с полимером. Недостатками является меньшая долговечность, высокая гигроскопичность, более высокая себестоимость, чем у АБС пластика, растворимость в сильно токсичных растворителях, таких как дихлорэтан, хлороформ или других хлорированных углеводородах [30].

Менее распространенным полимером является ударопрочный полистирол (ПС, англ. HIPS (High-impact Polystyren)) – непрозрачный, жесткий, твердый материал, стойкий к ударным воздействиям, к перепадам температур, растворимый в естественных растворителях, таких как лимонная кислота, и поэтому используемый, в том числе, для создания "опорных" структур. Рабочая температура ПС около 230°С, цена на 30...50% выше, чем у АБС пластика [31].

Еще одним полимером, который находит широкое применение для производства "опорных" вспомогательных деталей, является водорастворимый поливиниловый спирт (ГТВС, англ. PVA), который требует рабочей температуры около 180...200°С (дальнейшее ее повышение нежелательно из-за возможности пиролиза – термического разложения). Кроме того, материал очень гигроскопичен, активно поглощает влагу из воздуха, что создает проблемы при хранении и печати, особенно, если диаметр нити 1,75 мм [32].

Для печати деталей с низким поверхностным трением часто используют полиамид (ПА, англ. PA) – легкий, гибкий, эластичный, прочный, устойчивый к химическому воздействию полимер с температурой плавления порядка 240...250°С. Недостатком полимера является его высокая гигроскопичность и стоимость, превосходящая более чем в два раза стоимость АБС и ПЛА [33].

К биологически инертным полимерам, используемым для 3D-печати, можно отнести поликарбонат (ПК, англ. PC) – твердый

полимер, сохраняющий свои свойства в диапазоне температур от - 40 до 120°С. Помимо того, что ПК является самым прочным пластиком для 3D-принтеров, он чрезвычайно долговечен и устойчив к физическим воздействиям и нагреву. Нить для 3D-принтера из ПК гигроскопична, способна впитывать воду из воздуха, поэтому ее необходимо хранить в сухом месте. Температура печати (плавления полимера) составляет порядка 270...310°С, температура стола – 90...110°С; усадка или деформация – значительные; растворимость низкая. Благодаря своим физическим свойствам поликарбонат является идеальным сырьем для 3D-печати деталей, которые должны сохранять свою прочность, ударную вязкость и форму в условиях длительной эксплуатации [34].

Похожими эксплуатационными свойствами обладает полиэтилентерефталат (ПЭТФ, англ. PEET). Модели из него получаются очень прочными, поскольку слои расплавленного материала обладают высокой адгезией. Рабочая температура переработки 210...225°С, стола – до 50...80°С. Цена около 4500...5000 руб. за килограмм [35].

Если полиэтилентерефталат модифицирован гликолем (ПЭТФГ, англ. PETG), то он более устойчив, менее хрупок и более легок в применении, чем основная форма полимера. По этой причине ПЭТФГ считается хорошим компромиссом между АБС и ПЛА, двумя наиболее часто используемыми пластиками для 3D-принтеров. Полиэтилентерефталат, модифицированный гликолем, более эластичен и долговечен, чем ПЛА, и более простой в печати, чем АБС. При использовании ПЭТФГ необходимо помнить о двух недостатках полимера – высокой гигроскопичности и низкой устойчивости изделий к механическим царапинам [36].

Особое место в технологиях 3D-печати занимают термопластичные эластомеры (ТПЭ) – широкий класс сополимеров (и полимерных смесей), доступных для 3D-принтеров. Мягкие и растяжимые, эти нити могут выдержать нагрузку, которую не могут выдержать ни АБС, ни ПЛА. С другой

стороны, печать не всегда проста, поскольку для этого требуется особенная конструкция экструдера 3D-принтера [37].

Разновидность ТПЭ представляет термопластичный полиуретан (ТПУ, англ. TPU). По сравнению с другими термопластичными эластомерами, он немного жестче, что облегчает печать, но более долговечен и может лучше сохранять свою эластичность при пониженных температурах. Температура печати ТПУ составляет 210...230°C; температура стола – 30...60°C; усадка или деформация – минимальные. Использование ТПЭ или ТПУ необходимо при создании объектов, которые подвергаются сильному износу, должны сопротивляться многократным изгибам, растягиваться или сжиматься [38].

3. Результаты и обсуждения

Внедрение методов 3D-моделирования, призванных повысить качество жизни граждан, обеспечить конкурентоспособность России, развить экономическую, социально-политическую, культурную и духовную сферы жизни общества, совершенствовать систему государственного управления на основе использования информационных и телекоммуникационных технологий, отвечает Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации.

ВЫВОДЫ

В работе проведен анализ современных методов 3D-печати, с точки зрения реализуемой в них технологии и применяемых расходных материалов.

Подробно рассмотрены методы 3D-печати, предусматривающие использование полимерного сырья.

Приведены основные марки полимеров и композиций на их основе с точки зрения основных, прежде всего, температурных параметров переработки методом 3D-печати, а также преимуществ и недостатков того или иного полимера, степени их экологичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bandyopadhyay A., T.P. Gualtieri and S. Bose. 2015. Global Engineering and Additive Manufacturing.

In S. Bose (Ed.), Additive Manufacturing: 1-18. CRC Press.

2. Алибекова М.И., Костылева В.В., Новиков А.Н., Фирсов А.В. Современные технологии в проектировании обуви // Дизайн и технологии. – 2017, №57(99). С.31...35.

3. Слюсар В. Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования. Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 5/2003.

4. Baumers, M., P. Dickens, C. Tuck and R. Hague. 2016. The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push. Technological Forecasting and Social Change 102: 193-201.

5. Гусева М.А., Костылева В.В., Петросова И.А., Андреева Е.Г., Лутвин Е.В., Гусев И.Д. Цифровизация в инклюзивной антропометрии // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, №6. С. 154...161.

6. Bharadwaj, S.A., Bharadwaj and E. Bendoly. 2007. The performance effects of complementarities between information systems, marketing, manufacturing, and supply chain processes. Information Systems Research.– 18(4): 437-453.

7. Cao, Q. and S. Dowlatshahi. 2005. The impact of alignment between virtual enterprise and information technology on business performance in an agile manufacturing environment // Journal of Operations Management. – 23(5): 531-550.

8. D'Aveni R. 2015. The 3-D Printing Revolution. Harvard Business Review. – 93(3): 41-48.

9. Chiva, R. and J. Alegre. 2009. Investment in design and firm performance: The mediating role of design management. Journal of Product Innovation Management –26(4): 424-440.

10. De Jong, J.P. and E. de Bruijn. 2013. Innovation lessons from 3-D printing. MIT Sloan Management Review. – 54(2): 42-52.

11. Eisenhardt, K.M. and B.N. Tabrizi. 1995. Accelerating adaptive processes. Product innovation in the global computer industry. Administrative Science Quarterly. – 40(1): 84-110.

12. Fernández P., Del Rio L., Varela J. and Bande B. 2010. Relationships among functional units and new product performance: The moderating effect of technological turbulence. Technovation. – 30(6), 310-321.

13. Mauerhoefer T., S. Strese and M. Brettel. 2017. The impact of information technology on New Product Development performance // Journal of Product Innovation Management.

14. Mellor S., L. Hao and D. Zhang. 2014. Additive manufacturing: A framework for implementation. International // Journal of Production Economics. – 149: 194-201.

15. F. Xu, Y.S. Wong and H.T. Loh. Toward Generic Models for Comparative Evaluation and Process Selection in Rapid Prototyping and Manufacturing // Journal of Manufacturing Systems. – 2000. Vol. 19, № 5, P.283...296.

16. Todd Grim and Associates. Fused Deposition Modelling Technology Evaluation”, Time-Compression Technologies. – Vol. 2. № 3. 2003. P. 1...6.

17. Anitha R., Arunachalam S. and P. Radhakrishnan. Critical Parameters Influencing the Quality of Prototypes in Fused Deposition Modeling // *Journal of Material Processing Technology*. – Vol. 118. 2001. P.385...388.
18. Galantucci L.M., Lavecchia F. and Percoco G. Study of Compression Properties of Topologically Optimized FDM Made Structured Parts // *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. – Vol. 57. 2008. P.243...246.
19. Pulak M. Pandey, N. Venkata Reddy and Sanjay G. Dhande. Improvement of Surface Finish by Staircase Machining in Fused Deposition Modeling // *Journal of Material Processing Technology*. – Vol.132. 2003. P.323...331.
20. Céline Bellehumeur, Longmei Li, Qian Sun and Peihua Gu. Modeling of Bond Formation Between Polymer Filaments in the Fused Deposition Modelling Process // *Journal of Manufacturing Process*. – Vol. 6. 2004. №2. P. 170....178.
21. Nikita Nikitinsky, Tamara Sokolova, Ekaterina Pshehotskaya. DLP Technologies: Challenges and Future Directions, Conference: The International Conference on Cyber-Crime Investigation and Cyber Security (ICCICS2014) At: Asia Pacific University of Technology and Innovation (APU), Malaysia, November 2014.
22. Tee Yun Lu, Chenxi Peng, Philip Pille, Martin Leary. PolyJet 3D Printing of Composite Materials: Experimental and Modelling Approach, *JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society*, January 2020.
23. Kalpakjian S.; Schmid S.R. *Manufacturing Engineering Technology*; Dorling Kindersley Pvt Ltd.; Pearson Educ.: London, UK, 2009.
24. Ingole D.S.; Kuthe A.M.; Thakare S.B.; Talankar A.S. Rapid prototyping—a technology transfer approach for development of rapid tooling. *Rapid Prototyp. J.* – 2009, 15, 280–290.
25. Youssef A.; Hollister S.J.; Dalton P.D. Additive manufacturing of polymer melts for implantable medical devices and scaolds. *Biofabrication*. – 2017, 9, 12002.
26. Evans B. *Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing*; Apress: New York, NY, USA, 2012; ISBN 1430243937.
27. Ligon S.C.; Liska R.; Stampfl J.; Gurr, M.; Mülhaupt R. Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing. *Chem. Rev.* – 2017, 117, 10212–10290.
28. Jacobs P.F. *Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography*; Society of Manufacturing Engineers: Dearborn, MI, USA, 1992; ISBN 0872634256.
29. Ferreira J.C.; Mateus A. A numerical and experimental study of fracture in RP stereolithography patterns and ceramic shells for investment casting. *J. Mater. Process. Technol.* – 2003, 134, 135–144.
30. Wohlers T.T.; Carey T. *Wohlers Report 2014: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report*; Wohlers Associates Fort Collins: Fort Collins, CO, USA, 2014; ISBN 0991333209.
31. Ngo T.D., Kashani A., Imbalzano G., Nguyen, K.T.Q., Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Compos. Part B Eng.* 2018, 143, 172–196.
32. Rooks B. Rapid tooling for casting prototypes. *Assem. Autom.* – 2002, 22, 40–45.
33. Mahindru D.V., Mahendru P., Mahindru V., Mahendru P. Review of Rapid Prototyping-Technology for the Future. *Glob. J. Comput. Sci. Technol.* – 2013, 13, 27–38.
34. Melnikova R.; Ehrmann A.; Finsterbusch K. 3D printing of textile-based structures by Fused Deposition Modelling (FDM) with different polymer materials. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; IOP Publishing: Bristol, UK, 2014; Volume: 62, p. 012018.
35. Hafsa M.N., Ibrahim M., Wahab M.S., Zahid M.S. Evaluation of FDM pattern with ABS and PLA material. *Appl. Mech. Mater.* – 2014, 465–466, 55–59.
36. Choudhari C.M., Patil V.D. Product Development and its Comparative Analysis by SLA, SLS and FDM Rapid Prototyping Processes. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; IOP Publishing: Bristol, UK, 2016; Volume: 149.
37. Harun W.S.W., Safian S., Idris M.H. Evaluation of ABS patterns produced from FDM for investment casting process. *WIT Trans. Eng. Sci.* – 2009, 64, 319–328.
38. Chhabra M., Singh R. Rapid casting solutions: A review. *Rapid Prototyp. J.* – 2011, 17, 328–350.

REFERENCES

- Bandyopadhyay A., T.P. Gualtieri and S. Bose. 2015. *Global Engineering and Additive Manufacturing*. In S. Bose (Ed.), *Additive Manufacturing: 1-18*. CRC Press.
- Alibekova M.I., Kostyleva V.V., Novikov A.N., Firsov A.V. *Sovremennye tekhnologii v proektirovanii obuvi // Dizayn i tekhnologii*. – 2017, №57(99). S.31...35.
- Slyusar V. *Fabber-tekhnologii. Novoe sredstvo trekhmernogo modelirovaniya. Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes, 5/2003*.
- Baumers, M., P. Dickens, C. Tuck and R. Hague. 2016. The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push. *Technological Forecasting and Social Change* 102: 193-201.
- Guseva M.A., Kostyleva V.V., Petrosova I.A., Andreeva E.G., Litvin E.V., Gusev ID. *Tsifrovizatsiya v inkluzivnoy antropometrii // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2020, №6. S. 154...161.
- Bharadwaj, S.A., Bharadwaj and E. Bendoly. 2007. The performance effects of complementarities between information systems, marketing, manufacturing, and supply chain processes. *Information Systems Research*. – 18(4): 437-453.
- Cao, Q. and S. Dowlatshahi. 2005. The impact of alignment between virtual enterprise and information technology on business performance in an agile manufacturing environment // *Journal of Operations Management*. – 23(5): 531-550.
- D'Aveni R. 2015. *The 3-D Printing Revolution*. *Harvard Business Review*. – 93(3): 41-48.
- Chiva, R. and J. Alegre. 2009. Investment in design and firm performance: The mediating role of design management. *Journal of Product Innovation Management* –26(4): 424-440.
- De Jong, J.P. and E. de Bruijn. 2013. *Innovation lessons from 3-D printing*. *MIT Sloan Management Review*. – 54(2): 42-52.

11. Eisenhardt, K.M. and B.N. Tabrizi. 1995. Accelerating adaptive processes. Product innovation in the global computer industry. *Administrative Science Quarterly*. – 40(1): 84–110.
12. Fernández P., Del Rio L., Varela J. and Bande B. 2010. Relationships among functional units and new product performance: The moderating effect of technological turbulence. *Technovation*. – 30(6), 310–321.
13. Mauerhoefer T., S. Strese and M. Brettel. 2017. The impact of information technology on New Product Development performance // *Journal of Product Innovation Management*.
14. Mellor S., L. Hao and D. Zhang. 2014. Additive manufacturing: A framework for implementation. *International // Journal of Production Economics*. – 149: 194–201.
15. F. Xu, Y.S. Wong and H.T. Loh. Toward Generic Models for Comparative Evaluation and Process Selection in Rapid Prototyping and Manufacturing // *Journal of Manufacturing Systems*. – 2000. Vol. 19, № 5, P.283...296.
16. Todd Grim and Associates. Fused Deposition Modelling Technology Evaluation”, Time-Compression Technologies. – Vol. 2. № 3. 2003. P. 1...6.
17. Anitha R., Arunachalam S. and P. Radhakrishnan. Critical Parameters Influencing the Quality of Prototypes in Fused Deposition Modeling // *Journal of Material Processing Technology*. – Vol. 118. 2001. P.385...388.
18. Galantucci L.M., Lavecchia F. and Percoco G. Study of Compression Properties of Topologically Optimized FDM Made Structured Parts // *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. – Vol. 57. 2008. P.243...246.
19. Pulak M. Pandey, N. Venkata Reddy and Sanjay G. Dhande. Improvement of Surface Finish by Staircase Machining in Fused Deposition Modeling // *Journal of Material Processing Technology*. – Vol.132. 2003. P.323...331.
20. Celine Bellehumeur, Longmei Li, Qian Sun and Peihua Gu. Modeling of Bond Formation Between Polymer Filaments in the Fused Deposition Modelling Process // *Journal of Manufacturing Process*. – Vol. 6. 2004. №2. P. 170...178.
21. Nikita Nikitinsky, Tamara Sokolova, Ekaterina Pshhotskaya. DLP Technologies: Challenges and Future Directions, Conference: The International Conference on Cyber-Crime Investigation and Cyber Security (ICCICS2014) At: Asia Pacific University of Technology and Innovation (APU), Malaysia, November 2014.
22. Tee Yun Lu, Chenxi Peng, Philip Pille, Martin Leary. PolyJet 3D Printing of Composite Materials: Experimental and Modelling Approach, JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society, January 2020.
23. Kalpakjian S.; Schmid S.R. *Manufacturing Engineering Technology*; Dorling Kindersley Pvt Ltd.; Pearson Educ.: London, UK, 2009.
24. Ingole D.S.; Kuthe A.M.; Thakare S.B.; Talankar A.S. Rapid prototyping—a technology transfer approach for development of rapid tooling. *Rapid Prototyp. J.* – 2009, 15, 280–290.
25. Youssef A.; Hollister S.J.; Dalton P.D. Additive manufacturing of polymer melts for implantable medical devices and scaffolds. *Biofabrication*. – 2017, 9, 12002.
26. Evans B. *Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing*; Apress: New York, NY, USA, 2012; ISBN 1430243937.
27. Ligon S.C.; Liska R.; Stampfl J.; Gurr, M.; Mülhaupt R. *Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing*. *Chem. Rev.* – 2017, 117, 10212–10290.
28. Jacobs P.F. *Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography*; Society of Manufacturing Engineers: Dearborn, MI, USA, 1992; ISBN 0872634256.
29. Ferreira J.C.; Mateus A. A numerical and experimental study of fracture in RP stereolithography patterns and ceramic shells for investment casting. *J. Mater. Process. Technol.* – 2003, 134, 135–144.
30. Wohlers T.T.; Carey T. *Wohlers Report 2014: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report*; Wohlers Associates Fort Collins: Fort Collins, CO, USA, 2014; ISBN 0991333209.
31. Ngo T.D., Kashani A., Imbalzano G., Nguyen, K.T.Q., Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Compos. Part B Eng.* 2018, 143, 172–196.
32. Rooks B. Rapid tooling for casting prototypes. *Assem. Autom.* – 2002, 22, 40–45.
33. Mahindru D.V., Mahendru P., Mahindru V., Mahendru P. Review of Rapid Prototyping-Technology for the Future. *Glob. J. Comput. Sci. Tech-nol.* – 2013, 13, 27–38.
34. Melnikova R.; Ehrmann A.; Finsterbusch K. 3D printing of textile-based structures by Fused Deposition Modelling (FDM) with different polymer materials. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; IOP Publishing: Bristol, UK, 2014; Volume: 62, p. 012018.
35. Hafsa M.N., Ibrahim M., Wahab M.S., Zahid M.S. Evaluation of FDM pattern with ABS and PLA material. *Appl. Mech. Mater.* – 2014, 465–466, 55–59.
36. Choudhari C.M., Patil V.D. Product Development and its Comparative Analysis by SLA, SLS and FDM Rapid Prototyping Processes. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; IOP Publishing: Bristol, UK, 2016; Volume: 149.
37. Harun W.S.W., Safian S., Idris M.H. Evaluation of ABS patterns produced from FDM for investment casting process. *WIT Trans. Eng. Sci.* – 2009, 64, 319–328.
38. Chhabra M., Singh R. Rapid casting solutions: A review. *Rapid Prototyp. J.* – 2011, 17, 328–350.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 20.09.21.

**РЕАЛИЗАЦИЯ СТРАТЕГИЙ ИНДУСТРИИ 4.0 РОССИЙСКИМИ
И ЗАРУБЕЖНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ: ВОЗМОЖНОСТИ
ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ***

**IMPLEMENTATION OF INDUSTRY 4.0 STRATEGIES BY RUSSIAN AND FOREIGN
ENTERPRISES:
CHANCES FOR THE RUSSIAN TEXTILE INDUSTRY**

В.Г. ФРОЛОВ, Е.В. ДРОБОТ, Е.Г. АБРАМОВ

V.G. FROLOV, E.V. DROBOT, E.G. ABRAMOV

(Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского,
Центр дополнительного профессионального образования,
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана)

(National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,
Center of Additional Professional Education,
Bauman Moscow State Technical University)

E-mail: frolov.unn@gmail.com; elenadrobot@mail.ru; abramov@bmstu.ru

Успех предприятий в условиях четвертой промышленной революции во многом обусловлен возможностями реализации стратегий Индустрии 4.0. Именно поэтому научный интерес представляет анализ особенностей деятельности стран и предприятий-лидеров в сфере Индустрии 4.0 с целью выявления стратегий, способных обеспечить устойчивое конкурентное преимущество, прежде всего за счет внедрения новых цифровых технологий. Кроме того, внедрение инструментов стратегии Индустрии 4.0 представляет особый интерес для предприятий российской текстильной промышленности, для которых внедрение инноваций 4.0 может стать важным шагом на пути к ускоренному развитию. Целью исследования выступает анализ особенностей реализации стратегий Индустрии 4.0 российскими и зарубежными предприятиями. Для достижения поставленной цели в статье использованы следующие данные дорожной карты "Технет 4.0" Национальной технологической инициативы России, отчеты Всемирного экономического форума, доклад "Глобальный инновационный индекс" за 2020 г. и др. На основе анализа данных Всемирного экономического форума за 2021 г. представлена карта предприятий-"маяков" Индустрии 4.0, выделены основные страны-лидеры и отрасли, в которых имеется наибольшее число компаний, реализующих стратегии Индустрии 4.0. На основе анализа рейтинга "Глобальный инновационный индекс" за 2020 г. определены сильные и слабые стороны инновационной системы России. Среди основных причин технологического и инновационного отставания России выделены недостаточная эффективность государственного управления, недоступность инвестиций и низкие результаты креативной деятельности. Среди сильных сторон российской инновационной системы отмечены человеческий капитал, размеры внутреннего рынка, занятость в наукоемких отраслях. По данным дорожной карты "Технет 4.0", актуализированной в январе 2021 г.,

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-010-01000.

выделены предприятия Индустрии 4.0 в Российской Федерации, так называемые "Фабрики будущего". Сделан вывод о том, что в сложившихся условиях решающим фактором инновационного развития будет по-прежнему оставаться человеческий капитал.

The success of enterprises in the conditions of the fourth industrial revolution is largely depends on the possibilities of implementing Industry 4.0 strategies. That's why it is of scientific interest to analyze the particularities of the leading countries and enterprises activities in the field of Industry 4.0 in order to identify strategies that can provide a sustainable competitive advantage, primarily through the introduction of new technologies. In addition, the introduction of the tools of the Industry 4.0 strategy is of particular interest for the enterprises of the Russian textile industry. The enterprises of the Russian textile industry have been going through quite difficult times for more than a decade. And the introduction of innovations can be a step towards revival. Thus, the analysis of implementation of Industry 4.0 strategies by Russian and foreign enterprises was the purpose of the conducted research. To achieve this goal, the following data were used: the Technet 4.0 Roadmap of the National Technology Initiative of Russia, the World Economic Forum reports, the Global Innovation Index for 2020, etc. Based on the analysis of the World Economic Forum data for 2021, the Industry 4.0 lighthouses map is presented. The main leading countries and industries with the largest number of companies implementing Industry 4.0 strategies are identified. Based on the analysis of the Global Innovation Index ranking for 2020, the strengths and weaknesses of the Russian innovation system are identified. Among the main reasons for the technological and innovative backwardness of Russia, the insufficient efficiency of public administration, the inaccessibility of investments and the low results of creative activity are highlighted. Among the strengths of the Russian innovation system, human capital, the size of the domestic market, and employment in knowledge-intensive industries are noted. According to the Technet 4.0 Roadmap on January 2021, Industry 4.0 enterprises in the Russian Federation are identified. These enterprises are called Factories of the Future. It is concluded that currently human capital will continue to remain one of the decisive factors of innovative development.

Ключевые слова: бизнес-модель, глобальный инновационный индекс, инновации, Индустрия 4.0, Национальная технологическая инициатива, Технет 4.0, цифровые технологии, Четвертая промышленная революция.

Keywords: business model, global innovation index, innovation, Industry 4.0, National Technology Initiative, Technet 4.0, digital technologies, the Fourth Industrial Revolution.

Введение

Реализация стратегий Индустрии 4.0 промышленными предприятиями предполагает достижение комплекса системных и синергетических эффектов [1]. Причем главными результатами внедрения данных стратегий для хозяйствующих субъектов могут быть как модернизированные конкурентоспособные производства мирового уровня, так и угроза принципиальной не-

возможности конкурировать отечественным предприятиям с ведущими международными промышленными концернами как по стоимости продукции, так и скорости и гибкости исполнения проектов [1]. По данным компании McKinsey эффект от внедрения технологий и концепции Индустрии 4.0 в России предполагается ежегодно на уровне 1,3...4,1 трлн руб., что определено исходя из расчетного эффекта внедрения

технологий Индустрии 4.0 в развивающихся странах с поправкой на долю ВВП России в общем ВВП развивающихся стран, а целью на 2025 г. является рост объемов цифровой экономики в 3 раза [2].

Следует отметить, что исследованию Индустрии 4.0 посвящено достаточно много публикаций. Так, на портале ELIBRARY.RU на 19 августа 2021 г. можно обнаружить 363730 публикаций, из них 18276 вышли в 2021 г. В этих публикациях нашли отражение особенности технологического развития в условиях четвертой промышленной революции и цифровой трансформации экономики. Этим вопросам посвящены научные статьи таких авторов, как Бабилова А.В., Федосова Т.В. [3], Гурин М.А., Румянцева Ю.В. [5], Донцова О.И. [6], [7], Ивинская Е.Ю., Абдрахманова Д.Р. [8], Крафт Й., Зайцев А.В. [9], Миллер А.Е., Яковлева Е.В. [11], Минаев Н.Н., Жарова Е.А. [12], Сафиуллин М.Р., Савеличев М.В., Ельшин Л.А., Моисеев В.О. [13]. Особенности новой индустриализации подробно проанализированы в исследованиях таких экспертов, как Пискунов А.И., Главацкий В.Б. [16], Сумина Е.В., Зябликов Д.В. [17], Тагаров Б.Ж. [18], [19]. Среди исследований, посвященных непосредственно Индустрии 4.0, можно выделить работы таких ученых-экономистов, как Денисенко В.Ю. [22], Дудин М.Н. [23], Зозуля Д.М. [27], Кельчевская Н.Р., Колясников М.С. [28], [29], Кокурина А.Д. [30], Шевякова А.Л., Петренко Е.С. [31], [32], Широковских С.А. [33].-

Следует отметить, что внедрение инструментов стратегии Индустрии 4.0 представляет особый интерес для предприятий российской текстильной промышленности, для которых внедрение цифровых технологий может стать важным шагом на пути к ускоренному развитию.

Таким образом, целью исследования выступает анализ особенностей реализации стратегий Индустрии 4.0 российскими и зарубежными предприятиями.

Методы

Для достижения поставленной цели в статье проанализированы следующие данные, ресурсы и материалы.

– План мероприятий ("дорожная карта") "Технет", утвержденный 14 февраля 2017 г.;

– актуализированная дорожная карта "Технет 4.0" (передовые производственные технологии), утвержденная 21 января 2021 г.;

– отчет Всемирного экономического форума (ВЭФ) "Global Lighthouse Network: Reimagining Operations for Growth", подготовленный при содействии McKinsey & Company (март 2021 г.);

– доклад "The Global Innovation Index 2020: Who Will Finance Innovation?", подготовленный совместно Корнельским университетом, Европейским институтом управления бизнесом (INSEAD, L'Institut européen d'administration des affaires) и Всемирной организацией интеллектуальной собственности (ВОИС) и др.

Результаты и обсуждения

Четвертая промышленная революция – это глобальная трансформация, характеризующаяся цифровой, биологической и физической технологической конвергенцией [35]. Становление Индустрии 4.0 оказывает беспрецедентное влияние на все стороны жизни общества и деятельности организаций, поскольку люди все большее внимания уделяют развитию технологий, для внедрения которых границ уже не существует. Новые технологии развиваются экспоненциально благодаря цифровой совместимости интеллектуальных продуктов и услуг [36].

В меняющемся мире скорость, с которой меняются технологии, а также политические, экономические и социальные факторы, влияющие на принятие деловых решений, требуют, чтобы бизнес-лидеры руководствовались принципами и миссиями организаций [37]. При этом современный бизнес уже готов к внедрению блокчейн-технологий, а также к переходу на автономные логистические операции [38].

Однако нужно отметить, что цель Индустрии 4.0 будет заключаться не в полной замене работников автоматизированными процессами и искусственным интеллектом, а в устранении неточностей и обеспечении более быстрых процессов, в которых

можно быстро и в режиме реального времени обмениваться знаниями. Вмешательство людей, которые управляют производственными системами и берут под контроль любой сбой в системе, всегда будет необходимо!

Проблемы, стоящие перед предприятиями в условиях Индустрии 4.0, связаны не только с использованием новейших технологий и совершенствованием технологических и роботизированных систем в произ-

водстве, но и с необходимостью обеспечения развития таких областей деятельности, как логистика, поддержка клиентов, деловое администрирование и т.д., в том числе за счет использования и в этих сферах аналитических технологий и нового программного обеспечения. Появление новых вызовов связано с изменениями на рынке, связанными с технологическими достижениями, которые оказывают непосредственное влияние на потребительский спрос [39].

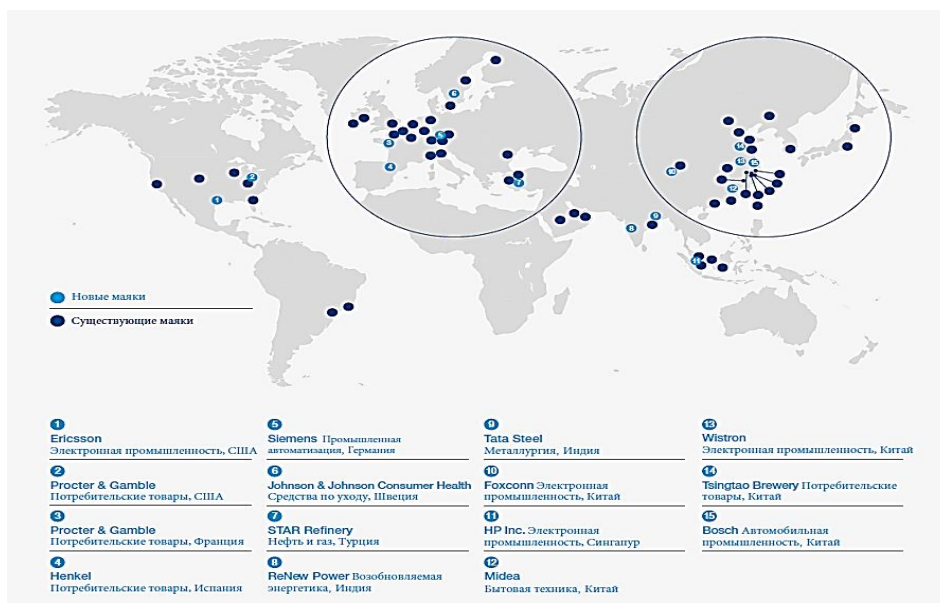


Рис. 1

В 2018 г. Всемирным экономическим форумом в сотрудничестве с McKinsey & Company была создана сеть организаций Global Lighthouse Network, состоящая из сообщества производителей, показывающих лидирующие результаты в использовании технологий Индустрии 4.0 для модернизации предприятий, цепочек создания стоимости и бизнес-моделей. Эти производители получили название "маяки" уровня Индустрии 4.0. По итогам 2020 г. сеть организаций Global Lighthouse Network пополнилась 15 новыми "маяками" в составе 69 предприятий различных отраслей промышленности во всем мире [43...45] (рис. 1 – предприятия-"маяки" Индустрии 4.0 (по данным Всемирного экономического форума на 2021 г.) (Источник: [44, с. 7])).

Предприятия-"маяки" были отобраны из списка 1000 компаний различных секторов промышленности на основе достигнутых

результатов реализации стратегий Индустрии 4.0 [44], [45]. Все предприятия разделены на 4 группы:

- предприятия, выпускающие товары народного потребления;
- предприятия обрабатывающих отраслей;
- предприятия, выпускающие фармацевтические и медицинские товары;
- передовые предприятия [44].

Диверсификация предприятий по различным секторам показывает, что решения и стратегии Индустрии 4.0, которые позволяют добиться успеха в масштабировании инноваций Индустрии 4.0, актуальны для различных секторов промышленности, предприятий разного размера: как заводов с более 10000 сотрудников, так и предприятий малого бизнеса. Стратегии внедрения Индустрии 4.0 также различны – это стратегии от индивидуальных изменений на ло-

кализованных производственных площадках до цифровой трансформации полных цепочек создания стоимости [46].

Например, компания *Bosch* (Китай) реализовала стратегию цифровой трансформации в производстве и логистике, снизив производственные затраты на 15% при одновременном повышении качества на 10%. Компания *Henkel* (Испания) для дальнейшего повышения производительности и повышения устойчивости компании построила свою цифровую платформу для масштабирования технологий четвертой промышленной революции, связав свои кибернетические и физические системы на заводе в городе Монторнес-дель-Вальес. В итоге затраты снизились на 15%, время вывода на рынок продуктов сократилось на 30% при одновременном снижении выбро-

сов углекислого газа на 10%. *Procter & Gamble* (США), реализуя стратегию следования за изменениями потребительских тенденций, инвестировала в гибкость цепочек поставок, используя цифровые двойники, расширенную аналитику и роботизированную автоматизацию. Это привело к ускорению вывода на рынок новых продуктов в 10 раз, увеличению производительности труда на 5% в годовом исчислении, что позволило избежать дефицита запасов в течение года [43].

В 2021 г., по данным ВЭФ, на Китай приходится 20 заводов-"маяков", на страны Европейского союза – 19, на США – 7 заводов и еще 5 – на Японию [43]. Отметим, что российских предприятий среди этих 69 передовых "маяков" не представлено.

Т а б л и ц а 1

Элемент развития	Общий GII-2020	Институты	Человеческий капитал и развитие	Инфраструктура	Уровень развития рынка	Уровень развития бизнеса	Развитие технологий и экономики знаний	Результаты креативной деятельности
Российская Федерация	47	71	30	60	55	42	50	60

Примечание. Темно-синий цвет означает, что экономика относится к 4-му квартилю (лучшие показатели, с 1-го по 32-е место в рейтинге). Зеленый цвет – 3-й квартиль (с 33-го по 65-е место). Желтый цвет – 2-й квартиль (с 66-го по 98-е место). Оранжевый цвет – 1-й квартиль (с 99-го по 131-е место). Источник: составлено авторами по данным [47].

Использование цифровых технологий открывает для российской экономики, как возможности, так и серьезные угрозы. Поэтому в основе реализации стратегий Индустрии 4.0 в Российской Федерации должна лежать сбалансированная промышленная политика в силу недостаточного институционального развития [16]. Промышленная сфера является двигателем инноваций, источником роста производительности. Однако позиция России в глобальном инновационном рейтинге достаточно невысокая. Так, по итогам 2020 г. в глобальном инновационном индексе (*GI*, *Global Innovation Index*) Россия заняла 47 место среди 131 страны, опустившись на одну позицию вниз по сравнению с 2019 г., опередив Индию (48), но отстав от Украины (45) и Румынии (46) (табл. 1) [47].

В табл. 2 представлен анализ сильных и слабых сторон инновационной системы России, проведенный на основе данных рейтинга по данным *GI-2020*. Проведенный анализ дает четкое представление о конкурентных преимуществах российской инновационной системы, к которым можно отнести: человеческий капитал; предоставление государственных услуг онлайн; использование ИКТ; размеры внутреннего рынка; занятость в наукоемких отраслях; численность занятых женщин с научными степенями; платежи, связанные с интеллектуальной собственностью; число патентов на изобретения и т.д. Среди основных причин отставания России в рейтинге можно выделить, прежде всего, недостаточную эффективность государственного управления, низкую экологическую устойчивость,

низкую энергоэффективность, недоступность инвестиций и микрофинансирования, недостаточное развитие кластеров, невысо-

кое число полученных сертификатов качества ИСО 9001, небольшое количество научно-технических статей и низкие результаты креативной деятельности.

Т а б л и ц а 2

Сильные стороны российской инновационной системы	Слабые стороны российской инновационной системы
Человеческий капитал и наука (30): высшее образование (17); соотношение численности учеников и учителей в среднем образовании (19)	Институты (74): качество регулирования (105); верховенство права (114); эффективность государственного управления (75)
Инфраструктура (60): государственные услуги, предоставляемые онлайн (25); выработка электроэнергии (28); доступ к ИКТ (51), использование ИКТ (44)	Инфраструктура (60): экологическая устойчивость (101); энергоэффективность (115), сертификация ИСО 14001 (106)
Уровень развития рынка (55): торговля, конкуренция и масштабы рынка (18), в том числе размеры внутреннего рынка (6)	Уровень развития рынка (55): отставание по направлению инвестиции (106); доступность микрофинансирования (77)
Уровень развития бизнеса (42): численность занятых в наукоемких отраслях (18); численность занятых женщин с научными степенями (10); платежи, связанные с интеллектуальной собственностью (17)	Уровень развития бизнеса (42): число компаний, предлагающих обучение (91); развитие кластеров (95); приток иностранных инвестиций (95)
Развитие технологий и экономики знаний (50): число патентов на изобретение (17) и полезную модель (5); цитируемость (H-index) (22)	Развитие технологий и экономики знаний (50): число полученных сертификатов качества ИСО 9001 (105); научно-технические статьи (66)
	Результаты креативной деятельности (60): художественные фильмы (81), печатные и другие средства массовой информации (76), экспорт товаров – результатов креативной деятельности (69)

Пр и м е ч а н и е. В скобках указано место России по соответствующим показателям в ГИП–2020. Источник: составлено авторами по данным [47].

В целях объединения представителей бизнеса и экспертных сообществ для развития в России перспективных технологических рынков и отраслей, которые могут стать основой мировой экономики, в 2014 г. в Российской Федерации была создана АНО "Платформа Национальной технологической инициативы". Основное достижение последних лет – это разработка и реализации плана мероприятий ("дорожной карты") "Технет" (передовые производственные технологии (ППТ)) Национальной технологической инициативы [48],

[49]. По данным дорожной карты "Технет", в России запланировано следующее число "Фабрик будущего" "Технет": в 2018 г. – 3; в 2019 г. – 5; в 2025 г. – 17; в 2035 г. – 40 [48]. В настоящее время в обновленной дорожной карте "Технет 4.0" отмечается, что создано 4 цифровые фабрики и 2 "умные" фабрики в составе "Фабрик будущего" [49]. По данным дорожной карты "Технет 4.0" в 2020 г. к "Фабрикам будущего" отнесены следующие предприятия [49] (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Цифровые фабрики	"Умные" фабрики
Цифровая платформа разработки цифровых двойников CML-Bench	"Умная" Фабрика "Сатурн"
Цифровая фабрика по созданию семейства высокооборотных дизельных двигателей	Высокотехнологичное производство робототехнических комплексов (АО "Диаконт")
Универсальная модульная платформа развития модельного ряда электротранспорта под различные запросы потребителей CML-EV,	
"Цифровая верфь"	

Пр и м е ч а н и е. Источник: составлено авторами на основе данных дорожной карты "Технет 4.0" [49].

Для дальнейшего масштабирования решений Индустрии 4.0 необходимы гибкие методы работы, что возможно в организациях с оптимизированными бизнес-процессами и высокой корпоративной культурой. Организации лидеры придают большое значение развитию персонала. Это необходимо для того, чтобы задействовать гибкие рабочие режимы и максимизировать возможности цифровой трансформации. Обучение, переподготовка и повышение квалификации удерживают трудовые ресурсы внутри организации, перемещая их в необходимые новые области Индустрии 4.0. Для обучения персонала в России большое внимание уделяется развитию Центров компетенций Национальной технологической инициативы.

Внедрение технологических решений Индустрии 4.0 на предприятиях российской текстильной промышленности представляет особый интерес, поскольку именно инновации 4.0 могут стать необходимым шагом на пути к ускоренному развитию отрасли. Отметим, что в проекте Стратегии развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года в отличие от предыдущего документа [50] учитываются возможности использования новых технологий в легкой промышленности, например, таких как 3D-печать, автоматизация проектирования и производства, робототехника и цифровая печать по ткани, технологии производства "умных изделий" и др. [51]. Однако, на наш взгляд, отмечается недостаточный уровень синхронизации положений стратегии с основными программными документами развития цифровой экономики. В Российской Федерации в настоящее время реализуется ряд проектов в текстильной промышленности с элементами Индустрии 4.0. Среди таких проектов можно отметить:

- выпуск высококачественного котонина для изготовления экологически чистых "зеленых" тканей и хлопчато-льняных пряж, ООО "Мануфактура Балина" (Ивановская обл.) (2018-2021 гг.);

- выпуск высокотехнологичных тканей со специальными защитными свойствами для одежды, АО ФПК "Чайковский

текстильный дом" и ООО Фирма "Чайковский партнер" (Пермский край) (2013-2022 гг.);

- проект оснащения производства современным технологическим оборудованием для нанесения полимерных покрытий на тканевые основы, АО "Ивановоискож" (Ивановская обл.) (2017-2022 гг.) и др. [52].

Несмотря на экономический спад 2019-2021 гг., Россия остается одним из лидеров Евразии по показателю потребительского спроса, в том числе и в текстильной промышленности. Если отечественные предприятия смогут удовлетворить потребности хотя бы внутреннего рынка и обойдут на нем зарубежных игроков, в основном из Китая и Турции, предприятия текстильной промышленности только за счет этого смогут заметно укрепить свои позиции [53]. Реализовать этот потенциал текстильной промышленности поможет переход к Индустрии 4.0. В настоящее время он затруднен из-за низкого уровня цифровизации производств и недостаточных инвестиций в инновационные технологии, однако первые шаги навстречу четвертой промышленной революции уже сделаны.

Хотелось бы отметить, что мировая производственная отрасль отстает в принятии производственных технологий Четвертой промышленной революции: большинство компаний находятся на пилотных этапах разработки. С одной стороны, это объективный процесс, так как сфера промышленного производства является очень капиталоемкой. С другой стороны, необходимы координирующие меры в силу масштаба и значимости преобразований.

В связи с медицинскими и другими ограничениями неопределенность рынков останется высокой. Эта изменчивость будет по-прежнему присутствовать в спросе, предложении и ожиданиях клиентов. Для поддержания конкурентоспособности требуется скорость и приспособляемость. Компании должны найти решения для увеличения ценности. Для этого им нужны масштабируемые и гибкие производственные системы Индустрии 4.0. Для достижения этих целей можно выделить два основных способа стимулирования роста: внед-

рение новых бизнес-моделей (достижение системных эффектов) и раскрытие потенциала ресурсов предприятия (достижение синергетических эффектов).

ВЫВОДЫ

Четвертая технологическая революция оказывает влияние на человека, его образ жизни и окружающую среду гораздо больше, чем три предыдущих. Эти революционные изменения вносят коррективы в сферу экономики. Однако экономическая наука не вынесла окончательного и единодушного суждения о последствиях, которые принесут новые технологии человечеству. Есть утверждения, что эта революция принесет не только материальный рост, но и лучшее и более справедливое распределение благ для всех людей на земле, то есть максимизацию благосостояния [54]. Кроме того, также значительны ожидания снижения зависимости роста и развития от потребления природных истощенных ресурсов.

Однако существуют и противоречивые мнения: что распределение товаров станет более несправедливым, что разрыв между богатыми и бедными будет еще больше углубляться и что автоматизация труда вызовет массовую безработицу [54]. Наибольшую выгоду от Четвертой промышленной революции сегодня имеют владельцы интеллектуального и материального капитала, в то время как главными проигравшими являются рабочие, чей труд становится невостребованным в условиях автоматизации производства и внедрения робототехники. По этой причине растет дифференциация доходов между теми, кто живет за счет исключительно своей собственной работы, и теми, кто управляет капиталом.

Очевидно, что разные страны вступают в новую промышленную и технологическую революцию с разных позиций. Безусловно, это частично отразится на их демографических характеристиках, т.е. повлияет на ситуацию на рынках труда. Немалое количество рабочих мест, особенно ручного труда и более низкой квалификации, практически исчезнет, в то время как

будет возрастать значение подготовленных и образованных инженеров и специалистов других профессий, занятых управлением и координированием новых систем массового производства.

В сложившихся условиях будут предъявляться (и уже предъявляются!) новые требования к системам образования. Таким образом, одним из решающих факторов инновационного развития будет по-прежнему оставаться человеческий капитал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов В.Г., Павлова А.А. Системные эффекты реализации инновационно-инвестиционно сбалансированной промышленной политики в условиях цифровой экономики // Экономические отношения. – 2019, № 4. С. 2919...2936.
2. Антекман А., Калабин В., Клицков В. и др. Цифровая Россия: новая реальность. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mckinsey.com/ru/~ /media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Digital%20Russia/Digital-Russia-report.ashx> (дата обращения: 05.08.2021).
3. Бабикова А.В., Федосова Т.В. Реверсивная модель инновационной экосистемы как инструмент интенсификации регионального технологического развития // Экономика, предпринимательство и право. – 2021, № 6. С. 1317...1332. doi: 10.18334/err.11.6.112228.
4. Гурина М.А., Румянцева Ю.В. Системные вызовы четвертой промышленной революции: уберизация как новая модель бизнеса // Вопросы инновационной экономики. – 2019, № 3. С. 1121...1134. doi: 10.18334/vinec.9.3.40896.
5. Донцова О.И. Точки роста российской экономики, основанные на научно-технологическом развитии // Вопросы инновационной экономики. – 2021, № 2. С. 471...484. doi: 10.18334/vinec.11.2.112263.
6. Донцова О.И. Факторы прорывного технологического развития российской промышленности // Вопросы инновационной экономики. – 2021, № 1. С. 101...118. doi: 10.18334/vinec.11.1.111567.
7. Ивинская Е.Ю., Абдрахманова Д.Р. Взаимосвязь технологических и организационных инноваций в условиях цифровой трансформации экономики // Вопросы инновационной экономики. – 2021, № 2. С. 431...442. doi: 10.18334/vinec.11.2.112040.
8. Крафт Й., Зайцев А.В. Наступление четвертой промышленной революции и формирование рыночных структур // Вопросы инновационной экономики. – 2017, № 4. С. 281...298. doi: 10.18334/vinec.7.4.38683.
9. Миллер А.Е., Яковлева Е.В. Теоретическое обоснование ресурсного обеспечения интеллектуальной инфраструктуры технологического развития

- // Вопросы инновационной экономики. – 2021, № 2. С. 507...522. doi: 10.18334/vines.11.2.112206.
10. Минаев Н.Н., Жарова Е.А. Анализ накопления человеческого капитала в регионах России в условиях технологических сдвигов и перехода к цифровой экономике // Экономика, предпринимательство и право. – 2021, № 6. С. 565...584. doi: 10.18334/et.8.6.112314.
11. Сафиуллин М.Р., Савеличев М.В., Ельшин Л.А., Моисеев В.О. Блокчейн как составляющая макрорегенерирующего кластера шестого технологического уклада // Вопросы инновационной экономики. – 2020, № 3. С. 1509...1522. doi: 10.18334/vines.10.3.110497.
12. Пискунов А.И., Главацкий В.Б. Новая индустриализация России: пути преодоления отставания // Вопросы инновационной экономики. – 2019, № 2. С. 287...300. doi: 10.18334/vines.9.2.40579.
13. Сумина Е.В., Зябликов Д.В. Технологические приоритеты стратегического развития региона в условиях цифровой индустриализации // Вопросы инновационной экономики. – 2020, № 3. С. 1535...1554. doi: 10.18334/vines.10.3.110663.
14. Тагаров Б.Ж. Переход к постиндустриальной экономике как условие устойчивого развития региона // Экономика, предпринимательство и право. – 2021, № 6. С. 1333...1344. doi: 10.18334/err.11.6.112235.
15. Тагаров Б.Ж. Причины реиндустриализации экономики развитых стран // Экономические отношения. – 2020, № 4. С. 999...1010. doi: 10.18334/eo.10.4.111012.
16. Денисенко В.Ю. Автоматизация производственных бизнес-процессов в условиях Индустрии 4.0 на промышленных предприятиях // Вопросы инновационной экономики. – 2020, № 2. С. 1007...1014. doi: 10.18334/vines.10.2.100878.
17. Дудин М.Н. Индустрия 4.0: российско-германское сотрудничество в сфере цифровых технологий // Экономика, предпринимательство и право. – 2021, № 4. С. 965...984. doi: 10.18334/err.11.4.111252.
18. Зозуля Д.М. Цифровизация российской экономики и Индустрия 4.0: вызовы и перспективы // Вопросы инновационной экономики. – 2018, № 1. С. 1...14. doi: 10.18334/vines.8.1.38856.
19. Кельчевская Н.Р., Колясников М.С. Использование больших данных в стратегическом управлении знаниями компании, следующей трендам Индустрии 4.0 // Лидерство и менеджмент. – 2020, № 3. С. 405...426. doi: 10.18334/lm.7.3.110662.
20. Колясников М.С., Кельчевская Н.Р. Разработка стратегической карты управления знаниями в компаниях, внедряющих достижения Индустрии 4.0 // Вопросы инновационной экономики. – 2020, № 4. С. 2233...2250. doi: 10.18334/vines.10.4.111214.
21. Кокурина А.Д. Новая стратегия инновационно-технологического прорыва высокотехнологичных компаний региона Центральной Азии и Европы в контексте наступления "Индустрии 4.0" // Экономика Центральной Азии. – 2019, № 4. С. 239...252. doi: 10.18334/asia.3.4.111600.
22. Шевякова А.Л., Петренко Е.С., Набиев Е.Н., Мамбетова С.Ш., Ескерова З.А. Формирование компетенций для Индустрии 4.0: рекомендации к действию // Экономика, предпринимательство и право. – 2021, № 3. С. 715...734. doi: 10.18334/err.11.3.111815.
23. Шевякова А.Л., Петренко Е.С., Уразбеков А.К. Развитие компетенций для Индустрии 4.0: квалификационные требования и решения // Вопросы инновационной экономики. – 2020, № 1. С. 85...102. doi: 10.18334/vines.10.1.100690.
24. Широковских С.А. Industry 4.0 как организационно-экономическая основа инновационного развития высокотехнологических компаний региона Центральной Азии и индустриально развитых стран // Экономика Центральной Азии. – 2019, № 4. С. 229...238. doi: 10.18334/asia.3.4.111599.
25. Zulamir Hassani Afdhal, Yusoff Fazirah, Wan Zain Wan Nor Aisyah. Fair and Responsible in Logistics IR 4.0 // MPRA Paper No. 108432, posted 25 Jun 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/108432/> (дата обращения: 19.08.2021).
26. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond*. World Economic Forum, 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/> (дата обращения: 19.08.2021).
27. Aramco S., Watson W. HR4.0: Shaping People Strategies in the Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum, 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.weforum.org/reports/hr4-0-shaping-people-strategies-in-the-fourth-industrial-revolution> (дата обращения: 19.08.2021).
28. Heutger M. *Fair and Responsible Logistics*. A DHL perspective on how to create lasting competitive advantage. – Troisdorf: DHL Customer Solutions & Innovation, 2015. P. 20...34.
29. *Industry 4.0 effects Logistics 4.0*. Institute of Supply Chain Management, 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ioscm.com/blog/industry-4-0-effects-logistics-4-0/> (дата обращения: 19.08.2021).
30. 69 advanced manufacturing sites light the way as learning beacons. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.weforum.org/our-impact/advanced-manufacturing-factories-light-the-way-as-learning-beacons> (дата обращения: 28.07.2021).
31. Global Lighthouse Network: Reimagining Operations for Growth. White Paper, March 2021. World Economic Forum. [Электронный ресурс]. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GLN_2021_Reimagining_Operations_for_Growth.pdf (дата обращения: 05.08.2021).
32. Global Lighthouse Network [Электронный ресурс]. URL: https://www.weforum.org/projects/global_lighthouse_network (дата обращения: 05.08.2021).
33. Shaping the Future of Advanced Manufacturing and Production. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.weforum.org/platforms/shaping-the-future-of-production> (дата обращения: 05.08.2021).

34. The Global Innovation Index 2020: Who Will Finance Innovation? Cornell University, INSEAD, and the World Intellectual Property Organization, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.globalinnovationindex.org/> (дата обращения: 19.08.2021).

35. План мероприятий "Технет" Национальной технологической инициативы. [Электронный ресурс]. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/02_february/15/Dorozhnaya_karta_TechNet.pdf (дата обращения: 28.07.2021).

36. План мероприятий ("дорожная карта") "Технет 4.0" (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы. [Электронный ресурс]. URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2021/06/24/2021_0624_DK_Technet.pdf (дата обращения: 05.08.2021).

37. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 24 сентября 2009 г. № 853 "Об утверждении Стратегии развития легкой промышленности России на период до 2020 года и Плана мероприятий по ее реализации". Информационно-правовой портал ГАРАНТ. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/96394/> (дата обращения: 04.09.2021).

38. Стратегия развития легкой промышленности России на период до 2025 года. Проект. Официальный сайт Министерства промышленности и торговли РФ. [Электронный ресурс]. URL: https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!proekt_strategiya_razvitiya_legkoy_promyshlennosti_v_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2025_goda_1 (дата обращения: 04.09.2021).

39. Итоги развития легкой промышленности России в 2015-2019 гг. Перспективы отрасли в 2020-2025 гг. Минпромторг России. [Электронный ресурс]. URL: https://inpctpr.ru/doc/Итоги_развития_ЛП_России.pdf (дата обращения: 04.09.2021).

40. Максимов М. Индустрия 4.0: шанс для российского легпрома // Инвест Форсайт, 23 апреля 2020. [Электронный ресурс]. <https://www.if24.ru/industriya-4-0-shans-dlya-rossijskogo-legproma/> URL: (дата обращения: 05.09.2021).

41. Pajović I., Petrović D., Bukvić R. Industry 4.0 and Serbia: Modern Technologies and the Impact on the Economy of Modern Society Independent // MPRA Paper No. 97489, posted 12 Dec 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/97489/> (дата обращения: 19.08.2021).

REFERENCES

1. Frolov V.G., Pavlova A.A. Sistemnye efekty realizatsii innovatsionno-investitsionno sbalansirovannoy promyshlennoy politiki v usloviyakh tsifrovoy ekonomiki // Ekonomicheskie otnosheniya. – 2019, №4. С. 2919...2936.

2. Artekman A., Kalabin V., Klintsov V. i dr. Tsifrovaya Rossiya: novaya real'nost'. 2017. [Elektronnyy resurs]. URL: [https://www.mckinsey.com/ru/~media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%](https://www.mckinsey.com/ru/~media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Digital%20Russia/Digital-Russia-report.ashx)

[20East/Russia/Our%20Insights/Digital%20Russia/Digital-Russia-report.ashx](https://www.mckinsey.com/ru/~media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Digital%20Russia/Digital-Russia-report.ashx) (data obrashcheniya: 05.08.2021).

3. Babikova A.V., Fedosova T.V. Reversivnaya model' innovatsionnoy ekosistemy kak instrument intensivatsii regional'nogo tekhnologicheskogo razvitiya // Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo. – 2021, № 6. S. 1317...1332. doi: 10.18334/epp.11.6.112228.

4. Gurina M.A., Rummyantseva Yu.V. Sistemnye vyzovy chetvertoy promyshlennoy revolyutsii: uberizatsiya kak novaya model' biznisa // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2019, № 3. S. 1121...1134. doi: 10.18334/vinec.9.3.40896.

5. Dontsova O.I. Tochki rosta rossiyskoy ekonomiki, osnovannye na nauchno-tekhnologicheskom razvitii // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2021, № 2. S. 471...484. doi: 10.18334/vinec.11.2.112263.

6. Dontsova O.I. Faktory proryvnogo tekhnologicheskogo razvitiya rossiyskoy promyshlennosti // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2021, № 1. S.101...118. doi: 10.18334/vinec.11.1.111567.

7. Ivinskaya E.Yu., Abdrakhmanova D.R. Vzaimosvyaz' tekhnologicheskikh i organizatsionnykh innovatsiy v usloviyakh tsifrovoy transformatsii ekonomiki // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2021, № 2. S.431...442. doi: 10.18334/vinec.11.2.112040.

8. Kraft Y., Zaytsev A.V. Nastuplenie chetvertoy promyshlennoy revolyutsii i formirovanie rynochnykh struktur // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2017, № 4. S. 281...298. doi: 10.18334/vinec.7.4.38683.

9. Miller A.E., Yakovleva E.V. Teoreticheskoe obosnovanie resurnogo obespecheniya intellektual'noy infrastruktury tekhnologicheskogo razvitiya // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2021, № 2. S. 507...522. doi: 10.18334/vinec.11.2.112206.

10. Minaev N.N., Zharova E.A. Analiz nakopleniya chelovecheskogo kapitala v regionakh Rossii v usloviyakh tekhnologicheskikh sdvigoov i perekhoda k tsifrovoy ekonomike // Ekonomika truda. – 2021, №6. S. 565...584. doi: 10.18334/et.8.6.112314.

11. Safiullin M.R., Savelichev M.V., El'shin L.A., Moiseev V.O. Blokcheyn kak sostavlyayushchaya makrogeneriruyushchego klastera shestogo tekhnologicheskogo uklada // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2020, № 3. S. 1509...1522. doi: 10.18334/vinec.10.3.110497.

12. Piskunov A.I., Glavatskiy V.B. Novaya industrializatsiya Rossii: puti preodoleniya otstavaniya // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2019, № 2. S. 287...300. doi: 10.18334/vinec.9.2.40579.

13. Sumina E.V., Zyablikov D.V. Tekhnologicheskoe priorityety strategicheskogo razvitiya regiona v usloviyakh tsifrovoy industrializatsii // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2020, № 3. S. 1535...1554. doi: 10.18334/vinec.10.3.110663.

14. Tagarov B.Zh. Perekhod k postindustrial'noy ekonomike kak uslovie ustoychivogo razvitiya regiona // Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo. – 2021, №6. S. 1333...1344. doi: 10.18334/epp.11.6.112235.

15. Tagarov B.Zh. Prichiny reindustrializatsii ekonomiki razvitykh stran // Ekonomicheskie otnoshe-

niya. – 2020, № 4. S. 999...1010. doi: 10.18334/eo.10.4.111012.

16. Denisenko V.Yu. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh biznes-protsessov v usloviyakh Industrii 4.0 na promyshlennykh predpriyatiyakh // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2020, № 2. S. 1007...1014. doi: 10.18334/vinec.10.2.100878.

17. Dudin M.N. Industriya 4.0: rossiysko-germanskoe sotrudnichestvo v sfere tsifrovyykh tekhnologiy // Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo. – 2021, № 4. S. 965...984. doi: 10.18334/epp.11.4.111252.

18. Zozulya D.M. Tsifrovizatsiya rossiyskoy ekonomiki i Industriya 4.0: vyzovy i perspektivy // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2018, № 1. S. 1...14. doi: 10.18334/vinec.8.1.38856.

19. Kel'chevskaya N.R., Kolyasnikov M.S. Ispol'zovanie bol'shikh dannykh v strategicheskoy upravlenii znaniyami kompanii, sleduyushchey trendam Industrii 4.0 // Liderstvo i menedzhment. – 2020, № 3. S. 405...426. doi: 10.18334/lim.7.3.110662.

20. Kolyasnikov M.S., Kel'chevskaya N.R. Razrabotka strategicheskoy karty upravleniya znaniyami v kompaniyakh, vnedryayushchikh dostizheniya Industrii 4.0 // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2020, № 4. S. 2233...2250. doi: 10.18334/vinec.10.4.111214.

21. Kokurina A.D. Novaya strategiya innovatsionno-tekhnologicheskogo proryva vysokotekhnologichnykh kompaniy regiona Tsentral'noy Azii i Evropy v kontekste nastupleniya "Industrii 4.0" // Ekonomika Tsentral'noy Azii. – 2019, № 4. S.239...252. doi: 10.18334/asia.3.4.111600.

22. Shevyakova A.L., Petrenko E.S., Nabiev E.N., Mambetova S.Sh., Eskerova Z.A. Formirovanie kompetentsiy dlya Industrii 4.0: rekomendatsii k deystviyu // Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo. – 2021, № 3. S. 715...734. doi: 10.18334/epp.11.3.111815.

23. Shevyakova A.L., Petrenko E.S., Urazbekov A.K. Razvitie kompetentsiy dlya Industrii 4.0: kvalifikatsionnye trebovaniya i resheniya // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2020, № 1. S. 85...102. doi: 10.18334/vinec.10.1.100690.

24. Shirokovskikh S.A. Industry 4.0 kak organizatsionno-ekonomicheskaya osnova innovatsionnogo razvitiya vysokotekhnologicheskikh kompaniy regiona Tsentral'noy Azii i industrial'no razvitykh stran // Ekonomika Tsentral'noy Azii. – 2019, № 4. S.229...238. doi: 10.18334/asia.3.4.111599.

25. Zulamir Hassani Afdhal, Yusoff Fazirah, Wan Zain Wan Nor Aisyah. Fair and Responsible in Logistics IR 4.0 // MPRA Paper No. 108432, posted 25 Jun 2021. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/108432/> (data obrashcheniya: 19.08.2021).

26. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond. World Economic Forum, 2016. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/> (data obrashcheniya: 19.08.2021).

27. Aramco S., Watson W. HR4.0: Shaping People Strategies in the Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum, 2019. [Elektronnyy resurs]. URL:

<https://www.weforum.org/reports/hr4-0-shaping-people-strategies-in-the-fourth-industrial-revolution> (data obrashcheniya: 19.08.2021).

28. Heutger M. Fair and Responsible Logistics. A DHL perspective on how to create lasting competitive advantage. – Troisdorf: DHL Customer Solutions & Innovation, 2015. R. 20...34.

29. Industry 4.0 effects Logistics 4.0. Institute of Supply Chain Management, 2018. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.ioscm.com/blog/industry-4-0-effects-logistics-4-0/> (data obrashcheniya: 19.08.2021).

30. 69 advanced manufacturing sites light the way as learning beacons. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.weforum.org/our-impact/advanced-manufacturing-factories-light-the-way-as-learning-beacons> (data obrashcheniya: 28.07.2021).

31. Global Lighthouse Network: Reimagining Operations for Growth. White Paper, March 2021. World Economic Forum. [Elektronnyy resurs]. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GLN_2021_Reimagining_Operations_for_Growth.pdf (data obrashcheniya: 05.08.2021).

32. Global Lighthouse Network [Elektronnyy resurs]. URL: https://www.weforum.org/projects/global_lighthouse_network (data obrashcheniya: 05.08.2021).

33. Shaping the Future of Advanced Manufacturing and Production. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.weforum.org/platforms/shaping-the-future-of-production> (data obrashcheniya: 05.08.2021).

34. The Global Innovation Index 2020: Who Will Finance Innovation? Cornell University, INSEAD, and the World Intellectual Property Organization, 2020. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.globalinnovation-index.org/> (data obrashcheniya: 19.08.2021).

35. Plan meropriyatiy "Tekhnet" Natsional'noy tekhnologicheskoy initsiativy. [Elektronnyy resurs]. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/02_february/15/Dorozhnaya_karta_TechNet.pdf (data obrashcheniya: 28.07.2021).

36. Plan meropriyatiy ("dorozhnaya karta") "Tekhnet 4.0" (peredovye proizvodstvennye tekhnologii) Natsional'noy tekhnologicheskoy initsiativy. [Elektronnyy resurs]. URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2021/06/24/2021_0624_DK_Tech-net.pdf (data obrashcheniya: 05.08.2021).

37. Prikaz Ministerstva promyshlennosti i trgovli RF ot 24 sentyabrya 2009 g. № 853 "Ob utverzhdenii Strategii razvitiya legkoy promyshlennosti Rossii na period do 2020 goda i Plana meropriyatiy po ee realizatsii". Informatsionno-pravovoy portal GARANT. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/96394/> (data obrashcheniya: 04.09.2021).

38. Strategiya razvitiya legkoy promyshlennosti Rossii na period do 2025 goda. Proekt. Ofitsial'nyy sayt Ministerstva promyshlennosti i trgovli RF. [Elektronnyy resurs]. URL: https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!proekt_strategiya_razvitiya_legkoy_promyshlennosti_v_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2025_goda_1 (data obrashcheniya: 04.09.2021).

39. Itogi razvitiya legkoy promyshlennosti Rossii v 2015-2019 gg. Perspektivy otrasli v 2020-2025 gg. Minpromtorg Rossii. [Elektronnyy resurs]. URL: https://inpctlp.ru/doc/Itogi_razvitiya_LP_Rossii.pdf (data obrashcheniya: 04.09.2021).

40. Maksimov M. Industriya 4.0: shans dlya rossiyskogo legproma // Invest Forsayt, 23 aprelya 2020. [Elektronnyy resurs]. <https://www.if24.ru/industriya-4-0-shans-dlya-rossijskogo-legproma/> URL: (data obrashcheniya: 05.09.2021).

41. Pajović I., Petrović D., Bukvić R. Industry 4.0 and Serbia: Modern Technologies and the Impact on the Economy of Modern Society Independent // MPRA Paper No. 97489, posted 12 Dec 2019. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/97489/> (data obrashcheniya: 19.08.2021).

Рекомендована кафедрой менеджмента МГТУ им. Н.Э. Баумана. Поступила 28.09.21.

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_323
УДК 62-5

БИОНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

BIONIC PRINCIPLES DESIGN OF ROBOTIC SYSTEMS

Ю.Т. КАГАНОВ, С.В. ХЕЙЛО, А.К. ПОЛЕТИКА

YU.T. KAGANOV, S.V. KHEYLO, A.K. POLETIKA

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(Национальный исследовательский университет),
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство))

(Bauman Moscow State Technical University (National Research University),
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: yurijkaganov@gmail.com; sheilo@yandex.ru

В работе рассматриваются основные бионические принципы проектирования конструкций и управления робототехническими системами. В качестве примеров таких робототехнических систем рассматриваются роботы-манипуляторы типа "хобот". К таким системам также относятся 3D-принтеры, используемые в аддитивных технологиях. Одним из направлений исследований является применение многоагентного подхода для управления коллективом роботов, участвующих в решении сложных стратегических задач. В этом случае возникает необходимость в использовании современных методов искусственного интеллекта, в частности, методов глубокого обучения, теории нечеткого управления, биоинспирированные методы оптимизации. Такой подход может быть использован для управления сложными робототехническими системами на основе параллельных механизмов.

The work considers the basic bionic principles of design of structures and control of robotic systems. As examples of such robotic systems, we consider robotic manipulators of the "trunk" type, as well as complex systems based on the use of parallel mechanisms. Such systems include 3D printers used in additive technologies. Another direction is the use of a multi-agent approach to manage a team of robots involved in solving complex strategic tasks. In this case, there is a need to use modern methods of artificial intelligence, and, in particular, methods of deep learning,

the theory of fuzzy control, bioinspired optimization methods. The same approach can be used to control complex robotic systems based on parallel mechanisms.

Ключевые слова: бионические принципы, робототехнические системы, параллельные механизмы, "хобот", 3D-принтер, многоагентный подход, глубокое обучение, нечеткое управление.

Keywords: bionic principles, robotic systems, parallel mechanisms, "trunk", 3D printer, multi-agent approach, deep learning, fuzzy control.

Введение

В настоящее время формируется Индустрия 4.0. В области легкой промышленности это приводит к появлению нового поколения автономных роботов, в том числе для 3D-печати. Такие роботы различаются по размерам и функциям – от беспилотных аппаратов до автономных мобильных роботов для технологических и подъемно-транспортных операций, снабженных искусственным интеллектом. Робототехнические комплексы такого типа способны распознавать и анализировать информацию, получаемую из окружения, и действовать с ее учетом. Применение таких робототехнических систем на предприятиях текстильной промышленности позволяет повысить его технико-организационные и экономические показатели. В текстильной и легкой промышленности на одну технологическую операцию приходится 3...6 транспортных операций. Эти операции выполняют технологические и транспортные роботы. Использование современных подходов к проектированию и реализации технологических процессов и транспортных операций с использованием бионических принципов позволяет существенно сократить время выполнения операций и увеличить их эффективность. Примером внедрения роботизированного производства обуви и ее печати является опыт компании "Адидас", позволяющий сократить ее производство до нескольких дней. Таким образом, уже в настоящее время робототехнические системы такого типа находят все большее применение в легкой промышленности.

При этом одним из наиболее перспективных подходов к созданию технических систем является подход, основанный на ис-

пользовании бионических принципов. Первоначально бионика основывалась на использовании аналогии между биологическими системами и техническими системами. Однако за прошедшие годы огромный прогресс в развитии биологии как науки и колоссальный рывок в области технологии позволил значительно пересмотреть принципы бионики как технической науки, позволяющей выйти на новый уровень технологического развития.

Основные принципы бионики состоят в следующем:

- создание технических систем на основе использования фундаментальных принципов организации биологических систем,
- разработка конструкций технических систем, функциональность которых по оптимальности сравнима с биологическими системами,
- проектирование систем управления, использующих модели систем управления и адаптации, основанных на биологических прототипах,
- разработка технических систем, встраиваемых в биосферные процессы без их разрушения (экологически выверенные технические решения).

Эти принципы в наибольшей степени применимы к такой области техники, как робототехнические системы. Современные робототехнические системы по своей функциональности приближаются к биологическим системам. Разработка роботов, конструктивно обладающих большим числом подвижностей, значительно превышающей число степеней свободы традиционных роботов, позволяет обеспечивать работы в сложных экстремальных условиях. Приме-

нение подобных роботов в медицине позволяет выполнять операции с высокой точностью и надежностью. Другим примером использования современных конструкций роботов являются аддитивные технологии, в частности 3-D принтеры. Как правило, такого рода роботы основаны на использовании кинематических цепей, состоящих из параллельных механизмов. Биологические прототипы подобных механизмов очень широко используются живыми системами (хобот слона, тело змеи, рыбы и т.п.). С другой стороны, управление подобными роботами традиционными методами, основанными на теории автоматического управления, оказывается неэффективным. Это обусловлено тем, что наличие одновременно работающих приводов, связанных с большим числом кинематических цепей, приводит к необходимости использования методов управления, характерных для живых систем. Такими методами являются методы, основанные на использовании эволюционных алгоритмов, теории многоагентных систем, нейронных сетей, теории обучения с подкреплением, теории нечетких вычислений, искусственного интеллекта. Развитие робототехники должно привести к еще большей ее "биологизации". Помимо использования систем искусственного интеллекта, привлекаемого для управления автономным роботом, развивается направление, ориентированное на коллективы автономных роботов. В дальнейшем будут создаваться такие коллективы роботов, которые могут встраиваться в экологические структуры биосферы без ее разрушения. Это могут быть определенные техно-биоценозные образования, способные значительно повысить качество жизни человека и при этом не создавать напряжения в биосферных процессах.

Особенности бионического подхода к проектированию конструкций робототехнических систем

В настоящее время основным типом манипуляционных систем промышленных роботов являются механические манипуляторы, представляющие собой пространственные механизмы последовательной структуры в виде разомкнутых или замкну-

тых кинематических цепей. Такие манипуляторы обладают рядом недостатков – прежде всего, недостаточной жесткостью и, следовательно, низкой точностью, а также относительно небольшим числом степеней свободы при заданных размерах манипулятора. Поэтому проводятся интенсивные исследования альтернативных манипуляционных систем – биоинспирированных роботов-манипуляторов. Прежде всего, к этому классу манипуляторов относятся континуальные и дискретные роботы, имитирующие хобот слона.

Различные конструкции континуальных роботов типа хобот рассмотрены в работах [1...5]. В значительной мере преодолеть указанные выше недостатки традиционных многозвенных манипуляторов могут манипуляторы типа хобот, построенные на основе многосекционных механизмов с параллельной структурой [6...13].

Многосекционные манипуляторы типа хобот (ММТХ), построенные на основе механизмов параллельной структуры, являются одним из классов дискретных хоботоподобных манипуляторов (рис. 1 – робот-хобот).

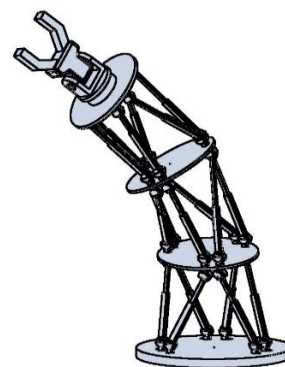


Рис. 1

Преимуществами ММТХ являются высокая точность исполнения движений, большие скорости и ускорения рабочего органа (например, схвата), значительная степень унификации мехатронных узлов и возможность реализации большого числа степеней свободы при относительной компактности конструкции. Основные недостатки заключаются в возможной интерференции отдельных кинематических цепей манипулятора и необходимости ее учета, а также в создании более сложной системы

управления по сравнению с традиционными многозвенными манипуляторами последовательной структуры. В целом ММТХ позволяют в значительной степени избежать недостатков, присущих классическим многозвенным манипуляторам.

Бионические системы управления

Задача управления ММТХ представляет собой серьезную проблему, так как помимо управления каждой секцией (платформой) манипулятора необходимо обеспечивать управление всей конструкцией в целом. Таким образом, система управления многосекционным манипулятором должна представлять собой иерархическую структуру. Проблеме управления ММТХ адекватен многоагентный подход и нейронечеткие технологии (рис. 2 – структура многоагентной системы управления ММТХ; система управления состоит из блоков [6]) [14...21].

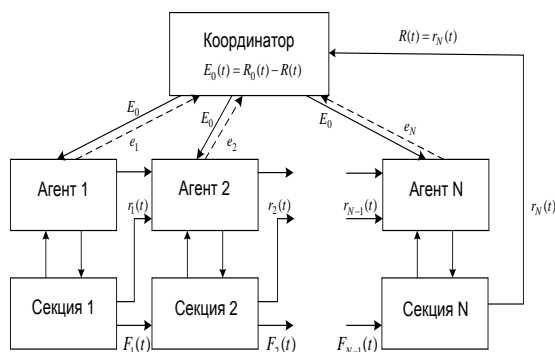


Рис. 2

Координатор, определяющий движение исполнительного органа (рис. 3 – структура координатора многоагентной системы управления ММТХ). Координатор вычисляет положения (скорости и ускорения) исполнительного механизма $R(t)$, а также его ошибку $E_0 = R_0(t) - R(t)$. Далее координатор на основе ошибок E_0 , $e = (e_1, e_2, \dots, e_N)$ формирует глобальную целевую вектор-функцию G_0 (время отработки траектории, энергетические затраты и т.д.) для ее многокритериальной оптимизации. Здесь и далее для простоты записи в качестве секций ММТХ рассматриваем трипод (рис.4 – структура агента многоагентной системы управления ММТХ).

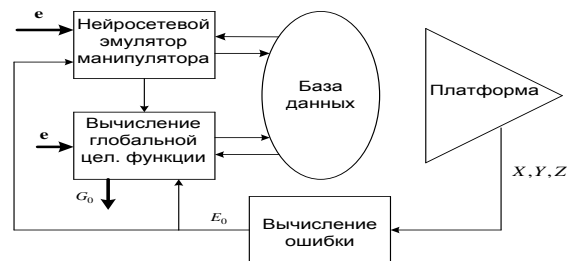


Рис. 3

Агенты, определяющие движение каждой из секций. Совокупность агентов представляет собой систему взаимосвязанных агентов, взаимодействующих как непосредственно между собой, так и через параметры управляемых ими секций. Агент с номером i системы управления (рис. 4) определяет положение базы соответствующей секции манипулятора r_{i-1} ; вычисляет положение управляемой им платформы r_i ; вычисляет ошибку положения (скорости и ускорения) этой платформы e_i ; формирует сигналы управления приводами актуаторов $F_{i,j}$.

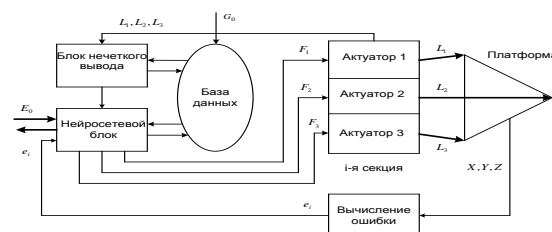


Рис. 4

Агент многоагентной системы управления ММТХ выполняет следующие функции: получает информацию из внешней среды, а также от соседних с ним агентов; получает информацию от агента более высокого уровня (координатора); обучается в процессе взаимодействия; воздействует на внешнюю среду. При взаимодействии агентов между собой вырабатывается компромиссное решение, которое запоминается как самими агентами, так и координатором.

Блок нечеткого вывода агента выполняет преобразование перемещений актуаторов L_1, L_2, L_3 соответствующей платформы в нечеткие переменные с соответствующими значениями функций принад-

лежности (стадия фаззификатора); нечеткий *modus ponens* на основе нечетких продукционных моделей Мамдани, Ларсена или Такаги-Сугено (стадия логического вывода); вычисление четких значений переменных путем использования центроидного метода (стадия дефаззификации) [16], [17].

Нейросетевой блок агента (рис. 5 – структура нейросетевого блока многоагентной системы управления ММТХ) выполняет обучение эмулятора платформы с учетом ошибки верхнего уровня E_0 , то есть формирует вектор весовых коэффициентов $W_{i,j}$; вырабатывает сигналы, осуществляющие управление соответствующим актуатором.

Структурная схема нейросетевой адаптивной системы автоматического управления (САУ) одной из штанг трипода представлена на рис. 5. Регулятор построен на основе нейросетевой инверсной модели объекта управления, а в качестве эталонной модели используется еще одна многослойная нейронная сеть. Задачи обучения обеих нейронных сетей, по своей сути, представляют собой задачи нейросетевой идентификации соответствующих динамических систем. В качестве эталонной и инверсной моделей используются многослойные нейронные сети типа NARX [8, 17]. При этом процесс обучения многоагентной системы осуществляется на основе стратегии SARSA обучения с подкреплением [11], [15], [22].

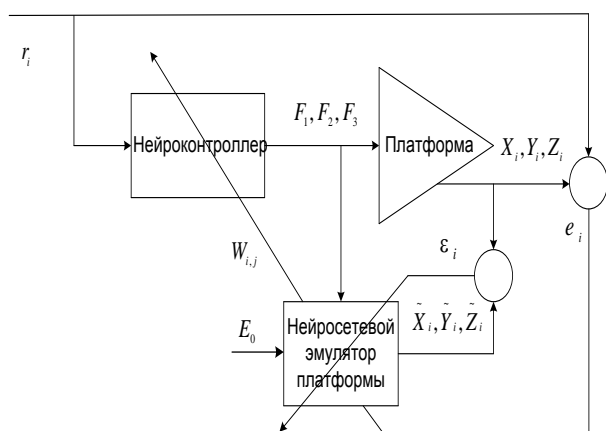


Рис. 5

Современный уровень развития техники предъявляет новые требования к созданию сложных робототехнических систем. Работы в экстремальных условиях, медицина, сложное технологическое оборудование, военная техника требуют принципиально новых подходов, основанных на биологических принципах проектирования технических систем. Поэтому возникает необходимость в использовании бионического принципа в проектировании механизмов и управления такими системами. В данной работе рассмотрено проектирование робототехнической системы на основе параллельных механизмов, а также использование системы нейронечеткого управления. В качестве объекта была представлена робототехническая система типа "хобот".

ЛИТЕРАТУРА

1. Mahfoudi Chawki, Amouri Ammar, Zaatri Abdelouahab. New Approach to Modeling a planar flexible continuum robot simulating elephant trunk // Journal of New Technology and Materials. – 2013. Vol. 03. №02. P. 8...13.
2. Shao Tiefeng, Zhang Libin, Du Mingyu, Bao Guanjun, Yang Qinghua. Fruit harvesting continuum manipulator inspired by elephant trunk // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2015, Vol.8, №1. P.57...63. DOI: 10.3965/j.ijabe.20150801.008
3. Yunfang Yang, Wenzeng Zhang. ET Arm: Highly Compliant Elephant-Trunk Continuum Manipulator // 7th International Conference, ICIRA 2014. – 2014. Vol. 8917. P. 288...299.
4. Anand Kumar Mishra, Emanuela Del Dottore, Ali Sadeghi, Alessio Mondini, Barbara Mazzolai. SIMBa: Tendon-Driven Modular continuum arm with soft reconfigurable gripper // Frontiers in Robotics and AI. – 2017. Vol.4. Article 4. DOI: 10.3389/frobt.2017.00004
5. Inderjeet Singh, Yacine Amara, Othman Lakhal, Achille Melingui, Rochdi Merzouki. PH Model-Based Shape Reconstruction of Heterogeneous Continuum Closed Loop Kinematic Chain: An Application to Skipping Rope / 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE Xplore: DOI: 10.1109/IROS.2018.8593934
6. Гаврилов С.В., Коноплев В.А. Компьютерные технологии исследования многозвенных мехатронных систем. – СПб.: Наука, 2004.
7. Каганов Ю.Т., Карпенко А.П. Математическое моделирование кинематики и динамики робота-ма-

- нипулятора типа "хобот". 1. Математические модели секции манипулятора, как механизма параллельной кинематики типа "трипод" // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2009. № 10. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/133262.html>
8. Карпенко А.П., Казанов Ю.Т. Синтез много-секционных роботов-манипуляторов параллельной структуры типа "ХОБОТА" //Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана Электр. Журн. – 2014. № 4.
9. Anand Kumar Mishra, Emanuela Del Dottore, Ali Sadeghi, Alessio Mondini, Barbara Mazzolai. SIMBa: Tendon-Driven Modular continuum arm with soft reconfigurable gripper // *Frontiers in Robotics and AI*. – 2017. Vol.4. Article 4. DOI: 10.3389/frobt.2017.00004
10. Yongjie Zhao, Yongxing Zhang, Jianyuan Li, Lei Jin, Jun He, Xingwei Zhang, Xinjian Lu. Inverse displacement analysis of a hyper-redundant bionic trunk-like robot // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2020. January-February. P.1...11.
11. Glazunov V., Kheylo S. Dynamics and control of planar, translational, and spherical parallel manipulators. In: *Dynamic balancing of mechanisms and synthesizing of parallel robots*. Springer. – 2016. P. 365...403.
12. Kheylo S.V., Tsarkov A.V., Garin O.A. Kinematic analysis of novel 6-dof robot/ *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Vol. 1126, 2020. P.442...450.
13. Glazunov V., Nosova N., Kheylo S., Tsarkov A. Design and Analysis of the 6-DOF Decoupled Parallel Kinematic Mechanism. In: *Dynamic Decoupling of Robot Manipulators*, Springer. – 2018, P. 125...170
14. Алфимцев А.Н. Мультиагентное обучение с подкреплением. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021.
15. Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение. – СПб.: Питер, 2018.
16. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
17. Sigeru Omatu, Marzuki Khalid, Rubiyah Yusof. *Neuro-Control and its Application*. Springer-Verlag, London Limited. 1996.
18. Schwartz H. *Multi-Agent Machin Learning: A Reinforcement Approach*. NY: John Wiley & Sons, 2014.
19. Singh P. et al. *Swarm Intelligence Algorithms: A Tutorial*. Boca Raton: CRC press, 2020.
20. Yang X.S. (ed.) *Nature-Inspired Computation and Swarm Intelligence: Algorithms, Theory and Applications*. – NY: Academic Press, 2020.
21. Singh P. et al. *Swarm Intelligence Algorithms: A Tutorial*. Boca Raton: CRC press, 2020.
22. Sutton R.S., Barto A.G. *Reinforcement learning: An introduction*. – Cambridge: MIT press, 2018.
- of New Technology and Materials. – 2013. Vol. 03. №02. P. 8...13.
2. Shao Tiefeng, Zhang Libin, Du Mingyu, Bao Guanjun, Yang Qinghua. Fruit harvesting continuum manipulator inspired by elephant trunk // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. – 2015, Vol.8, №1. P.57...63. DOI: 10.3965/j.ijabe.20150801.008
3. Yunfang Yang, Wenzeng Zhang. ET Arm: Highly Compliant Elephant-Trunk Continuum Manipulator // 7th International Conference, ICIRA 2014. – 2014. Vol. 8917. P. 288...299.
4. Anand Kumar Mishra, Emanuela Del Dottore, Ali Sadeghi, Alessio Mondini, Barbara Mazzolai. SIMBa: Tendon-Driven Modular continuum arm with soft reconfigurable gripper // *Frontiers in Robotics and AI*. – 2017. Vol.4. Article 4. DOI: 10.3389/frobt.2017.00004
5. Inderjeet Singh, Yacine Amara, Othman Lakhali, Achille Melingui, Rochdi Merzouki. PH Model-Based Shape Reconstruction of Heterogeneous Continuum Closed Loop Kinematic Chain: An Application to Skipping Rope / 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE Xplore: DOI: 10.1109/IROS.2018.8593934
6. Gavrilov S.V., Konoplev V.A. *Komp'yuternye tekhnologii issledovaniya mnogozvennykh mekhatronnykh sistem*. – SPb.: Nauka, 2004.
7. Kaganov Yu.T., Karpenko A.P. *Matematicheskoe modelirovanie kinematiki i dinamiki robota-manipulyatora tipa "khobot"*. 1. Matematicheskie modeli sektsii manipulyatora, kak mekhanizma parallel'noy kinematiki tipa "tripod" // *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana. Elektron. zhurn.* 2009. № 10. Rezhim dostupa: <http://technomag.edu.ru/doc/133262.html>
8. Karpenko A.P., Kaganov Yu.T. *Sintez mnogo-sektsionnykh robotov-manipulyatorov parallel'noy struktury tipa "KhOBOTA"* // *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana Elektr. Zhurn.* – 2014. № 4.
9. Anand Kumar Mishra, Emanuela Del Dottore, Ali Sadeghi, Alessio Mondini, Barbara Mazzolai. SIMBa: Tendon-Driven Modular continuum arm with soft reconfigurable gripper // *Frontiers in Robotics and AI*. – 2017. Vol.4. Article 4. DOI: 10.3389/frobt.2017.00004
10. Yongjie Zhao, Yongxing Zhang, Jianyuan Li, Lei Jin, Jun He, Xingwei Zhang, Xinjian Lu. Inverse displacement analysis of a hyper-redundant bionic trunk-like robot // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2020. January-February. P.1...11.
11. Glazunov V., Kheylo S. Dynamics and control of planar, translational, and spherical parallel manipulators. In: *Dynamic balancing of mechanisms and synthesizing of parallel robots*. Springer. – 2016. P. 365...403.
12. Kheylo S.V., Tsarkov A.V., Garin O.A. Kinematic analysis of novel 6-dof robot/ *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Vol. 1126, 2020. P.442...450.
13. Glazunov V., Nosova N., Kheylo S., Tsarkov A. Design and Analysis of the 6-DOF Decoupled Parallel

REFERENCES

1. Mahfoudi Chawki, Amouri Ammar, Zaatri Abdelouhab. New Approach to Modeling a planar flexible continuum robot simulating elephant trunk // *Journal*

Kinematic Mechanism. In: Dynamic Decoupling of Robot Manipulators, Springer. – 2018, P. 125...170

14. Alfimtsev A.N. Mul'tiagentnoe obuchenie s podkrepleniem. – M.: MGTU im. N.E. Baumana, 2021.

15. Nikolenko S., Kadurin A., Arkhangel'skaya E. Glubokoe obuchenie. – SPb.: Piter, 2018.

16. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie / Per. s angl. – M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2009.

17. Sigeru Omatu, Marzuki Khalid, Rubiyah Yusof. Neuro-Control and its Application. Springer-Verlag, London Limited. 1996.

18. Schwartz H. Multi-Agent Machin Learning: A Reinforcement Approach. NY: John Wiley & Sons, 2014.

19. Singh P. et al. Swarm Intelligence Algorithms: A Tutorial. Boca Raton: CRC press, 2020.

20. Yang X.S. (ed.) Nature-Inspired Computation and Swarm Intelligence: Algorithms, Theory and Applications. – NY: Academic Press, 2020.

21. Singh P. et al. Swarm Intelligence Algorithms: A Tutorial. Boca Raton: CRC press, 2020.

22. Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement learning: An introduction. – Cambridge: MIT press, 2018.

Рекомендована кафедрой теоретической и прикладной механики РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 07.02.22.

УДК 685.34.07

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_329

**ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОСНАТКИ ОБУВНОГО ПРОИЗВОДСТВА
И АПРОБАЦИЯ ФОРМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЭКСПРЕСС-ФОРМЫ
ДЛЯ ЛИТЬЕВОГО АГРЕГАТА**

**APPLICATION OF 3D-TECHNOLOGIES FOR FAST PROTOTYPING
IN THE MANUFACTURE OF TOOLING FOR THE PRODUCTION OF FOOTWEAR
AND APPROBATION OF A FORMAL MODEL OF EXPRESS FORM
FOR A CASTING UNIT**

V.V. МИНЕЦ, И.Р. ТАТАРЧУК, О.А. БЕЛИЦКАЯ, Е.В. ЛИТВИН

V.V. MINETS, I.R. TATARCHUK, O.A. BELITSKAYA, E.V. LITVIN

(Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: vvminets@yandex.ru; belitskaya-oa@rguk.ru; litvin-ev@rguk.ru

В статье рассмотрена актуальность применения 3D-печати в мелкосерийном производстве обуви. Обозначены особенности и недостатки существующих технологий производства пресс-форм. Обоснована необходимость разработки таких конструкций и технологий изготовления пресс-форм, которые позволят сократить издержки и повысить их эффективность по сравнению с традиционными пресс-формами.

Предложена концепция новой методики проектирования и изготовления технологической оснастки для производства формованных подошв, которая основывается на 3D-технологиях, таких как 3D-моделирование и 3D-печать. Статья содержит результаты апробации метода быстрого прототипирования оснастки обувного производства при помощи 3D-печати.

The article discusses the relevance of the use of 3D printing in the small-scale production of shoes. The features and disadvantages of existing technologies for the production of molds are indicated. The need to develop such designs and technolo-

gies for the manufacture of molds is substantiated, which will reduce costs and increase their efficiency in comparison with traditional molds.

The concept of a new methodology for the design and manufacture of technological equipment for the production of molded soles, which is based on 3D-technologies, such as 3D-modeling and 3D-printing, has been proposed. The article contains the approbation results of rapid prototyping method of shoe production equipment using 3D printing.

Ключевые слова: 3D-технологии, 3D-моделирование пресс-формы, технология печати FDM, 3D-печать экспресс-формы, литье деталей низа обуви.

Keywords: 3D-technologies, 3D-modeling of the mold, FDM printing technology, 3D printing of express-molds, molding of shoe bottom parts.

Введение

Информационная среда и ее доступность широким массам существенно повлияла на осведомленность и запросы потребителей. В таких условиях обширный и часто обновляемый ассортимент и высокое качество изделий – основные критерии успешного производства. Цифровизация затрагивает практически все сферы производства, в том числе и модную индустрию. Определение будущего легкой промышленности в России напрямую зависит от мобильности предприятий и скорости их технического переоснащения. Появляются инновационные экспериментальные направления малооперационных и малосерийных типов производств, расширяющие диапазон индивидуализированной продукции [1...11].

Производство обуви, в частности, подразумевает использование большого количества оборудования и технологической оснастки, возможность своевременного обновления которых напрямую влияет на конкурентоспособность выпускаемого продукта.

Несмотря на высокую скорость технического прогресса и масштабного усовершенствования оборудования, существует острая необходимость в разработке новых методов проектирования и изготовления технической оснастки, которые позволят в условиях ограниченных ресурсов малых и средних предприятий выпускать актуальную и конкурентоспособную продукцию.

Это не только позволит улучшить экономическую ситуацию, но и даст возможность своевременно реагировать на переменчивый потребительский спрос.

На предприятиях обувной промышленности ведется разработка и внедрение в производство, минимум, двух коллекций в течение одного года. Количество разрабатываемых моделей постоянно растет и в зависимости от масштаба производства может исчисляться сотнями. Для своевременной поставки готовой обуви конечному потребителю необходимо оперативное изготовление всех материалов и комплектующих продукции: кож, текстильных материалов, фурнитуры, подошв и других. Все изделия должны соответствовать текущим запросам, которые в большинстве случаев обусловлены модными тенденциями на предстоящий сезон.

Одним из самых затратных является производство формованных подошв. Проектирование пресс-форм для их изготовления начинают с определения внутренних размеров и контуров, которые впоследствии должны соответствовать следу колодки с отформованной на ней заготовкой верха обуви, так как это имеет особое значение при прикреплении формованных подошв к верху обуви. Для этого необходимо учитывать множество параметров, в том числе показатели усадки того или иного материала.

При изготовлении пресс-форм традиционным способом используют большое количество дорогостоящих металлорежущих и копировально-фрезерных станков. Несмотря на высокое техническое оснащение, доля ручного труда до сих пор остается значительной и достигает до 30% от общей трудоемкости.

Пресс-форма должна иметь необходимую прочность, выдерживать относительно высокие температуры, а также обеспечивать легкое освобождение готового изделия, без его повреждений. В пресс-форме изделие формируется давлением, под влиянием которого полимерный материал, например, полиуретановые композиции, заполняет весь внутренний объем.

В настоящее время изготовление пресс-формы состоит из нескольких этапов: разработка и получение в материале мастер-модели из модельного пластика с последующей ручной доработкой фактурных поверхностей, отливка по ней силиконовой формы, изготовление гипсовой мастер-модели, отливка по ней алюминиевой пресс-формы. Весь этот процесс занимает длительное время, изготовление и доработка пресс-формы может занимать месяцы.

Таким образом, существует необходимость разработки таких конструкций и технологий изготовления пресс-форм, которые позволят сократить издержки и повысить их эффективность по сравнению с традиционными пресс-формами.

Методы

За последнее десятилетие стоимость 3D-принтеров сократилась с нескольких десятков тысяч долларов до нескольких сотен и продолжает снижаться по мере развития отрасли быстрого прототипирования. Технологии 3D-печати являются наиболее перспективными, так как характеризуются простотой, универсальностью, эффективностью, а главное – высоким качеством готовых изделий.

В связи со всем вышеизложенным разрабатываемая методика проектирования и

изготовления технологической оснастки для производства формованных подошв основывается именно на 3D-технологиях, таких как 3D-моделирование и 3D-печать.

Разрабатываемая методика укрупненно разделена на три этапа.

- 1) разработка 3D-модели подошвы для дальнейшего проектирования экспресс-формы;
- 2) разработка 3D-модели экспресс-формы;
- 3) изготовление экспресс-формы.

Для дальнейшей работы над методикой необходимо ввести понятие "экспресс-форма".

Экспресс-форма – вид технологической оснастки, предназначенный для получения изделий различной конфигурации из полимерных материалов под действием давления, создаваемого на литьевых агрегатах. Отличительным признаком экспресс-формы является быстрое изготовление, например, при помощи 3D-печати, и высокая экономическая эффективность.

Традиционными материалами для изготовления пресс-форм являются алюминиевые сплавы, для которых характерна высокая удельная прочность, сочетающаяся с низкой плотностью. Благодаря этим особенностям возможно изготовление (отлив) деталей различной конфигурации без появления трещин.

Использование технологии 3D-печати подразумевает использование пластиков, которые в отличие от алюминия имеют более низкую температуру плавления (190...280°C против 500°C). В связи с этим проведена апробация технического решения – по аналогу эталонной алюминиевой пресс-формы изготовлена пробная экспресс-форма методом 3D-печати.

Результаты и обсуждения

Для изготовления формальной модели экспресс-формы все размеры эталонной пресс-формы (рис. 1) из алюминиевого сплава АК6МЗЦ перенесены в систему трехмерного моделирования КОМПАС-3D для последующего проектирования (рис. 2).



Рис. 1

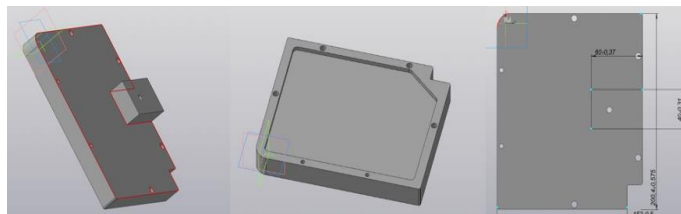


Рис. 2

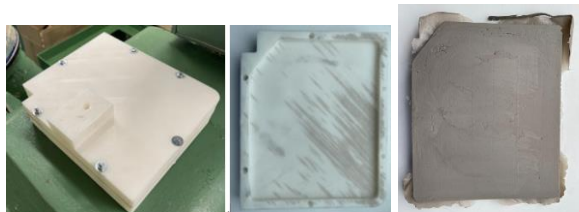


Рис. 3

Рис. 4

При помощи 3D-принтера с технологией FDM-печати изготовлена модель экспресс-формы (рис. 3) из пластика PLA+ фирмы ESUN, который является биоразлагаемым, биосовместимым, термопластичным, алифатическим полиэфиром и имеет хорошие физико-механические показатели. Следует отметить выполненные в процессе проведения апробации корректировки – в

связи с недостаточной жесткостью пластика увеличена толщина внешних стенок экспресс-формы относительно эталонной алюминиевой пресс-формы. Данное усиление ребрами жесткости дало возможность произвести заливку полиуретановой массы в экспресс-форму без ее деформирования.

Перед заливкой ПУ-смеси, внутреннюю поверхность экспресс-формы и эталонной алюминиевой пресс-формы при помощи распылителя обработали силиконовым каучуком. Далее при помощи литьевого агрегата осуществили впрыскивание ПУ-смеси в пресс-формы. После остывания залитого материала были измерены линейные размеры полученных экспериментальных отливок (рис. 4), результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Размеры, мм	Размеры внутренней полости эталонной пресс-формы	Размеры изделия из эталонной пресс-формы	% погрешности	Размеры внутренней полости экспресс-формы	Размеры изделия из экспресс-формы	% погрешности
Высота	180,0	179,0	0,55	180,0	176,0	2,22
Ширина	150,0	150,0	0	150,0	146,0	2,66
Толщина	6,0	6,0	0	6,0	6,0	0

Во время впрыскивания полиуретановой массы произошла небольшая деформация наружной и внутренней поверхности формальной модели экспресс-формы в месте примыкания сопла к литниковой втулке, что обусловлено высоким усилием прижатия литьевой головки агрегата к экспресс-форме и большой разницей температур в точке их контакта.

ВЫВОДЫ

По итогам апробации сделаны следующие выводы:

- при изготовлении экспресс-форм с помощью 3D-печати необходимо учитывать больший процент усадки в сравнении с алюминиевой пресс-формой;

- изготовленная экспресс-форма из пластика PLA+ требует доработок конструкции в месте примыкания впрыскивающего сопла литьевого агрегата, чтобы в дальнейшем избежать деформаций;

- необходима апробация экспресс-формы, изготовленной из более устойчивого к высокой температуре пластика, например, термоустойчивого пластика PC/ABS, а также из фотополимерной смолы методом SLS-печати.

1. Белько Т.В., Курбатова М.А. Дизайн одежды на основе технологии 3D-печати (FDM) // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 3. С. 170...175.
2. Алибекова М.И., Фирсова Ю.Ю., Кащеев О.В., Колташова Л.Ю. Аддитивные технологии в модной индустрии // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 3. С. 237...241.
3. Дорофеева А.М. Интеллектуальные права в эпоху 3D-принтеров: пример индустрии моды // Юридическая наука. – 2019, № 8. С. 26...30.
4. Минец В.В., Белицкая О.А. Применение аддитивных технологий при создании коллекций обуви и аксессуаров // Дизайн и технологии. – 2018, № 63 (105). С. 31...36.
5. Курбатова М.А., Нестеров С.А. Технологии прототипирования: 3D-печать в дизайне и искусстве // Школа университетской науки: парадигма развития. – 2020, № 1 (35). С. 94...96.
6. Дзелялов С.И. Поиск путей решения отдельных проблем создания моделей, изготавливаемых при использовании FDM-технологий 3D-печати // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2020, № 4 (70). С. 288...294.
7. Shahrubudin N., Lee T.C., Ramlan R. An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications // Procedia Manufacturing. – V.35, 2019. P. 1286...1296.
8. Syed A.M.T., Elias P.K., Amit B., Susmita B., Lisa O., Charitidis C. Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities // Materials today. – 1. 2017. P. 1...16.
9. Ugur M.D., Gharehpapagh B., Yaman U., Dolen M. The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0 // Procedia Manufacturing. – 11, 2017. P.545...554
10. Stansbury J.W., Idacavage M.J. 3D Printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities // Dental Materials. – 32, 2016. P.54...64
11. Baldassarre F., Ricciardi F. The Additive Manufacturing in the Industry 4.0 Era: The Case of an Italian FabLab // Journal of Emerging Trends in Marketing and Management. – 1 (1), 2017. P. 1...11.
1. Bel'ko T.V., Kurbatova M.A. Dizayn odezhdy na osnove tekhnologii 3D-pechati (FDM) // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 3. S. 170...175.
2. Alibekova M.I., Firsova Yu.Yu., Kashcheev O.V., Koltashova L.Yu. Additivnye tekhnologii v modnoy industrii // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 3. S. 237...241.
3. Dorofeeva A.M. Intellektual'nye prava v epokhu 3D-printerov: primer industrii mody // Yuridicheskaya nauka. – 2019, № 8. S. 26...30.
4. Minets V.V., Belitskaya O.A. Primenenie additivnykh tekhnologiy pri sozdanii kollektsey obuvi i aksessuarov // Dizayn i tekhnologii. – 2018, № 63 (105). S. 31...36.
5. Kurbatova M.A., Nesterov S.A. Tekhnologii prototipirovaniya: 3D-pechat' v dizayne i iskusstve // Shkola universitetskoy nauki: paradigma razvitiya. – 2020, № 1 (35). S. 94...96.
6. Dzhelyalov S.I. Poisk putey resheniya otdel'nykh problem sozdaniya modeley, izgotavlivaemykh pri ispol'zovanii FDM-tekhnologiy 3D-pechati // Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. – 2020, № 4 (70). S. 288...294.
7. Shahrubudin N., Lee T.C., Ramlan R. An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications // Procedia Manufacturing. – V. 35, 2019. P. 1286...1296.
8. Syed A.M.T., Elias P.K., Amit B., Susmita B., Lisa O., Charitidis C. Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities // Materials today. – 1. 2017. P. 1...16.
9. Ugur M.D., Gharehpapagh B., Yaman U., Dolen M. The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0 // Procedia Manufacturing. – 11, 2017. P. 545...554
10. Stansbury J.W., Idacavage M.J. 3D Printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities // Dental Materials. – 32, 2016. P. 54...64
11. Baldassarre F., Ricciardi F. The Additive Manufacturing in the Industry 4.0 Era: The Case of an Italian FabLab // Journal of Emerging Trends in Marketing and Management. – 1 (1), 2017. P. 1...11.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 29.09.21.

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

DIGITAL TWINS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN LIGHT INDUSTRY

Н.Н. ГУБАЧЕВ, Р.В. МОРОЗОВ, А.А. ГОРСКИЙ, Н.С. ОГУРЦОВА, И.С. БЕЛЯСОВ

N.N. GUBACHEV, R.V. MOROZOV, A.A. GORSKY, N.S. OGURTSOVA, I.S. BELYASOV

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: ogurtsova-ns@rguk.ru

В статье рассматривается концепция цифровых двойников как виртуального представления физического объекта, которая распространена уже более 30 лет, в том числе в космической отрасли. В последние годы в связи с тотальной цифровизацией промышленных предприятий наметился качественный скачок в развитии и применении данной технологии.

Благодаря компьютерным технологиям появилась возможность создания моделей цифровых двойников практически для любой отрасли, любого бизнеса и бизнес-процесса. В связи с этим возникла потребность в специалистах, способных работать с цифровыми платформами, создавать цифровую среду, а также в управленцах, понимающих процесс создания цифровых моделей и двойников, способных выявлять в производственном процессе области и задачи, в которых цифровые модели будут необходимым и эффективным решением.

The article deals with the concept of digital twins as a virtual representation of a physical object, which is widespread for more than 30 years, including the space industry. In recent years, due to the total digitalization of industrial enterprises there has been a qualitative leap in the development and application of this technology.

Thanks to computer technology there is an opportunity to create digital twin models for virtually any industry, any business and business process. In this regard, there was a need for specialists who are able to work with digital platforms, create a digital environment, as well as managers who understand the process of creating digital models and twins, able to identify areas and tasks in the production process, in which digital models will be essential and effective solution.

Ключевые слова: цифровой двойник, цифровая модель, промышленный интернет вещей, цифровизация легкой промышленности.

Keywords: digital twin, digital model, industrial internet of things, digitalization of light industry.

В современных условиях жесткой рыночной конкуренции побеждает тот участ-

ник рынка, кто находит преимущества и делает это быстрее других.

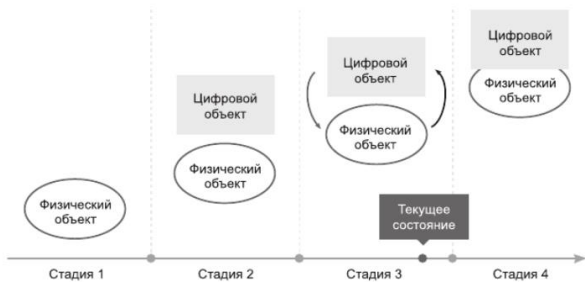


Рис. 1

Частью процесса принятия правильных решений в бизнесе, производстве, медицине, образовании, научных исследованиях, сельском хозяйстве и в других сферах деятельности человека является проверка гипотез, что всегда связано со значительными затратами ресурсов. Способом, существенно снижающим эти затраты, является использование цифрового близнеца, цифровой модели или цифрового двойника – математически-компьютерной модели, которая максимально близко копирует своего физического "брата", своего прототипа, путем виртуального воспроизведения реальных производственных процессов. На рис. 1 показана эволюция концепции цифровых двойников.

Первый этап соответствует периоду, когда физические объекты создавались без цифрового прототипа. Второй этап относится к периоду, когда искусственные объекты проектировались с помощью цифровой модели, которая использовалась только на стадии создания объекта. На третьем этапе начинается взаимодействие (обмен информацией) между физическим и цифровым двойниками. И, наконец, четвертый – характеризует сближение и "пересечение" физического и цифрового двойников, когда информационный обмен и обновление цифрового и физического двойников идет практически в реальном времени.

На рис. 2 представлена базовая концепция "Цифровой двойник".



Рис. 2

Появление цифровых двойников стало логичным результатом развития концепции цифрового производства и промышленного интернета вещей. Само понятие "цифровой двойник" достаточно новое, поэтому сегодня существуют различия в определении цифрового двойника между промышленными и научными кругами. Согласно промышленной интерпретации цифровой двойник представляет собой интегрированную модель готового продукта, который призван отражать все производственные дефекты и постоянно обновляться, чтобы учитывать износ продукции. Согласно научной интерпретации цифровой двойник описывается как цифровая модель физического объекта с поддержкой датчиков, которая имитирует объект в режиме реального времени. По сути, цифровой двойник можно определить как развивающийся цифровой профиль исторического и текущего поведения физического объекта или процесса, который помогает оптимизировать бизнес [2]. На рис. 3 показан процесс создания и использования цифровых двойников.

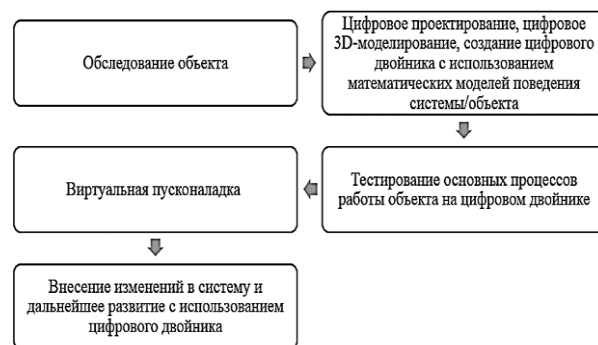


Рис. 3

Цифровой двойник может работать как в онлайн, так и в офлайн режимах. Информация, поступающая с реальных датчиков, сравнивается с показаниями виртуальных датчиков цифрового двойника, что позволяет выявлять аномалии и устанавливать причины их возникновения.

Цифровой двойник позволяет существенно расширить возможности облачных аналитических сервисов, используемых в концепции Промышленного Интернета Ве-

щей (IIoT = Industrial Internet of Things) четвертой промышленной революции [4].

На рис. 4 представлен процесс использования цифровых двойников.

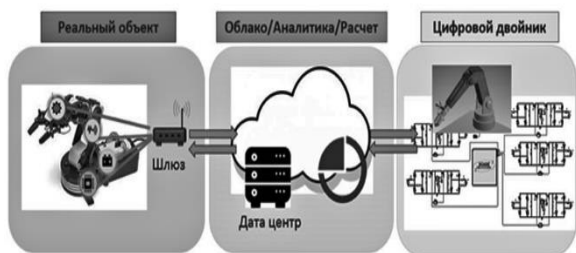


Рис. 4

Наиболее эффективным применение цифровых двойников является для продукции со следующими критериями:

- сопровождение продукции квалифицированным специализированным сервисом (контроль состояния, мониторинг, техническое сопровождение);
- длительный жизненный цикл изделия (более 5 лет);
- большое количество комплектов установленного оборудования;
- широкий диапазон и многообразие условий эксплуатации;
- труднодоступность изделия для проведения обслуживания.

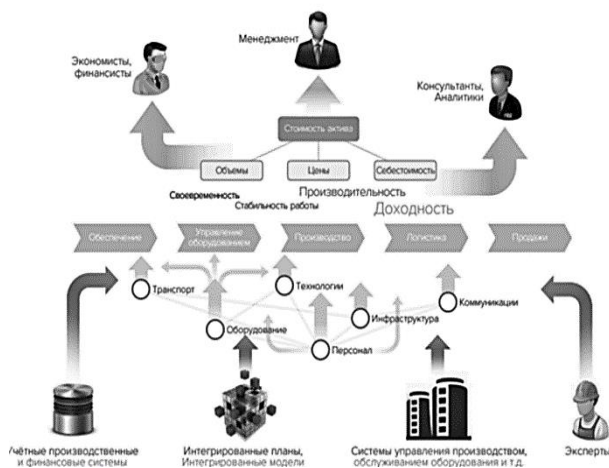


Рис. 6

Цифровой двойник как производственно-экономическая система включает в себя:

- оцифровка процессов цепочки создания стоимости (ЦСС);

- обеспечение единого унифицированного способа представления данных из всех ИТ-систем в рамках общей логики цифрового двойника;

- единая точка входа для всех потребителей управленческих данных (план-прогноз, факт, мониторинг, аналитика и т.д.);

- единое пространство коммуникаций всех участников (производство, обеспечение, экономика, финансы, менеджмент и т.д.) [1].

На рис. 5 показана производственно-экономическая система цифровых двойников.

Некоторые эксперты выделяют три типа двойников.

ДТР (прототип) – виртуальный аналог имеющегося в реальности физического объекта. Он включает в себя данные для всесторонней характеристики модели, в том числе информацию по его созданию в реальных условиях. Это требования к производству, трехмерная модель объекта, описание технологических процессов и услуг, требования к утилизации.

ДТИ (экземпляры) – данные по описанию физического объекта. Чаще всего содержат аннотированную трехмерную модель, данные о материалах, используемых в прошлом и настоящем времени, и компонентах, информацию о выполняемых процессах во всех временных отрезках, итоги тестов, записи о проведенных ремонтах, операционные данные, полученные от датчиков, параметры мониторинга.

ДТА (агрегированный двойник) – вычислительная система, которая объединяет все цифровые двойники и их реальные прототипы и позволяет собирать данные и обмениваться ими [3].

Крупные мировые компании активно используют технологии цифровых двойников. Например, GE (Дженерал Электрик) – лидер в технологии цифровых двойников. Для поиска трещин в работающих двигателях компания использует комбинацию аналитики на основе искусственного интеллекта и визуальных данных, получаемых с датчиков совсем маленьких роботов (размером со спичечный коробок). Инновационные камеры способны обнаруживать трещины даже на грязных или ржавых лопа-

стях турбин. Визуальные датчики на дронах выполняют проверку наличия коррозии в шахтах газосжигающих башен высотой 200 футов в местах нефтяных месторождений [5].

Tesla Motors – еще одна компания, активно инвестирующая в технологию цифровых двойников. Это делается с целью предоставления качественного сервиса и обеспечения высокого уровня безопасности владельцев автомобилей. Tesla создает цифровой двойник для каждого автомобиля, который она продает. Затем на основе сведений, собранных с датчиков индивидуальных транспортных средств, Tesla обновляет программное обеспечение и загружает новые версии в свои продукты. Выстроенный по такой схеме и основанный на данных процесс разработки программного обеспечения позволяет более эффективно распределять ресурсы внутри компании и наиболее удобен для пользователя автомобиля.

Компания Bosch на своих заводах сравнивает данные производственных датчиков с показателями цифрового двойника производственной линии, работающей на 100% эффективно. Выявляемые отклонения тут же подлежат отладке, а аварийные участки идентифицируются намного точнее и проще. Объединение двух "умных" производственных линий на 25% повысило производительность программы электронной стабильности и систем автоматической остановки [1].

Цифровые двойники также активно используются и российскими компаниями, такими как "Газпром Нефть", "МТС", "Мегафон", "Камаз" и т.д. [8].

Омский государственный технический университет совместно с испанской IT-компанией Senstile (Бильбао) работают над созданием технического решения, позволяющего осуществлять идентификацию и выбор текстильных материалов онлайн по цифровым двойникам. Это стало особенно актуально в период пандемии, когда появились проблемы с пересылкой образцов тканей, были приостановлены международные выставки, ограничены личные контакты.

В состав рабочей группы по реализации проекта "Формирование обучающей выборки для создания цифровых двойников текстильных материалов" вошла основатель компании Senstile Жанна Найманханова. В дальнейшем планируется привлечение к исследованию студентов в рамках дисциплины "Проектная деятельность" [6].

Для исследования требуется разработка комплекса устройств в виде сенсоров, способных "считывать" нужную информацию в виде характеристик или признаков с физических образцов материалов. Устройство должно уметь выбирать и интерпретировать считанные признаки, преобразуя их в формат цифрового двойника материала. Он представляет собой копию материала, которая содержит информацию о его характеристиках – цвете, составе, строении и другом.

Разработчиками проведен предварительный эксперимент, который показал, что сенсор успешно может распознать цвет, рисунок и геометрические характеристики материала, а разработанный алгоритм – построить 3D-модель и провести кластеризацию объектов. Для решения задачи распознавания материала используется машинное обучение, которое позволяет алгоритму научиться распознавать шаблоны, делать прогнозы и многое другое. Для решения этой задачи было отобрано 250 образцов различных текстильных материалов, отличающихся способом получения, сырьевым составом и строением [2].

Работа по идентификации, прогнозированию отдельных свойств материалов ведется давно разными научно-исследовательскими коллективами, но полноценного цифрового двойника, содержащего информацию обо всех характеристиках материала, пока не создано.

В Ы В О Д Ы

Проведенный нами анализ образцов показал, что практически все свойства текстиля зависят от его вида и сырьевого состава, показателей строения, поэтому мы определили следующие признаки распознавания материала: вид материала, перепле-

тение, поверхностная плотность, толщина, сырьевой состав и вид нити. Полученные данные необходимы для идентификации материала и обучения модели. Идентифицирующие признаки будут использованы и для будущих исследований свойств материалов. "Также будет определено, какие конкретно признаки и насколько точно сможет сенсор считывать, как алгоритм проклассифицирует материалы", – говорит заведующая кафедрой "Конструирование и технологии изделий легкой промышленности" ОмГТУ Маргарита Чижик.

Таким образом, следует сделать вывод, что с цифровыми моделями можно проводить широкий спектр опытных вариаций, проверять самые смелые гипотезы, их можно тестировать в различных условиях, проводя эксперименты в короткие сроки и с минимальными затратами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bolton R. N. et al. Customer experience challenges: bringing together digital, physical and social realms // J. of Service Management. – 2018. Vol. 29. P.776...808.
2. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Kahlen F. J., Flumerfelt S., Alves A. (Eds). Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Cham: Springer. – 2017. P. 85...113. DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7_4.
3. Mittal S., Khan M. A., Romero D., Wuest T. Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2019. Vol. 233(5). P. 1342...1361. DOI: 10.1177/0954405417736547.
4. Дозорцев В.М. Цифровые двойники в промышленности: генезис, состав, терминология, технологии, платформы, перспективы. – Часть 1. Возникновение и становление цифровых двойников. Как существующие определения отражают содержание и функции цифровых двойников? // Автоматизация в промышленности. – 2020, № 9. С. 3...11.
5. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / Научн. ред. проф. Боровков А.– М.: ООО "АльянсПринт", 2020.
6. Курганова Н.В., Филин М.А., Черняев Д.С., Шаклеин А.Г., Намиот Д.Е. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства // International Journal of Open Information Technologies. – 2019, №5. С.105...117.

7. Кокорев Д.С., Посмаков Н.П. Применение "Цифровых двойников" в производственных процессах // Colloquium-journal. – 2019, №26 (50).

8. Краснов Ф.В., Хасанов М.М. Цифровой двойник научной организации: подходы и методики // International Journal of Open Information Technologies. – 2019, №6.

9. Шпак П.С., Сычева Е.Г., Меринская Е.Е. Концепция цифровых двойников как современная тенденция цифровой экономики // Вестник ОмГУ. Серия: Экономика. – 2020, №1. С. 57...68.

10. Назаров В.Н. Цифровой двойник как субъект информационной этики // Этическая мысль. – 2020, №1. С. 142...154.

11. Фролова А.В., Копылова Л.Е. Цифровые двойники в высокотехнологичном производстве: новые инструменты цифровой экономики // Успехи в химии и химической технологии. – 2020, №1 (224). С. 32...34.

12. Yunussov M.B., Yessirkepova A.M., Mashirova T.N., Rysbayeva S.ZH., Sariyeva ZH.A. Peculiarities of formation of a personnel management model in the enterprises of the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, №3. P. 36...43.

REFERENCES

1. Bolton R. N. et al. Customer experience challenges: bringing together digital, physical and social realms // J. of Service Management. – 2018. Vol. 29. P.776...808.
2. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Kahlen F. J., Flumerfelt S., Alves A. (Eds). Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Cham: Springer. – 2017. P. 85...113. DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7_4.
3. Mittal S., Khan M. A., Romero D., Wuest T. Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2019. Vol. 233(5). P. 1342...1361. DOI: 10.1177/0954405417736547.
4. Dozortsev V.M. Tsifrovye dvoyniki v promyshlennosti: genezis, sostav, terminologiya, tekhnologii, platformy, perspektivy. – Chast' 1. Vozniknovenie i stanovlenie tsifrovyykh dvoynikov. Kak sushchestvuyushchie opredeleniya otrazhayut sodержание i funktsii tsifrovyykh dvoynikov? // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. – 2020, № 9. S. 3...11.
5. Prokhorov A., Lysachev M. Tsifrovoy dvoynik. Analiz, trendy, mirovoy opyt / Nauchn. red. prof. Borkovkov A.– M.: ООО "Al'yansPrint", 2020.
6. Kurganova N.V., Filin M.A., Chernyaev D.S., Shakleyn A.G., Namiot D.E. Vnedrenie tsifrovyykh dvoynikov kak odno iz klyuchevyykh napravleniy tsifrovizatsii proizvodstva // International Journal of Open Information Technologies. – 2019, №5. S.105...117.

7. Kokorev D.S., Posmakov N.P. Primenenie "Tsifrovyykh dvoynikov" v proizvodstvennykh protsessakh // Colloquium-journal. – 2019, №26 (50).

8. Krasnov F.V., Khasanov M.M. Tsifrovoy dvoynik nauchnoy organizatsii: podkhody i metodiki // International Journal of Open Information Technologies. – 2019, №6.

9. Shpak P.S., Sycheva E.G., Merinskaya E.E. Kontseptsiya tsifrovyykh dvoynikov kak sovremennaya tendentsiya tsifrovoy ekonomiki // Vestnik OmGU. Seriya: Ekonomika. – 2020, №1. S. 57...68.

10. Nazarov V.N. Tsifrovoy dvoynik kak sub"ekt informatsionnoy etiki // Eticheskaya mysl'. – 2020, №1. S. 142...154.

11. Frolova A.V., Kopylova L.E. Tsifrovye dvoyniki v vysokotekhnologichnom proizvodstve: novye instrumenty tsifrovoy ekonomiki // Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. – 2020, №1 (224). S. 32...34.

12. Yunussov M.B., Yessirkepova A.M., Mashirova T.N., Rysbayeva S.ZH., Sariyeva ZH.A. Peculiarities of formation of a personnel management model in the enterprises of the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, №3. P. 36...43.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 11.01.22.

УДК 678

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_339

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ 3D-ФОРМ НА ТЕКСТИЛЬНУЮ ПОДЛОЖКУ

TECHNOLOGY OF APPLICATION OF POLYMERIC 3D-PRINTED FORMS ON THE TEXTILE SUBSTRATE

А.Г. КУЗЬМИН, И.Н. ТЮРИН, Е.М. ГОЛУБЕВ, С.Ш. ТАШПУЛАТОВ, В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ

A.G. KUZMIN, I.N. TYURIN, E.M. GOLUBEV, S.SH. TASHPULATOV, V.S. BELGORODSKY

(Российский государственный университет
имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Россия,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),
Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan)

E-mail: cim@rguk.ru; Ssh61@mail.ru

Статья посвящена разработке новой технологии нанесения эластичных объемных принтов на текстильную подложку. Образцы из гибкого материала Filaflex изготовлены с применением 3D-принтера методом послойного наплавления (FDM). Определены оптимальные параметры фиксации пластичных образцов на ткань, а также проведен анализ нагрузки на раздираание. Установлен перечень технологических параметров, необходимых для получения 3D-принта на текстиле высокого качества. Применение данной технологии обладает широким спектром возможных областей применения: от получения декоративных элементов одежды до разработки изделий специального назначения (противоскользкие, армированные материалы).

The article is devoted to the development of a new technology for applying elastic volumetric prints on a textile substrate. Filaflex flexible specimens were fabricated using a Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printer. The optimal parameters of fixation of plastic samples on the tissue were determined, and an analysis of the tearing load was carried out. A list of technological parameters necessary to obtain

a 3D print on high quality textiles has been established. The use of this technology has a wide range of possible applications: from the production of decorative items of clothing to the development of special-purpose products (anti-slip, reinforced materials).

Ключевые слова: 3D-печать, filaflex, печать на ткани, технология печати на ткани, 3D-форма, объемный принт.

Keywords: 3D-printing, filaflex, printing on fabrics, technology of printing on fabrics, 3D-form, volumetric print.

Современные технологии декорирования текстильных изделий все чаще переплетаются с новыми цифровыми технологиями, как и способы нанесения цветной печати на ткани. Интеллектуальные инновации в данной сфере разделяются на несколько направлений развития: внедрение нового программного обеспечения и оптимизация, разработка оборудования, исследовательская деятельность [1].

Цифровая печать на ткани, как самый популярный метод декорирования текстильных изделий, активно развивается: разрабатываются более экологичные чернила, ведется работа над улучшением стабильности печати, а также повышается качество печати и уровень цветопередачи [2]. На сегодня лидерами в производстве широкоформатных принтеров для цифровой печати на ткани являются гиганты MIMAKI и Epson.

Мировая текстильная промышленность постепенно переходит на цифровую печать. К такому выводу пришли эксперты компании Epson Europe B.V. Как отмечают аналитики Epson Europe B.V [3], цифровой метод печати на текстиле более экологичный и менее энергозатратный. Общеизвестно, что сейчас на предприятиях фаст-фэшн приходится 10% от мирового выброса углекислого газа в атмосферу и 20% от мирового загрязнения воды. Обращение к цифре позволит сократить выброс CO₂ с 139 до 86 кг, а потребление H₂O во время процесса печати уменьшить на целых 27%.

Наряду с этим лидеры отрасли заинтересованы в создании принципиально новых технологий печати, особый интерес вызывает разработка технологии нанесения объемных форм на текстильные материалы [4].

Изготовление объемных форм уникальной геометрии стало перспективным с активным развитием технологий трехмерной печати различными способами и материалами. Исследователи ведут эксперименты с режимами нанесения, подбором оптимальных параметров печати, сочетают различные пластиковые материалы форм и текстиля. Так, широко известен метод термоподъема, применяемый в шелкографии. Метод заключается в добавлении в красочный слой специальной добавки (термо-порошок, ПУФФ), которая при последующей сушке вспучивает красочный слой, создавая незначительный эффект объемной печати. Слой краски с добавкой при этом приподнимается примерно на 0,5...1,5 мм.



Рис. 1

Менее известен новый метод получения объемных принтов на ткани – метод нанесения пластизольных букв и изображений на ткань (технология Flextran). Получение принта реализуется с помощью использования прессы, матриц, печки для формирования и закрепления принта, использования пластизолей в качестве расходного материала. Для изготовления изображения используются матрицы со специальными допол-

нительными элементами, помогающими создать контакт с тканью. Использование данной технологии позволяет получать принт высотой до 4 мм, что порой является недостаточным для реализации широкого спектра декоративных эффектов. На рис. 1 представлен объемный принт, нанесенный по технологии Flextran (<https://optprom.com.ua/flekstran-na-tkani/>).

В связи с этим актуально рассмотрение комбинаций сочетания аддитивных и текстильных технологий для получения 3D-принтов более широкого диапазона геометрических параметров [5].

В работе предложено рассмотреть использование аддитивных технологий трехмерной печати в качестве получения объемных принтов. Кроме технологических аспектов печати самих трехмерных объектов необходимо обладать точной информацией об оптимальных режимах и алгоритмах нанесения и закрепления 3D-объектов на текстильных материалах для получения 3D-принта с высокими показателями эстетических и эксплуатационных характеристик. Знание последовательности и температурных режимов позволит сформировать необходимый перечень информации для формирования методики получения 3D-принтов на текстильные материалы. В исследовании рассмотрена возможность закрепления трехмерных моделей из пластикового термопласта на ткань, а также определены оптимальные режимы нанесения.

В качестве образцов форм для закрепления на ткани использованы 3 модели: квадрат размером 20x20 мм, контур квадрата 20x20 мм с толщиной стенок 1,6 мм, контур квадрата 20x20 мм с толщиной стенок 3,2 мм. Высота каждой модели составляла 3 мм. Виртуальные формы созданы в САПР Autodesk Fusion 360 – программе для твердотельного и поверхностного (полигонального) 3d-моделирования [6]. Далее квадратные образцы изготовлены с помощью 3d-принтера, работающего по технологии послойного наплавления материала (FDM). В качестве материала печати выбран эластичный филамент Filaflex в виде прутка толщиной 1,75 мм, что является стандартом для принтеров данной технологии.

В связи с тем, что Filaflex является эластичным филаментом, конструкция 3d-принтера Creality Ender 3 PRO была доработана. Изначально устройство имело внешнюю подачу пластика, что приводило к замятию материала, вследствие чего установлен экструдер со встроенным редуктором для прямой бесперебойной подачи филамента [7].

Эксперимент проводился на образцах материала габардина, атласа и хлопка (табл. 1 – структурные характеристики используемых в эксперименте тканей). В табл. 2 представлены характеристики материала Filaflex.

Т а б л и ц а 1

Ткань	Габардин	Атлас	Хлопок
Состав	100% полиэстер	100% полиэстер	100% хлопок
Поверхностная плотность, г/м ²	320	250	150
Толщина ткани, мм	0,4	0,5	0,7
Вид переплетения	Саржевое	Атласное	Полотняное
Линейная плотность нити Т, текс	17,2	21,2	16,1
Плотность по горизонтали Пг, столбиков/ 10 см	70	56	42
Плотность по вертикали Пв, рядов/ 10 см	80	73	68

Т а б л и ц а 2

Параметры	Значение	Условия тестирования
Прочность на разрыв	39 мПа	-
Твердость по Шору	54 МПа	-
Относительное удлинение при разрыве	700%	Скорость растяжения образца 200 мм/мин
Остаточная деформация при сжатии	25%	Длительность сжатия: 72 ч при 23°C
Ударная вязкость	42%	-

Истираемость	30 мм ³	-
Прочность на отрыв	70 кН/м	Скорость растяжения образца 500 мм/мин
Модуль упругости при растяжении	48 МПа	Измерение при температуре 20°C
Модуль упругости при растяжении	33 МПа	Измерение при температуре 60°C
Плотность	1200 кг/м ³	-
Температура печати	220...260°C	-

В качестве способа фиксации образцов на текстильную подложку выбран способ термозакрепления при помощи плоского термопресса Adkins Studio Clam.

В рабочую область термопресса послойно фиксировались несколько материалов: первый слой занимала техническая трансферная пленка, на ней располагался образец термопласта, он покрывался фрагментом ткани, в качестве последнего слоя использовалась сублимационная бумага. Трансферная техническая пленка по умолчанию используется при нанесении термо-трансферных пленок на ткань, она предотвращает прилипание пластичного образца термопласта к основанию термопресса. Сублимационная бумага пориста по своей структуре и эффективно распределяет теп-

ло по своему объему, что необходимо для равномерного прогрева текстильной подложки [8]. Нанесение производилось с изменением ключевых параметров: давление верхней плиты термопресса (t_{ϕ}), рабочая температура фиксации, время термофиксации. Время фиксации всех образцов, за исключением №23...25, составляло 10 с, остальные были закреплены за 20 с. Термозакрепление образцов №1...27 осуществлялось при давлении 0,07 МПа, образцы №28...30 фиксировались при 0,04 МПа.

По результатам эксперимента получена таблица параметров с указанием дефектов образцов при нанесении термопластичных 3d-форм (табл. 3 – результаты исследования качества нанесения термопластичных 3d-форм на образцы тканей).

Таблица 3

№ п/п	t_{ϕ} , °C	Ткань	Изменение параметров образца	№	t_{ϕ} , °C	Фото образца	Изменение параметров образца
1	190	Габардин	Высокая адгезия Незначительная дефектность: утолщение основания на 0.8 мм	8	170	Габардин	Низкая адгезия Минимальная дефектность: утолщение на 0.3 мм
2	190	Атлас	Высокая адгезия Средняя дефектность: утолщение контура на 1.8 мм	9	170	Атлас	Низкая адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм
3	190	Хлопок	Высокая адгезия Высокая дефектность: Изменение формы контура, утолщение контура на 1.8 мм	10	200	Габардин	Высокая адгезия Средняя дефектность: утолщение контура на 1.6 мм
4	180	Габардин	Высокая адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.4 мм	11	200	Атлас	Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.1 мм
5	180	Атлас	Высокая адгезия Средняя дефектность: утолщение контура на 1.7 мм	12	200	Хлопок	Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.3 мм Уменьшение высоты на 0.8 мм
6	180	Хлопок	Высокая адгезия Высокая дефектность: Изменение формы контура, утолщение контура на 0.7 мм	13	210	Габардин	Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2 мм

7	170	Габардин	Низкая адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм	14	210	Атлас	Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.4 мм
15	210	Атлас	Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.6 мм Уменьшение высоты на 1 мм	23	170	Габардин	Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение основания на 1 мм
16	220	Хлопок	Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.2 мм	24	170	Атлас	Высокая адгезия Средняя дефектность: утолщение основания на 0.3 мм
17	220	Габардин	Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.6 мм Уменьшение высоты на 1.2 мм	25	180	Габардин	Высокая адгезия Средняя дефектность: утолщение основания на 0.5 мм
18	220	Атлас	Высокая адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм	26	180	Атлас	Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение основания на 1 мм
19	170	Хлопок	Средняя адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм	27	180	Хлопок	Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение основания на 1.2 мм
20	170	Габардин	Средняя адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм	28	190	Габардин	Высокая адгезия Низкая дефектность: утолщение основания на 0.1 мм
21	170	Атлас	Средняя адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм	29	190	Атлас	Высокая адгезия Низкая дефектность: утолщение основания на 0.1 мм
22	170	Хлопок	Высокая адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм	30	190	Хлопок	Высокая адгезия Низкая дефектность: утолщение основания на 0.1 мм

Ряд экспериментов позволил определить оптимальные параметры нанесения термопластичных форм из филамента Filaflex на образцы тканей (рис. 2 – пример достигнутого оптимального результата нанесения термопластичной формы (разработано авторами)). Оптимальная температура фиксации составила 190 °С, при пониженной температуре наблюдается снижение адгезии, в результате чего форма не закрепляется на ткани, повышенная температура приводит к изменению формы модели и утолщению основания. Давление при термофиксации должно быть в пределах 0,04...0,05 МПа, увеличение значений свыше 0,06 МПа приводит к деформации модели. Оптимальное время термозакрепления составляет 10...12 с.

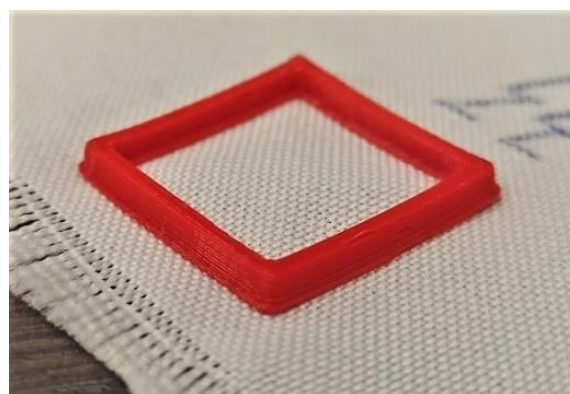


Рис. 2

Для определения прочностных характеристик нанесения эластичных 3d-форм на текстильные подложки произведен ряд испытаний на разрывной машине INSTRON 4411. Полосы шириной 15 мм

длиной 150 мм и высотой 3 мм распечатаны на 3d-принтере из филамента Filaflex и нанесены на подложку из габардина, хлопка и атласа способом термофиксации в температурных режимах от 100 до 250°C. Графики зависимости прочности на раздирание от температуры нанесения образца показаны на рис. 3...5 (рис. 3 – Атлас-Filaflex, рис. 4 – Хлопок-Filaflex, рис. 5 – Габардин-Filaflex) описывают 3 диапазона изменения прочности на раздирание в зависимости от температуры фиксации эластичных 3D-форм:

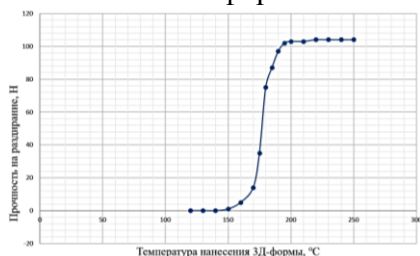


Рис. 3

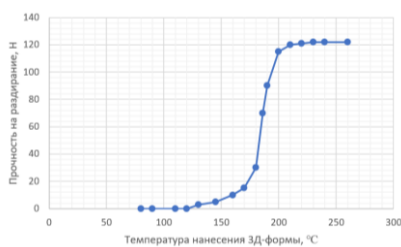


Рис. 4

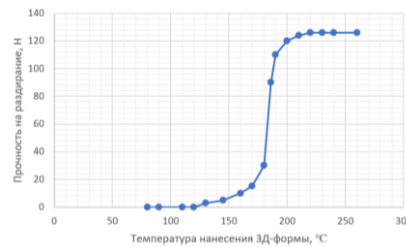


Рис. 5

Графики показывают различия в степени фиксации в зависимости от подложки. Атлас обладает меньшей адгезией к Filaflex, а габардин и хлопок имеют более высокие показатели прочности на раздирание в силу пористости материалов, что приводит к лучшему закреплению термопластичного материала.

При нанесении 3d-форм толщиной более 5 мм данным методом без вспомогательных решений могут наблюдаться заломы модели и образование дефектов. В качестве оснастки для корректной фиксации данных объектов использована оснастка – ответная модель, изготовленная из твердого пластика, например ABS, PETG или PLA (рис. 6).

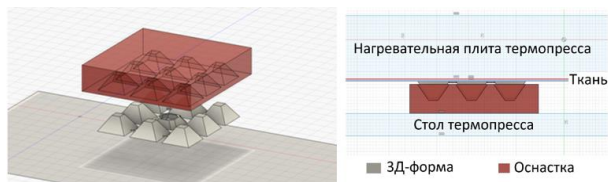


Рис. 6

Вспомогательная модель снижает давление на 3d-форму и предотвращает ее деформацию.

1. В диапазоне температур от 100 до 150°C наблюдается неудовлетворительная фиксация материала к текстильной основе;

2. В пределах температур от 150 до 195°C наблюдается позитивная динамика повышения сопротивления раздиранию 3D-формы от ткани-основы;

3. При температуре свыше 195°C замечен выход на плато сопротивления на раздирание. Максимальная прочность на раздирание составила 108 Н.

Для создания цифровой модели оснастки использован модификатор комбинирования с функцией резки в программе твердотельного моделирования Autodesk Fusion 360 [9]. В качестве основы смоделирован прямоугольный параллелепипед, модель вычитания (резки) соответствовала наносимой 3d-форме, которая моделировалась ранее для 3d-печати из Filaflex [10]. Произведен ряд экспериментов с использованием оснастки для фиксации форм высотой 10 и 6 мм (рис. 7). Нанесение производилось на образцы хлопковой ткани при температуре 190°C и давлении 0,04...0,05 МПа, время термофиксации составило 10 с.

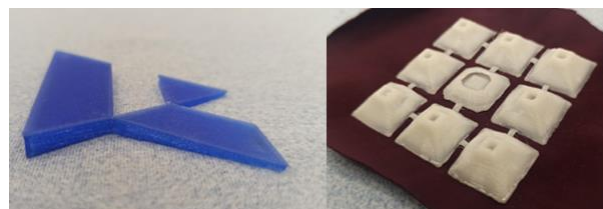


Рис. 7

ВЫВОДЫ

В результате ряда экспериментальных работ выявлены параметры нанесения,

обеспечивающие фиксацию 3D-форм из пластичного филамента Filaflex на текстильные подложки из габардина, атласа и хлопка. Оптимальная температура нанесения составила 190°C при давлении плиты термопресса 0,04...0,05 МПа и времени термофиксации 10 с. Разработан и апробирован метод нанесения 3D-форм высотой более 5 мм с использованием ответной модели-оснастки, обеспечивающий бездефектную фиксацию.

Применение разработанной технологии обладает широким спектром возможных областей применения [11], [12]: от получения декоративных элементов одежды до разработки изделий специального назначения (противоскользящие, армированные материалы).

ЛИТЕРАТУРА

1. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Analysis of innovative technologies of thermoregulating textile materials. // *Fibre Chemistry*. – 2018. Vol.50, №1. P.1...9.
2. Кузьмин А.Г., Фирсов А.В. Методика проектирования аксессуаров с использованием аддитивных технологий // В сб.: *Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2020)*. – М., 2020. С. 115...118.
3. Электронный ресурс: <https://textile-space.ru/catalog/business/tsifrovaya-pechat-na-tkani-virivaetsya-v- lideri>
4. Тюрин И.Н. Проектирование высокофункциональной одежды // В сб.: *Всероссийская научно-практическая конференция "ДИСК-2018"*. – 2018. С.85...87.
5. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. The finite element modelling of compression sportwear // В сб.: *AUTEX 2019. Proceedings of the 19th World Textile Conference*. – 2019. P. 0366.
6. Кузьмин А.Г., Фирсов А.В. Методика цифрового проектирования аксессуаров с применением послойной 3D-печати // В сб.: *Дизайн и искусство - стратегия проектной культуры XXI века*. – М., 2019. С. 159...161.
7. Jafferson J.M., Sabareesh M.C., Sidharth B.S. 3D printed fabrics using generative and material Driven design // *Materialstoday: Proceedings*. 2021.
8. Jack Forman, Mustafa Doga Dogan, Hamilton Forsythe, Hirishi Ishii. 3D Printing Quasi-Woven Fabric via Under-Extrusion // *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. – 2020. 1222-1233.
9. Haruki Takahashi, Jeeun Kim. 3D Printed Fabric: Techniques for Design and 3D Weaving Programmable Textiles // *Proceedings of the 32nd Annual ACM*

Symposium on User Interface Software and Technology. – 2019. 43...51.

10. Lehmann A., Ehrmann A., Finsterbusch K. Optimization of 3D printing with flexible materials, Aachen-Dresden-Denkendorf International Textile Conference, 2017.

11. Лунина Е.В., Степанищева А.Н., Таушпулатов С.Ш., Сармтарова Л.Т., Ералиева М.Ж. Способ изготовления швейных изделий с композиционными усилительными элементами // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2019, № 5. С. 173...177.

12. Nutfullaeva L.N., Plekhanov A.F., Shin I.G., Tashpulatov S.SH., Cherunova I.V., Nutfullaeva SH.N., Bogomolov E.A. Research of conditions of formation package and ensure the safety of the pillows from composite nonwoven fibers materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2019, № 2. P. 95...101

REFERENCES

1. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Analysis of innovative technologies of thermoregulating textile materials. // *Fibre Chemistry*. – 2018. Vol.50, №1. P.1...9.
2. Kuz'min A.G., Firsov A.V. Metodika proektirovaniya aksessuarov s ispol'zovaniem additivnykh tekhnologiy // V sb.: *Innovatsionnoe razvitie tekhniki i tekhnologiy v promyshlennosti (IN-TEKS-2020)*. – М., 2020. S. 115...118.
3. Elektronnyy resurs: <https://textile-space.ru/catalog/business/tsifrovaya-pechat-na-tkani-virivaetsya-v- lideri>
4. Tyurin I.N. Proektirovanie vysokofunktsional'noy odezhdy // V sb.: *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "DISK-2018"*. – 2018. S.85...87.
5. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. The finite element modelling of compression sportwear // V sb.: *AUTEX 2019. Proceedings of the 19th World Textile Conference*. – 2019. P. 0366.
6. Kuz'min A.G., Firsov A.V. Metodika tsifrovogo proektirovaniya aksessuarov s primeneniem posloynoy 3D-pechati // V sb.: *Dizayn i iskusstvo - strategiya proektnoy kul'tury XXI veka*. – М., 2019. S. 159...161.
7. Jafferson J.M., Sabareesh M.C., Sidharth B.S. 3D printed fabrics using generative and material Driven design // *Materialstoday: Proceedings*. 2021.
8. Jack Forman, Mustafa Doga Dogan, Hamilton Forsythe, Hirishi Ishii. 3D Printing Quasi-Woven Fabric via Under-Extrusion // *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. – 2020. 1222-1233.
9. Haruki Takahashi, Jeeun Kim. 3D Printed Fabric: Techniques for Design and 3D Weaving Programmable Textiles // *Proceedings of the 32nd Annual ACM*
10. Lehmann A., Ehrmann A., Finsterbusch K. Optimization of 3D printing with flexible materials, Aachen-Dresden-Denkendorf International Textile Conference, 2017.

chen-Dresden-Denkendorf International Textile Conference, 2017.

11. Lunina E.V., Stepanishcheva A.N., Tashpulatov S.Sh., Sarttarova L.T., Eralieva M.Zh. Sposob izgotovleniya shveynykh izdeliy s kompozitsionnymi usilitel'nymi elementami // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 5. S. 173...177.

12. Nutfullaeva L.N., Plekhanov A.F., Shin I.G., Tashpulatov S.SH., Cherunova I.V., Nutfullaeva SH.N., Bogomolov E.A. Research of conditions of formation

package and ensure the safety of the pillows from composite nonwoven fibers materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 2. P. 95...101.

Рекомендована кафедрой энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 06.04.22.

УДК 691.175.2

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_346

ЭПОКСИДНЫЙ КОМПОЗИТ С УГЛЕРОДНЫМИ СТРУКТУРАМИ В АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

EPOXY COMPOSITE WITH CARBON STRUCTURES IN ADDITIVE TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING PRODUCTS FOR THE TEXTILE INDUSTRY

B.T. EPOFEEV, T.F. ELCHISHCHEVA, M.V. MAKARCHUK

V.T. EROFEEV, T.F. ELCHISHCHEVA, M.V. MAKARCHUK

(Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Тамбовский государственный технический университет)

(National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev,
Tambov State Technical University)

E-mail: al_rodin@mail.ru; elschevat@mail.ru; energ-lab@yandex.ru

Исследования по применению терморезистивных полимеров в аддитивной технологии показывают потенциал их применения с более высокими физико-механическими показателями за счет включения в состав материала конструкционных и функциональных наполнителей. Такие материалы с успехом могут использоваться в текстильной промышленности при изготовлении пресс-форм для получения различных изделий, что позволяет экономить значительные средства. Проведены исследования наноструктурного углеродного материала в качестве наполнителя эпоксидной основы для обеспечения технологических свойств, необходимых при 3D-печати. Изучены физико-механические свойства композитов. Получены рациональные составы композитов на основе эпоксидной смолы с наноструктурными углеродными волокнами и дисперсным наполнителем (наноглиной) для применения в аддитивной технологии при изготовлении пресс-форм. Прочность на изгиб образцов из разработанного композита сопоставима с прочностью литой чистой эпоксидной смолы (около 80 МПа), что свидетельствует о большом потенциале применения разработанного материала при 3D-печати для изготовления конструктивных элементов различного назначения.

Studies on the use of thermosetting polymers in additive technology show the potential for their use with higher physical and mechanical properties due to the inclusion of structural and functional fillers in the composition of the material. Such materials can be successfully used in the textile industry in the manufacture of molds for various products, which allows significant savings. Studies have been carried out on a nanostructured carbon material as an epoxy base filler to provide the technological properties required for 3D printing. The physico-mechanical properties of the composites have been studied. Rational compositions of composites based on epoxy resin with nanostructured carbon fibers and a dispersed filler (nanoclay) for use in additive technology in the manufacture of molds have been obtained. The bending strength of samples from the developed composite is comparable to the strength of cast pure epoxy resin (about 80 MPa), which indicates a great potential for the use of the developed material in 3D printing for the manufacture of structural elements for various purposes.

Ключевые слова: аддитивные технологии, полимерные материалы, эпоксидный композит, пресс-форма, углеродные наноструктуры, 3D-печать, физико-механические показатели, наполнители для полимеров, термореактивные смолы.

Keywords: additive technologies, polymer materials, epoxy composite, press form, carbon nanostructures, 3D printing, physical and mechanical properties, fillers for polymers, thermosetting resins.

Введение

Исследования в области аддитивных технологий с применением композитов на основе полимеров в последние годы вызывают активный интерес у группы исследователей [1...4]. Методологии расчета и прогнозирования свойств композиционных материалов посвящены многочисленные работы [5...16]. Основной задачей в аддитивной технологии является разработка новых композитных материалов с улучшенными физико-механическими и технологическими свойствами. Для изготовления полимерных композиционных материалов используются термопластичные и термореактивные связующие. При создании термопластичных композитов исследователи решают проблему низких физико-механических показателей таких распространенных полимеров, как акрилонитрил-бутадиенстирол $C_{15}H_{17}N$ (ABS), полилактид $C_3H_6O_3$ (PLA) и др. Например, изделия, напечатанные на 3D-принтере из термопластических материалов, обладают слабой связью между отдельными слоями [17...19]. При этом указанная связь может снижаться при добавлении волокон и других конструкци-

онных наполнителей [17], [18]. Кроме того, FDM-технологии присуще коробление готовых изделий вследствие температурных градиентов и напряжений, возникающих во время 3D-печати [20], [21].

В последнее время наблюдается значительное улучшение физико-механических характеристик термопластичных материалов, применяемых в аддитивных технологиях. Однако термореактивные полимерные материалы являются более перспективными в качестве исходных материалов для аддитивной технологии. Это связано с их высокой прочностью, жесткостью, химической стойкостью, термическими свойствами и совместимостью с существующими конструкционными и функциональными наполнителями [22...26]. Термореактивные полимерные материалы могут применяться в текстильной промышленности в качестве материалов для пресс-форм при изготовлении различных изделий. Это представлено в следующих материалах: "Патент СССР № 169252. Эпоксидно-графитовая смесь для изготовления пресс-форм, 1965 г." и "Патент РФ №2604285 Способ изготовления пресс-формы из мате-

риала с термостойкой полимерной матрицей, 2016 г.". Такие пресс-формы имеют весьма низкую стоимость по сравнению с традиционными, изготавливаемыми из алюминия, что важно для производства малых серий изделий [27]. Различные виды таких изделий могут быть весьма перспективны в практике использования в швейном производстве [28].

Разработка термореактивного материала для аддитивной технологии находится в самом начале, но приведенные выше наименования материалов показывают пример большого потенциала для создания новых полимеров, которые позволяют выполнять 3D-печать высокопрочных многофункциональных компонентов и устройств.

Технология 3D-печати подразумевает использование сопла с ограниченным диаметром, что предъявляет ряд требований к применяемому исходному материалу в части нужных реологических свойств и соотношения геометрических размеров наполнителя в связующем с диаметром сопла.

Особенностью термореактивного материала для аддитивной технологии является повышение требований к наполнителям, которые выполняют двойную роль, придавая как желаемые реологические свойства материалу при 3D-печати, так и требуемые физико-механические свойства напечатанному отвержденному изделию.

Наиболее часто для регулирования свойств в качестве многофункционального загустителя эпоксидного композита, применяемого для 3D-печати, используют диоксид кремния [25...29] или наноглину [22], [26]. В данной работе была исследована возможность использования полученного авторами ранее углеродного наноструктурного материала (УНСМ) с высоким коэффициентом формы, в виде трубок, скрученных из пластинок [29].

Разработан композит [26] на основе эпоксидной смолы с заполнением коротким углеродным волокном и наноглиной. Авторы работы [24] изготовили образцы с модулем упругости до 57 ГПа вдоль направления печати образцов и прочностью до 100 МПа – поперек направления печати образ-

цов (температура стеклования полимера составляла до 160°C).

В то же время обнаружено, что композит, содержащий только УНСМ, не обладает достаточно высоким пределом текучести при сдвиге для обеспечения возможности 3D-печати объектов [29...32]. Предварительные исследования показали, что добавление небольшого количества наноглины устраняет этот недостаток. Оптимизация состава эпоксидного композита, содержащего в своем составе в качестве наполнителя одновременно наноструктурный углерод и наноглину по реологическим и физико-механическим свойствам, дает возможность применения разработанного композита для 3D-печати.

Целью работы является исследование и разработка состава эпоксидного композита, эффективного для изготовления изделий методом 3D-печати. В процессе исследования было необходимо решить следующие задачи.

1. Обосновать эффективность использования в качестве наполнителя в эпоксидных композициях наноструктурных углеродных волокон и дисперсной наноглины.

2. Провести исследования композитов, а именно выявить влияние скорости сдвига на динамическую вязкость, использованную в работе в качестве вяжущего, эпоксидной смолы марки DER -330 и изучить с помощью электронного микроскопа структуру углеродного наноструктурного материала.

3. Выявить влияние количественного содержания углеродного наноструктурного материала и наноглины на динамическую вязкость полимерных композиций.

4. Получить зависимости изменения эффективной вязкости и скорости сдвига полимерных композиций от количественного содержания добавок углеродного наноструктурного материала и наноглины.

5. Исследовать прочность при изгибе и модуль упругости литых и послойно сформированных образцов.

Материалы и методы

В качестве материалов для исследования использовались: эпоксидная смола DER-330 (диглицидиловый эфир бисфе-

нола А, DGEBA); медленный отвердитель FCH-S, произведенные фирмой The Dow Chemical Company (Германия); полученный авторами [29] углеродный наноструктурный материал (УНСМ) в виде трубок, скрученных из пластинок; наноглина, в виде пластинок Garamite 7305 (ВУК, Германия) – для введения в композит с целью дальнейшего изменения реологических свойств эпоксидной смолы и улучшения характеристик композита для 3D-печати.

Компоненты смешивались с использованием магнитной мешалки MSH-300 (Biosan, Латвия). Все составы содержали 10,0 г смолы и 3,3 г отвердителя. В работающий смеситель с эпоксидной смолой поочередно добавлялись отвердитель, УНСМ и наноглина. Длительность перемешивания каждого компонента составляла 2 мин, что позволило обеспечить получение однородной смеси.

Структура УНСМ исследовалась с помощью электронного микроскопа ЭМВ-100А (ОАО "SELMI", Украина).

Реологические свойства составов измерялись при нормальных условиях окружающей среды с использованием ротационного вискозиметра REOTEST RV2.1 (VEB MLW, Германия) с рабочим узлом "цилиндр–цилиндр" в диапазоне концентраций 0,5...20,0%. Диапазон скорости сдвига составлял 0,3...1312 с⁻¹.

Полученные композиции загружались в цилиндрические шприцы объемом 10 см³. Для удаления пузырьков воздуха, которые могли попасть в шприцы в процессе загрузки материала, они помещались на поверхность вибропривода ВП-30Т (производство завода "ВИБРОТЕХНИК", Россия) на 5 мин.

Образцы изготавливались в силиконовых формах двумя способами. При первом способе изготовления на шприцы устанавливали наконечники с диаметром сопла 1,067 мм, затем производилось послойное формирование образцов из композиций непосредственно в форме. Второй способ заключался в отливании композитных составов в формы.

Проверка работоспособности технологии 3D-печати проводилась на принтере

FlyingBear Ghost 5 (Китай) при помощи устройства, представленного на рис. 1 (автоматический шприцевой дозатор, установленный на 3D-принтер: а – устройство автоматического шприцевого дозатора (<https://www.thingiverse.com/thing:482873/makes>); б – опытный образец (состав: 15% УНСМ; 2% наноглина) для испытаний на изгиб; в – микроскопическая структура образца; г – укладка материала в образце). Настройки параметров печати производились в программе Cura экспериментальным путем.

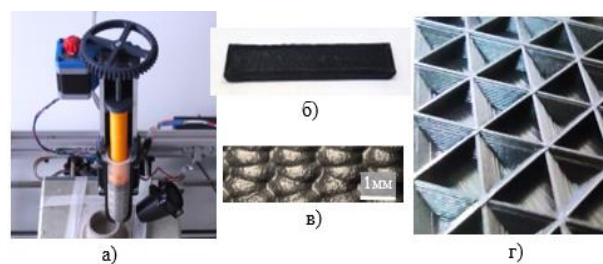


Рис. 1

Образцы обоих видов выполнялись с размерами 61×12×3,2 мм. Твердение образцов проходило в сушильном шкафу ШСУ-М1 (производство НПО Лаборкомплект, Россия) в два этапа при двух температурных режимах: сначала – в течение 24 ч при 100°С, затем – в течение 2 ч при 220°С.

Перед проведением измерений образцы очищались ацетоном. Проводились испытания трех образцов каждого состава. Испытания на изгиб выполнялись при комнатной температуре на универсальной испытательной машине УТС 101-5-1-У (производство ТЕСТСИСТЕМЫ, Россия). В соответствии с ГОСТ Р 56810-2015 "Композиты полимерные. Метод испытания на изгиб плоских образцов" регламентируются размеры пролета образца в зависимости от его толщины. При толщине, большей 1,6 мм, пролет между опорами должен быть в 16 раз больше толщины образца (допуск ±1 раз). Поэтому при испытании на изгиб размер пролета между опорами принимался 51 мм, а скорость ползуна – 1,3 мм/мин.

Для обработки результатов измерений применялись стандартные методы математической статистики.

Результаты и обсуждения

Основные сведения об углеродном наноструктурном материале приведены в работах [26], [29]. На рис. 2 представлено фото углеродного наноструктурного материала (УНСМ), полученное при помощи электронного микроскопа при увеличении 40000X.

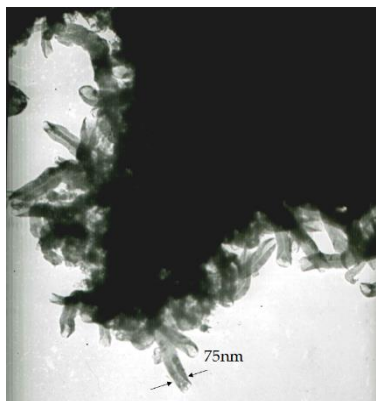


Рис 2

Углеродный наноструктурный материал представляет собой однослойные скрученные нанотрубки диаметром ≈ 75 нм и длиной ≈ 300 нм, полученные осаждением в вакууме атомарного углерода на медную подложку. По данной технологии синтезируются свернутые нанотрубки с оборванными энергетическими связями по краю плоскости, образующей трубки.

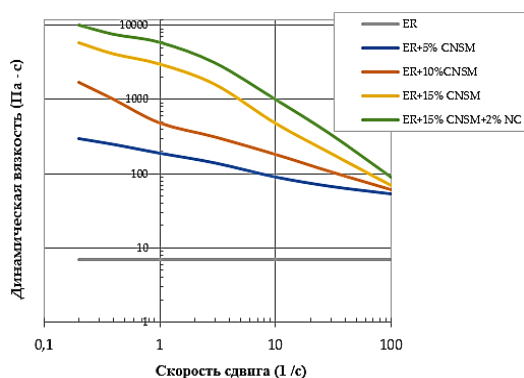


Рис. 3

Для оценки перспективы выполненных исследований предварительно были проведены реологические измерения для чистой эпоксидной смолы и смеси, содержащей смолу и 10 % УНСМ. График зависимости динамической вязкости от скорости сдвига

для образцов показан на рис. 3 (графики зависимости динамической вязкости от скорости сдвига для эпоксидной смолы (ER) без добавок и для смолы, содержащей различное количество УНСМ (CNSM) и наноглины (NC)).

Как видно из рис. 3, динамическая вязкость чистой смолы практически не зависит от скорости сдвига, что указывает на ее, преимущественно, ньютоновское поведение при исследовании.

Вязкость полимерной композиции изменяется под воздействием вводимого отвердителя. На определенной стадии процесса жидкость становится вязкотекучей, потом высокоэластической и, наконец, приобретает свойства твердого тела. Продолжительность формирования каждой системы в эпоксидном материале, в основном, определяется скоростью протекания химических процессов.

В зависимости от вида и условий формирования изделий при аддитивных технологиях требуются композиции различных консистенций: жидкие, вязкие, пастообразные. Вышеуказанные переходы в реологических состояниях осуществляются посредством введения растворителей и наполнителей. Наполненные составы по своему реологическому поведению существенно отличаются от ньютоновских жидкостей. Известно, что наиболее типичными в этом случае являются пластические и псевдопластические течения.

Дальнейшие исследования проводились для образцов с содержанием УНСМ в композите – 5, 10 и 15 % по массе. Добавление УНСМ привело к увеличению вязкости при всех исследованных скоростях сдвига. Графики зависимости динамической вязкости от скорости сдвига представлены на рис. 3. Динамическая вязкость при скорости сдвига $2 \cdot 10^{-2}$ 1/с для различных составов составила соответственно: $8 \cdot 10^2$ Па·с при добавке 5 % по массе УНСМ; $8 \cdot 10^3$ Па·с при добавке 10% по массе УНСМ; $2 \cdot 10^4$ Па·с при добавке 15 % по массе УНСМ. Как видно, разжижение при сдвиге увеличивалось с увеличением содержания УНСМ. Однако динамическая вязкость при скоростях сдвига, характерных для тех, которые

испытывают композиты во время экструзии при 3D-печати (~50 л/с), увеличивалась при добавке в образец УНСМ в количестве 5 % по массе, только с 60 Па·с до 100 Па·с – для образцов с добавкой УНСМ 15 % по массе.

Добавление 15% по массе УНСМ вместе с 2% по массе наноглины увеличивало динамическую вязкость при всех скоростях сдвига, но не влияло на свойства разжижения при сдвиге. Положительным результатом является значительное увеличение текучести при сдвиге. При этом не требуется чрезмерного рабочего давления при выдавливании материала из шприца, что позволяет наносить вязкий композит через тонкие сопла.

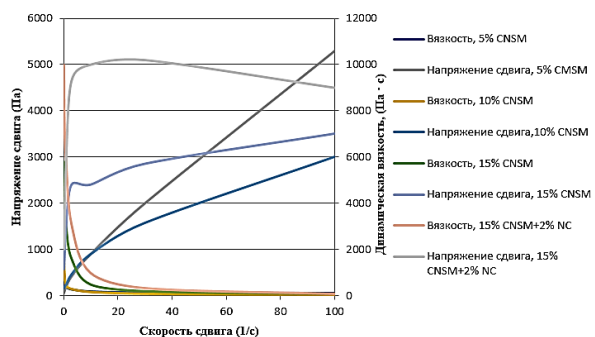


Рис. 4

Изменение напряжения сдвига в зависимости от скорости сдвига показано на рис. 4 (графики зависимости эффективной вязкости и скорости сдвига от напряжения сдвига для смолы, содержащей различное количество УНСМ (CNSM) и наноглины (NC)). Данные графики позволяют понять, насколько полно будет сохранять свою форму изделие после нанесения композита по аддитивной технологии. При содержании 5 % УНСМ, а также 10 % УНСМ напряжение сдвига линейно возрастает с ростом скорости сдвига, что указывает на то, что эти составы демонстрируют поведение, подобное жидкости. Однако состав с 15 % УНСМ показал предел текучести при сдвиге 500 Па. При напряжениях ниже предела текучести этот состав демонстрирует твердые свойства, которые необходимы для аддитивной технологии. Поэтому дальней-

шие исследования проводили с данным составом. Добавление к этому составу 2% наноглины значительно увеличило предел текучести материала – до 1000 Па.

Результаты испытания образцов на изгиб приведены на рис. 5 (модуль упругости и прочности при изгибе литых и послойно сформированных образцов).

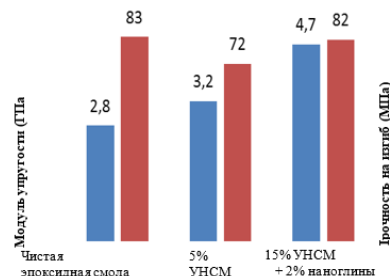


Рис. 5

Из рис. 5 следует, что литая чистая эпоксидная смола имеет модуль упругости при изгибе 2,8 ГПа и прочность на изгиб 83,0 МПа. Отлитые образцы с добавкой 5 % по массе УНСМ показали модуль упругости при изгибе 3,2 ГПа и прочность на изгиб 72,0 МПа. Эти показатели отличаются соответственно на 50,0 и (-13,3) %, от показателей образцов из чистой смолы. При послойном формировании образцов композит с содержанием 15 % по массе УНСМ и 2 % по массе наноглины показал модуль упругости при изгибе 4,7 ГПа и прочность на изгиб 82,0 МПа. Эти показатели отличаются соответственно на 100,0 и (-1,2) % от показателей образцов из чистой смолы, изготовленных методом литья.

ВЫВОДЫ

В работе изучено влияние добавки УНСМ на реологические свойства композиций, изготовленных на основе эпоксидной смолы и отвердителя, а также смесей, состоящих из эпоксидной смолы, отвердителя и наноглины. Исследования позволили выявить составы композитов, которые могут применяться в аддитивной технологии для изготовления пресс-форм, применяемых в текстильной промышленности для изготовления различных изделий. Резуль-

таты показывают, что углеродный наноструктурный материал улучшает свойства композиций, что позволяет его использовать в качестве модификатора для регулирования характеристик эпоксидной смолы и применять ее для 3D-печати. Выявлено, что использование в качестве модификатора только УНСМ недостаточно для того, чтобы композит можно было применять для 3D-печати изделий большого размера. Этот недостаток компенсируется добавлением в состав композиции 2% по массе наноглины, благодаря которой увеличивается предел текучести композита при сдвиге, что позволяет печатать изделия больших размеров. Прочность образцов, изготовленных по аддитивной технологии из разработанного композита, сопоставима с прочностью образцов, изготовленных методом литья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Parandoush P., Lin D. A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites // *Composite Structures*. – 2017, №182. P. 36...53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruc.2017.08.088>.
2. Hofstetter T., Pedersen D.B., Tosello G., Hansen H.N., Reinf J. State-of-the-art of fiber-reinforced polymers in additive manufacturing technologies // *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. – 2017, 36(15). P. 1061...1073. DOI:10.1177/0731684417695648.
3. Farahani R.D., Dubé M., Therriault D. Three-dimensional printing of multifunctional nanocomposites, manufacturing techniques and applications // *Advanced Materials*. – 2016, 28, P. 5794...5821. <https://doi.org/10.1002/adma.201506215>.
4. Wang X., Jiang M., Zhou Z., Gou J., Hui D. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective // *Composites. Part B: Engineering*. – 2017, 110(1). P. 442...458. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.034>.
5. Балашиов А.Б. Методология расчета свойств композиционных материалов на основе 3D-тканых структур с использованием воксельного подхода // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2021, № 4. С. 195...203. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_4_195.
6. Черунова И.В., Сирота Е.Н., Таушупатов С.Ш., Махмудова Г.И., Зуфарова З.У., Черунов П.В., Сабирова З.А. Исследование влияния пористости на теплопроводность однослойных вспененных материалов типа "Неопрен" // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2021, № 3. С. 75...80. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_75.
7. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козомазов В.М. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем. – СПб.: Наука, 2012.

8. Гусев Б.В., Кондращенко В.И., Маслов Б.П., Файвусович А.С. Формирование структуры композиционных материалов и их свойства. – М.: Научный мир, 2006.
9. Кристенсен Р.М. Введение в механику композитов. – М.: Мир, 1982.
10. Промышленные полимерные композиционные материалы / Пер. с англ. / Под ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1980.
11. Белов В.В., Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Максимова И.Н., Меркулов Д.А. Компьютерное моделирование и оптимизирование составов композиционных строительных материалов. – М.: Изд-во АСВ, 2015.
12. Ванин Г.А. Микромеханика композиционных материалов. – Киев: Наукова думка, 1985.
13. Eroffeev V., Tyuryakhin A., Tyuryakhina T. Flat space of values of volume module of grain composite with spherical fill-lem // *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. – 2019, 8. P.333...342.
14. Ерофеев В.Т., Тюряхин А.С., Тюряхина Т.П. Система упорядоченных подмножеств значений объемного модуля полидисперсных композитов со сферическими включениями. Строительные материалы и изделия // *Изв. вузов. Строительство*. – 2019, № 6. С. 5...17.
15. Ерофеев В.Т., Тюряхин А.С., Тюряхина Т.П., Тиньгаев А.В. Эффективные модули двухфазных строительных композитов с зернистым наполнителем. Расчет и проектирование строительных конструкций // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. – 2019. Т. 15, № 6. С.407...414.
16. Ерофеев В.Т., Тюряхин А.С., Тюряхина Т.П. Множества вилок Фойгта–Рейса и трезубцев Фойгта–Рейсса. Расчет и проектирование строительных конструкций // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. – 2020. Т.16, № 5. С. 323...333.
17. Duty C.E., Kunc V., Compton B., Post B., Erdman D., Smith R., Lind R., Lloyd P., Love L. Structure and mechanical behavior of Big Area Additive Manufacturing (BAAM) materials // *Rapid Prototyping Journal*. – 2017, 23(1), P. 181...189. <https://doi.org/10.1108/RPJ-12-2015-0183>.
18. Kishore V., Ajinjeru C., Nycz A., Post B., Lindahl J., Kunc V., Duty C. Infrared reheating to improve interlayer strength of big area additive manufacturing (BAAM) components // *Additive Manufacturing*. – 2017, №14. P. 7...12. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.11.008>.
19. Sun Q., Rizvi G., Bellehumeur C., Gu P. Effect of processing conditions on the bonding quality of FDM polymer filaments // *Rapid Prototyping Journal*. – 2008, 14. P. 72...80. <https://doi.org/10.1108/13552540810862028>.
20. Compton B.G., Post B.K., Duty C.E., Love L., Kunc V. Thermal analysis of additive manufacturing of large-scale thermoplastic polymer composites // *Additive Manufacturing*. – 2017, 17. P. 77...86. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.07.006>.
21. Love L.J., Kunc V., Rios O., Duty C.E., Elliott A.M., Post B.K., Smith R.J., Blue C.A. The importance of carbon fiber to polymer additive manufacturing

// Journal of Materials Research. – 2014, 29(17). P.1893...1898. DOI:10.1557/jmr.2014.212.

22. Compton B.G., Kemp J.W., Novikov T.V., Pack R.C., Nlebedim C.I., Dut, C.E., Rios O., Paranthaman M.P. Direct-Write 3D-Printing of NdFeB Bonded Magnets // Materials and Manufacturing Processes. – 2016, 33(6). P. 109...113. <https://doi.org/10.1080/10426914.2016.1221097>.

23. Farahani R.D., Dali, H., Borgne V.L., Gautier L.A., Khakani M.A. El., Levesque M., Therriault D. Direct-write fabrication of freestanding nanocomposite strain sensors // Nanotechnology. – 2012, 23(8). P.085502. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/23/8/085502>.

24. Invernizzi M., Natale G., Levi M., Turri S., Griffini G. UV-assisted 3D printing of glass and carbon fiber-reinforced dual-cure polymer composites // Materials, – 2016, 9(7). P. 583. <https://doi.org/10.3390/ma9070583>.

25. Lewicki J.P., Rodriguez J.N., Zhu C., Worsley M.A., Wu A.S., Kanarska Y., Horn J.D., Duoss E.B., Ortega J.M., Elmer W., Hensleigh R., Fellini R.A., King M.J. 3D-Printing of Meso-structurally Ordered Carbon Fiber/Polymer Composites with Unprecedented Orthotropic Physical Properties // Scientific Reports. – 2017, 7. P. 43401. <https://doi.org/10.1038/srep43401>.

26. Malek S., Raney J.R., Lewis J.A., Gibson L.J. Lightweight 3D cellular composites inspired by balsa // Bioinspiration & Biomimetics, – 2017, 12(2). P. 026014. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/aa6028>.

27. Коновалова О.Б., Минец В.В., Бокова Е.С., Костылева В.В., Белицкая О.А. Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве: ассортимент пластмасс инновационной функциональности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №5. С. 262...267. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_5_262.

28. Белько Т.В., Курбатова М.А. Дизайн одежды на основе технологии 3D-печати (FDM) // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 3. С. 170...175. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_170.

29. Korolev A.P., Makarchuk M.V., Dutov M.N., Loskutova A.D., Firsova A.V. Studying the Regimes of Forming Carbonic Nano-Objects on Copper Island Structure // XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). – 2018. P. 36...38. DOI: 10.1109 / APEIE.2018.8545282.

30. Dinkgreve M., Paredes J., Denn M.M., Bonn D. On different ways of measuring “the” yield stress // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. – 2016, 238. P. 233...241. DOI:10.1016/J.JNNFM.2016.11.001.

31. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F., Preobrazhenskaya E.M., Makarchuk M.V., Afonin V.V. Optimization of the Strength Characteristics of the Cellular Structure in Samples of Thermoplastic Polyester // International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures 21-22 May 2019, Ural Federal University, 19 Mira Street, Ekaterinburg, Russian Federation. Accepted papers received: 21 October 2020. Published online: 21 November 2020. SPCECI 2019. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020, 972. P. 012056. doi:10.1088/1757-899X/972/1/012056.

32. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F., Preobrazhenskaya E.M., Makarchuk M.V. Research of new materials

and approaches in additive technologies in the manufacture of prototypes in industrial design // International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures 21-22 May 2019, Ural Federal University, 19 Mira Street, Ekaterinburg, Russian Federation. Accepted papers received: 21 October 2020. Published online: 21 November 2020. SPCECI 2019. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020, 972. P. 012057. doi:10.1088/1757-899X/972/1/012057.

REFERENCES

1. Parandoush P., Lin D. A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites // Composite Structures. – 2017, №182. P. 36...53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstrua.2017.08.088>.

2. Hofstetter T., Pedersen D.B., Tosello G., Hansen H.N., Reinf J. State-of-the-art of fiber-reinforced polymers in additive manufacturing technologies // Journal of Reinforced Plastics and Composites. – 2017, 36(15). P. 1061...1073. DOI:10.1177/0731684417695648.

3. Farahani R.D., Dubé M., Therriault D. Three-dimensional printing of multifunctional nanocomposites, manufacturing techniques and applications // Advanced Materials. – 2016, 28, P. 5794...5821. <https://doi.org/10.1002/adma.201506215>.

4. Wang X., Jiang M., Zhou Z., Gou J., Hui D. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective // Composites. Part B: Engineering. – 2017, 110(1). P. 442...458. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.034>.

5. Balashov A.B. Metodologiya rascheta svoystv kompozitsionnykh materialov na osnove 3D-tkanykh struktur s ispol'zovaniem voksel'nogo podkhoda // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 4. S. 195...203. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_4_195.

6. Cherunova I.V., Sirota E.N., Tashpulatov S.Sh., Makhmudova G.I., Zufarova Z.U., Cherunov P.V., Sabirova Z.A. Issledovanie vliyaniya poristosti na teploprovodnost' odnosloynnykh vspenennykh materialov tipa "Neopren" // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 3. S.75...80. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_75.

7. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomazov V.M. Fizika i sinergetika dispersno-neuporyadochennykh kondensirovannykh kompozitnykh sistem. – SPb.: Nauka, 2012.

8. Gusev B.V., Kondrashchenko V.I., Maslov B.P., Fayvusovich A.S. Formirovanie struktury kompozitsionnykh materialov i ikh svoystva. – M.: Nauchnyy mir, 2006.

9. Kristensen R.M. Vvedenie v mekhaniku kompozitov. – M.: Mir, 1982.

10. Promyshlennyye polimernyye kompozitsionnyye materialy / Per. s angl. / Pod red. P.G. Babaevskogo. – M.: Khimiya, 1980.

11. Belov V.V., Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Maksimova I.N., Merkulov D.A. Komp'yuternoe modelirovanie i optimizirovanie sostavov kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov. – M.: Izd-vo ASV, 2015.

12. Vanin G.A. Mikromekhanika kompozitsionnykh materialov. – Kiev: Naukova dumka, 1985.

13. Erofeev V., Tyuryakhin A., Tyuryakhina T. Flat space of values of volume module of grain composite with spherical fill-lem // *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. – 2019, 8. P.333...342.
14. Erofeev V.T., Tyuryakhin A.S., Tyuryakhina T.P. Sistema uporyadochennykh podmnozhestv znacheniy ob"emnogo modulya polidispersnykh kompozitov so sfericheskimi vklucheniymi. *Stroitel'nye materialy i izdeliya*// *Izv. vuzov. Stroitel'stvo*. – 2019, № 6. S. 5...17.
15. Erofeev V.T., Tyuryakhin A.S., Tyuryakhina T.P., Tin'gaev A.V. Effektivnyye moduli dvukhfaznykh stroitel'nykh kompozitov s zernistym zapolnitelem. Raschet i proektirovanie stroitel'nykh konstruktsiy // *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy*. – 2019. T. 15, № 6. S. 407...414.
16. Erofeev V.T., Tyuryakhin A.S., Tyuryakhina T.P. Mnozhestva vilok Foygta–Reysa i trezubtsev Foygta–Reysa. Raschet i proektirovanie stroitel'nykh konstruktsiy // *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy*. – 2020. T.16, № 5. S. 323...333.
17. Duty C.E., Kunc V., Compton B., Post B., Erdman D., Smith R., Lind R., Lloyd P., Love L. Structure and mechanical behavior of Big Area Additive Manufacturing (BAAM) materials // *Rapid Prototyping Journal*. – 2017, 23(1), P. 181...189. <https://doi.org/10.1108/RPJ-12-2015-0183>.
18. Kishore V., Ajinjeru C., Nycz A., Post B., Lindahl J., Kunc V., Duty C. Infrared preheating to improve interlayer strength of big area additive manufacturing (BAAM) components // *Additive Manufacturing*. – 2017, №14. P.7...12. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.11.008>.
19. Sun Q., Rizvi G., Bellehumeur C., Gu P. Effect of processing conditions on the bonding quality of FDM polymer filaments // *Rapid Prototyping Journal*. – 2008, 14. P.72...80. <https://doi.org/10.1108/13552540810862028>.
20. Compton B.G., Post B.K., Duty C.E., Love L., Kunc V. Thermal analysis of additive manufacturing of large-scale thermoplastic polymer composites // *Additive Manufacturing*. – 2017, 17. P. 77...86. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.07.006>.
21. Love L.J., Kunc V., Rios O., Duty C.E., Elliott A.M., Post B.K., Smith R.J., Blue C.A. The importance of carbon fiber to polymer additive manufacturing // *Journal of Materials Research*. – 2014, 29(17). P.1893...1898. DOI:10.1557/jmr.2014.212.
22. Compton B.G., Kemp J.W., Novikov T.V., Pack R.C., Nlebedim C.I., Dut, C.E., Rios O., Paranthaman M.P. Direct-Write 3D-Printing of NdFeB Bonded Magnets // *Materials and Manufacturing Processes*. – 2016, 33(6). P.109...113. <https://doi.org/10.1080/10426914.2016.1221097>.
23. Farahani R.D., Dali, H., Borgne V.L., Gautier L.A., Khakani M.A. El., Levesque M., Therriault D. Direct-write fabrication of freestanding nanocomposite strain sensors // *Nanotechnology*. – 2012, 23(8). P.085502. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/23/8/085502>.
24. Invernizzi M., Natale G., Levi M., Turri S., Griffini G. UV-assisted 3D printing of glass and carbon fiber-reinforced dual-cure polymer composites // *Materials*, – 2016. 9(7). P. 583. <https://doi.org/10.3390/ma9070583>.
25. Lewicki J.P., Rodriguez J.N., Zhu C., Worsley M.A., Wu A.S., Kanarska Y., Horn J.D., Duoss E.B., Ortega J.M., Elmer W., Hensleigh R., Fellini R.A., King M.J. 3D-Printing of Meso-structurally Ordered Carbon Fiber/Polymer Composites with Unprecedented Orthotropic Physical Properties // *Scientific Reports*. – 2017, 7. P. 43401. <https://doi.org/10.1038/srep43401>.
26. Malek S., Raney J.R., Lewis J.A., Gibson L.J. Lightweight 3D cellular composites inspired by balsa // *Bioinspiration & Biomimetics*, – 2017, 12(2). P.026014. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/aa6028>.
27. Konovalova O.B., Minets V.V., Bokova E.S., Kostyleva V.V., Belitskaya O.A. Polimernyye materialy dlya 3D-pechati i vozmozhnost' ikh primeneniya v obuvnom proizvodstve: assortiment plast-mass innovatsionnoy funktsional'nosti // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2021, №5. S. 262...267. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_5_262.
28. Bel'ko T.V., Kurbatova M.A. Dizayn odezhdy na osnove tekhnologii 3D-pechati (FDM) // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2021, № 3. S. 170...175. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_170.
29. Korolev A.P., Makarchuk M.V., Dutov M.N., Loskutova A.D., Firsova A.V. Studying the Regimes of Forming Carbonic Nano-Objects on Copper Island Structure // *XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE)*. – 2018. P. 36...38. DOI: 10.1109 / APEIE.2018.8545282.
30. Dinkgreve M., Paredes J., Denn M.M., Bonn D. On different ways of measuring “the” yield stress // *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. – 2016, 238. P.233...241. DOI:10.1016/J.JNNFM.2016.11.001.
31. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F., Preobrazhenskaya E.M., Makarchuk M.V., Afonin V.V. Optimization of the Strength Characteristics of the Cellular Structure in Samples of Thermoplastic Polyester // *International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures 21-22 May 2019, Ural Federal University, 19 Mira Street, Ekaterinburg, Russian Federation*. Accepted papers received: 21 October 2020. Published online: 21 November 2020. SPCECI 2019. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020, 972. P. 012056. doi:10.1088/1757-899X/972/1/012056.
32. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F., Preobrazhenskaya E.M., Makarchuk M.V. Research of new materials and approaches in additive technologies in the manufacture of prototypes in industrial design // *International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures 21-22 May 2019, Ural Federal University, 19 Mira Street, Ekaterinburg, Russian Federation*. Accepted papers received: 21 October 2020. Published online: 21 November 2020. SPCECI 2019. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020, 972. P. 012057. doi:10.1088/1757-899X/972/1/012057.

Рекомендована кафедрой архитектуры и градостроительства ТГТУ. Поступила 24.04.22.

УДК 687

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_355

**РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПОВ
ИНДУСТРИИ 4.0 В ШВЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**SOLUTIONS FOR THE IMPLEMENTATION
OF THE INDUSTRY 4.0 PRINCIPLES IN THE SEWING INDUSTRY**

Л. ТОНЕЛЛИ

L. TONELLY

(Компания ИМА, Италия)

(IMA Ltd, Italy)

E-mail: ttp@ivgpu.com

В статье описаны особенности работы программно-аппаратного комплекса "Синхрораскройный цех" компании ИМА. Комплекс представляет собой три типа оборудования: настольную машину, этикетировочную машину и раскройную машину (каттер), программное обеспечение для управления процессом раскроя и маркировки настила, а также веб-портал для дистанционного управления и отслеживания эффективности работы оборудования в режиме реального времени. Весь комплекс обеспечивает внедрение в процесс раскроя материалов на швейном производстве принципов Индустрии 4.0.

The article describes the features of the software and hardware complex "Synchro-cutting shop" of the IMA company. The complex consists of three types equipment: a spreading machine, a labeling machine and a cutting machine (cutter), software for managing the process of cutting and marking the flooring, as well as a web portal for remote control and real-time monitoring of equipment performance. The whole complex ensures the introduction of the principles of Industry 4.0 into the process of cutting materials in the clothing industry.

Ключевые слова: швейное производство, настиление, раскрой, цифровизация, анализ данных.

Keywords: garment production, laying, cutting, digitalization, data analysis.

Введение

Индустрия 4.0 подразумевает использование передовых решений для совместимости систем управления последнего поколения с программным обеспечением управления данными Клиента для планирования производства и анализа данных в реальном времени. Это позволяет оперативно выявлять, какие области и операции требуют улучшения для повышения производительности (“lean oriented”).

Lean Production и вообще Lean Thinking рассматриваются как образ мышления и философия для улучшения гибкости, качества и производительности производственной линии, исходя из следующих основных принципов:

- понимание того, как Клиент идентифицирует ценность;
- определение действий, которые создают ценность, воспринимаемую Клиентом, и устранение ненужных затрат;
- создание непрерывного потока действий, которые создают ценность;
- синхронизация производства с требованиями Клиента и соответственно рынка;
- постоянное стремление к совершенству.

Индустрия 4.0 – дочь четвертой промышленной революции, о которой так много говорят во всем мире, имеет ясную цель: привести к полностью автоматизированному и взаимосвязанному производству. Очевидно, что очень важны технические и технологические решения в достижении этой существенной роли. Точнее, присутствуют 4 основных пункта.

1. Потребление Данных, вычислительной мощности и возможности подключения. Они включают такие темы, как большие данные, открытые данные, IoT (Интернет Вещей), межмашинное взаимодействие и облако вычисления с целью централизации и хранения данных.

2. Аналитика данных, “machine-learning” / машинное обучение, концептуальный прогнозный анализ.

3. Человеко-машинное взаимодействие. Простые и интуитивно понятные интерфейсы для простоты работы.

4. Additive Manufacturing, 3D-Печать, Робототехника, Связь, Межмашинное взаимодействие и Новые технологии. Фокус на сохранение и оптимальное применение энергии для резкого понижения затрат при повышенных производительности и отдаче.

“Синхроаскройный цех” – решение ИМА для Индустрии 4,0

Синхрораскройный цех мы можем представить как большой контейнер, находящийся на облачном сервере, в котором сохраняются все производственные данные и состояние машинного оборудования ИМА одного или нескольких производственных комплексов/площадок. Искусственный интеллект фильтрует, анализирует и обрабатывает данные для лучшего понятия работы системы в целом.

Оборудование ИМА управляется цифровыми контроллерами (PLC, CNC и т.д.) для правильной работы. Данная технология позволяет использовать все данные, экстраполировать их и сохранять в реальном времени. Программное обеспечение пишется на языках программирования последнего поколения для простого интерфейса с логическими блоками, как для управления оборудованием, так и для сбора данных.

В основном собранные данные могут быть представлены в этих макрокатегориях.

- Исторические данные производства (отчет о работе).
- Состояние оборудования в реальном времени.
- История технического обслуживания и сроки планового обслуживания.
- История остановок машины и их причины.

Цифровая технология комплексов ИМА – шаг вперед в этом направлении. В отличие от аналоговой технологии, которая ограничивается наблюдением комплекса, в цифровой присутствуют все инструменты для активного действия и анализа причин и соответствующих последствий. Например, при аналоговой технологии, если комплекс останавливается из-за неисправности одного двигателя, мы получаем только сообщение об остановке, без других уточнений.

При цифровой технологии мы знаем, какой двигатель, в каком моменте процесса остановился и при какой типологии производства, причину, которая вызвала остановки (например, отсутствие электропитания, избыточное усилие, отсутствие общения с аналоговой платой, несоблюдение мер безопасности и т.д.). Вся полученная информация помогает оптимизировать производственный цикл за счет улучшения работы машины. В случае выхода из строя диагностика будет быстрой в связи с точной установкой причины и соответственно со значительным сокращением времени простоя.

Синхрораскройный цех представляет собой веб-портал с доступом через любое устройство, на котором присутствует браузер для просмотра веб-страницы. Все оптимизировано для просмотра на экране ПК, смартфона или планшета. Каждый Клиент имеет свое имя потребителя и свой пароль для доступа к своим производственным комплексам. Для управления оборудованием используются цифровое подключение путем протокола TCP/IP и кабели с разъемом RJ-45. Для обмена данными используется технология Ethernet, характеризующаяся высокой скоростью общения (100 Mbps), поддержкой кабелей длиной до 100м (с возможностью удлинить), простота пользования, устойчивость к помехам. Большой объем данных можно передать за несколько миллисекунд с упрощением работы Комплекса в раскройном цехе.



Рис. 1

Совместимое оборудование в синхрораскройном цехе (SCR):

- Настилочная машина с ПК на борту с программным обеспечением SpreaderMX для управления процессом настивания (рис. 1).

- Эtiquетировочная машина в комплекте с программным обеспечением "Labeler Control Center" для управления и вывода данных в реальном времени (рис. 2),



Рис. 2

- Автоматический каттер с ножом 3 см, 6 см, 7 см, 10 см и программным обеспечением управления процессом раскроя "Cutting Control Center" (рис. 3).



Рис. 3

ВЫВОДЫ

Таким образом, "Синхрораскройный цех" соблюдает все основные пункты Индустрии 4.0.

1. Единый центр сохранения всех данных. Каждая машина сохраняет в памяти все данные о текущем и прошедшем состояниях.

2. Data Analytics. Настройка параметров анализа, начиная от простой части "машина в работе/машина не в работе" до расчета "эффективности/производительности". Расчеты можно производить, исходя из разных подходов, с интервалами как ежедневно, еженедельно, ежемесячно или фильтровать данные на базе оператора, рабочей программы или материала. Соот-

ответственно можно формировать анализ любой сложности, исходя из требований Клиента, с персонализацией всей системы.

3. Взаимодействие Машина-Человек. Все интерфейсы ПК машины и "Синхрораскройный цех" адаптированы для простого пользования и интуитивного понимания о состоянии машины с оптимизацией количества требуемых функции для визуализации.

4. Понижение расходов и повышение отдачи. Цифровая технология предоставит в реальном времени расходы электроэнергии и также рекомендации, при какой обстановке машина работает оптимально и с какими параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филатов В.В., Мишаков В.Ю., Герасименко И.И. и др. Анализ стратегических направлений развития легкой промышленности Российской

Федерации до 2025 г. с использованием подхода 4R "Ориентация на результаты" // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №5. С.5...18.

2. Корнилова Н.Л., Игнат'ев К.Б., Никифорова Е.Н. и др. FASHIONNET – новая концепция индустрии моды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №6. С. 190...194.

REFERENCES

1. Filatov V.V., Mishakov V.Yu., Gerasimenko I.I. i dr. Analiz strategicheskikh napravleniy razvitiya legkoy promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii do 2025 g. s ispol'zovaniem podkhoda 4R "Orientatsiya na rezul'taty" // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2021, №5. S. 5...18.

2. Kornilova N.L., Ignat'ev K.B., Nikiforova E.N. i dr. FASHIONNET – novaya kontseptsiya industrii mody // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, №6. S. 190...194.

Поступила 20.04.22.

УДК 004.053'

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_358

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ЗАЩИТЫ И БЕЗОПАСНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ ПРОДУКЦИИ

THE USE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN SOLVING THE PROBLEMS OF CONSUMER PRODUCTS PROTECTION AND SAFETY

*Р.А. САРКУЛАКОВА, С.С. МОМБЕКОВА, З.А. МАХАНОВА, Р.А. МЕДЕТБЕКОВА,
Н.М. ЖАЙЛАУБАЕВ, К.У. НЫШАНБАЕВА, Д.Т. БЕЛЕСОВА*

*R.A. SARKULAKOVA, S.S. MOMBEKOVA, Z.A. MAKHANOVA, R.A. MEDETBEKOVA,
N.M. ZHAILAUBAYEV, K.U. NYSHANBAYEVA, D.T. BELESSOVA*

(Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Республика Казахстан)

(M. Auezov South Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan)

E-mail: san.mom@inbox.ru

В этой статье рассматривается роль ИКТ в пищевой промышленности. Как и в других отраслях, информационные и коммуникационные технологии имеют решающее значение для решения проблем, с которыми сталкивается пищевая промышленность. В последнее время на продовольственном рынке, где ИКТ не интегрированы, возникли многочисленные проблемы для фирм, связанных с пищевым бизнесом, поскольку пострадали защита и безопасность пищевых продуктов. Такие проблемы в основном включают

пищевые заболевания, которые также называют пищевым отравлением. Потребители сталкиваются с этой болезнью по всему миру из-за плохого качества и несвежих продуктов, так как продукты не защищены новейшим технологическим оборудованием, обеспечивающим свежесть. Мы рассматриваем самые основные понятия, пути решения таких проблем, используя ИКТ на пищевой промышленности. Тем не менее, ИКТ в первую очередь фокусируется на интегрированной связи посредством использования ИТ, сетевых и телекоммуникационных устройств, чтобы обмен данными и их хранение могли стать эффективными. ИКТ позволяют людям, правительствам, предприятиям и глобальным фирмам взаимодействовать друг с другом, чтобы способствовать взаимодействию и общению в мире с высокой степенью цифровых технологий.

This article discusses the role of ICT in the food industry. As in other industries, information and communication technology is critical to addressing the challenges facing the food industry. Recently, in the food market, where ICTs are not integrated, numerous problems have arisen for companies related to the food business, as food protection and safety have been affected. Such problems mainly include foodborne diseases, which are also called food poisoning. Consumers face this disease worldwide due to poor quality and not fresh products, as the products are not protected by the latest technological equipment to ensure freshness. We consider the most basic concepts of solving such problems using ICT in the food industry. However, ICT primarily focuses on integrated communications through the use of IT, network and telecommunications devices so that data exchange and storage can become efficient. ICTs enable people, governments, enterprises and global firms to interact with each other to foster interoperability and communication in a highly digital world.

Ключевые слова: цифровые технологии, технологические инновации, социальные сети, ИТ-инструменты, пищевые продукты, компьютерные модели.

Keywords: digital technologies, technological innovations, social networks, IT tools, food products, computer models.

В современном мире деловые рынки и отрасли подвергаются огромному влиянию внешних сил. К таким силам относятся политические, экономические, социальные и правовые факторы. Однако силы, которые больше всего повлияли на бизнес-рынки, являются технологическими и экологическими. Как и любая отрасль, эти две силы также повлияли на пищевую промышленность. Поскольку пища является основной потребностью каждого человека, такое влияние этих двух сил привело к росту беспокойства людей о безопасности и сохранности пищи, которую они едят, что создает проблемы для предприятий пищевой промышленности. Однако такие проблемы

создают необходимость включения технологий в процедуры защиты и безопасности пищевых продуктов из-за растущей экологической неопределенности.

В целом, за последние годы во всем мире изменились модели дождя, наводнений, землетрясений и вулканов. что повлияло на сельскохозяйственную промышленность, и из-за этого на производство и распределение продуктов питания также оказало негативное влияние, что привело к усилению воздействия на защиту и безопасность продуктов питания. Таким образом, растущие темпы технологических инноваций привели к развитию технологий ИКТ (информационно-коммуникационные тех-

нологии), что также оказывает влияние на такие отрасли, как продовольствие и сельское хозяйство, влияет на их защиту и безопасность. Однако интеграция мобильного телефона в качестве ИКТ имеет большое значение, поскольку она обеспечивает огромные преимущества для организации, сталкивающейся с такими проблемами при защите и обеспечении продовольствия. Преимущества, которые он предоставляет, варьируются от управления цепочками поставок до управления человеческими ресурсами. Таким образом, для реализации такой программы ИКТ необходимы определенные затраты, включая стоимость интеграции мобильных телефонов на рабочем месте, стоимость разработки мобильного приложения и стоимость обучения сотрудников навыкам в отношении ИКТ. Для максимизации эффективности и вклада ИКТ в решение проблем защиты и безопасности пищевых продуктов крайне важен выбор лучшего поставщика ИКТ [1].

Улучшать контент сайта, общаясь с клиентами напрямую.

Общение с клиентами напрямую является наиболее важной проблемой для АО "Рахат". Акционерное общество "Рахат" является одним из крупнейших производителей кондитерской продукции в Казахстане, ведущим свою историю на протяжении 75 лет.



Рис. 1

Сбор отзывов клиентов по различным каналам, понимание восприятия клиентов продуктов АО "Рахат" и получение ценных отзывов клиентов. ИКТ предоставляет очень удобный и эффективный канал для социальных сетей, таких как Facebook,

Twitter, insgram, блоги и обзорные сайты.

Платформы социальных сетей – это канал, который собирает ценные и значимые отзывы клиентов. Миллиарды людей во всем мире привыкли делиться своим опытом, отзывами и общедоступным текстом, изображениями и видео через сообщество социальных сетей. Создавая домашнюю страницу компании для поддержки клиентов бренда, компания предоставляет платформу для ценных клиентов, которые хотят общаться с компанией более непринужденно, быстрее и проще. Это будет более реалистичным, чем общение по телефону.

Хотя АО "Рахат" может собирать отзывы клиентов, отправляя текстовые сообщения, заполняя веб-формы или электронные письма, количество полученных ответов ограничено, и многие клиенты игнорируют эти способы. Когда АО "Рахат" публикует информацию на платформе социальных сетей, часто происходит обратная связь в социальных сетях. Многие клиенты предпочитают и любят участвовать в отзывах и комментариях через социальные сети, которые они считают более удобными. Это тенденция развития сетевых технологий и изменения жизненных привычек людей. АО "Рахат" нужны специализированные человеческие и технические ресурсы для управления, мониторинга и борьбы с шумом, чтобы повысить репутацию бренда и избежать распространения негативной информации [2].

Очень важно понимать оценку клиентом бренда компании на платформах социальных сетей, потому что скорость и широта распространения контента в социальных сетях оказывают глубокое влияние. Часть информации или политики может повлиять на восприятие бренда миллионами потенциальных клиентов и существующих клиентов.

Использование различных способов обратной связи с клиентами в социальных сетях для улучшения обслуживания клиентов может дать ценную информацию для компании.

Слушая социальные отзывы:

АО "Рахат" может отслеживать платформы социальных сетей, чтобы понять

ситуацию с брендом, как свою, так и своих конкурентов. Например, обеспечить своевременную поддержку клиентов и обратную связь с клиентами, испытывающими проблемы с продуктами и услугами, независимо от того, обращаются ли они за помощью к компании. АО "Рахат" также может узнать о неудовлетворенности клиентов своими конкурентами, предложить своим клиентам лучшие решения или узнать, как выделиться среди конкурентов.

Собрать отзывы о продукте:

Когда компания запускает новый продукт или изменяет функциональность существующего продукта, она хочет получить обратную связь от текущего клиента. Компании могут использовать платформы социальных сетей, чтобы понять, принимают ли клиенты новые продукты или адаптируются к изменениям. Руководить концепцией клиентов через социальные сети. Разработка эффективного пользовательского опыта и вопросов проектирования, чтобы помочь компаниям определить потенциальные проблемы в процессе разработки.

Преимущество социальных сетей в том, что клиенты, которые участвуют в сети, включают в себя не только текущих пользователей, но и потенциальных клиентов, целевых клиентов и влиятельных лиц отрасли. Получите подробные отзывы о новых продуктах, чтобы повысить скорость их принятия на момент выпуска.

Провести исследование рынка:

Использование платформ социальных сетей для проведения опросов, для понимания их взглядов и мнений по некоторым вопросам, для дальнейшего понимания предпочтений и ожиданий клиентов в отношении продуктов очень полезно для улучшения услуг и разработки новых продуктов.

Содержимое Блога Sourcing:

Публикация тематических идей, информации о продуктах, статей, изображений или видео через социальные сети поощряет подписчиков делиться и распространять общедоступные материалы и находить отклик в аудитории.

Технология ИКТ является относительно более широким термином, чем Информа-

ционные технологии (ИТ). ИТ – это просто объединение компьютерного оборудования и программного обеспечения, так что поиск, передача и обработка данных становятся легкими и удобными. Еще одна важная проблема для потребителей – растущее воздействие пестицидов из-за недоступности ИКТ, которая определяет фактическое количество необходимых пестицидов, что приводит к увеличению врожденных дефектов, расстройству пищеварительной системы и многим другим болезням, поскольку пестициды в настоящее время используются в производстве продуктов питания, в том числе фруктов и овощей. Таким образом, угрозы не только навязывают людям, но и навязывают природной среде, поскольку природная среда, продукты питания и люди очень тесно связаны друг с другом, а также с глобальным загрязнением и парниковыми эффектами, которые наносят ущерб атмосфере Земли.

Таким образом, все эти и другие проблемы, связанные с продовольственной безопасностью и защитой, могут быть эффективно решены путем интеграции ИКТ в деятельность предприятий пищевой промышленности. Например, интеграция мобильных телефонов с соответствующими мобильными приложениями или программным обеспечением в качестве ИКТ может иметь большое значение для растущей озабоченности по поводу продовольственной безопасности и защиты. Включение мобильного телефона в качестве ИКТ способно обеспечить огромные преимущества для предприятий, связанных с пищевыми продуктами, таких как АО "Рахат", чтобы они могли обеспечить защиту и безопасность продуктов питания. Поскольку пищевые продукты в основном истекают или становятся устаревшими во время процессов доставки, основанных на длительных периодах доставки. В такой ситуации прогноз погоды важен для анализа, так что процессы доставки еды могут быть начаты при соответствующей погоде, чтобы гарантировать свежесть еды. Это первое и главное преимущество, которое дает интеграция мобильных телефонов в качестве ИКТ, поскольку имеющийся прогноз погоды может

помочь определить лучшую погоду для доставки еды и худшую погоду для доставки еды. Такие мобильные телефоны могут также помочь в обмене этой информацией о погоде с другими людьми в цепочке доставки в фирме. Что касается процесса доставки пищи, то пища также может быть защищена, если она не будет слишком долго удерживать ее в процессе доставки до тех пор, пока не возникнет спрос со стороны клиента. Это также приводит к уменьшению потерь продовольствия, поскольку поставки станут быстрыми и надежными. Тем не менее, это может быть достигнуто за счет интеграции мобильного телефона, поскольку это лучший технологический инструмент, который делает общение очень быстрым и эффективным [3].

Следовательно, такая эффективная связь через мобильный телефон может позволить компании и клиенту начать процесс доставки только тогда, когда это необходимо, что обеспечит защиту и безопасность продуктов питания. Кроме того, использование мобильного телефона в качестве ИКТ с соответствующими приложениями также поможет фирме сделать эффективную свою общую систему управления цепочками поставок, помимо процесса доставки. В процессе защиты и безопасности пищевых продуктов одним из наиболее важных аспектов является отслеживание. Тем не менее, это также может быть достигнуто с помощью мобильного приложения путем интеграции RFID (радиочастотная идентификация) в процесс доставки, а также в логистику и складирование продуктов питания. Каждый инвентарь пищевых продуктов может быть отслежен и, если он найден скоропортящимся, то он может доставляться быстро или храниться в более оптимальной среде для обеспечения защиты продуктов питания. Тем не менее, ИКТ по-прежнему являются технологическим инструментом и не могут работать в тех областях, где он не может достичь, но люди могут иметь доступ ко всем в отношении защиты и безопасности пищевых продуктов. Поскольку люди как работники участвуют в каждом процессе, начиная с приобретения продуктов питания и заканчивая их распределением,

поэтому ИКТ могут использоваться для управления этими человеческими ресурсами с целью обеспечения их эффективности в отношении защиты и безопасности продуктов питания там, где они становятся неактуальными.

За последние годы управление взаимоотношениями с клиентами (CRM) изменилось со статического на интерактивное. Поставщики продуктов питания теперь могут охватывать целевые сегменты потребителей, а не массовую публику, благодаря более широкому доступу к людям и информации; в хоре клиенты также получают информацию из различных источников, охватывающую более широкий кругозор. Поставщики продуктов питания будут предоставлять клиентам информацию в соответствии с их потребностями и предпочтениями, в то время как клиенты будут оценивать доступных поставщиков и получать как маркетинговые, так и фактические устные сообщения об аспектах услуг, продуктов питания, эстетики и качества обслуживания. Эти изменения вызваны ракетным преобразованием информационных технологий (ИТ). В этой главе будут обсуждаться основные средства технологических платформ, которые культивируют интерактивные отношения, и доступные ИТ-инструменты, которые пищевая промышленность может использовать для использования имеющихся ресурсов, повышения эффективности, снижения затрат и повышения качества обслуживания клиентов. Обсуждения завершатся обсуждением того, как Интернет вещей, большие данные и облако могут использоваться в качестве возможностей дифференциации для пищевой промышленности.

Поскольку для обеспечения защиты и безопасности пищевых продуктов выявляется необходимость интеграции ИКТ, сейчас важно определить лучшего поставщика ИКТ, чтобы организация могла внедрить его с оправданной стоимостью и эффективностью.

Первый шаг, который необходимо предпринять для выбора лучшего поставщика ИКТ для фирмы, – это определение потенциальных фирм, которые предоставляют

продукты и услуги ИКТ. После того, как такие фирмы определены, необходимо оценить их и составить краткий список лучших поставщиков. После фильтрации лучших поставщиков начинается изучение профиля и информации о фирмах. Таким образом, как только потенциальная фирма выбрана, на этом этапе анализа стоимости и поставщиков проводится оценка каждого компонента ИКТ, начиная от качества, цены, стандартов обслуживания, процессов доставки и системы оплаты и так далее. Если все аспекты поставщика ИКТ являются подходящими, поставщик будет выбран для организации, которая будет предоставлять им продукты и услуги ИКТ.

ВЫВОДЫ

Развитие ИКТ позволяет глобальным предприятиям пищевой промышленности собирать и анализировать соответствующую информацию, с тем чтобы они могли разрабатывать эффективные операционные методы для повышения своих операционных показателей. Роль ИКТ играет важную роль в поддержании и обеспечении продовольственной безопасности и защиты. По нашему мнению, интеграция ИКТ является доступной и применимой для всех пищевых предприятий, таких как АО "Рахат". Возникающие возможности в результате продолжающегося развития ИКТ также предоставят возможность таким организациям, связанным с пищевыми продуктами, разрабатывать и адаптировать новые технологические методологии, способствовать эффективному общению и оперативному управлению. Предприятия пищевой промышленности могут разрабатывать свои стратегии на основе вклада ИКТ в защиту продуктов питания, которые могут помочь

в расширении деловых операций. Как только деловые операции пищевого бизнеса успешно расширены, это приводит к увеличению выручки и прибыли для организации. Таким образом, фирмы могут решать все проблемы, связанные с защитой и безопасностью пищевых продуктов, путем интеграции ИКТ в свои бизнес-операции, которые определенно приведут их к достижению целей и видения организации, которые приведут к ее успеху.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Prajogo D. & Olhager J.* Интеграция и эффективность цепочки поставок: последствия долгосрочных отношений, информационных технологий и обмена, а также интеграции логистики // *Международный журнал экономики производства*. – 2012, 135(1).
2. *Trienekens J. & Zuurbier P.* Стандарты качества и безопасности в пищевой промышленности, разработки и проблемы // *Международный журнал экономики производства*. – 2008, 113 (1).
3. *Грунерт К.Г.* Качество и безопасность продуктов питания: восприятие и спрос потребителей // *Европейский обзор экономики сельского хозяйства*. – 2005, 32 (3).

REFERENCES

1. *Prajogo D. & Olhager J.* Integratsiya i effektivnost' tsepochki postavok: posledstviya dolgo-srochnykh otnosheniy, informatsionnykh tekhnologiy i obmena, a takzhe integratsii logistiki // *Mezhdunarodnyy zhurnal ekonomiki proizvodstva*. – 2012, 135(1).
2. *Trienekens J. & Zuurbier R.* Standarty kachestva i bezopasnosti v pishchevoy promyshlennosti, razrabotki i problemy // *Mezhdunarodnyy zhurnal ekonomiki proizvodstva*. – 2008, 113 (1).
3. *Grunert K.G.* Kachestvo i bezopasnost' produktov pitaniya: vospriyatie i spros potrebiteley // *Evropayskiy obzor ekonomiki sel'skogo khozyaystva*. – 2005, 32 (3).

Поступила 26.11.21.

**ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ИНДУСТРИИ 4.0:
МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА**

**RETRAINING OF PERSONNEL FOR INDUSTRY 4.0:
METHODS OF TEACHING OF THE INDUSTRIAL
EXOSKELETON OPERATION**

С.Ф. ЯЦУН, А.С. ЯЦУН, А.В. МАЛЬЧИКОВ, Е.Н. ПОЛИТОВ
S.F. YATSUN, A.S. YATSUN, A.V. MALCHIKOV, E.N. POLITOV

(Юго-Западный государственный университет)

(Southwestern State University)

E-mail: newteormeh@inbox.ru

Статья посвящена разработке методики обучения эффективного и безопасного использования промышленного экзоскелета для облегчения труда рабочих при выполнении такелажных и монтажных работ на производстве в условиях перехода к новому технологическому укладу Индустрии 4.0.

Цель исследования заключается в создании уникальной методики обучения, включающей набор практико-ориентированных упражнений, позволяющих обучающимся специалистам получить первичные навыки эффективного и безопасного использования промышленного экзоскелета.

Предлагаемая методика обучения основана на знаниях в области биомеханики физических упражнений, физиологических особенностях человеческого тела. Разработанный комплекс упражнений основан на анализе типовых технологических операций работников легкой и тяжелой промышленности, специалистов по ремонту и монтажу оборудования.

В работе предлагается некоторый педагогический материал, включающий теоретические и практические разделы, при освоении которых у специалистов формируются новые компетенции, связанные с цифровизацией и автоматизацией производства, необходимые для эффективного и безопасного использования промышленного экзоскелета.

Сформирована теоретически обоснованная методика обучения, которая прошла апробацию при обучении специалистов ведущих предприятий России.

The article describes methods of teaching effective and safe use of industrial exoskeleton to facilitate the labor of the workers when running rigging and installation work in production in the conditions of transition to new technological order Industry 4.0.

The aim of the study consists in creating the unique learning method that includes a set of practice-oriented exercises, allowing getting the primary skills for effective and safe use of industrial exoskeleton.

The proposed teaching methodology is based on the knowledge in the field of biomechanics of physical exercises, physiological features of the human body. The developed set of exercises is based on the analysis of typical technological operations of light and heavy industry workers, specialists in repair and installation of equipment.

The paper offers some pedagogical materials, including theoretical and practical sections, during the development of which specialists form new competencies related to digitalization and automation of production, necessary for the effective and safe use of an industrial exoskeleton.

A theoretically grounded training methodology has been formed, this methodology was tested during the training of specialists from leading Russian enterprises.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, промышленный экзоскелет, методика обучения, эксплуатация экзоскелетов, подготовка кадров, автоматизация.

Keywords: Industry 4.0, industrial exoskeleton, training methodology, exoskeleton operation, personnel training, automation.

Введение

Внедрение элементов Индустрии 4.0 в производство требует расширения компетенций в digital-сфере и объединения цифровых технологий и промышленности [1].

Одной из составляющих совершающейся четвертой промышленной революции является повсеместное внедрение киберфизических систем, в том числе человеко-машинных комплексов [2].

Вместе с тем растут объемы производства и ужесточаются требования к обеспечению охраны труда, однако при этом роботизация и автоматизация многих технологических операций на сегодняшний день затруднена или не представляется целесообразной.

Все это способствует росту интереса и внедрению в производственный процесс промышленных экзоскелетов [3], [4].

Современные тенденции развития рынка экзоскелетов представлены в работах [5...8], конструктивные особенности человеко-машинных комплексов приведены в работах [9], [10].

Промышленный экзоскелет – роботизированное устройство, обеспечивающее снижение физических нагрузок на человека и позволяющее улучшить условия труда, снизить травмоопасность и утомляемость при работах с тяжелым ручным инструментом, при поднятии, удержании и переносе грузов. Экзоскелет позволяет выполнять движения, минимально ограничивая перемещения оператора и разгружая опорно-двигательный аппарат, что позволяет оператору экзоскелета работать более дли-

тельное время, испытывая меньшие нагрузки [11].

Принцип действия экзоскелета основан на передаче нагрузки с человека на механический силовой каркас, компенсации изгибающих моментов в суставах. В ходе выполнения технологических операций нагрузка распределяется по силовому каркасу – что снижает вероятность получения травм поясничного отдела позвоночника [12].

При этом экзоскелет является сложным электромеханическим устройством, принципы функционирования которого основаны на человеко-машинном взаимодействии, что требует от оператора наличия навыков использования экзоскелета, учета особенностей выполнения технологических операций с его применением, соблюдения правил безопасности, позволяющих предотвратить появление нестандартных ситуаций, поломке оборудования и нанесения травм.

Очевидно, что внедрение подобного оборудования в технологические процессы предприятия требует обучения и переподготовки персонала, освоения теоретических аспектов использования, выполнения практических заданий.

Однако разработка методики обучения, позволяющей в кратчайшие сроки, без отрыва от работы, развить навыки использования сложного оборудования, является сложной задачей.

Некоторые аспекты построения образовательной модели проектно-ориентированной подготовки молодых специалистов инженерно-технических направлений в кон-

цепции Индустрии 4.0 представлены в работе [13].

Для достижения поставленной задачи в настоящей работе предлагается комплексная методика, основанная на последовательных этапах обучения, включающих широкий набор упражнений, часть из которых может быть кастомизирована в зависимости от базовой специальности обучающегося.

Материалы и методы

В качестве примера в работе рассматривается промышленный экзоскелет, конст-

руктивно повторяющий скелет человека. Металлические звенья аппарата соединяются посредством шарниров, каждый из которых имеет разное число степеней подвижности. Шарнирное соединение бедра с корпусом, как и у человека, имеет три степени свободы. Оно может вращаться вокруг двух горизонтальных осей: "вперед-назад" и "отведение-приведение", а также – вокруг вертикальной оси [14].

Основные параметры экзоскелета приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Характеристика экзоскелета	Значение
Габариты	1,80 x 0,5 x 0,4 (м)
Масса	24 (кг)
Рабочая нагрузка	40(кг)
Предельно допустимая нагрузка на экзоскелет	60 (кг)

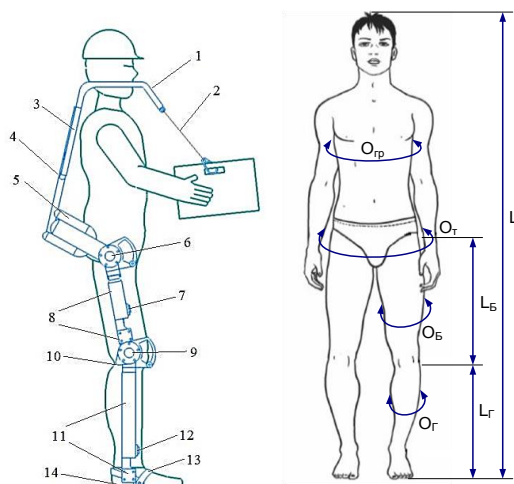


Рис. 1

Рис. 2

Устройство (рис.1 – схема конструкции экзоскелета) состоит из следующих основных элементов: силовой каркас спины 1, включающий в себя гибкие звенья (тросы) 2, к которым крепится груз, крепление туловища 3, регулировочные элементы сило-

вого каркаса 4, поясничный узел 5. Силовой каркас спины 1 соединяется с нижними конечностями экзоскелета в бедренном шарнирном узле 6, в котором реализованы 3 степени свободы. Нижние конечности экзоскелета состоят из бедра и голени, которые включают в свою конструкцию следующие элементы: бедренные манжеты – 7, регулировка длины звена 8, коленный шарнир 9, упор для сидения 10, звено голени – 11, крепежный элемент голени 12, фиксирующие элементы для крепления стопы – 13, упругая опора 14.

Экзоскелет снабжен рядом регулировок, необходимых для обеспечения комфортной эксплуатации и для пользователей различной комплекции. Антропометрические параметры и диапазон значений показаны в табл. 2 (допустимые антропометрические параметры оператора) и на рис. 2 (места необходимых замеров).

Т а б л и ц а 2

Параметры экзоскелета	Значения
Рост L	1,6...1,9 (м)
Длина голени со стопой L _Г	50...60 (см)
Длина бедра L _Б	45...55 (см)
Обхват груди O _{Гр}	100...200 (см)
Обхват таза O _Т	100...200 (см)
Обхват бедра O _Б	60...100 (см)
Обхват голени O _Г	40...60 (см)
Длина бедра L _Б	45...55 (см)
Масса оператора	от 60 кг до 120 кг

Результаты и их обсуждение

Для обучения основам эксплуатации промышленного экзоскелетного комплекса была разработана оригинальная методика, заключающаяся в поэтапном освоении теоретического материала и выполнении практических упражнений. Практические упражнения разработаны на основании анализа типовых задач применения экзоскелета, к которым можно отнести: ходьбу по

горизонтальной и наклонной поверхностям, работу в вертикальном положении или положении сидя, подъем, удержание и опускание груза, подъем и спуск по лестнице с грузом и без. Важным этапом обучения является получение навыков надевания и регулировки экзоскелета.

Содержание образовательного курса представлено в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Этапы обучения	Подразделы дисциплин (группы упражнений)
1. Освоение теоретических основ	Теоретические аспекты эксплуатации экзоскелетов
	Изучение конструктивных особенностей экзоскелета. Обслуживание. Ремонт
	Правила техники безопасности при работе в экзоскелете
2. Практические упражнения	Настройка экзоскелета под размеры оператора
	Надевание/снятие экзоскелета
	Ходьба в экзоскелете
	Подъем и перенос груза 10...15 кг
	Подъем и перенос груза 25...30 кг
3. Выполнение кейсовых заданий на полигоне	Монтаж детали на вертикальный фланец
	Монтаж детали на горизонтальный фланец
	Монтаж детали в положении сидя
	Переноска и монтаж оборудования (комплексное задание на полигоне)

Первый этап обучения включает набор лекционных и семинарских занятий, на которых обучающиеся знакомятся с общими принципами построения роботизированных устройств, особенностями человеко-машинного взаимодействия, основными конструктивными особенностями промышленных экзоскелетов. Обучающиеся изучают правила использования обслуживания и ремонта отдельных частей изделия. В рамках семинарских занятий изучаются правила безопасного использования, рассматривается поведение оператора в нестандартных ситуациях.

Второй этап предусматривает комплекс практических упражнений, в ходе которых обучающиеся получают навыки прак-

тического использования и настройки экзоскелетов. Время выполнения и/или количество повторений определяется индивидуально для каждого обучающегося инструктором в процессе обучения.

Третий и заключительный этап образовательного курса представляет собой набор кейсовых заданий, наиболее приближенных к реальным условиям. Задача, решаемая в рамках задания, определяется в соответствии со специальностью обучаемого. Это могут быть задачи связанные с монтажом оборудования, такелажные работы, сварочные работы, переноска оборудования и т.д. (табл.4 – содержание практических работ).

Т а б л и ц а 4

Отрабатываемый навык	Наименование упражнения
1. Настройка экзоскелета под размеры оператора	1.1 Настройка размеров голени экзоскелета
	1.2 Настройка высоты бедер
	1.3 Настройка высоты спины
	1.4 Настройка ширины спины
2. Надевание/снятие экзоскелета	2.1 Фиксация стоп
	2.2 Фиксация бедер
	2.3 Фиксация спины
	2.4 Фиксация поясного ремня

3. Ходьба в экзоскелете	3.1 Ходьба по горизонтальной поверхности
	3.2 Ходьба приставным шагом
	3.3 Наклоны и повороты корпуса
	3.4 Приседания до конструкционного упора
	3.5 Ходьба по наклонной поверхности
	3.6 Подъем/спуск по лестнице
4. Подъем и перенос груза 10...15 кг	4.1 Подъем груза
	4.2 Перенос груза
	4.3 Комплексное упражнение с грузом 10...15кг
	4.4 Ходьба по наклонной поверхности
	4.5 Подъем/спуск по лестнице
5. Подъем и перенос груза 25...30 кг	5.1 Подъем груза
	5.2 Перенос груза
	5.3 Комплексное упражнение с грузом 25...30кг
	5.4 Ходьба по наклонной поверхности
	5.5 Подъем/спуск по лестнице

После выполнения всех практических упражнений обучающемуся необходимо пройти зачет, чтобы инструктор мог объективно оценить навыки и степень подготовки оператора.

ВЫВОДЫ

В рамках проведенного исследования была сформирована теоретически обоснованная методика обучения, включающая в себя несколько этапов: теоретический, практический и прикладной. В работе подробно рассмотрена структура курса практических занятий, выполнение которых обеспечивает получение обучающимися первичных навыков эффективного и безопасного использования экзоскелета. Практическая часть представлена набором упражнений, которые в свою очередь разбиты на группы со строго определенной последовательностью освоения. В процессе обучения оператор экзоскелета осваивает следующие навыки.

- Правила безопасной эксплуатации экзоскелета
- Настройка и регулировка экзоскелета
- Правильная последовательность надевания/снятия экзоскелета
- Ходьба в экзоскелете по горизонтальной и наклонной поверхностям
- Подъем/спуск по лестнице в экзоскелете
- Подъем и перенос грузов

Результаты данного исследования могут составить теоретический фундамент для построения курсов обучения эксплуатации экзоскелетов, так как прошли апробацию на группах специалистов ведущих российских и зарубежных промышленных предприятий, где методика зарекомендовала себя как эффективная.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андиева Е. Ю., Фильчакова В. Д. Цифровая экономика будущего, индустрия 4.0 // Прикладная математика и фундаментальная информатика. – 2016, № 3. С. 214...218.
2. Галин Р.Р., Серебрянный В.В., Тевяшов Г.К., Широкий А.А. Взаимодействие человека и работа в коллаборативных робототехнических системах // Изв. Юго-Западного государственного университета. – 2020;24(4):180-199. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-180-199>
3. Экзоскелеты: анализ конструкций, принципы создания, основы моделирования [Электронный ресурс] : монография : в 2-х ч. / С. Ф. Яцун [и др.]. - Курск : Университетская книга, 2015. Ч. 1. - 178, [1] с. - Библиогр.: с. 163-178.
4. Anam K., Al-Jumaily A.A. Active exoskeleton control systems: State of the art //Procedia Engineering. – 2012. V. 41. P. 988...994.
5. Bogue R. Exoskeletons and robotic prosthetics: a review of recent developments //Industrial Robot: an international journal. – 2009.
6. De Looze M. P. et al. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load //Ergonomics. – 2016. V. 59, №. 5. P. 671...681. doi: 10.1080/00140139.2015.1081988
7. Voilqué A. et al. Industrial exoskeleton technology: classification, structural analysis, and structural complexity indicator //2019 Wearable Robotics

Association Conference (WearRAcon). – IEEE, 2019. P.13...20.

8. Robert B. Robotic exoskeletons: a review of recent progress [J] //Industrial Robot: An International Journal. – 2015. V. 42, №. 1. P. 5...10. doi: 10.1108/IR-08-2014-0379

9. Huysamen K. et al. Assessment of an active industrial exoskeleton to aid dynamic lifting and lowering manual handling tasks //Applied ergonomics. – 2018. V.68. P. 125...131.

10. Walsh C. J., Endo K., Herr H. A quasi-passive leg exoskeleton for load-carrying augmentation //International Journal of Humanoid Robotics. – 2007. V. 4, №. 03. P. 487...506. doi: 10.1142/S0219843607001126

11. Яцун С.Ф. и др. Экзоскелеты. Управление движением экзоскелета нижних конечностей при ходьбе [Электронный ресурс]; Юго-Зап. гос. ун-т. - Электрон. текстовые дан. (4777 КБ). – Курск : Университетская книга, 2016. С. 179...189.

12. Корневский Н.А. и др. Экзоскелет с биотехнической обратной связью для вертикализации пациентов //Медицинская техника. – 2017, №. 3. С.48...51.

13. Логинов Н.Ю. и др. Образовательная модель проектно-ориентированной подготовки молодых специалистов инженерно-технических направлений в концепции индустрия 4.0 //Инженерное образование. – 2018, №. 23. С. 77...82.

14. Яцун С.Ф., Антипов В.М., Карлов А.Е., Аль Манджи Хамил Хамед М. Подъем груза в экзоскелете с гравитационной компенсацией // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2019;23(2):8-17. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-2-8-17>

REFERENCES

1. Andieva E. Yu., Fil'chakova V. D. Tsifrovaya ekonomika budushchego, industriya 4.0 // Prikladnaya matematika i fundamental'naya informatika. – 2016, №.3. S. 214...218.

2. Galin R.R., Serebrennyy V.V., Tevyashov G.K., Shirokiy A.A. Vzaimodeystvie cheloveka i robota v kollaborativnykh robototekhnicheskikh sistemakh // Izv. Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2020;24(4):180-199. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-180-199>

3. Ekzoskelety: analiz konstruksiy, printsipy sozdaniya, osnovy modelirovaniya [Elektronnyy resurs] : monografiya : v 2-kh ch. / S. F. Yatsun [i dr.]. - Kursk : Universitetskaya kniga, 2015.Ch. 1. - 178, [1] s. - Bibliogr.: s. 163-178.

4. Anam K., Al-Jumaily A.A. Active exoskeleton control systems: State of the art //Procedia Engineering. – 2012. V. 41. P. 988...994.

5. Bogue R. Exoskeletons and robotic prosthetics: a review of recent developments //Industrial Robot: an international journal. – 2009.

6. De Looze M. P. et al. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load //Ergonomics. – 2016. V. 59, №. 5. P. 671...681. doi: 10.1080/00140139.2015.1081988

7. Voilqué A. et al. Industrial exoskeleton technology: classification, structural analysis, and structural complexity indicator //2019 Wearable Robotics Association Conference (WearRAcon). – IEEE, 2019. P.13...20.

8. Robert B. Robotic exoskeletons: a review of recent progress [J] //Industrial Robot: An International Journal. – 2015. V. 42, №. 1. P. 5...10. doi: 10.1108/IR-08-2014-0379

9. Huysamen K. et al. Assessment of an active industrial exoskeleton to aid dynamic lifting and lowering manual handling tasks //Applied ergonomics. – 2018. V.68. P. 125...131.

10. Walsh C. J., Endo K., Herr H. A quasipassive leg exoskeleton for load-carrying augmentation //International Journal of Humanoid Robotics. – 2007. V. 4, №. 03. P. 487...506. doi: 10.1142/S0219843607001126

11. Yatsun S.F. i dr. Ekzoskelety. Upravlenie dvizheniem ekzoskeleta nizhnikh konechnostey pri khod'be [Elektronnyy resurs]; Yugo-Zap. gos. un-t. - Elektron. tekstovyye dan. (4777 KB). – Kursk: Universitetskaya kniga, 2016. S. 179...189.

12. Korenevskiy N.A. i dr. Ekzoskelet s biotekhnicheskoy obratnoy svyaz'yu dlya vertikalizatsii patsientov //Meditsinskaya tekhnika. – 2017, №. 3. S.48...51.

13. Loginov N.Yu. i dr. Obrazovatel'naya model' proektno-orientirovannoy podgotovki molodykh spetsialistov inzhenerno-tehnicheskikh napravleniy v kontseptsii industriya 4.0 //Inzhenernoe obrazovanie. – 2018, №. 23. S. 77...82.

14. Yatsun S.F., Antipov V.M., Karlov A.E., Al' Mandzhi Khamil' Khamed M. Pod'em gruzha v ekzoskelete s gravitatsionnoy kompensatsiey // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2019;23(2):8-17. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-2-8-17>

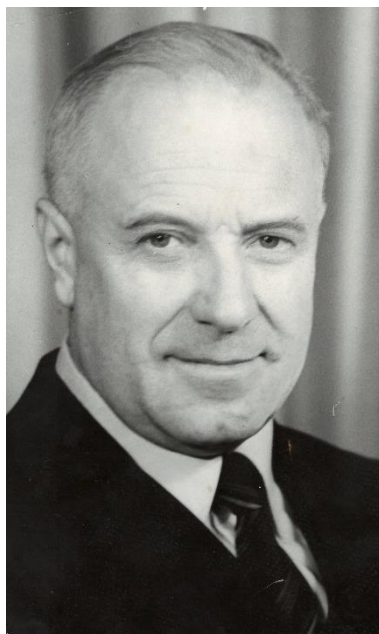
Рекомендована кафедрой механики, мехатроники и робототехники. Поступила 08.12.21.

КОНСТАНТИН МИХАЙЛОВИЧ ПИРОГОВ
(К 90-летию со дня рождения)

KONSTANTIN MIKHAILOVICH PIROGOV
(To the 90th birthday)

Доктору технических наук, профессору, Заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, члену-корреспонденту Академии технологических наук РФ, стипендиату РАН, мастеру спорта СССР, абсолютному чемпиону РСФСР по спортивной гимнастике, неоднократному чемпиону России на отдельных снарядах, в 1959 году – абсолютному чемпиону Китая по спортивной гимнастике Пирогову Константину Михайловичу 8 июня 2022 года исполнилось бы 90 лет.

В 1950 году К.М. Пирогов окончил Ивановский электромеханический техникум, получив специальность техника по холодной обработке металлов, а в 1960 году – Ивановский текстильный институт им. М.В.Фрунзе. После окончания Ивановского текстильного института его оставили ассистентом на кафедре технологии машиностроения. Вскоре коллектив ИвТИ оказал ему доверие, избрав председателем профкома. "Общественная работа дала мне очень много" – говорил К.М. Пирогов.



Ивановские профсоюзы К.М. Пирогов представлял на одном из съездов профсоюзов СССР. Работая одновременно на кафедре, он понял, что без производственного, практического опыта подготовить специалиста невозможно.

В 1960 году из ВУЗа ушел на завод расточных станков рядовым инженером, где молодому, пылкому инженеру были доверены самые смелые эксперименты в литейном производстве, результатами которых заинтересовались в столичном НИИ машиностроения. Семь лет практического опыта на

Ивановском заводе расточных станков позволили сделать К.М. Пирогову мощный рывок в последующей карьере.

Работа на передовом, образцовом в СССР – Ивановском заводе расточных станков инженером-технологом, старшим инженером, начальником технологического бюро, начальником кузнечно-термического цеха, центральной заводской лаборатории позволила накопить житейский, практический, профессиональный опыт и

подготовить в 1965 году к защите кандидатскую диссертацию, а в 1974 году – стать доктором технических наук.

С 1967 по 1982 гг. – доцент, профессор, заведует кафедрой экономики и организации производства, ректор Ивановского текстильного института им. М.В. Фрунзе.

В 1984 году К.М. Пирогов приглашен на работу в Ивановский государственный университет. Он организовал и заведовал кафедрой информационных технологий в экономике и организации производства экономического факультета ИвГУ.

В 1991 году К.М. создал Учебный научно-производственный центр внедрения новых технологий при Ивановском государственном университете, филиалы которого были открыты в Костроме и Владимире.

Профессор К.М. Пирогов – автор более 170 научных работ, включая учебники, монографии и патенты на изобретения.

Он был членом докторских диссертационных советов трех университетов. Подготовил свыше семидесяти кандидатов экономических и технических наук.

На протяжении многих лет Константин Михайлович являлся главным редактором и активнейшим членом редколлегии научно-технического журнала "Известия вузов. Технология текстильной промышленности".

Он был научным руководителем Центра информационных и промышленных технологий, научной школы "Надежность, безопасность и эффективность человеко-машинных систем" ИвГУ.

Стиль его общения с коллегами был схож с передовыми направлениями, где приоритетными ориентирами являются рациональность общения и уважение к личности.

С благодарностью он вспоминал и почитал коллег по текстильному институту, заводу тяжелого станкостроения, спорту и общественной работе.

К.М. Пирогов – активный и примерный результативный спортсмен.

В 1957 году он стал абсолютным чемпионом России по спортивной гимнастике. Был призером Международных соревнований в Китае, Польше, Югославии, Венгрии.

Конечно, успехи к нему не приходили сами собой. И в учебе, и на производстве, и в высшей школе, и в спорте, ему все время приходилось работать. Трудился настойчиво, целеустремленно. А поэтому успех не заставлял себя ждать.

К.М. Пирогов был почетным мастером спорта СССР по спортивной гимнастике.

Из государственных наград Константин Михайлович удостоен орденом "Знак Почёта" (1978 год), медалями, почетным знаком ОКР "За заслуги в развитии Олимпийского движения России" (2002 год). Почетный гражданин г. Иваново (2014 год).

Константин Михайлович Пирогов всегда пользовался заслуженным авторитетом. В нем сочетались огромная эрудиция и скромность, искренняя доброжелательность и требовательность. Его беззаветная преданность своему делу, своей профессии вызывали и вызывают бесконечное уважение и добрую память о нем.

Ивановский государственный политехнический университет.

Редколлегия и редакция журнала "Известия вузов. Технология текстильной промышленности".

СОДЕРЖАНИЕ

Обзорные статьи

<i>Ловкова Е.С., Кашицына Т.Н., Филимонова Н.М.</i> Потенциал текстильной промышленности для перехода и развития на Индустрию 4.0	5
<i>Ларионов В.Г., Шереметьева Е.Н., Балановская А.В.</i> Векторы цифровой трансформации текстильной промышленности	12
<i>Зорин Л.Б., Зорина Н.В., Холопов В.А.</i> Индустрия 4.0: подходы и перспективы использования в легкой промышленности	21
<i>Астраханцева И.А., Хомякова А.А.</i> Цифровизация экономики как фактор социально-экономического развития региона	31

Экономика, управление и организация производства

<i>Пашковская И.В., Амосова Н.А., Рудакова О.С.</i> Индустрия 4.0 и бизнес-ландшафт на финансовых рынках	46
<i>Лапишинов С.Б., Жукова Я.Э., Сперанский С.Н., Амаржаргалан Т.</i> Повышение эффективности управления товарными запасами на основе создания статистических моделей	59
<i>Симонин П.В., Капустина Н.В., Костромина Е.А., Косолапов Ю.В.</i> Влияние человеческих ресурсов на развитие текстильно-промышленного кластера в условиях Индустрии 4.0	64
<i>Вержбицкий И.В.</i> Финансовая аренда (лизинг) как инструмент реализации стратегии Индустрия 4.0 в текстильной промышленности	70
<i>Зотикова О.Н., Сенков В.А., Гончаров Н.А.</i> Предпосылки модернизации внутреннего контроллинга текстильных производств в условиях цифровой экономики	75
<i>Оборин М.С., Савельев И.И.</i> Повышение эффективности текстильного производства сельских территорий в цифровой среде	81

Материаловедение

<i>Москвин А.Ю., Москвина М.А., Кузьмичев В.Е.</i> Цифровые двойники текстильных материалов для визуализации исторических костюмов	86
<i>Переборова Н.В.</i> Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения	93
<i>Захаркина С.В., Власенко О.М., Казначеева А.А.</i> Методика построения информационно-измерительной системы разрывной машины на основе клиент-серверной технологии	98
<i>Карева Т.Ю., Мирошниченко Д.А., Толубеева Г.И., Болсуновская М.В., Бойков А.В., Лодышкин А.В.</i> Поиск путей совершенствования цифрового представления текстильных материалов с целью обнаружения дефектов	104
<i>Кенжибаева Г.С., Сулейменова Т.Н., Иманкулова М.Н., Дайрабай Д.Д., Нышанбаева Ж.У., Сихимбаева М.Т.</i> Математическое моделирование влияния технологических параметров на процесс изготовления нетканого полотна	109

Технология текстильных изделий

<i>Гречухин А.П., Хабибуллоев А.Т., Рудовский П.Н., Рудковский М.Д.</i> 3D-печать гибкого тканого аналога по FDM технологии	115
---	-----

Химия и технология отделки и модификации

<i>Киселев А.М., Румянцев Е.В., Одинцова О.И., Румянцева В.Е.</i> Современные технологии получения текстильных материалов со специальными свойствами и области их применения	121
--	-----

Швейное производство

<i>Замотин Н.А., Дягилев А.С.</i> Получение плоских разверток деталей сканированной конической женской юбки с использованием технологии 3D-сканирования	134
---	-----

<i>Гетманцева В.В., Белгородский В.С., Андреева Е.Г.</i> Концепция интеллектуализации проектирования в индустрии моды	140
<i>Койтова Ж.Ю., Перминова К.В., Долгова Е.Ю., Борисова Е.Н.</i> Выбор характеристик строения волосяного покрова в качестве исходных данных для визуализации меховых изделий	146
<i>Власенко О.М., Казначеева А.А., Захаркина С.В.</i> К вопросу моделирования обогревающего слоя спецодежды с автоматическим самонастраивающимся регулированием	152
<i>Сидя Ван, Кузьмичев В.Е.</i> Новый алгоритм идентификации дефектов на виртуальных двойниках одежды	159
<i>Белгородский В.С., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Рогожина Ю.В.</i> Искусственный интеллект в оценке качества готовой швейной продукции	168
<i>Ся Пэн, Кузьмичев В.Е.</i> Исследование влияния параметров фигуры и одежды на достоверность визуализации дефектов в виртуальной реальности	178
<i>Борзунов Г.И., Каршакова Л.Б., Груздева М.А., Обетковская М.А., Смирнов В.Б., Захаркина С.В.</i> Особенности проектирования одежды в цифровой среде	183
<i>Чижик М.А., Долгова Е.Ю.</i> Методика автоматизированного проектирования пакетов пуховой одежды заданной объемно-пространственной формы	191
<i>Гаджибекова И.А.</i> Использование баз данных и СУБД при проектировании ассортимента производственной одежды	198

Текстильные машины и агрегаты

<i>Руднева Л.Ю., Корнеев М.С., Баев И.Б.</i> Моделирование технологии сборки высокоточных агрегатов	204
<i>Ермолаева Е.М., Вигелина О.А., Труевцев А.В.</i> Современные цифровые технологии в экспериментальном дизайн-проектировании трикотажа	211
<i>Ермолаева Е.М., Митрофанова Н.Ю.</i> Ключевые направления развития устойчивого дизайна трикотажа в реалиях Индустрии 4.0	218
<i>Блинов О.В., Кузнецов В.Б., Калинин Е.Н.</i> Влияние растворов поверхностно-активных веществ на триботехнические свойства текстильных материалов в паре трения "ткань – транспортирующий ролик"	233
<i>Сигачева В.В., Меняйло И.Е.</i> Диагностирование и разработка системы эксплуатационного мониторинга ткацкого станка для производства сушильных сеток	237

Автоматизация и информационные технологии

<i>Макаров А.Г., Переборова Н.В., Литвинов А.М., Козлов А.А.</i> Спектральное моделирование релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов	243
<i>Хорошева Е.Р., Филимонова Н.М., Башарина С.М., Якунина М.В.</i> Оценка эффективности ИТ-решений проекта разработки системы автоматизации производственных процессов текстильной промышленности	252
<i>Ибатуллина А.Р., Красина И.В., Бронская В.В.</i> Аспекты применения инструментов цифровизации в текстильной и легкой промышленности	261
<i>Силаков А.В., Варламова С.А., Котков П.В.</i> Программное распознавание дефектов изображений регулярных текстур в текстильной промышленности	266
<i>Кудрявцева Е.А., Юхин С.С.</i> Трехмерное компьютерное моделирование реалистичного полотняного переплетения с получением пористых структур	273

Техническая эстетика и дизайн

<i>Конарева Ю.С., Костылева В.В., Максимова И.А., Литвин Е.В., Карасева А.И., Синева О.В.</i> Концепция художественного онлайн-проектирования кастомизированных аксессуаров на основе принципов осознанной моды	279
---	-----

Механика нити и полотен

<i>Демидов А.В., Переборова Н.В., Макаров А.Г., Киселев С.В.</i> Оптимизация математического моделирования релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов	285
--	-----

Передовые производственные технологии

<i>Морозов М.А., Морозов М.М.</i> Цифровые компетенции персонала как инструмент повышения инновационности предприятия	292
---	-----

<i>Дружинина И.А., Квач Н.М., Генералова А.В., Морозова Т.Ф., Макарова Н.С., Силаков А.В.</i> Использование цифровых технологий для продвижения брендов в индустрии моды	299
<i>Коновалова О.Б., Минец В.В., Бокова Е.С., Костылева В.В., Белицкая О.А.</i> Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве: группа крупнотоннажных полимеров	304
<i>Фролов В.Г., Дробот Е.В., Абрамов Е.Г.</i> Реализация стратегий Индустрии 4.0 российскими и зарубежными предприятиями: возможности для российской текстильной промышленности	312
<i>Каганов Ю.Т., Хейло С.В., Полетика А.К.</i> Бионические принципы построения робототехнических систем	323
<i>Минец В.В., Татарчук И.Р., Белицкая О.А., Литвин Е.В.</i> Применение 3D-технологий быстрого прототипирования при изготовлении оснастки обувного производства и апробация формальной модели экспресс-формы для литьевого агрегата	329
<i>Губачев Н.Н., Морозов Р.В., Горский А.А., Огурцова Н.С., Белясов И.С.</i> Цифровые двойники технологических процессов в легкой промышленности	334
<i>Кузьмин А.Г., Тюрин И.Н., Голубев Е.М., Ташипулатов С.Ш., Белгородский В.С.</i> Исследование технологических процессов нанесения полимерных 3D-форм на текстильную подложку	339
<i>Ерофеев В.Т., Ельчищева Т.Ф., Макаручук М.В.</i> Эпоксидный композит с углеродными структурами в аддитивной технологии изготовления изделий для текстильной промышленности	346
Обмен опытом, критика и библиография, краткие сообщения	
<i>Тонелли Л.</i> Решения для реализации принципов Индустрии 4.0 в швейном производстве	355
<i>Саркулакова Р.А., Момбекова С.С., Маханова З.А., Медетбекова Р.А., Жайлаубаев Н.М., Нышанбаева К.У., Белесова Д.Т.</i> Использование информационно-коммуникационных технологий в решении проблем защиты и безопасности потребительской продукции	358
<i>Яцун С.Ф., Яцун А.С., Мальчиков А.В., Политов Е.Н.</i> Переподготовка кадров для Индустрии 4.0: методика обучения эксплуатации промышленного экзоскелета	364
Константин Михайлович Пирогов (К 90-летию со дня рождения)	370

CONTENTS

Review articles

<i>Lovkova E.S., Kashitsina T.N., Filimonova N.M.</i> The Potential of the Textile Industry for Transition and Development to Industry 4:0	5
<i>Larionov V.G., Sheremetyeva E.N., Balanovskaya A.V.</i> Vectors of the Digital Transformation of the Textile Industry	12
<i>Zorin L.B., Zorina N.V., Kholopov V.A.</i> Industry 4.0: Approaches and Prospects for Use in Light Industry	21
<i>Astrahanceva I.A., Номыякова А.А.</i> Digital Transformation of the Economy as a Factor of Socio-Economic Development of the Region	31

Economics and Production Planning

<i>Pashkovskaya I.V., Amosova N.A., Rudakova O.S.</i> Industry 4.0 and Business Landscape in Financial Markets Improving the Efficiency of Inventory Management Based on the Creation of Statistical Models	46
<i>Lapshinov S.B., Zhukova Ya.E., Speransky S.N., Amarjargalan T.</i> Improving the Efficiency of Inventory Management Based on the Creation of Statistical Models	59
<i>Simonin P.V., Kapustina N.V., Kostromina E.A., Kosolapov Yu.V.</i> The Impact of Human Resources on the Development of a Textile and Industrial Cluster in the Context of Industry 4.0	64
<i>Verzhbitsky I.V.</i> Financial Leasing as a Tool for Implementing the Industry 4.0 Strategy in the Textile Industry	70
<i>Zotikova O.N., Senkov V.A., Goncharov N.A.</i> Prerequisites for Modernization of Internal Controlling of Textile Industry in the Conditions of the Digital Economy	75
<i>Oborin M.S., Savelev I.I.</i> Improving the Efficiency of Rural Textile Production in the Digital Environment	81

Materials

<i>Moskvin A.Yu., Moskvina M.A., Kuzmichev V.E.</i> Digital Twins of Textile Materials for Visualization of Historical Costumes	86
<i>Pereborova N.V.</i> Development of Criteria for Digital Qualitative Assessment of Relaxation and Restoration Properties of Polymer Textile Materials for Technical Purposes	93

<i>Zakharkina S.V., Vlasenko O.M., Kaznacheeva A.A.</i> Methodology of Construction of Tensioning Machine Information-Measuring System Based on Client-Server Technology	98
<i>Kareva T.Yu., Miroshnichenko D.A., Tolubeeva G.I., Bolsunovskaya M. V., Boikov A.V., Lodyshkin A.V.</i> Finding Ways to Improve the Digital Presentation of Textile Materials for Detecting Defects	104
<i>Kenzhibayeva G.S., Suleimenova T.N., Imankulova M.N., Dairabay D.D., Nyshanbaeva Zh.U., Sikhimbayeva M.T.</i> The Mathematical Modeling of the Influence of Technological Parameters on the Manufacturing Process of Nonwoven Fabric	109

Technology of Textile Products

<i>Grechukhin A.P., Habibulloev A.T., Rudovsky P.N., Rudkovskiy M.D.</i> 3d Printing of a Fabric Analog Using FDM Technology	115
--	-----

Chemistry and Technology of Finishing and Modification

<i>Kiselev A.M., Rumyantsev E.V., Odintsova O.I., Rumyantseva V.E.</i> Modern Technologies for Obtaining Textile Materials with Special Properties and Their Fields of Application	122
--	-----

Sewing

<i>Zamotin N.A., Dyagilev A.S.</i> Obtaining Flat Patterns of a Scanned Conical Women's Skirt Using 3D Scanning Technology	134
<i>Getmantseva V.V., Belgorodsky V.S., Andreeva E.G.</i> Concept of Design Intellectualization in the Fashion Industry	140
<i>Koytova J.Yu., Perminova K.V., Dolgova E. Yu., Borisova E.N.</i> Selection of Structure Characteristics of Hair Covering as Initial Data for Visualization of Fur Products	146
<i>Vlasenko O.M., Kaznacheeva A.A., Zakharkina S.V.</i> About Simulation of the Heating Layer of Workwear with Automatic Self-Adjusting Regulation	152
<i>Sida Wan, Kuzmichev V.E.</i> New Algorithm of Defect Identification on Virtual Clothing Twins	159
<i>Belgorodsky V.S., Guseva M.A., Andreeva E.G., Rogozhina Yu.V.</i> Artificial Intelligence in Quality Assessment of Finished Sewing Products	168
<i>Xia Peng, Kuzmichev V.E.</i> An Exploration of Body and Clothing Shapes Influencing on Reliability of Defects Vizualization in Virtual Reality	178
<i>Borzunov G.I., Karshakova L.B., Gruzdeva M.A., Obetkovskaya M.A., Smirnov V.B., Zakharkina S.V.</i> Features of Clothing Design in Digital Environment	183
<i>Chizhik M.A., Dolgova E.Yu.</i> Comprehensive Methodology of Automated Design of Down Clothing Packets of a Given Volume and Shape	191
<i>Gadzhibekova I.A.</i> Using Databases and DBMS in Designing of Workwear Assortment	198

Textile Machines and Aggregates

<i>Rudneva L.Yu., Korneyev M.S., Bayev I.B.</i> Modeling Technology of High-Precision Units Assemble	204
<i>Ermolaeva E.M., Vigelina O.A., Truevtsev A.V.</i> Modern Methods of Digital Technologies in the Knitwear Experimental Design	211
<i>Ermolaeva E.M., Mitrofanova N.Yu.</i> Key Directions of Development of Sustainable Knitwear Design in the Realities of Industry 4.0	218
<i>Blinov O.V., Kuznetsov V.B., Kalinin E.N.</i> The Influence of Surfactant Solutions on Tribotechnical Properties of Textile Materials in the "Fabric – Conveying Roller" Friction Pair	233
<i>Sigacheva V.V., Menyaylo I.E.</i> Diagnosis and Development of the Weaving Machine Operational Monitoring Systems for the Production of Drying Nets	237

Automation and Information Technologies

<i>Makarov A.G., Pereborova N.V., Litvinov A.M., Kozlov A.A.</i> Spectral Modeling of Polymer Textile Materials Relaxation and Deformation Processes	243
<i>Khorosheva E.R., Filimonova N.M., Basharina S.M., Yakunina M.V.</i> Development of Automation System Production Processes of the Textile Industry	252
<i>Ibatullina A.R., Krasina I.V., Bronskaya V.V.</i> Aspects of Applying Digitalization Tools in the Textile and Light Industry	261
<i>Silakov A.V., Varlamova S.A., Kotkov P.V.</i> Software Recognition of Image Defects of Regular Textures in the Textile Industry	266

<i>Kudryavtseva E.A., Yukhin S.S.</i> Three-Dimensional Computer Simulation of Realistic Plain Weave and Obtaining Weave Pores	273
--	-----

Technical Aesthetics and Design

<i>Konareva Yu.S., Kostyleva V.V., Maksimova I.A., Litvin E.V., Karaseva A.I., Sineva O.V.</i> The Concept of Artistic Online Design of Customized Accessories Based on the Principles of Conscious Fashion	279
---	-----

Mechanics of Threads and Fabrics

<i>Demidov A.V., Pereborova N.V., Makarov A.G., Kiselev S.V.</i> Optimization of Mathematical Modeling Relaxation and Recovery Processes Polymeric Textile Materials	285
--	-----

Advanced Manufacturing Technologies

<i>Morozov M.A., Morozov M.M.</i> Digital Personnel Competencies as a Tool For Increasing the Innovativeness of an Enterprise	292
<i>Druzhinina I.A., Kvach N.M., Generalova A.V., Morozova T.F., Makarova N.S., Silakov A.V.</i> Using of Digital Technologies to Promote Brands in the Fashion Industry	299
<i>Konovalova O.B., Minets V.V., Bokova E.S., Kostyleva V.V., Belitskaya O.A.</i> Polymer Materials for 3D Printing and the Possibility of Their Use in Shoe Production Group of Large-Tonnage Polymers	304
<i>Frolov V.G., Drobot E.V., Abramov E.G.</i> Implementation of Industry 4.0 Strategies by Russian and Foreign Enterprises: Chances for the Russian Textile Industry	312
<i>Kaganov Yu.T., Kheylo S.V., Poletika A.K.</i> Bionic Principles Design of Robotic Systems	323
<i>Minets V.V., Tatarchuk I.R., Belitskaya O.A., Litvin E.V.</i> Application of 3d-Technologies for Fast Prototyping in the Manufacture of Tooling for the Production of Footwear and Approbation of A Formal Model of Express Form for A Casting Unit	329
<i>Gubachev N.N., Morozov R.V., Gorsky A.A., Ogurtsova N.S., Belyasov I.S.</i> Digital Twins of Technological Processes in Light Industry	334
<i>Kuzmin A.G., Tyurin I.N., Golubev E.M., Tashpulatov S.Sh., Belgorodsky V.S.</i> Technology of Application of Polymeric 3D-Printed Forms on the Textile Substrate	339
<i>Erofeev V.T., Elchishcheva T.F., Makarchuk M.V.</i> Epoxy Composite with Carbon Structures in Additive Technology for Manufacturing Products for the Textile Industry	346

Experience Exchange, Criticism and Bibliography. Short Items

<i>Tonelly L.</i> Solutions for the Implementation of the Industry 4.0 Principles in the Sewing Industry	355
<i>Sarkulakova R.A., Mombekova S.S., Makhanova Z.A., Medetbekova R.A., Zhailaubayev N.M., Nyshanbayeva K.U., Belessova D.T.</i> The Use of Information and Communication Technologies in Solving the Problems of Consumer Products Protection and Safety	358
<i>Yatsun S.F., Yatsun A.S., Malchikov A.V., Politov E.N.</i> Retraining of Personnel for Industry 4.0: Methods of Teaching of the Industrial Exoskeleton Operation	364
Konstantin Mikhailovich Pirogov (To the 90th Birthday)	370