

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

**№ 6 (390)
2020**

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.).*
Первый заместитель главного редактора: *С.В. ФЕДОСОВ (академик РААСН, д.т.н., проф.).*

Заместители главного редактора:

Б.Н. ГУСЕВ (д.т.н., проф.), А.Г. МАКАРОВ (д.т.н., проф.), К.Э. РАЗУМЕЕВ (д.т.н., проф.).

Члены редколлегии:

Ю.В. БАБИН (д.х.н., проф.), М.Г. БАЛЫХИН (д.э.н., проф.), Н.П. БЕСЧАСТНОВ (д.иск., проф.), М.М. БЛАГОВЕЩЕНСКАЯ (д.т.н., проф.), В.Н. БЛИНИЧЕВ (д.т.н., проф.), В.Ф. ГЛАЗУНОВ (д.т.н., проф.), С.Г. ДЕМБИЦКИЙ (д.э.н., проф.), Е.Н. КАЛИНИН (д.т.н., проф.), О.В. КАЩЕЕВ (к.пс.н., проф.), А.М. КИСЕЛЕВ (д.т.н., проф.), М.В. КИСЕЛЕВ (д.т.н., проф.), Н.В. КИСЕЛЕВ (д.т.н., проф.), Ж.Ю. КОЙТОВА (д.т.н., проф.), А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ (д.т.н., проф.), Н.Л. КОРНИЛОВА (д.т.н., проф.), В.Е. КУЗЬМИЧЕВ (д.т.н., проф.), Н.А. КУЛИДА (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.), Е.Л. ПАШИН (д.т.н., проф.), И.А. ПЕТРОСОВА (д.т.н., проф.), А.Б. ПЕТРУХИН (д.э.н., проф.), А.Ф. ПЛЕХАНОВ (д.т.н., проф.), Л.П. РОВИНСКАЯ (д.т.н., проф.), В.Е. РОМАНОВ (д.т.н., проф.), С.П. РУДОБАШТА (д.т.н., проф.), П.Н. РУДОВСКИЙ (д.т.н., проф.), В.Е. РУМЯНЦЕВА (д.т.н., проф.), В.В. САФОНОВ (д.т.н., проф.), П.А. СЕВОСТЬЯНОВ (д.т.н., проф.), Н.А. СМЕРНОВА (д.т.н., проф.), Г.Г. СОКОВА (д.т.н., проф.), А.Н. СТРЕЛЮХИНА (д.т.н., проф.), С.Ш. ТАШПУЛАТОВ (д.т.н., проф.), А.А. ТЕЛИЦЫН (д.т.н., проф.), В.Н. ФЕДОСЕЕВ (д.т.н., проф.), Н.М. ФИЛИМОНОВА (д.э.н., проф.), А.В. ФИРСОВ (д.т.н., проф.), Л.П. ШЕРШНЕВА (д.т.н., проф.), Ю.С. ШУСТОВ (д.т.н., проф.), В.П. ЩЕРБАКОВ (д.т.н., проф.), С.С. ЮХИН (д.т.н., проф.).

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ (д.с.н., проф.), А.В. ДЕМИДОВ (д.т.н., проф.), К.И. КОБРАКОВ (д.т.н., проф.), А.Р. НАУМОВ (д.х.н., проф.), А.П. СОРКИН (д.т.н., проф.).

Ответственный секретарь *С.Л. ХАЛЕЗОВ*

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

Издание зарегистрировано в Министерстве печати РФ. Регистрационный №796. Сдано в набор 01.12.2020. Подписано в печать 30.12.2020. Формат 60x84 1/8. Бум. кн.-журн. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 26,51; Усл. кр.-отт. 26,76. Заказ 3861.

Тираж 400 экз.

"Известия вузов. Технология текстильной промышленности"
Издание Ивановского государственного политехнического университета
153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21.
E-mail: ttp@ivgpi.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", 2020

Ministry of Science and Higher Education
of Russian Federation

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

**TEXTILE
INDUSTRY
TECHNOLOGY**

PEER-REVIEWED SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

ESTABLISHED IN DECEMBER OF 1957, 6 ISSUES PER YEAR

**№ 6 (390)
2020**

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.).*
First deputy of chief editor: *S.V. FEDOSOV (acad. RAACS, d.en.s., prof.).*

Deputy editors:

B.N. GUSEV (d.en.s., prof.), A.G. MAKAROV (d.en.s., prof.), K.E. RAZUMEEV (d.en.s., prof.).

Editorial board members:

YU.V. BABIN (d.ch.s., prof.), M.G. BALYKHIN (d.ec.s., prof.), N.P. BESCHASTNOV (d. of arts, prof.), M.M. BLAGOVESHCHENSKAYA (d.en.s., prof.), V.N. BLINICHEV (d.en.s., prof.), V.F. GLAZUNOV (d.en.s., prof.), S.G. DEMBITSKY (d.ec.s., prof.), E.N. KALININ (d.en.s., prof.), O.V. KASHCHEEV (c.ps.s., prof.), A.M. KISELEV (d.en.s., prof.), M.V. KISELEV (d.en.s., prof.), N.V. KISELEV (d.en.s., prof.), ZH.YU. KOYTOVA (d.en.s., prof.), A.R. KORABELNIKOV (d.en.s., prof.), N.L. KORNLOVA (d.en.s., prof.), V.E. KUZMICHEV (d.en.s., prof.), N.A. KULIDA (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.), E.L. PASHIN (d.en.s., prof.), I.A. PETROSOVA (d.en.s., prof.), A.B. PETRUKHIN (d.ec.s., prof.), A.F. PLEKHANOV (d.en.s., prof.), L.P. ROVINSKAYA (d.en.s., prof.), V.E. ROMANOV (d.en.s., prof.), S.P. RUDOBASHTA (d.en.s., prof.), P.N. RUDOVSKY (d.en.s., prof.), V.E. RUMYANTSEVA (d.en.s., prof.), V.V. SAFONOV (d.en.s., prof.), P.A. SEVOSTYANOV (d.en.s., prof.), N.A. SMIRNOVA (d.en.s., prof.), G.G. SOKOVA (d.en.s., prof.), A.N. STRELYUKHINA (d.en.s., prof.), S.SH. TASHPULATOV (d.en.s., prof.), A.A. TELITSYN (d.en.s., prof.), V.N. FEDOSEEV (d.en.s., prof.), N.M. FILIMONOVA (d.ec.s., prof.), A.V. FIRSOV (d.en.s., prof.), L.P. SHERSHNEVA (d.en.s., prof.), YU.S. SHUSTOV (d.en.s., prof.), V.P. SHCHERBAKOV (d.en.s., prof.), S.S. YUKHIN (d.en.s., prof.).

EDITORIAL COUNCIL

V.S. BELGORODSKY (d.soc.s., prof.), A.V. DEMIDOV (d.en.s., prof.), K.I. KOBRAKOV (d.en.s., prof.), A.R. NAUMOV (d.ch.s., prof.), A.P. SORKIN (d.en.s., prof.).

Executive secretary *S.L. KHALEZOV*

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

Registered with the Ministry of Printing of Russian Federation. Registration no. 796. Passed for typesetting on 01.12.2020. Signed for printing on 30.12.2020. Format 60×84 1/8. Book/journal paper. Offset printing. 26.51 conventional sheets. 26.76 conventional. Order 3861.

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: pressto@mail.ru

УДК 677.331

**АНАЛИЗ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА
ТЕКСТИЛЬНОЙ И ШВЕЙНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ***

**ANALYSIS OF RESOURCE POTENTIAL
IN TEXTILE AND SEWING INDUSTRY
BASED ON PRODUCTION FUNCTIONS**

О.Г. КАНТОР, Ю.А. КУЗНЕЦОВА

O.G. KANTOR, YU.A. KUZNETSOVA

(Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева (филиал), г. Новокузнецк)

(Ufa State Petroleum Technological University,
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (branch), Novokuznetsk)

E-mail: o_kantor@mail.ru, acanaria2005@yandex.ru

С позиций обеспечения устойчивого развития отрасли – важнейшей стратегической задачи – осуществлен анализ современного состояния текстильной и швейной промышленности Российской Федерации в разрезе ее ресурсных возможностей. Раскрыты факторы, обуславливающие низкую привлекательность отрасли. В целях количественной оценки влияния основных экономических составляющих ресурсного потенциала текстильного и швейного производства на уровень развития отрасли предложен метод построения производственной функции. Обосновано, что значимым ресурсом развития текстильной и швейной промышленности является человеческий капитал.

The analysis of the current state of the Russian Federation' textile and clothing industry was carried out in the context of its resource potential. The ensuring sustainable development of the industry is considered as the most important strategic purpose. The factors that determine the low attractiveness of the industry are revealed. In order to quantify the impact of the main economic parameters for the level of development of the textile and clothing production the method of constructing a production function has been proposed. It is substantiated that human capital is a significant resource for the development of the textile and clothing industry.

* Исследование выполнено в рамках государственного задания ИСЭИ УФИЦ РАН на 2018 г.

Ключевые слова: текстильная промышленность, швейное производство, ресурсный потенциал, человеческий капитал, производственная функция.

Keywords: textile industry, sewing production, resource potential, human capital, production function.

Стратегия развития Российской Федерации предполагает проведение глубоких изменений существующей структуры промышленности. В частности, в текстильном и швейном производстве поставлена задача увеличения к 2030 г. объема производства в 1,8 раза к уровню 2011 г. на основе инновационной модели развития, ориентированной на увеличение выпуска качественной продукции нового поколения [11]. Данная отрасль, с одной стороны, во многом определяет качество жизни населения и служит основой для функционирования многих иных отраслей, с другой – находится в стагнирующем состоянии, несмотря на попытки правительства вывести ее на новый качественный уровень [10]. На состояние дел в данной сфере оказывает влияние большое количество как внешних, так и внутренних факторов. К числу наиболее значимых внешних факторов следует отнести состояние глобальной конкуренции как в самой отрасли, так и в экономике страны в целом, уровень государственной поддержки отрасли, платежеспособность населения и пр., внутренних – объемы финансирования и инвестиционных вложений в отрасль, количественно-качественная структура основных производственных фондов и др. При этом, как показал анализ отечественных и зарубежных публикаций, достаточно часто в качестве ключевого фактора выделяется человеческий капитал [3], [19], [20], оказывающий непосредственное влияние на кадровое обеспечение отрасли. Формирование кадрового потенциала в текстильном и швейном производстве является важным направлением реализации Стратегии развития легкой промышленности в РФ на период до 2025 года [15], что, в том числе, призвано способствовать повышению привлекательности данной сферы деятельности для трудовых ресурсов. Низ-

кая популярность предприятий легкой промышленности в стране на сегодняшний день объясняется рядом экономических причин:

1) выход на глобальные рынки и связанный с этим большой поток дешевых иностранных товаров обусловили спад производства в стране. Так, количество предприятий текстильной промышленности и швейного производства сократилось с 2009 к 2016 гг. на 11%, до 23845 ед., при этом на 23,5% (до 257,4 тыс. чел.) сократилась и среднесписочная численность работников [12];

2) даже те незначительные процессы модернизации и технического перевооружения предприятий приводят к высвобождению работников отрасли на уровне 3...4% в год [16];

3) отсутствие конкурентной заработной платы в текстильной промышленности и швейном производстве. Например, среднемесячная номинальная начисленная заработная плата на одного работника в текстильном и швейном производстве в 2016 г. достигла 19530 руб., тогда как в среднем по России данный показатель составил 47554 руб., (для сравнения, среднемесячная номинальная начисленная заработная плата на одного работника в производстве машин и оборудования – 41654 руб., в химическом производстве – 51251 руб. [17]).

Помимо сказанного, к негативным факторам следует отнести сложность в получении образования по соответствующим специальностям ввиду сокращения профессиональных технических училищ. Действительно, по данным за 2017 г. в стране по специальности "29.00.00 – Технология легкой промышленности" ведут подготовку 50 вузов с общим числом мест приема в год 1618. Тяжелыми считаются и условия труда в легкой промышленности России [4].

Вместе с тем уровень развития текстильной и швейной промышленности можно рассматривать как индикатор самодостаточности государства в формировании и наполнении внутреннего рынка собственной продукцией, что с учетом потенциала российского рынка потребления обуславливает высокую социальную значимость данной отрасли в нашей стране. В связи с этим важная роль отводится экономическим исследованиям, направленным на установление взаимосвязи результирующих экономических показателей с факторами, характеризующими ресурсную составляющую производства. При этом особую значимость приобретает оценка влияния уровня человеческого капитала на показатели экономического развития отрасли, как одного из ключевых факторов производства, который в условиях информационной экономики становится важнейшим условием обеспечения конкурентоспособности экономики в виду того, что только высококвалифицированные специалисты, производящие знания и обеспечивающие их эффективное использование, способны переориентировать развитие любой отрасли на качественно новый путь. Такого рода исследования широко представлены в рамках наблюдений отдельных государств, в том числе в разрезе их субъектов, и при проведении межстрановых сравнений [2].

Одним из основных инструментов в данном контексте выступают производственные функции, широко применяющиеся в исследованиях экономических систем макро-, мезо- и микроуровней [6], [8], [9]. При этом их использование сопряжено с ря-

дом проблем, связанных с выбором спецификации, сбором данных и их преобразованием [1], [5]. Существенное значение имеет и выбор размерности используемых показателей, к которым результирующий фактор является крайне чувствительным. Одним из способов нивелирования данного влияния является построение производственных функций на основе использования цепных индексов дефлированных показателей [5]. При выборе спецификации производственных функций определяющим является удобство трактовки ее параметров. В связи с этим большой интерес представляют расширенные производственные функции Кобба-Дугласа. Использование математико-статистических методов для их построения ограничивается имеющимися рядами данных, что априори не позволяет получать статистически значимые оценки параметров. По этой причине в рамках настоящей работы построение производственной функции осуществлялось с использованием нестатистического подхода к параметрической идентификации функциональных зависимостей [14], основанного на развитии идеи Л.В. Канторовича к выявлению областей неопределенностей параметров математических моделей.

В качестве исходной информационной базы для построения расширенной производственной функции Кобба-Дугласа в данном исследовании использовались основные экономические показатели текстильного и швейного производства в РФ (табл. 1 – темпы изменения показателей текстильного и швейного производства в 2010-2016 гг.).

Т а б л и ц а 1

Показатель (обозначение)	Годы						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами, млрд. руб. (V)	1,088	1,008	1,007	1,043	0,975	0,883	1,053
Инвестиции в основной капитал, млрд. руб. (I)	1,063	0,923	0,854	1,008	0,985	0,899	0,991
Среднегодовая численность работников организаций, тыс. чел. (L)	0,965	0,967	0,943	0,983	0,931	0,951	0,959
Затраты на оплату труда работников, млрд. руб. (S)	0,997	0,973	0,972	1,030	0,895	0,918	0,981
Основные фонды организаций (по полной учетной стоимости на конец года), млрд. руб. (F)	1,086	1,045	0,951	1,030	1,130	1,269	0,944

П р и м е ч а н и е. Стоимостные показатели взяты в ценах 2009 г.

Расчет показателей и их приведение к сопоставимым ценам проводились на основании статистических данных [7], [12], [13], [18] с использованием индексов производства, физического объема инвестиций в основной капитал, цен производителей на строительную продукцию и потребительских цен. Исследовалась производственная функция вида:

$$V = A I^{\alpha_1} L^{\alpha_2} S^{\alpha_3} F^{\alpha_4} . \quad (1)$$

Определение параметров A , α_1 , α_2 , α_3 , α_4 осуществлялось на основе следующей оптимизационной задачи:

$$\xi \rightarrow \min$$

$$\left| Y - e^{A + \alpha_1 \ln I + \alpha_2 \ln L + \alpha_3 \ln S + \alpha_4 \ln F} \right| \leq \xi, \quad t = 2010, \dots, 2016, \quad \alpha_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, 4. \quad (2)$$

Результаты проведенных расчетов позволили идентифицировать модель (1):

$$V = 1,129 I^{0,301} S^{0,296} . \quad (3)$$

Производственная функция (3) с хорошей точностью описывает исходные данные (рис. 1 – результаты модельных расчетов показателя V , %), о чем свидетельствует средняя погрешность аппроксимации на уровне 4,66% (достигнутое при этом значение абсолютной точности $\xi^* = 0,061$).

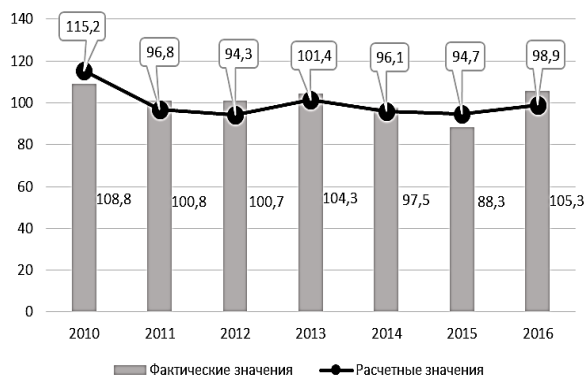


Рис. 1

Таким образом, по результатам расчетов установлено, что темпы роста объемов текстильного и швейного производства в РФ определяются темпами инвестиций в основной капитал и затратами на оплату труда работников (соответствующие коэффициенты эластичности 0,301 и 0,296). При этом, исходя из того, что сумма данных коэффициентов эластичности меньше 1, производство в целом характеризуется убывающей отдачей. Из этого следует, что устойчивое развитие текстильной и швейной промышленности может быть достигнуто только на основе качественной трансформации ее ресурсной базы.

Использованный нестатистический подход к параметрической идентификации производственной функции (1) интересен тем, что позволяет определять интервалы значений параметров модели, которые обеспечивают заданное соответствие фактических и расчетных значений. Так, на основе модели (4) могут быть рассчитаны границы диапазона значений параметра A , гарантирующих расхождение фактических и расчетных значений не более чем на величину $\xi^* \cdot (1 + 0,05)$:

$$A \rightarrow \min (A \rightarrow \max)$$

$$\left| Y - e^{A + \alpha_1 \ln I + \alpha_2 \ln L + \alpha_3 \ln S + \alpha_4 \ln F} \right| \leq \xi^* (1 + 0,05), \quad t = 2010, \dots, 2016, \quad \alpha_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, 4. \quad (4)$$

Численная реализация модели (4) и моделей, аналогичных ей, выписанных для параметров α_1 , α_2 , α_3 , α_4 , позволила установить (табл. 2 – диапазоны вариации параметров производственной функции (1)), что определяющими факторами развития текстильной и легкой промышленности в Рос-

сийской Федерации выступают "Инвестиции в основной капитал" и "Затраты на оплату труда работников", коэффициенты эластичности по которым варьируются в диапазонах [0,038; 0,337] и [0,194; 0,586] соответственно. Фактор "Среднегодовая численность работников организаций" оказы-

вает слабое влияние, а фактор "Основные фонды организаций (по полной учетной стоимости на конец года)" – практически незначим (соответствующие коэффициенты эластичности изменяются в диапазо-

нах $[0,0; 0,120]$ и $[0,0; 0,034]$. Значения параметра A , характеризующего уровень технологической производительности, варьируются незначительно (от 1,003 до 1,152).

Т а б л и ц а 2

Параметры	A	α_1	α_2	α_3	α_4
Минимальное значение	1,003	0,038	0,000	0,194	0,000
Максимальное значение	1,152	0,337	0,120	0,586	0,034
Диапазон вариации средней ошибки аппроксимации, %	[4,47; 4,83]	[4,47; 4,70]	[4,70; 4,88]	[4,47; 4,88]	[4,66; 4,83]

Полученные количественные оценки доказывают, что в сложившихся реалиях рост текстильного и швейного производства в Российской Федерации, в первую очередь, может быть обеспечен за счет инвестиций в человеческий капитал, а во вторую – за счет инвестиций в основной капитал. Положение о приоритетном вкладе человеческого капитала в обеспечение устойчивого развития текстильного и швейного производства подтверждается рядом современных аналитических исследований [4], [13], а также представленными Российским союзом предпринимателей текстильной и легкой промышленности отчетами о состоянии и развитии отрасли.

Полученные результаты доказывают приоритетность задачи развития человеческого капитала для легкой промышленности нашей страны. Недостаточное внимание к данной проблеме чревато возникновением риска ухода официально занятых в отрасли в "теневую" экономику и сокращением потребительского спроса на продукцию отрасли вследствие снижения ее качества из-за низкой квалификации задействованных трудовых ресурсов. С высокой долей уверенности можно предположить, что следствием этих рисков станет повышение спроса на продукцию, предлагаемую частными мастерами, чему во многом способствует развитие информационной экономики. Это может стать серьезным препятствием для достижения поставленных целевых ориентиров развития легкой промышленности [10]. Косвенно о наличии такой тенденции свидетельствует рост числа зарегистрированных в социальных сетях сообществ, предлагающих текстильную и

швейную продукцию. Так, например, в 2018 г. в социальной сети Вконтакте было зарегистрировано около 10 тысяч подобных сообществ, в Одноклассниках – порядка 5 тысяч, на портале "Ярмарка мастеров" – более 500 ед. Количество участников таких сообществ только увеличивается (в 2017 г. рост в среднем составил 25%), а их существующими и потенциальными потребителями в настоящее время ежемесячно по всему миру только Вконтакте являются порядка 500 тыс. чел., в Одноклассниках – 120 тыс. чел., на портале "Ярмарка мастеров" – более 8 млн. чел.

В Ы В О Д Ы

1. Существующий ресурсный потенциал текстильной и швейной промышленности не позволяет ей на высоком качественном уровне реализовать социальные функции по обеспечению достойного уровня и качества жизни населения. Ключевым фактором производства, определяющим развитие текстильной и швейной промышленности, следует рассматривать человеческий капитал, оказывающий непосредственное влияние на кадровое обеспечение отрасли.

2. В целях обеспечения количественной оценки влияния основных экономических составляющих ресурсного потенциала текстильного и швейного производства на уровень развития отрасли предложен метод построения расширенной производственной функции Кобба-Дугласа.

3. В результате апробации предложенного инструментария показано, что в сложившихся реалиях рост текстильного и

швейного производства в Российской Федерации, в первую очередь, может быть обеспечен за счет инвестиций в человеческий капитал, а во вторую – за счет инвестиций в основной капитал. Недостаточный вклад в развитие человеческого капитала может явиться препятствием для сохранения кадрового состава отрасли, падения качества продукции, и, как следствие, снижением потребительского спроса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов В.А. Проблемы построения производственных функций в российской переходной экономике. – М.: Институт экономики переходного периода. – 2002.

2. Бондаренко Г.И. Человеческий капитал как показатель уровня общественного развития // Вестник РУДН. – 2003, № 4-5. С. 159...165.

3. Бузова О.А. Человеческий капитал как фактор роста экономики страны и технологического обновления производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №2. С. 19...22.

4. Бутов А.М. Рынок продукции текстильного производства. – М.: Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, Центр развития, 2017.

5. Гафарова Е.А. Моделирование регионального развития на основе производственных функций / Интернет-журнал Науковедение. – 2013, № 3(16). С. 10.

6. Горбунов В.К., Львов А.Г. Построение производственных функций по данным об инвестициях // Экономика и математические методы. – 2012. Т.48, № 2. С. 95...107.

7. Итоги работы легкой промышленности 2016 года // URL: http://www.roslegprom.ru/Go/AllArticles/feed=itog_otr (дата обращения: 26.03.2018).

8. Клейнер Г.Б. Производственные функции: теория, методы, применение. – М.: Финансы и статистика, 1986.

9. Колемаев В.А. Экономико-математическое моделирование. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005.

10. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 24 сентября 2009 г. №853 "Об утверждении стратегии развития легкой промышленности России на период до 2020 года и плана мероприятий по ее реализации".

11. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. – М.: Министерство экономического развития РФ, 2013.

12. Промышленное производство в России. 2016 // Стат. сб., Росстат. – М., 2016.

13. Рынок продукции текстильного производства 2017 год // URL: <https://dcenter.hse.ru/data/2017/08/30/1173968035/Рынок%20продукции%20текстильного%20производства%202017.pdf> (дата обращения: 26.03.2018).

14. Спивак С.И., Кантор О.Г. Чебышевское приближение в задачах эконометрического моделирования // Информационные технологии. – 2015. Т. 21, № 10. С. 764...771.

15. Стратегия развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года (Проект).

16. Радаев В.В., Данилина В.Н., Котельникова З.В., Назарбаева Е.А. Текущее состояние и перспективы развития легкой промышленности в России // Докл. к XV Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 1–4 апр. 2014 г.; Нац. исслед. ун-т "Высшая школа экономики". – М.: Изд. Дом Высшей школы экономики, 2014.

17. Труд и занятость в России. 2017 // Стат. сб., Росстат. – М., 2017.

18. Федеральная служба государственной статистики // URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 26.03.2018).

19. Muthu S.S. Sustainability in the Textile Industry. – Singapore: Springer, 2017. P. 57...78.

20. Urošević S. A strategy for the textile industry: expert personnel development in the transitional environment // Serbian Journal of Management. – 2008, №3(1). P. 83...93.

REFERENCES

1. Bessonov V.A. Problemy postroeniya proizvodstvennykh funktsiy v rossiyskoy perekhodnoy ekonomike. – M.: Institut ekonomiki perekhodnogo perioda. – 2002.

2. Bondarenko G.I. Chelovecheskiy kapital kak pokazatel' urovnya obshchestvennogo razvitiya // Vestnik RUDN. – 2003, № 4-5. S. 159...165.

3. Burova O.A. Chelovecheskiy kapital kak faktor rosta ekonomiki strany i tekhnologicheskogo obnoveniya proizvodstva // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, №2. S. 19...22.

4. Butov A.M. Rynok produktsii tekstil'nogo proizvodstva. – M.: Natsional'nyy issledovatel'skiy universitet Vysshaya shkola ekonomiki, Tsentr razvitiya, 2017.

5. Gafarova E.A. Modelirovanie regional'nogo razvitiya na osnove proizvodstvennykh funktsiy / Internet-zhurnal Naukovedenie. – 2013, № 3(16). S. 10.

6. Gorbunov V.K., L'vov A.G. Postroenie proizvodstvennykh funktsiy po dannym ob investitsiyakh // Ekonomika i matematicheskie metody. – 2012. T.48, № 2. С. 95...107.

7. Itogi raboty legkoy promyshlennosti 2016 goda // URL: http://www.roslegprom.ru/Go/AllArticles/feed=itog_otr (data obrashcheniya: 26.03.2018).

8. Kleyner G.B. Proizvodstvennye funktsii: teoriya, metody, primeneniye. – M.: Finansy i statistika, 1986.

9. Kolemaev V.A. Ekonomiko-matematicheskoye modelirovanie. – M.: YuNITI-DANA, 2005.

10. Prikaz Ministerstva promyshlennosti i torgovli Rossiyskoy Federatsii ot 24 sentyabrya 2009 g. №853 "Ob utverzhdenii strategii razvitiya legkoy promyshlennosti".

ности России на период до 2020 года и плана мероприятий по ее реализации".

11. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. – М.: Министерство экономического развития РФ, 2013.

12. Промышленное производство в России. 2016 // Stat. sb., Rosstat. – М., 2016.

13. Рынок продукции текстильного производства 2017 год // URL: <https://dcenter.hse.ru/data/2017/08/30/1173968035/Rynok%20produktsii%20tekstil'nogo%20proizvodstva%202017.pdf> (дата обращения: 26.03.2018).

14. Spivak S.I., Kantor O.G. Chebyshevskoe priblizhenie v zadachakh ekonometricheskogo modelirovaniya // Informatsionnye tekhnologii. – 2015. T. 21, №10. S. 764...771.

15. Стратегия развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года (Проект).

16. Radaev V.V., Danilina V.N., Kotelnikova Z.V., Nazarbaeva E.A. Tekushchee sostoyanie i perspektivy

razvitiya legkoy promyshlennosti v Rossii // Dokl. k XV Apr. mezhdunar. nauch. konf. po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva, Moskva, 1–4 apr. 2014 g.; Nats. issled. un-t "Vysshaya shkola ekonomiki". – М.: Izd. Dom Vysshey shkoly ekonomiki, 2014.

17. Trud i zanyatost' v Rossii. 2017 // Stat. sb., Rosstat. – М., 2017.

18. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki // URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 26.03.2018).

19. Muthu S.S. Sustainability in the Textile Industry. – Singapore: Springer, 2017. P. 57...78.

20. Urošević S. A strategy for the textile industry: expert personnel development in the transitional environment // Serbian Journal of Management. – 2008, №3(1). P. 83...93.

Рекомендована сектором экономической безопасности УФИЦ РАН. Поступила 01.11.18.

УДК 677

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТА РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С РЕАЛЬНЫМИ ОПЦИОНАМИ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ КАПИТАЛА ЗНАНИЙ И ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ В ТЕКСТИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

ECONOMICAL ASSESSMENT OF EFFECTIVENESS OF INNOVATIVE PROJECTS WITH REAL OPTIONS DURING GROWTH OF KNOWLEDGE CAPITAL AND DATA DOMAIN IN THE TEXTILE INDUSTRY

А.Ж. ЯКУШЕВ, С.А. ФИЛИН

A.ZH. YAKUSHEV, S.A. FILIN

(Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова)

(Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov)

E-mail: Yakushev.AZH@rea.ru; Filin.SA@rea.ru

Статья посвящена совершенствованию показателей оценки эффективности инновационных проектов по оптимизации возможностей модернизации, заложенных в конструкцию и технологии производства изделий текстильной промышленности, посредством введения в них реальных опционов. Это позволяет обеспечить компромисс между стоимостью проектов и управленческой гибкостью, а также расширение для предприятий текстильной промышленности их базовых предметных областей и капитала знаний. Использование реальных опционов меняет подходы к оценке эффективности проектов, расширяя возможности изменения ассортимента и номенклатуры производимых предприятием текстильных изделий и масштабов ее предложения. Это повышает устойчивость развития в условиях

все возрастающих рисков и неопределенности внешней среды при реализации инновационного проекта. Применение методов оценки эффективности инвестиций, используемых в сферах деятельности формирующихся в рамках новых технологических укладов, в частности метода, реальных опционов, может быть использовано для решения проблем инвестирования текстильной промышленности, сформировавшихся в рамках прежних технологических укладов.

The article is devoted to improving the indicators for evaluating the effectiveness of innovative projects to optimize the modernization opportunities inherent in the design and production technology of textile products by introducing real options in them. This allows for a trade-off between project cost and management flexibility, as well as for textile enterprises to expand their core subject areas and knowledge capital. The use of real options changes the approaches to evaluating the effectiveness of projects, expanding the possibilities for changing the range and nomenclature of textile products produced by the enterprise and the scale of its supply. This increases the sustainability of development in the face of ever-increasing risks and uncertainty of the external environment when implementing an innovative project. The application of methods of estimation of efficiency of investments used in the fields emerging in the new technological structures, such as the method of real options can be used to solve the problems of investment in the textile industry developed in the framework of technological structures.

Ключевые слова: предметная область, капитал знаний, конструкционные материалы, узлы и агрегаты, экономическая эффективность, реальные опционы.

Keywords: data domain, knowledge capital, construction materials, units and assemblies, economical efficiency, real options.

Текстильная промышленность России в настоящее время – это крупный комплекс с общей численностью порядка 400 тыс. чел., тесно взаимодействующий с ТЭК, ОПК, машиностроением и металлургией. По уровню вертикальной интеграции она уступает только черной металлургии, например, в шелковой промышленности > 80% продукции производится на прядильно-ткацко-отделочных комбинатах¹. По данным Росстата, емкость российского рынка продукции текстильной промышленности составляет порядка 7...10 млрд. дол.² При этом российская текстильная промышленность конкурентоспособна в основном при производстве текстиля для домашней утвари и постельного белья. При этом главными

трендами в текстильной промышленности в настоящее время является рост мирового спроса на полиэфирные волокна и нити.

В свою очередь прогноз основных стратегических направления развития текстильной промышленности России до 2025 г., по мнению авторов статьи, может быть следующий.

1. Формирование, согласно Минпромторгу РФ, технологической цепочки синтетических и искусственных волокон с ориентацией на экспорт и кожевенных материалов для главных потребителей таких тканей из этих волокон – швейной, обувной, мебельной и автомобильной промышленности.

¹ Особенности размещения отраслей текстильной промышленности. URL: <http://www.geoguides.ru/guides-1096-2.html>

² Петрушко А.В., Обоймова Н.Т. Особенности формирования рынка швейной и текстильной промышленности в России. URL: <http://be5.biz/ekonomika1/r2014/3636.htm>

2. Рост конкурентных преимуществ российских предприятий текстильной промышленности (ПТП) на европейском рынке вследствие того, что они ближе к нему, чем поставщики из азиатских стран, что в значительной степени снижает цену и время доставки.

3. Повышение, по оценке специалистов³, эффективности текстильного производства вследствие реализации мер господдержки в рамках выполнения госзаказа пошива школьной формы и др.

4. Использование благоприятных возможностей для развития российского текстильного производства вследствие резко возросшей в последние годы роли индустрии моды⁴, в том числе посредством внедрения инновационных текстильных материалов в создании модельной одежды.

5. Повышение качества инновационных текстильных изделий по сравнению с аналогами при меньшей их себестоимости вследствие внедрения высоких технологий и организации высокотехнологичного производства для инновационных текстильных материалов.

Факторы, снижающие конкурентоспособность российских ПТП, следующие.

1. Высокая зависимость от сырья зарубежного производства и его стоимости вследствие высоких таможенных пошлин и НДС, увеличивающих стоимость конечной продукции минимум на 30 %⁵. В России количество производителей аналогичного сырья (в основном это лен и шерсть) составляет 25%.

2. В настоящее время парк технологического оборудования текстильной отрасли на 80% укомплектован техникой российского производства, около 50% которой имеет срок службы, превышающий 20 лет.

С другой стороны, основным конкурентным преимуществом ПТП является

внедрение инноваций, доступ к дешевым рабочей силе и российскому сырью (хотя конкурентных преимуществ в обеспечении им российская текстильная промышленность не имеет [1]). Хотя значительная часть инноваций в текстильной промышленности лежит в сфере товарной политики и ФоСТИС⁶, а остальные инновации даже при высокой степени вносимых изменений, как правило, не базируются на фундаментальных научных знаниях, в настоящее время в текстильном производстве в России проводятся следующие инновационные разработки в области⁷:

1) современных армирующих материалов для композиционных конструктивных изделий на основе аксиальных полотен и технологии их изготовления с применением серии отечественных сырьевых компонентов. Основа композиционных материалов – аксиальное техническое полотно, представляющее собой текстильный материал, состоящий из нескольких слоев нитей, ориентированных в различных направлениях;

2) хлопчатобумажных тканей технического назначения с комплексом защитных свойств от агрессивных сред и нефтепродуктов, в частности, фильтрующих элементов для химической промышленности и жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Изделия из данной ткани обеспечивают безопасность условий труда, сохраняют работоспособность человека в течение всего рабочего времени, защищая от комплекса вредных воздействий в условиях промышленных производств. При этом они отвечают требованиям экологического стандарта ЭКОТЕКС 100;

3) тканей с биоактивными свойствами для лечебных учреждений, предотвращающими рост микроорганизмов, защищающими от переноса бактерий, снижающими

³ Текстильная отрасль России: состояние и перспективы развития. URL: https://vuzlit.ru/6660/tekstilnaya_otrasl_rossii_sostoyanie_i_perspektivy_razvitiya

⁴ Особенности размещения отраслей текстильной промышленности. URL: <http://www.geoguides.ru/guides-1096-2.html>

⁵ Текстильная отрасль России: состояние и перспективы развития. URL: https://vuzlit.ru/6660/tekstilnaya_otrasl_rossii_sostoyanie_i_perspektivy_razvitiya

⁶ Методология формирования спроса и стимулирования сбыта.

⁷ Инновационный текстиль: Актуальные российские разработки в легкой промышленности. URL: <https://infourok.ru/statya-na-temu-innovacionnyy-tekstil-aktualnie-rossiyskie-razrabotki-v-legkoy-promishlennosti-3302617.html>

риск контактного инфицирования. При этом они не требуют утилизации по сравнению с одноразовыми медицинскими изделиями из синтетических нетканых материалов, обладают повышенной износостойкостью;

4) текстиля: а) защищающего от радиации при создании космических скафандров, б) позволяющего инвалидам расширять границы своего мира;

5) космических антенн.

Однако внедрение данных инновационных разработок, а также выпуск синтетических и искусственных волокон и смешанных тканей (натуральная ткань с синтетической), гребенной хлопчатобумажной ткани, инновационных материалов для детской и трикотажных волокон для спортивной одежды, максимально дешевых видов пряжи и готовой продукции, предполагает не только модернизацию существующих российских ПТП, например, на таких предприятиях российских производителей синтетических тканей, как: ООО: "Конти", "Созкс-Калининград", "Таврия", "Производственно-коммерческая фирма "Канапласт", "Химтекс-РТИ", "Текстиль-инновации", "Стеллини.ру", "Судогодские стеклопластики", "БВК-текстиль", "Балтмаринг", "Энергия", "Промтекс", "Группа компаний "Русит", "Ультрастаб", "БКС-плюс", "Производственная компания "Технический текстиль", "Балтекс"; ЗАО "Завод упаковочных материалов "Белгородский";

⁸ Понятие «предметная область» не имеет однозначного определения. В данной статье под предметной областью понимается упорядоченная и взаимосвязанная совокупность предметов труда в текстильной промышленности, это широкая гамма тканых и нетканых материалов, комплектующих, соединительных узлов и т. д., из которых создается текстильное изделие. Исходя из технико-экономической целесообразности, текстильная продукция может модифицироваться путем изменения ее комплектации, на основе составляющих предметной области. Создание сложного текстильного изделия требует опоры на несколько предметных областей, например, на совокупности тканых и нетканых материалов, комплектующих, соединительных узлов и т. д.

⁹ Капитал знаний формируется из внешних и внутренних источников, например, из совокупной стоимости знаний, полученных из идей, составляющих часть клиентского капитала, который субъект экономики берет как бы «в аренду», оплачивая его под-

АО: "Корд", "Севуралбокситруда" и др., но и создание новых высокотехнологичных производств. Для выхода российской текстильной промышленности из перманентного кризиса и формирования конкурентных преимуществ ПТП необходимо создание также системы конкурентоспособных высоких технологий для производства текстиля с новыми свойствами и инновационных изделий из него более высокого качества по сравнению с аналогами при меньшей себестоимости.

Исходя из теории инновационного развития, представляется возможным создание таких высоких технологий вследствие наличия в настоящее время следующих факторов: 1) практически все технологии текстильной промышленности в мире являются зрелыми, условия для смены технологической базы имеются; 2) текстильная промышленность имеет подробно разработанные технологические циклы, сводимые к простейшим операциям, что делает ее удобным объектом построения в ней полностью автоматизированных производств. Это, в свою очередь, обеспечивает возможность получения синергетического эффекта посредством развития соответствующих высоких технологий в других отраслях экономики и позволяет ПТП формировать предметную область⁸ текстильного производства, капитал знаний⁹ и интеллектуальную собственность [4], необходимых для эффективного создания и

держанием отношений с клиентом, выражаемое, например, в финансировании работы сайта сообщества (конференции) виртуальных встреч клиентов и организации диалога с клиентами, «паблик рилейшенс», «бесплатном» распространении образцов новой продукции среди потенциальных клиентов; знаний персонала ПТП, например, идей персонала в процессе поиска путей повышения эффективности производства текстильной продукции (услуг), составляющих интеллектуальный капитал ПТП; знаний, полученных из информационного капитала ПТП в результате его обработки, систематизации и анализа до получения полезной (ценной) информации, к которой применены знания персонала; знаний капитала прав, например, лицензионных прав на объекты интеллектуальной собственности, знаний структурного капитала, например, организации и функционирования основного производства и продаж и эффективной технологии производства текстильной продукции (услуг) и др. [3].

внедрения в текстильное производство соответствующих высоких технологий.

Практическая реализация модернизации существующих российских ПТП и создание высокотехнологичных производств потребует опробования фундаментальных научных знаний и использования методик, относящихся к методологии формирования и развития инновационной инфраструктуры, применительно к особенностям текстильной промышленности как производства индустриального типа [2], [3]. Однако для радикального и быстрого обновления производственно-технической базы на инновационной основе у российских ПТП имеет место недостаток собственных инвестиционных ресурсов. Для внешних инвесторов текстильное производство в дотационных субъектах РФ мало привлекательно вследствие повышенных рисков¹⁰.

Острота данной проблемы для внешних инвесторов может быть нивелирована посредством использования концепции "реальных опционов" (РО) при оценке экономической эффективности инновационных проектов, реализуемых ПТП, когда анализ проекта включает поиск дополнительных возможностей (синергетических эффектов, возникающих при изменении внешних условий реализации проекта; то, что менеджер может изменить принятое управленческое решение на основе новой информации [5] и знаний, формирующихся в результате реализации проекта), что не учитывается в методах классического инвестиционного анализа, предполагающих использование шаблона действий, заложенного на начальной стадии реализации проекта. Так, наличие широкой предметной области в текстильном производстве материалов и комплектующих, обоснованное соответствующими знаниями, позволяет ПТП быстро модифицировать текстильное изделие в соответствии с требованиями рынка или оптимизации производства и логистики. В настоящее время для расширения предметных областей производства и увеличения капитала знаний ПТП на практике часто (осознанно или неосознанно) исполь-

зует РО в качестве основного подхода для достижения своих стратегических целей [6...8]: максимизации стоимости ПТП при получении кредита, оценке бизнеса, размещения IPO и др.; приобретения конкурентных преимуществ в условиях повышенных риска и неопределенности бизнес-среды [9], [10]; страхования рисков инновационной и инвестиционной деятельности [11] и др.

Оценка инновационных проектов методом реальных опционов основана на предположении, что любая инвестиционная возможность для ПТП может быть рассмотрена как РО: расширение предметной области предприятия позволяет модернизировать продукцию или произвести замещение комплектующих в течение относительно короткого времени, что особенно важно при импортозамещении или появлении нового спроса. В качестве РО следует рассматривать и дополнительные инвестиции в конструкцию текстильного изделия, обеспечивающие возможности его дальнейшей модернизации. В работе [10] приведена оценка прогнозируемой стоимости инвестиционного проекта (СИП) в условиях риска и неопределенности методом реальных опционов:

$$\text{СИП} = \overline{\text{NPV}} + \text{ЦРО}, \quad (1)$$

где $\overline{\text{NPV}}$ – ожидаемый чистый приведенный доход от реализации проекта; ЦРО – ценность имеющихся у предприятия или встроенных в проект РО.

Например, создается единая базовая модель определенного текстильного изделия, например, фильтрующего элемента для химической промышленности и ЖКХ (модельной одежды и т.д.) из текстильного материала, на основе которой может быть создана гамма модификаций фильтров (модельной одежды и т.д.). Маркетологами спрогнозирован спрос на данную базовую модель, спрос на другие (небазовые) модификации прогнозируется незначительным. При некоторых дополнительных инвестициях при запуске инновационного проекта

¹⁰ Труханова Э. Шить будем 15.09.2015. URL: <https://rg.ru/2015/09/15/reg-cfo/textil.html>

базовая модель может быть быстро доработана для использования в химическом производстве, автомобилестроении, строительстве, коммунальном хозяйстве и др. При этом базовая модель фильтра (модельной одежды и т.д.) может быть произведена в разных модификациях, что расширит их ассортимент и номенклатуру, а следовательно, повысит предложение и покупательский спрос.

Пример 1. Производство базовой модели фильтра (модельной одежды и т.д.) должно принести при известной норме дисконтирования на заданном горизонте инвестиционного проектирования $NPV = 10$ млн. руб. при $IRR = 30\%$. Вероятность этого события $R_1 = 75\%$, что не устраивает инвесто-

ров. Риски, которые могут реализоваться с вероятностью 25% , известны и являются системными. Предположим, их 2, они взаимоисключающие и реализуются с вероятностями $R_2 = 15\%$ и $R_3 = 10\%$ соответственно. При некотором увеличении инвестиций производство становится более гибким, что позволяет сохранить заданные величины NPV и IRR за счет реализации встроенных в проект РО. Также произведены инвестиции в увеличение предметных областей и капитала знаний ПТП и приобретение РО, необходимых для реализации проекта. В этом случае с учетом того, что инвестиции снижают ожидаемый эффект от реализации проекта, формула (1) примет вид:

$$\begin{aligned} \text{СИП} &= \overline{NPV} - \text{CPO} - \text{ИККОО} = (R_1 \cdot NPV_1 + R_2 \cdot NPV_2 + R_3 \cdot NPV_3) - \text{CPO} - \text{ИККОО} = \\ &= (0,75 \cdot 10 + 0,15 \cdot 10 + 0,10 \cdot 10) - \text{CPO} - \text{ИККОО}, \end{aligned} \quad (2)$$

где NPV_1, NPV_2 и NPV_3 – чистый приведенный доход, который предприятие получит при соответствующем сценарии реализации инновационного проекта; CPO – дисконтированная на период реализации проекта стоимость имеющихся у ПТП или встроенных в проект РО; ИККОО – дисконтированные на период реализации проекта инвестиции в увеличение предметных областей и капитала знаний ПТП, необходимых для реализации проекта. При этом ставка дисконтирования вследствие использования РО снижается.

Вторая группа возможностей характеризует внешнюю сторону инновационного проекта, например, выполнение одного проекта делает возможным реализацию другого проекта, который был бы невозможен без завершения первого, либо речь идет о реализации одного из взаимоисключающих проектов. Например, производственная площадь, оборудованная инженерными коммуникациями и предполагавшаяся для организации производства по изготовлению фильтров (модельной одежды и т.д.), может быть продана или использована для продолжения организации производства по изготовлению фильтров (модельной одежды и т.д.).

Пример 2. Предприятие текстильной промышленности решает возникшую техническую задачу: создание базовой модели для проектируемой серии текстильных изделий посредством реализации инновационного проекта, что требует инвестиций как в создание продуктов и технологий, так и в оборудование. Проекту сопутствуют технические, финансовые, коммерческие и инновационные (особенно на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР)) риски, в частности, неудачное завершение соответствующего этапа работ, что делает дальнейшее их продолжение нецелесообразным, прекращение по каким-либо причинам финансирования (даже при удачном завершении работ) и др. То есть должны быть созданы условия выхода из реализации проекта с минимальными потерями, что является необходимым условием вхождения инициатора (инвестора) в проект. При этом инвестиции производятся в 3 этапа, во время которых он может быть остановлен (расчет приведен в табл. 1 – прогноз финансовых потоков инновационного проекта с учетом общих вероятностей).

Таблица 1

№ п/п	Показатель	Номер этапа						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Вероятности благоприятного завершения этапа, %	60	80	95	98	98,0	98,0	98,0
2	Общая вероятность выхода из проекта при неблагоприятном исходе, %	40	12	2	1	1	1	1
3	Общая вероятность благоприятного завершения этапа, %	60	47	44	43	42	41	40
4	Общая вероятность выхода при благоприятном завершении этапа, %	1,20	1,42	1,33	0,00	0,0	0,0	0,0
5	Общая вероятность продолжения проекта, %	59,28	46,75	43,82	42,94	42,08	41,24	40,42
6	Инвестиции на этапе, млн. руб.	0,5	2	60				
7	Поступления от продаж на этапе	-	-	-	38	38	38	38
Возможные поступления на этапе, скорректированные на величину общей вероятности, млн. руб.:								
8	Прибыль от продаж, млн. руб.	0	0	0	16,31	15,99	15,67	15,35
9	Доход при выходе из проекта при неблагоприятном исходе, млн. руб.	0,080	0,142	1,519	0,570	0,558	0,547	
10	Доход при выходе из проекта при благоприятном исходе, млн. руб.	0,011	0,142	0,133	-	-	-	-
11	NPV, млн. руб. при благоприятной реализации проекта	-0,5	-2,5	-62,5	-24,5	13,5	51,5	89,5
12	Номинальный доход, млн. руб., (выход из проекта при неблагоприятном исходе)	-0,3	-1,3	1,2	2,5	2,5	2,5	2,5
13	Номинальный доход, млн. руб. (выход из проекта при благоприятном исходе)	0,4	7,5	-	-	-	-	-

Стадии использования РО на отказ от инновационного проекта при принятии инвестиционного решения приведены на рис. 1.

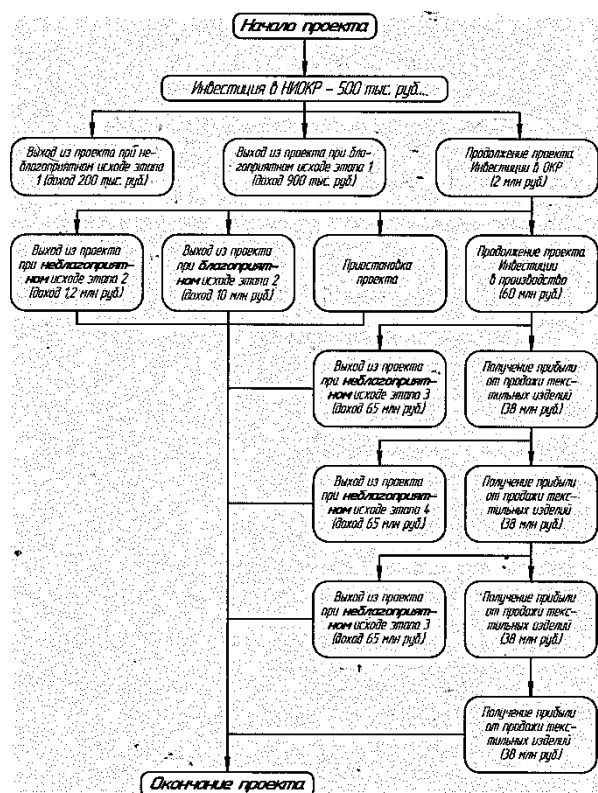


Рис. 1

Этап 1. В начальный момент времени необходимо инвестировать 500 тыс. руб. в НИОКР, вероятность успешного завершения которых – 60%, при самом неблагоприятном исходе результаты НИОКР могут быть проданы за 200 тыс. руб., при благоприятном – не менее чем за 900 тыс. руб., что означает отказ от проекта.

Этап 2. Если результаты экспертизы результатов опытно-конструкторских разработок (ОКР) будут благоприятны, то в момент времени будет проведено развертывание производства текстильного изделия, во что будет инвестировано 60 млн. руб. Если данная стадия будет реализована, то проект будет генерировать прибыль в объеме 38 млн руб. в течение 4-х лет. Вероятность отказа заказчика от продукции составляет 2%. В этом случае ПТП выходит из проекта, получив доход 65 млн руб. от продажи оборудования, прав на изделие и технологии.

Этап 3. При положительных результатах НИОКР и сохранении благоприятной конъюнктуры для выпуска данного текстильного изделия ПТП инвестирует 2 млн. руб. на ОКР. Опытные образцы должны быть предложены к рассмотрению внешним экспертам, специалистам по серий-

ному производству и потенциальным потребителям, которые дадут заключения о новом текстильном изделии. При неблагоприятном исходе этапа 2, вероятность которого составит 20%, результаты ОКР могут быть проданы за 1,2 млн руб. или оставлены в собственности для их использования в дальнейшем. При 80%-ном благоприятном исходе этапа 2 в случае отказа от проекта результаты этапа могут быть проданы не менее как за 10 млн. руб.

ВЫВОДЫ

1. В экономически развитых странах с регулируемой рыночной экономикой широко применяют реальные опционы на инновационные проекты, в том числе учитывают их при оценке эффективности данных проектов. Учитывают также альтернативные издержки инвестирования, величина которых равна стоимости инвестиционного реального опциона, и альтернативные и сопутствующие эффекты, возникающие в ходе реализации проекта. При инвестировании в российские предприятия текстильной промышленности объективно учитывают, что инвестиции могут трансформироваться в невозвратные издержки и тем самым сделать инвестирование необратимым, вследствие чего отказываются от инвестирования, пока цены на текстильные изделия по проекту не обеспечат прибыль, существенно превышающую долгосрочные инвестиции.

2. Российским предприятиям текстильной промышленности очень важно использовать реальные опционы на инновационные проекты в условиях наличия у инвесторов психологического недоверия к крупному и/или долгосрочному частному инвестированию. При этом необходимо учитывать, что затраты на создание реальных опционов в рамках реализации такого проекта могут оказаться неоправданными: например, возможность увеличить выпуск текстильной продукции (инвестиции в новые технологии и оборудование) может не быть обеспечена увеличением спроса на нее [10].

3. Использование реальных опционов меняет подходы к реализуемым предприятиями текстильной промышленности про-

ектам, например, к оценке их эффективности, добавляя в них управленческую гибкость. Это, в свою очередь, может привести к изменению ассортимента и номенклатуры производимой в рамках данных проекта и предприятия в целом текстильной продукции и масштабов ее предложения, например, если маркетинговые исследования на определенном этапе покажут, что первоначальные данные по этим факторам не соответствуют требованиям рынка на временной тренд исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якушев А.Ж. Моделирование системных противоречий развития инновационного и постиндустриального секторов экономики. Модернизация национальной экономики: проблемы и решения. Коллективная монография / Под общ. ред. Н.А. Адамова. – М.: Профессор, 2014.
2. Каищына 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.
3. Филин С.А. Теоретические основы и методология стратегического управления инновационным развитием. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2010.
4. Фильмонова Н.М., Гончаренко Л.П., Якушев А.Ж., Фатьянова И.Р. Преодоление кризиса текстильной промышленности России на основе возможностей инновационного развития // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №4. С.56...61.
5. Кудряшов А.А. Совершенствование механизмов привлечения инвестиций с использованием опционов для инновационного развития в экономике РФ / Под ред. д.э.н., проф. Л.П. Гончаренко. – Кн.3. – М: Рос.экон.акад., 2007.
6. Кузьмичева Е.Е. Эффект финансовых ограничений и реальных опционов в инвестиционной политике компаний // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2014, №1. С.33...40.
7. Матяш И.В. Инвестиционная стратегия предприятия в условиях неустойчивой экономики: метод реальных опционов // Изв. Алтайского государственного университета. – 2015, т. 1, № 2 (86). С.111...116.
8. Сихимбаев М.Р., Цыганкова М.М. Применение теории реальных опционов для оценки инвестиционной привлекательности недвижимости // Успехи современного естествознания. – 2015, №1...6. С.1009...1013.
9. Филин С.А., Чайковская Л.А. Модель опционного ценообразования при расчете величины чистых активов // Корпоративные финансы. – 2018, №1. Т.15. С. 91...106.
10. Бухвалов А.В. Реальные опционы в менеджменте: введение в проблему // Российский журнал менеджмента. – 2004, № 2. С. 3...32.

11. Филин С.А. Страхование и хеджирование рисков инвестиционной деятельности. (Направление 080100 "Экономика" и экономические специальности). – М.: Анкил, 2009.

REFERENCES

1. Yakushev A.Zh. Modelirovanie sistemnykh protivorechiy razvitiya innovatsionnogo i postindustrial'nogo sektorov ekonomiki. Modernizatsiya natsional'noy ekonomiki: problemy i resheniya. Kollektivnaya monografiya / Pod obshch. red. N.A. Adamova. – М.: Professor, 2014.

2. Kashitsyna T.N., Goncharenko L.P., Amosova N.A. Formirovanie instrumentariya razvitiya innovatsionnoy infrastruktur y tekstil'noy promyshlennosti // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, № 5. S. 10...14.

3. Filin S.A. Teoreticheskie osnovy i metodologiya strategicheskogo upravleniya innovatsionnym razvitiem. –Tula: Izd-vo TulGU, 2010.

4. Filimonova N.M., Goncharenko L.P., Yakushev A.Zh., Fat'yanova I.R. Preodolenie krizisa tekstil'noy promyshlennosti Rossii na osnove vozmozhnostey innovatsionnogo razvitiya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015, №4. S.56...61.

5. Kudryashov A.A. Sovershenstvovanie mekhanizmov privlecheniya investitsiy s ispol'zovaniem optcionov dlya innovatsionnogo razvitiya v ekonomike

RF / Pod red. d.e.n., prof. L.P. Goncharenko. – Kn.3. – М: Ros.ekon.akad., 2007.

6. Kuz'micheva E.E. Effekt finansovykh ogranicheniy i real'nykh optcionov v investitsionnoy politike kompaniy // Finansovaya analitika: problemy i resheniya. – 2014, №1. S.33...40.

7. Matyash I.V. Investitsionnaya strategiya predpriyatiya v usloviyakh neustoychivoy ekonomiki: metod real'nykh optcionov // Izv. Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015, t. 1, № 2 (86). S. 111...116.

8. Sikhimbaev M.R., Tsygankova M.M. Primenenie teorii real'nykh optcionov dlya otsenki investitsionnoy privlekatel'nosti nedvizhimosti // Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya. – 2015, №1...6. S.1009...1013.

9. Filin S.A., Chaykovskaya L.A. Model' optcionnogo tsenoobrazovaniya pri raschete velichiny chistykh aktivov // Korporativnye finansy. – 2018, №1. Т. 15. S.91...106.

10. Bukhvalov A.V. Real'nye optsiyny v menedzhmente: vvedenie v problemu // Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta. – 2004, № 2. S. 3...32.

11. Filin S.A. Strakhovanie i khedzhirovanie riskov investitsionnoy deyatel'nosti. (Направление 080100 "Экономика" i ekonomicheskie spetsial'nosti). – М.: Анкил, 2009.

Рекомендована кафедрой организационно-управленческих инноваций. Поступила 30.07.19.

УДК 338.45:677(476)

ВЛИЯНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ ОРГАНИЗАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ЭМПИРИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ (НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ)

THE IMPACT OF THE ORGANIZATION'S HUMAN RESOURCES MANAGEMENT ON THE EFFICIENCY OF ITS ACTIVITIES: THEORETICAL APPROACHES AND EMPIRICAL EVALUATIONS (ON THE EXAMPLE OF THE TEXTILE INDUSTRY ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF BELARUS)

E.V. VANKEVICH, E.A. ALEKSEEVA, E.N. KOROBOVA, A.S. DYAGILEV

E.V. VANKEVICH, E.A. ALEKSEYEVA, E.N. KOROBOVA, A.S. DYAGILEV

(Витебский государственный технологический университет)

(Vitebsk State Technological University)

E-mail: vankevich_ev@tut.by; Elena_d@tut.by; kor_elena@tut.by; dyagilev@vstu.by

Систематизированы теоретические подходы к определению направлений влияния управления человеческими ресурсами на эффективность организаций; выделены основные кадровые технологии и показатели для их оценки. На основе эмпирических данных текстильных предприятий Респуб-

лики Беларусь за 2007-2017 годы доказано, что кадровые технологии мотивации, развития персонала, использования персонала и формирования кадровых стратегий положительно коррелируют с эффективностью организации, влияние технологии формирования персонала оказалось статистически незначимым. Сделан вывод об исчерпании используемых в настоящее время в организациях Беларуси факторов роста за счет увеличения ресурсов труда (численности работников) и необходимости активного применения технологий мотивации и развития персонала.

Theoretical approaches to determining the direction of the impact of HR-management on the effectiveness of organizations systematized; the main HR-technologies and assessment indicators highlighted. Based on the empirical data of the textile industry enterprises of Belarus for the years 2007-2017, it was proved that such HR-technologies as personnel motivation, personnel development, use of personnel and formation of personnel strategies positively correlate with the efficiency of the organization while the influence of personnel formation technology was not statistically significant. The conclusion is that such growth factors as the increase in labor resources (number of employees) currently widely used in Belarusian organizations are exhausted and it's necessary to use the motivation, personnel development technologies and the formation of personnel strategies more actively.

Ключевые слова: управление человеческими ресурсами, кадровая стратегия, эффективность организации.

Keywords: HR-management, personnel strategy, organization efficiency.

В современной бизнес-среде растет значение практики управления человеческими ресурсами организаций и ее влияние на эффективность хозяйственной деятельности. Бизнес требует, чтобы специалист (директор) по управлению человеческими ресурсами стал бизнес-партнером для руководителя организации, что повышает экономическую эффективность организации. Наличие влияния систем управления человеческими ресурсами на эффективность деятельности организаций и их конечные результаты, наличие положительной корреляции между стратегической ориентацией системы управления человеческими ресурсами и деятельностью организаций подтверждается в зарубежных эмпирических исследованиях. В Республике Беларусь таких исследований не проводилось, несмотря на важность и актуальность данного вопроса. Причинами является отсутствие единой теоретической базы для исследования и недоступность эмпирических данных

для исследователей. В организациях Республики Беларусь в настоящее время в отношении кадровых служб организаций сложилась достаточно полярная ситуация: – с одной стороны, бизнес-сообщество генерирует спрос на современные практики управления человеческими ресурсами (особенно со стороны частных, успешных организаций¹), что расширяет использование современных практик управления человеческими ресурсами; – с другой стороны, во многих организациях сохраняются кадровые службы, выполняющие устаревшие (преимущественно делопроизводственные) кадровые технологии [2, с. 61...90]. То есть в целом развитие новых практик управления человеческими ресурсами является, скорее, эпизодическим явлением, а не генеральной тенденцией, что объясняется прежде всего отсутствием эмпирических подтверждений влияния кадровых процессов на эффективность деятельности организации. Традиционно к человеческим ресурсам

¹ Например, конкурс «Премия HR-бренд», проводимый в Беларуси с 2014 года крупнейшим белорус-

ским порталом по трудоустройству РАБОТА.TUT.BY (www.rabota.tut.by)

сам (персоналу) относятся как к объекту затрат, а не как к источнику формирования конкурентных преимуществ организации. Это объясняет финансирование мероприятий по управлению человеческими ресурсами по остаточному принципу, поскольку эмпирических свидетельств наличия связи между деятельностью по управлению человеческими ресурсами в организации и ее коммерческим успехом нет. Исследования, направленные на определение кадровых проблем организаций и оценку потенциала кадровых служб организаций, их взаимодействия с другими подразделениями [2] показали, что, как правило, в организациях не разрабатывают стратегии управления человеческими ресурсами и не связывают их с бизнес-стратегией организации. Для успешной деятельности белорусских организаций необходимо увязать их бизнес-стратегии со стратегиями управления человеческими ресурсами, что требует осознания необходимости данной работы и ее методического обеспечения. Целью данного исследования является определение направлений влияния управления человеческими ресурсами на эффективность организации и их эмпирическое подтверждение (на примере предприятий текстильной промышленности Республики Беларусь). Эмпирические доказательства того, что управление человеческими ресурсами может оказывать сильное влияние на эффективность организации, является весомым аргументом для обновления концепции и технологий кадровой деятельности на микроуровне в Республике Беларусь.

Теоретические подходы к оценке влияния управления человеческими ресурсами на эффективность организации

В экономической литературе накоплен значительный потенциал по оценке влияния управления человеческими ресурсами на эффективность деятельности организации, который включает как теоретические подходы, так и эмпирические результаты [2], [4], [6...8], [10...14], среди которых можно выделить несколько направлений.

Первым направлением можно считать концептуально-теоретический подход, ко-

торый основан по построению теоретических конструкций и методик, объясняющих связь между реализацией кадровых стратегий в организации и ее экономическим успехом на рынке (Армстронг М., Портер М., Кащеев П., Белгородский В., Радько С., Клемина Т.). В результате установлено, что "...разумное применение широкого спектра прогрессивных систем управления человеческими ресурсами повышает эффективность предприятия" [1, с. 120]. В зависимости от степени детализации, авторы выделяют от 6 до 12-13 кадровых технологий, различные типы кадровых стратегий. Главным итогом работ данного направления можно считать концептуальный вывод о том, что "...выживание и успех любой организации зависит от того, насколько ее система управления человеческими ресурсами ... соответствует выбранному типу стратегического поведения" [7, с. 55]. Ко второму направлению изучения эффективности управления человеческими ресурсами в организациях можно отнести ряд исследований, основанных на использовании в качестве эмпирической базы многообразных опросов работников организаций (руководителей, специалистов кадровых служб, персонала различных категорий и функциональных сфер). В данном случае оценке подвергались такие трудно измеримые эффекты от управления человеческими ресурсами, как удовлетворенность работой, приверженность компании, вовлеченность в инновации и в управление, организационная культура, адаптация и пр. (Кларк М., Хилл С., Эфендиев А., Балабанова Е., Ребров А., Родригез Дж., Вентура Дж.). Так, например, в отдельных исследованиях установлено, что "...удовлетворенностью работой можно объяснить 5% различий между компаниями в прибыльности и 16% – в производительности", а организационной культурой – 10% в прибыльности и 29% в производительности [1, с. 119]. В результате исследований выявлено, что основой повышения эффективности являются приверженность работников и позитивный психологический контракт, приобретение и развитие персонала, применение формаль-

ных групп и прочие прогрессивные техники кадровой работы, которые статистически оценить сложно. Третье направление связано с работами Хуселида М., Лиси Д., Зеленовой О., Просвиркиной Е., Линге Д., в которых изучалась связь между экономическими показателями деятельности организации и применяемыми в ней практиками управления человеческими ресурсами, используя при этом не только опросы работников, но и статистические, экономические показатели, характеризующие эффективность деятельности организаций, на примере больших эмпирических выборок (например, 740...968 обследованных предприятий США в работах М.Хуселида, 80 организаций России в работе Эфендиева А., Балабановой Е., Реброва А.). В результате было доказано, что использование активных систем управления человеческими ресурсами положительно коррелирует с рыночной стоимостью фирмы, производительностью и прибылью.

Следует отметить общие методические трудности в оценке влияния управления человеческими ресурсами на эффективность деятельности организации: - многофакторность, так как на эффективность организации оказывают влияние многие процессы; - сложность подбора объективных показателей для оценки, поэтому в большинстве исследований используются опросы; - наблюдения "опрос – результат" не позволяют оценить связь между практикой управления человеческими ресурсами и их последующей результативностью, так как текущий результат является следствием практики, примененной ранее. То есть выделить чистое влияние управления человеческими ресурсами на эффективность организации – сложная теоретическая и практическая задача. Однако именно такие оценки формируют прочные аргументы в пользу развития управления человеческими ресурсами. Учитывая данные сложности, необходимо

сформировать теоретическую модель для эмпирической оценки, учитывающей национальные особенности менеджмента и возможности имеющейся статистики.

Возможности и результаты эмпирического измерения направлений влияния управления человеческими ресурсами на эффективность деятельности организации

Направления, с помощью которых управление человеческими ресурсами положительно влияет на экономические показатели, характеризующие конечные результаты деятельности организации, можно разделить следующим образом: - формирование персонала (подбор, отбор, найм работников, адаптация); - развитие работников (повышение квалификации, расширение навыков, карьерный рост); - мотивация работников; - использование персонала (оценка рабочих мест и результатов работы, производительность труда); - разработка кадровых стратегий, интегрированных в общую стратегию развития организации, что создает основу для формирования конкурентных преимуществ организации, связанных с ее человеческим капиталом, который "трудно скопировать" [1, с. 116], так как оно формируется специфическим человеческим капиталом организации, сформированным благодаря развитию и адаптации работников к потребностям данной организации. Не все из перечисленных направлений и показателей поддаются статистической оценке. При отборе показателей для оценки сложно избежать субъективности, так как многие из предлагаемых в литературе показателей основаны на опросе, на это обращают внимание многие авторы [см. источники 4; 6; 11]. Анализ существующих подходов и учет особенностей статистической практики белорусских организаций² позволяет сформировать следующую модель для оценки влияния управления человеческими ресурсами на эффективность организации (табл. 1 – направле-

² Исследовательская задача осложняется тем, что в белорусской практике нет возможности доступа к первичным данным субъектов хозяйствования, так как ст.5 и 21 Закон Республики Беларусь «О государственной статистике» предусмотрено обеспечение конфиденциальности первичных статистиче-

ских данных. Также нет панельных баз данных, которые могли бы быть представлены Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь для моделирования (по аналогии, например, с базой данных Российского мониторинга экономики и здоровья).

Таблица 1

Направление управления человеческими ресурсами	Направление оценки и статистически доступные показатели для измерения и оценки	Показатель, используемый для моделирования	Обозначение в модели
Итоговый показатель эффективности организации	Валовая добавленная стоимость на 1 работника или валовая добавленная стоимость на единицу затрат на персонал, выручка от реализации, чистая прибыль	ВДС на 1 работника, млн. руб.	y
Формирование персонала	Динамика среднесписочной численности работников, коэффициент текучести, коэффициент оборота по найму, коэффициент оборота по выбытию	Коэффициент текучести персонала	x ₁
Использование персонала	Количество отработанных часов 1 работником, количество оплаченных часов	Количество часов, отработанных 1 работником, тыс. часов	x ₂
Развитие персонала	Затраты на обучение на 1 работника, структура персонала по уровню образования, затраты на повышение квалификации и переподготовку на 1 работника	Затраты на персонал на 1 работника, млн. руб.	x ₃
Мотивация персонала	Среднемесячная заработная плата, затраты нанимателя на 1 работника	Средняя номинальная заработная плата, млн. руб.	x ₄
Разработка кадровых стратегий	Выручка от реализации на 1 работника, производительность труда	Выручка от реализации на 1 работника, млн. руб.	x ₅

Таблица 2

	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅
y	n=103		r=0,339 p-val.=0,032	r=0,648 p-val.=6,25·10 ⁻⁶	r=0,561 p-val.=7,2·10 ⁻¹⁰	r=0,722 p-val. < 2,2·10 ⁻¹⁶
x ₁		n=171				
x ₂	n=40		n=40			r=0,328 p-val.=0,038
x ₃	n=40			n=40	r=0,876 p-val.=1,39·10 ⁻¹³	r=0,606 p-val.=3,44·10 ⁻⁵
x ₄	n=103			n=40	n=175	r=0,811 p-val. < 2,2·10 ⁻¹⁶
x ₅	n=103		n=40	n=40	n=153	n=153



Рис. 1

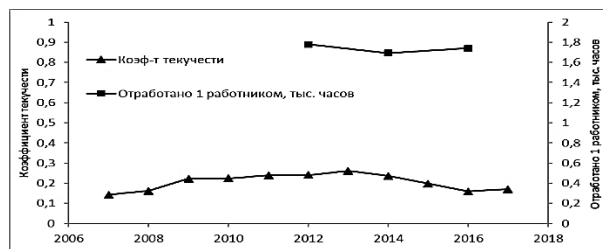


Рис. 2

В целях установления связи между конечными показателями деятельности организации (выручка от реализации, чистая прибыль) и ее кадровым обеспечением

сформирована эмпирическая база, пригодная для экономико-математического моделирования (на основе данных белорусского концерна по производству и реализации то-

варов легкой промышленности "Беллегпром" за 2007–2017 гг.)³, для проведения эконометрического анализа использовался язык статистической обработки данных R [14]. В качестве зависимой переменной (y) выбрана валовая добавленная стоимость на 1 работника, на правомерность и целесообразность использования такого показателя указывали ряд авторов [напр., 1, стр. 124; 6, стр. 172]. Медианные значения показателей, используемых для моделирования, для предприятий текстильной отрасли Республики Беларусь представлены на рис. 1, 2. В табл. 2 (парные коэффициенты корреляции и пересечения в наборах данных) приведены статистически значимые коэффициенты парной корреляции ($\alpha=0,05$) между исследуемыми параметрами и количество пересечений в наборах данных. Как видно из табл. 2, статистически значимыми оказались парные коэффициенты корреляции между валовой добавленной стоимостью на 1 работника (y) и количеством часов, отработанных одним работником (x_2); затратами на персонал на 1 работника (x_3); номинальной заработной платой (x_4); выручкой от реализации на 1 работника (x_5). Наличие статистически значимых парных коэффициентов корреляции между x_3 , x_4 и x_5 не позволяет включать эти факторы в одну регрессионную модель в качестве объясняющих. В результате проведения регрессионного анализа были построены пять однофакторных регрессионных моделей, адекватных на уровне значимости $\alpha=0,05$ (табл. 3 – однофакторные регрессионные модели). В ходе моделирования были определены параметры моделей линейной регрессии между исследуемыми показателями: коэффициенты уравнения линейной регрессии, коэффициент детерминации

(R^2), достигаемый уровень значимости при оценке адекватности модели (p -value). Для моделей, приведенных в табл. 3, величина достигаемого уровня значимости не превышает принятого уровня значимости ($\alpha=0,05$), что свидетельствует о значимости коэффициента детерминации и адекватности модели.

Т а б л и ц а 3

Уравнение линейной регрессии	R^2	p -value
$y=59,435x_2$	0,668	$7,038 \cdot 10^{-11}$
$y=1,372x_3$	0,7742	$3,581 \cdot 10^{-14}$
$y=1,935x_4$	0,7082	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$
$y=0,3176x_5$	0,7942	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$
$x_5=182,57x_2$	0,7593	$1,258 \cdot 10^{-13}$
$x_3=1,465x_4$	0,9803	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$
$x_5=4,098x_3$	0,8326	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$
$x_4=0,142x_5$	0,8391	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$

Таким образом, корреляционно-регрессионный анализ позволяет сделать вывод о том, что наибольшее влияние на эффективность организации оказывают такие кадровые технологии, как развитие персонала, использование персонала, мотивация и разработка кадровых стратегий. Эмпирическое исследование подтвердило влияние практики управления человеческими ресурсами на эффективность организаций. Интересным и достаточно показательным стал результат наличия слабой связи между результирующим показателем эффективности организаций и таким УЧР-индикатором, как коэффициент текучести (характеризующий кадровую технологию формирования персонала). Причинами такого результата могут быть: - статистические особенности расчета данных показателей в Республике Беларусь; - преимущественное использование количественных ресурсов труда для роста (численность работников),

³ Для обеспечения сопоставимости данных в ходе моделирования использованы относительные показатели, поскольку использование абсолютных показателей без учета размеров предприятия искажает полученные результаты. Следует также отметить крайне низкий уровень затрат на обучение на исследуемых предприятиях (около 0,2 % от затрат на персонал). Поэтому в качестве показателя, характеризующего развитие персонала, для целей моделирования использован показатель «затраты на персонал

на одного работника» как совокупность расходов, обеспечивающих развитие человеческого капитала. Показатель валовой добавленной стоимости стал объектом статистических наблюдений в Республике Беларусь с 2010 года, поэтому данные для этого показателя представлены за период 2010–2016 гг. Данные, позволяющие рассчитать затраты на персонал на одного работника и коэффициент текучести персонала, собираются в Республике Беларусь один раз в два года, начиная с 2012 года.

а не качественных, что является одной из характерных особенностей белорусского рынка труда. В целом технология формирования персонала измерялась экстенсивными показателями движения рабочей силы, и полученный результат свидетельствует о необходимости переориентации технологий кадровой работы текстильных предприятий на интенсивные факторы, так как они оказывают наибольшее влияние на эффективность организаций. Проведенное исследование также позволило сформулировать еще один важный вывод – о необходимости совершенствования методов сбора и обработки первичных данных организаций в концерне, так как экономическими службами органов отраслевого управления собираются огромные массивы статистических данных подведомственных организаций, которые невозможно использовать для эконометрического анализа и моделирования.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование позволило сделать вывод о том, что технологии управления человеческими ресурсами оказывают непосредственное влияние на конечные результаты деятельности организации. Для их реализации необходима профильная подготовка специалистов по управлению человеческими ресурсами, а также соответствующие эмпирические данные для проведения анализа и мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Армстронг М. Практика управления человеческими ресурсами – Изд. 8-е. – СПб.: Питер, 2007.
2. Галешова Е., Ванкевич Е. Кадровая деятельность в организациях Республики Беларусь: оценка рисков и потенциала. // DU SZF Socialo Zinatnu Vestnesis. – 2015, № 2. С. 61...90.
3. Завьялова Е.К., Цыбова В.С., Яхонтова Е.С. Взаимосвязь управления человеческими ресурсами и инновационной активности российских компаний // Российский журнал менеджмента. – 2014. Т. 12, №3. С. 3...32.
4. Зеленова О.И., Просвиркина Е.Ю. Влияние систем управления человеческими ресурсами на финансовые результаты деятельности банков в России // Российский журнал менеджмента. – 2017. Т. 15, №4. С. 463...490.
5. Исследование эффективности систем управления персоналом. Отчет. 2016//www.pwc.ru/hr-consulting/Saratoga-2016. Дата доступа: 15.02.2018.
6. Кащеев П.О., Белгородский В.С., Радько С.Г. Человеческий капитал как неотъемлемый фактор обеспечения роста производительности труда // Изв.

вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 3. С. 15...22.

7. Клемина Т.Н. Управление человеческими ресурсами и результаты деятельности организации: теоретические дебаты и эмпирические исследования // Российский журнал менеджмента. – 2008. Т. 6, № 3. С. 51...58.

8. Линге Д. Оценка эффективности управления человеческими ресурсами при проведении инноваций в компаниях финансово-банковского сектора: Дис. ...канд. экон. наук. – М.: МГУ им. М. Ломоносова, 2009.

9. Фитц-Енц Ж. Как измерить HR-менеджмент. 3-е изд. – М.: Изд-во ГИППО, 2009.

10. Хьюзелид М. Влияние практики управления человеческими ресурсами на текучесть кадров, производительность труда и финансовые результаты компании // Российский журнал менеджмента. – 2008, № 6 (3). С. 87...128.

11. Эфендиев А.Г., Балабанова Е.С., Ребров А.В. Управление человеческими ресурсами и эффективность компаний: есть ли связь? // Российский журнал менеджмента. – 2014. Т. 12, №1. С. 39...68.

12. Clarke M.A., Hill S.R. Promoting employee wellbeing and duality service outcomes: The role of HRM practices//Journal of Management & Organization. – 18 (5), 2012. P. 702...713.

13. Lisi D. The impact of temporary employment and employment protection on labour market productivity: evidence from an industry-level panel of EU countries// Journal of Labor market Res. – (2013)46:119-144. DOI 10/1007/s12651-013-0127-0

14. R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing // R Foundation for Statistical Computing. – Vienna, Austria, 2018. URL <https://www.R-project.org/>.

15. Rodrigez J.M., Ventura J. Human resource management systems and organizational performance: An analysis of the Spanish manufacturing industry// International Journal of Human Resource Management. – 2003, 14 (7), P. 1206...1226.

16. Vankevich A. Personnel strategy and their realization at the Belarusian enterprises // Journal of Business Economics and Management. – 6 (2), 2005. P.101...112. // <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-29144467937&doi=10.1080%2f16111699.2005.9636098&partnerID=40&md5=eb4b4701f9bbf0e5e1b405c60e3bb9d5>.DOI:10.1080/16111699.2005.9636098.

REFERENCES

1. Armstrong M. Praktika upravleniya chelovecheskimi resursami – Izd. 8-e. – SPb. : Piter, 2007.
2. Galeshova E., Vankevich E. Kadrovaya deyatelnost' v organizatsiyakh Respubliki Belarus': otsenka riskov i potentsiala. // DU SZF Socialo Zinatnu Vestnesis. – 2015, № 2. S. 61...90.
3. Zav'yalova E.K., Tsybova V.S., Yakhontova E.S. Vzaimosvyaz' upravleniya chelovecheskimi resursami i innovatsionnoy aktivnosti rossiyskikh kompaniy // Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta. – 2014. Т. 12, №3. S.3...32.
4. Zelenova O.I., Prosvirkina E.Yu. Vliyanie sistem upravleniya chelovecheskimi resursami na finansovye

rezul'taty deyatelnosti bankov v Rossii // Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta. – 2017. T. 15, №4. S. 463...490.

5. Issledovanie effektivnosti sistem upravleniya personalom. Otchet. 2016//www.pwc/ru/ru/hr-consulting/Saratoga-2016. Data dostupa: 15.02.2018.

6. Kashcheev P.O., Belgorodskiy V.S., Rad'ko S.G. Chelovecheskiy kapital kak neot'emlemiy faktor obespecheniya rosta proizvoditel'nosti truda // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, № 3. S. 15...22.

7. Klemina T.N. Upravlenie chelovecheskimi resursami i rezul'taty deyatelnosti organizatsii: teo-reticheskie debaty i empiricheskie issledovaniya // Ros-siyskiy zhurnal menedzhmenta. – 2008. T. 6, № 3. S.51...58.

8. Linge D. Otsenka effektivnosti upravleniya chelovecheskimi resursami pri provedenii innovatsiy v kompaniyakh finansovo-bankovskogo sektora: Dis. ...kand. ekon. nauk. – M.: MGU im. M. Lomonosova, 2009.

9. Fitts-Ents Zh. Kak izmerit' HR-menedzhment. 3-e izd. – M.: Izd-vo GIPPO, 2009.

10. Kh'yuzelid M. Vliyanie praktiki upravleniya chelovecheskimi resursami na tekuchest' kadrov, proizvoditel'nost' truda i finansovye rezul'taty kompanii // Ros-siyskiy zhurnal menedzhmenta. – 2008, № 6 (3). S.87...128.

11. Efendiev A.G., Balabanova E.S., Rebrov A.V. Upravlenie chelovecheskimi resursami i effektivnost' kompaniy: est' li svyaz'? // Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta. – 2014. T. 12, № 1. S. 39...68.

12. Clarke M.A., Hill S.R. Promoting employee wellbeing and duality service outcomes: The role of HRM practices//Journal of Management & Organization. – 18 (5), 2012. R. 702...713.

13. Lisi D. The impact of temporary employment and employment protection on labour market productivity: evidence from an industry-level panel of EU countries// Journal of Labor market Res. – (2013)46:119-144. DOI 10/1007/s12651-013-0127-0

14. R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing // R Foundation for Statistical Computing. – Vienna, Austria, 2018. URL <https://www.R-project.org/>.

15. Rodrigez J.M., Ventura J. Human resource management systems and organizational performance: An analysis of the Spanish manufacturing industry// International Journal of Human Resource Management. – 2003, 14 (7), R. 1206...1226.

16. Vankevich A. Personnel strategy and their realization at the Belarusian enterprises // Journal of Business Economics and Management. – 6 (2), 2005. P.101...112. // <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-29144467937&doi=10.1080%2f16111699.2005.9636098&partnerID=40&md5=eb4b4701f9bbf0e5e1b405c60e3bb9d5>. DOI:10.1080/16111699.2005.9636098.

Рекомендована кафедрой менеджмента. Поступила 14.01.20.

УДК 387

ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛЕЙ ЛЕГКОЙ И ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

INVESTMENT POTENTIAL AND FORECAST OF DEVELOPMENT OF BRANCHES OF LIGHT AND TEXTILE INDUSTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION

А.Б. ПЕТРУХИН, Ю.А. ДМИТРИЕВ, М.М. ОМАРОВ, Д.Л. МИНИН

A.B. PETRUKHIN, YU. A. DMITRIEV, M. M. OMAROV, D. L. MININ

**(Ивановский государственный политехнический университет,
Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого**

**(Ivanovo State Polytechnical University,
Vladimir State University named after Alexander and Nikolai Stoletovs,
Novgorod State University named after Yaroslav the Wise)**

E-mail: dmitryminin@mail.ru

В статье проведен анализ состояния текстильной и швейной промышленности в Российской Федерации, рассмотрены общероссийские тенденции развития отрасли, сценарный прогноз развития текстильной и швей-

ной промышленности. Рассмотрены основные проблемы, представлен прогноз объемов совокупных инвестиций в основной капитал предприятий текстильной промышленности и точки развития данного сектора экономики.

The article analyzes the state of the textile and clothing industry in the Russian Federation, the all-Russian trends in the industry, scenario forecast of the textile and clothing industry. The main problems are considered, the forecast of volumes of cumulative investments in fixed capital of the enterprises of textile industry and a point of development of this sector of economy is presented.

Ключевые слова: легкая промышленность, текстильная промышленность, инвестиции, сценарный прогноз развития.

Keywords: light industry, textile industry, investments, scenario forecast of development.

Легкая промышленность в России является одним из системообразующих секторов экономики, от которого зависит стратегическое развитие таких важнейших отраслей, как сельское хозяйство, добыча ресурсов, медицина, потребительский рынок и других. Мировая практика показывает, что текстильная и легкая промышленности по сути своей являются рыночными отраслями, где максимально высока оборачиваемость капитала, а выпускаемая продукция относится к товарам первой необходимости с большей долей потребительского рынка с растущим спросом, особенно на новую продукцию.

Текстильная промышленность является важнейшей отраслью легкой промышленности, имеет высокое значение для развития потребительского рынка и реального сектора экономики. Во времена СССР текстильная промышленность являлась одной из приоритетных отраслей, пик развития которой приходился на 1970-1980 гг. Количество рабочих на фабриках превышало 3 миллиона человек, в то же время доля в промышленном производстве достигала 16%. За анализируемый исторический период активно развивалось производство синтетических волокон, а доля общемирового производства шерсти в СССР достигала 21%.

Исследования показали, что постсоветский период с 1990 по 1998 гг. характеризуется катастрофическим спадом текстиль-

ной промышленности, объем производства по разным видам продукции уменьшился в 4...5 раз, а 75% оборудования требовало замены, более 50% предприятий были убыточными. По состоянию на 1995 г. доля текстильной продукции в ВВП страны сократилась до 1,8 %.

В начале XXI века текстильная промышленность России определила тренд на подъем, однако устойчивые тенденции роста связаны с крупными объемами государственной поддержки. До настоящего времени российские потребители на 80% одеваются в импортную продукцию. В стратегической перспективе прогнозируется создание сильной текстильной промышленности и сопутствующей легкой индустрии. Развитие данной отрасли выступает не только как гарантия национальной безопасности, но и обеспечит наполнение бюджета, занятость граждан, современное развитие всех видов техники и широкое применение для производства продукции высоких технологий, как это имеет место в развитых странах.

Проведенный анализ показывает положительную динамику по основным показателям за последние пять лет. Сводные экономические показатели, характеризующие вклад текстильного и швейного производства в развитие российской экономики, отражены в табл. 1 – сводные экономические показатели текстильного и швейного производства Российской Федерации.

Таблица 1

Показатель \ Годы	2013	2014	2015	2016	2017
Валовая добавленная стоимость (ВДС) текстильного и швейного производства в основных ценах, млрд. руб	124,2	154,0	146,7	167,7	171,4
Вклад в ВВП (ВДС в основных ценах) экономики, %	0,20	0,22	0,20	0,22	0,22
Индекс производства, % к предыдущему году	4,3	-2,5	-11,7	5,3	4,57
Доля текстильного и швейного производства в отдельных показателях по экономике в целом:					
- в фонде оплаты труда, %	0,30	0,28	0,28	0,28	0,29
- в среднесписочной численности работников, %	0,66	0,62	0,60	0,60	0,61
- в инвестициях в основной капитал, %	0,12	0,15	0,08	0,06	0,08
- в выручке от продажи продукции, %	0,18	0,17	0,17	0,17	0,18
- в прибыли до налогообложения, %	0,09	0,07	0,19	0,19	0,19
- в налоговых поступлениях в консолидированный бюджет РФ, %	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20
Соотношение среднемесячной номинальной начисленной заработной платы со среднероссийским уровнем, %	45,28	44,48	46,97	46,31	48,04
Рентабельность продукции, %	3,03	2,17	7,11	8,89	9,06

Исследования показали положительную тенденцию таких показателей, как валовая добавленная стоимость и рентабельность продукции. В частности, валовая добавленная стоимость текстильного и швейного производства в основных ценах за 2013-2017 гг. увеличилась более чем на 38%; рентабельность продукции возросла с 3,03 до 9,06%. Но при этом можно отметить и стабильно низкие показатели, такие как фонд

оплаты труда, численность работников и другие, являющиеся сдерживающими факторами развития.

Производство важнейших групп продукции текстильной промышленности в натуральном выражении показано в табл. 2 – динамика производства продукции в разрезе основных групп текстильной промышленности РФ.

Таблица 2

Продукция \ Годы	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Лен, подготовленный для прядения, тыс. т	24,76	23,05	22,05	17,23	18,63	22,36	16,02	18,07
Пряжа из синтетических и искусственных штапельных волокон, тыс. т	5,15	3,71	7,40	8,35	7,08	6,16	4,63	5,44
Пряжа льняная и оческовая, не расфасованная для розничной продажи, тыс. т	7,40	6,61	5,92	5,00	3,91	3,60	2,98	3,27
Пряжа хлопчатобумажная, не расфасованная для розничной продажи, тыс. т	132,26	87,84	87,45	82,57	74,90	53,68	58,78	61,82
Пряжа шерстяная и пряжа из тонкого волоса животных, не расфасованная для розничной продажи; пряжа из грубого волоса животных, расфасованная или не расфасованная для розничной продажи, тыс. т	9,20	8,83	7,75	6,14	4,86	4,40	3,94	4,58
Ткани готовые – всего, млн. м ²	3198,82	3553,12	3922,01	4132,04	3907,15	4541,93	5409,18	5724,16

Анализ статистических данных табл. 2 показывает, что отрасль находится под очевидным влиянием кризисных явлений в российской экономике. За исследуемый период произошло существенное снижение основных показателей производства: в частности, по отношению к данным 2010 г. производство льна, подготовленного для прядения, составляет всего 73%, пряжи хлопчатобумажной 47%, пряжи из синтетических волокон 105% и т.д. Основные изменения связаны с сокращением объемов производства в текстильной промышленности в 2014–2015 гг. Исследование показывает, что даже в условиях кризиса отрасль имеет

точки роста, связанные с производством синтетических тканей. Россия изначально имеет благоприятные условия для развития именно этого сегмента текстильного производства, как наиболее перспективного в условиях глобализации.

Важнейшим показателем, характеризующим развитие отрасли текстильной промышленности являются объемы совокупных инвестиций в основной капитал (табл. 3 – совокупные инвестиции в основной капитал предприятий текстильной промышленности Российской Федерации, динамика и прогноз до 2024 года).

Т а б л и ц а 3

Годы	2011	2014	2016	2018	2020	2022	2024
Производство							
Текстильное и швейное производство	11056,1	20966,3	9473,4	11750,8	14251,7	17598,6	21827,4
Текстильное производство	8101	13092,1	6500,7	8734,3	10456,2	12374,9	14817,5

Инвестиции в основной капитал предприятий текстильной промышленности Российской Федерации в 2017 г. сократились почти вдвое по отношению к показателям 2014 г., и находятся фактически на уровне 2010-2011 гг. 98,1% и 84,9% по совокупным объемам инвестиций в основной капитал швейного и текстильного производства соответственно. Что доказывает низкую инвестиционную привлекательность отрасли и необходимость системного роста государственной поддержки. В условиях активной государственной поддержки прогнозируется рост объемов более чем на сто процентов от объемов 2017 г. и превышение показателей активного развития инвестиций в отрасль докризисного 2014 г.

Экономические характеристики текущего состояния отрасли являются общими показателями, без учета динамики внешней среды. Каждая отрасль имеет свои особенности, проблемы и сдерживающие факторы развития.

В ходе исследования выявлены основные проблемы внешней среды, которые можно охарактеризовать следующим образом.

1. Сложности в формировании сырьевой базы на территории России связаны с обеспечением оптимальных условий для выращивания хлопка-сырца на территории России. Не получила дальнейшего развития программа по выпуску длинноволокнистого льна, также приостановлена работа по производству мериносовой шерсти и шерсти высокой тонины.

2. Сохраняющийся до настоящего времени незаконный оборот товаров текстильной и швейной промышленности является сдерживающим фактором развития отрасли. Доля незаконного товара оценивается в 30...40% от рыночного объема.

3. Технологическая отсталость, моральный и физический износ технологического оборудования предприятий текстильной и легкой промышленности является одной из важнейших проблем инновационного развития легкой и текстильной промышленности.

4. Проблема нехватки квалифицированных рабочих кадров. Эта проблема является следствием чрезвычайно низкой оплаты труда в отрасли.

5. Дистрибуция и реализация отечественных товаров легкой промышленности.

Несмотря на продолжающийся кризис в текстильной промышленности, эксперты отмечают и точки роста, связанные с производством синтетических тканей, создание "умных тканей", расширяющим сферы использования текстиля и способным существенно переформатировать сегодняшнюю конфигурацию рынка, рост значимости госу-

дарственного участия и регулирования на внутреннем рынке и т.д.

На стратегическую перспективу Минэкономразвития разработал долгосрочную концепцию развития текстильной промышленности до 2030 г.; на основании концепции представлены прогнозируемые значения ключевых показателей (табл. 4 – сценарный прогноз развития отраслей текстильного и швейного производства Российской Федерации до 2030 г.).

Т а б л и ц а 4

Наименование продукции	2013	2020 1 сц	2020 2 сц	2030 1 сц	2030 2 сц	2020 к 2013 1 сц	2020 к 2013 2 сц	2030 к 2013 1 сц	2030 к 2013 2 сц
Текстильное и швейное производство, %	102,6	103,0	104,5	103,0	104,0	130,1	142,4	182,1	221,2
Темпы роста производительности труда, %	118,2	108,0	110,4	106,0	108,0	200,0	236,0	400,0	506,0
Индекс физического объема инвестиций в основной капитал, %	100,9	105,0	106,0	103,0	104,0	130,0	154,0	180,0	246,0

Концепция предполагает развитие консервативного и инновационного сценария функционирования отраслей легкой и текстильной промышленности. Первый сценарий развития предполагает реализацию начатых проектов, при этом новые масштабные проекты не инициируются, не происходит активного импортозамещения потребительских товаров, а также материалов и комплектующих. Из-за неконкурентоспособности местных товаров будет повышаться доля импорта в удовлетворении инвестиционного и потребительского спроса. При этом формирующиеся условия будут способствовать развитию отрасли (в частности, путем модернизации материально-технической и производственной базы, развития производства технического текстиля).

Второй сценарий предполагает значительно более высокую, чем в первом варианте, интенсивность структурных сдвигов в отрасли и инновационную активность. Возможность существенного ускорения экономического роста потребует более динамичного развития отрасли и экономики знаний, создания новой, более эффективной технологической базы, которая позволила бы в

последующем осуществить технологический прорыв в текстильной и швейной промышленности, что обеспечит устойчивый рост производительности труда отрасли, развитие конкурентоспособных территориально-производственных кластеров и, как следствие, существенные сдвиги в достижении новых стандартов жизни населения.

В Ы В О Д Ы

Подводя итог работы можно полагать, что прогноз Минэкономразвития требует корректировки, совершенно очевидно, что растущие капиталовложения со стороны государства не повышают конкурентоспособность данной отрасли. Причинами этого является нежелание частных инвесторов осуществлять инвестиционную деятельность в данном секторе экономики по ряду причин:

- 1) как субъект инвестиционной деятельности, любой инвестор предполагает максимально быстрый возврат вложенных средств и получение прибыли, для этого необходимо сокращение инвестиционного этапа и увеличение эксплуатационного;
- 2) отсутствие выхода на международный рынок. Сейчас доля легкой промыш-

ленности в структуре экспорта 0,4%, и основную долю мирового рынка занимают такие страны, как Китай, для которых характерна крайне дешевая рабочая сила, но в то же время технически они более оснащены.

Только решение этих и всех вышеперечисленных проблем, в совокупности с реализацией государственно-частного партнерства, способно реанимировать текстильную промышленность страны.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Информационный портал легкой промышленности. URL: <http://www.roslegprom.ru/>
2. *Портер М.* Международная конкуренция. – М.: Международные отношения, 1993.
3. Российский статистический ежегодник. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_13/Main.htm
4. Промышленность России. 2014. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_48/Main.htm
5. Инвестиции в России. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_56/Main.htm

6. Малое и среднее предпринимательство в России. 2016. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_47/Main.htm

R E F E R E N C E S

1. Informatsionnyy portal legkoy promyshlennosti. URL: <http://www.roslegprom.ru/>
2. Porter M. Mezhdunarodnaya konkurentsia. – M.: Mezhdunarodnye otnosheniya, 1993.
3. Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_13/Main.htm
4. Promyshlennost' Rossii. 2014. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_48/Main.htm
5. Investitsii v Rossii. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_56/Main.htm
6. Maloe i srednee predprinimatel'stvo v Rossii. 2016. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_47/Main.htm

Рекомендована кафедрой организации производства и городского хозяйства ИВГПУ. Поступила 08.04.19.

УДК 677

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КЛАСТЕРОВ В РОССИИ

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL CLUSTERS IN RUSSIA

В.М. ЖАМБРОВСКИЙ, И.И. САВЕЛЬЕВ, А.А. ЛАЧИН, Е.А. ЛАЧИНА, О.А. ПУЗАНОВА

V.M. ZHAMBROVSKIY, I.I. SAVELEV, A.A. LACHIN, E.A. LACHINA, O.A. PUZANOVA

(Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Владимирский филиал), Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых)

(Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Vladimir branch), Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs)

E-mail: sii-33@mail.ru

В статье рассмотрены тенденции развития легкой промышленности России. Проведен анализ современного правового регулирования мер государственной поддержки промышленных кластеров. Определены приоритетные направления нового технологического уклада. Выявлена роль кластерного подхода при трансформации структуры легкой промышленности.

The article examines the development trends of the light industry in Russia. The analysis of modern legal regulation of measures of state support for industrial clusters is carried out. The priority directions of the new technological order have been determined. The role of the cluster approach in the transformation of the structure of light industry is revealed.

Ключевые слова: текстильная промышленность, промышленные кластеры, государственная поддержка, Стратегия 2025, инновационное производство.

Keywords: textile industry, industrial clusters, government support, Strategy 2025, innovative production.

Распоряжением от 26 января 2016 года №85-р Правительством РФ были разработаны программы поддержки и развития легкой промышленности в целом и текстильной в частности.

Одна из них – это утвержденная приказом Министерства промышленности и торговли РФ "Стратегия развития легкой промышленности России на период до 2025 года".

Данная государственная программа должна помочь с помощью экономических инструментов привлечению инвестиций в отрасль и выводу легкой промышленности в разряд ключевых. Основой будет служить переход ее развития на инновационную модель для повышения эффективности конкурентоспособности отрасли.

Для этого в "Стратегии развития легкой промышленности России на период до 2025 года" уделено особое внимание защитным мерам государственного регулирования внутреннего рынка от незаконного оборота товаров, проблемам импортозамещения, технического перевооружения предприятий, а также развития в целом [1, с. 26...30].

В настоящее время легкая промышленность как одно из звеньев промышленности России, выступает ее приоритетным направлением. Именно поэтому в текущем году на поддержку легкой промышленности РФ будет выделено 1,7 млрд. руб. из средств федерального бюджета. В прошлые годы уровень поддержки составлял 3 млрд. руб. (2017 г.), в 2018 г. этот объем финансирования был сохранен.

Меры государственной поддержки направлены сейчас на организации, осуществляющие экспортную деятельность, так называемые экспортоориентированные предприятия. Ключевой задачей для них выступает не только производство текстильной продукции, но ее последующий экспорт за рубеж [2].

Минпромторг России нацелено на освоение новых рынков сбыта продукции российских предприятий и намерено провести ряд мероприятий, которые будут способствовать росту экспортных продаж. Среди них: обучающие семинары по увеличению экспортных поставок, бизнес-миссии, коллективные экспозиции на международных выставках.

Со слов замглавы Минпромторга Виктора Евтухова, ряд предприятий пройдут аудит зарубежного сертификационного центра, по итогам которого получают сертификат, позволяющий найти иностранных партнеров и заключить экспортные контракты. По мнению чиновника, за краткий промежуток времени удалось сделать хороший рывок в создании высокотехнологичной спортивной экипировки и товаров для активного отдыха [3].

По мнению экспертов, анализирующих динамику развития мирового рынка одежды, обуви и аксессуаров, в ближайшие годы по темпам роста будет лидировать сегмент одежды, обуви и аксессуаров для спорта, активного отдыха и туризма. По предварительным оценкам исследовательской компании Евромонитор среднегодовой темп роста спортивного и оутдор сегмента в перспективе до 2021 года составит 6%, что будет выше среднерыночных темпов на 1,5%, а отрыв спортивной и оутдор одежды, обуви и аксессуаров от прочих сегментов одежды будет только нарастать [4].

В настоящий момент российские компании полноправно конкурируют по применяемым технологиям и качеству производства с ведущими мировыми аналогами.

В связи с этим хочется отметить компанию ООО "БАСК", ведущий российский производитель одежды и снаряжения для экстремальных видов спорта, активного отдыха и путешествий, который выпускает

свою продукцию под торговой маркой BASK с 1992 года.

Ежегодно обновляемая коллекция BASK включает около 500 моделей высокотехнологичной одежды, рюкзаков, палаток и спальных мешков, для изготовления которых используются самые современные ткани и утеплители, а также специальное оборудование.

Компания имеет обширную сеть дистрибуции, сотрудничает с более чем 100 партнерами-дилерами в 50 российских регионах и за рубежом, уделяя важное значение международному сотрудничеству. Партнерами компании БАСК являются ведущие мировые производители тканей утеплителей и фурнитуры, такие как Polartec, Pontetorto, Toray, 3M, Duraflex и другие [5].

Меры государственной поддержки легкой промышленности стали основными темами для обсуждения в ходе проведенных в Москве 19 марта 2019 года мероприятий "Российской неделе текстильной и легкой промышленности – 2019".

Благодаря утвержденной ранее "Стратегии развития легкой промышленности России на период до 2025 года" в 2018 году по сравнению с 2017 удалось добиться роста по текстильному производству на 3,6%, по производству одежды на 4,1% [2].

В рамках программы по импортозамещению налажен выпуск новых высокотехнологичных тканей и нетканых материалов для строительства домов и автодорог, для нужд сельского хозяйства, медицинской и мебельной промышленности, спецодежды.

Так, во Владимирской, Ивановской и Курской областях открыто новое производство по выпуску геотекстиля для строительства автодорог и танковых полигонов. В Ивановской и Тверской областях освоено выпуск композиционных нетканых материалов для медицинской промышленности. В Московской области налажен выпуск современных утеплителей для строительной отрасли и пошива одежды. Для производства спецодежды в Тульской области и Пермском крае налажен выпуск высокотехнологичных тканей со специальными за-

щитными свойствами. Для нужд Министерства обороны РФ открыто производство в Ростовской области [6].

По мнению экспертов, в нашей стране наибольшим потенциалом развития обладает технологическая цепочка синтетических материалов – производство химических волокон и нитей, синтетического текстиля для потребительских и промышленных целей. Она представляет существенный по объему сегмент отрасли, обладает высоким потенциалом импортозамещения и ускоренного роста. В отличие от натурального сырья, для которого существуют естественные, прежде всего, климатические ограничения, развитие синтетической цепочки возможно на базе уже существующего нефтехимического комплекса. Эффект от развития синтетической цепочки может превысить показатели по натуральному сырью более, чем в 2,2 раза – вклад отрасли в ВВП может увеличиться на 0,18%, с 0,03 до 0,21% [6].

В свою очередь, особо актуальным остается направление по возрождению текстильной промышленности посредством использования льна, которое озвучил Президент Владимир Путин. Данное направление позволило бы снизить покупки сырья у иностранцев [1, с. 26...30].

Ведущими предприятиями легкой промышленности завоевываются новые рынки, осваивается производство конкурентоспособной продукции, открываются свои собственные магазины как в России, так и за рубежом.

На заседании Правительства РФ от 13.06.2019 года рассматривался законопроект, который направлен на либерализацию валютного контроля в рамках реализации национального проекта – "Международная кооперация и экспорт". Было отмечено, что сфера валютного контроля в настоящее время сильно зарегулирована, особенно в части репатриации экспортной выручки.

Сейчас экспортеры обязаны зачислять на счета в российских банках всю выручку, причем в жестко определенные сроки, что зачастую создает для бизнеса дополнительные проблемы, требует затрат, осложняет

работу с зарубежными партнерами. Касаясь выручки в рублях, это требование должно быть отменено: для несырьевого экспорта – уже с 1 января 2020 года и в полном объеме, для сырьевых товаров – поэтапно.

К 2024 году все экспортные операции и по таким товарам будут освобождены от обязательной репатриации рублевой выручки. По мнению председателя Правительства РФ, это должно снизить административные издержки экспортеров, позволит более активно использовать национальную валюту в международных расчетах [7].

В настоящее время во всем мире легкая промышленность использует кластерный принцип развития. Это позволяет систематизировать усилия предприятий легкой промышленности по линии устойчивого развития, кооперации, организованной закупки сырья и комплектующих, технологического оборудования, разработки отраслевых стандартов. Следует заметить, что именно кластеры входят в приоритеты российской национальной Стратегии развития легкой промышленности до 2025 года.

Кластеризация предприятий легкой промышленности обеспечит рост конкурентоспособности, даст возможности существенного улучшения финансового состояния, повышения рентабельности производства, расширения инвестиционного потенциала.

Кластеры могут образовываться в пределах крупных городов, имеющих предприятия легкой промышленности, для их возрождения интенсивного развития. Международный опыт развития кластеров в отрасли легкой промышленности доказал их состоятельность.

Так, благодаря кластеру текстильной промышленности в городе Сурат, штат Гуджарат, Индия, город приобрел статус синтетической столицы Индии. В него включено более 10 тыс. участников, среди которых небольшие ткацкие предприятия, перерабатывающие синтетические волокна, производимые на крупном нефтехимическом комплексе, находящемся неподалеку. Кластер включает в себя более 700 тыс. ткацких станков, производящих более

2 млн. метров ткани в день, или около 12% от экспорта всей индийской продукции. В нем участвуют 25 вертикально интегрированных компаний, остальные участники – малые и средние предприятия с годовым оборотом около \$100 тыс. [6]

Направление Минпромторга России по поддержке промышленных кластеров уже доказало свою эффективность. Уже сейчас это заметно на примере развития сегмента специальной одежды и экипировки.

Так, во Владимирской области перспективы создания кластера текстильной и легкой промышленности основываются на локализации текстильных и швейных производств, предприятий смежных отраслей, научных и образовательных организаций, торгово-логистических центров в рамках кластера. В состав кластера текстильной и легкой промышленности могут войти пять предприятий области – ОАО "Авангард" (г. Юрьев-Польский), ОАО "Сударь" (г. Ковров), ЗАО "Элиттекст" (г. Карабаново) и два предприятия из г. Вязники – ООО "Предприятие нетканых материалов" и ОАО "ХК Владимирский текстиль".

На наш взгляд, в легкопромышленной отрасли нужно создавать межрегиональные секторальные кластеры: по глубокой переработке льна, производству спортивной одежды, текстильного кластера во Владимирской, Ивановской, Смоленской и иных областях.

Следует рассмотреть и вопрос создания дизайнерского кластера. Все более востребованными в настоящее время становятся технологические решения в одежде, такие как зарядные устройства для цифровой техники, интегрированные в предметы гардероба, создание обуви и одежды, дополненной электронными и цифровыми возможностями.

Именно поэтому активно развивающийся и формирующийся международный рынок FashionNet ставит перед российской легкой промышленностью задачу занять на нем место для дальнейшей реализации своих проектов.

Все эти меры в совокупности будут способствовать развитию производства готовой продукции в России, развитию конку-

рентоспособности текстильной и легкой промышленности.

Считаем, что действия Правительства РФ по развитию легкой промышленности должны быть направлены на создание новых текстильных кластеров, поддержку инновационных разработок по созданию новых высокотехнологичных тканей и нетканых материалов, лабораторий по их тестированию. При этом необходимо открывать единые центры дизайна, обучения и подготовки квалифицированных кадров, создавать условия для развития национальных брендов одежды и обуви, что в свою очередь потребует строительства современных выставочных и информационных центров и площадок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зыков Д.А., Лачин А.А., Лачина Е.А., Савельев И.И. Государственная поддержка текстильной промышленности в Российской Федерации (на примере Ивановской области): состояние и перспективы развития // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С. 26...30.

2. В 2019 году на поддержку "приоритетной" легкой промышленности выделят 1,7 млрд. рублей из бюджета Минпромторга // <https://www.nakanune.ru/news/2018/09/14/22519368/>

3. Тяжелая ноша легкой промышленности? Развитие конкурентоспособности текстильной и легкой промышленности. <https://aftershock.news/?q=node/578574&full>

4. В Москве открылась "Российская неделя текстильной и легкой промышленности – 2019" // <https://helpinver.com/news/novosti-regionov/7912/>

5. Компания BASK — российский производитель одежды и туристического снаряжения // <https://bask.ru/about/>

6. О выгодах и перспективных направлениях развития кластеров в отрасли легкой промышленности <http://textileexpo.ru/novosti/361-o-vygodakh-i-perspektivnykh-napravleniyakh-razvitiya-klasterov-v-otrasli-legkoj-promyshlennosti>

7. Заседание Правительства. Вступительное слово Дмитрия Медведева // <http://government.ru/news/36998/>

REFERENCES

1. Zykov D.A., Lachin A.A., Lachina E.A., Savel'ev I.I. Gosudarstvennaya podderzhka tekstil'noy promyshlennosti v Rossiyskoy Federatsii (na primere Ivanovskoy oblasti): sostoyanie i perspektivy razvitiya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, № 6. S. 26...30.

2. V 2019 godu na podderzhku "prioritetnoy" legkoy promyshlennosti vydelyat 1,7 mlrd. rubley iz byudzheta Minpromtorga // <https://www.nakanune.ru/news/2018/09/14/22519368/>

3. Tyazhelaya nosha legkoy promyshlennosti? Razvitie konkurentosposobnosti tekstil'noy i legkoy promyshlennosti. <https://aftershock.news/?q=node/578574&full>

4. V Moskve otkrylas' "Rossiyskaya nedelya tekstil'noy i legkoy promyshlennosti – 2019" // <https://helpinver.com/news/novosti-regionov/7912/>

5. Kompaniya BASK — rossiyskiy proizvoditel' odezhdy i turisticheskogo snaryazheniya // <https://bask.ru/about/>

6. O vygodakh i perspektivnykh napravleniyakh razvitiya klasterov v otrasli legkoy promyshlennosti <http://textileexpo.ru/novosti/361-o-vygodakh-i-perspektivnykh-napravleniyakh-razvitiya-klasterov-v-otrasli-legkoj-promyshlennosti>

7. Zasedanie Pravitel'stva. Vstupitel'noe slovo Dmitriya Medvedeva // <http://government.ru/news/36998/>

Рекомендована кафедрой менеджмента и маркетинга ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Поступила 27.05.20.

УДК 674.816.3

**МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ
НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО НАПОЛНИТЕЛЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ЛЬНЯНОГО ОЧЕСА**

**A METHOD OF OBTAINING AND PROPERTIES OF WOOD-PARTICLE BOARDS
ON THE BASIS OF THE COMBINATION OF THE FILLER
WITH THE USE OF FLAX WASTE**

С.А. УГРЮМОВ

S.A. UGRYUMOV

(Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет)

(St. Petersburg State Forest Technical University)

E-mail: ugr-s@yandex.ru

Предложено использование метода получения древесно-стружечных плит путем использования комбинированного наполнителя на основе древесных частиц в смеси с очесом льноволокна. Экспериментально установлено повышение прочности древесно-стружечных плит на основе комбинированного наполнителя за счет формирования более сплошной структуры плиты и армирующей роли льноволокна, содержащегося в очесе.

The method of obtaining wood-based panels by using mixed filler on the basis of wood particles mixed with hards of flax. It was established experimentally increasing the strength of chipboards on the basis of the combination of filler due to the formation of more solid plate structure and reinforcing the role of flax fibre contained in the tow.

Ключевые слова: древесно-стружечная плита, армирование, древесный наполнитель, льноволокно, очес, физико-механические свойства.

Keywords: wood particle board panel, reinforcement, filler, flax fiber, tow, physico-mechanical properties.

Древесностружечные плиты являются распространенным конструкционным материалом и эффективно используются в производстве мебели, строительстве, отделке и многих других сферах. Современ-

ный уровень технологии позволяет использовать низкокачественную древесину различных пород и отходы деревоперерабатывающих производств, а сам процесс изготовления древесных плит характеризуется

высокой экономичностью и высокой степенью автоматизации, что обуславливает относительно низкую стоимость плит. Однако основная часть древесно-стружечных плит имеет относительно невысокую прочность, так как при ее изготовлении применяются древесные частицы, ослабленные в процессе резания, а ограниченный расход связующего не позволяет создать сплошные клеевые контакты между ними. Массово выпускаемая промышленностью трехслойная древесно-стружечная плита, наружные слои которой состоят из мелкой стружки, внутренний слой – из более крупной стружки, технологичны в производстве и применении, но обладают относительно невысокой прочностью при изгибе [1].

Основным видом нагружения древесно-стружечных плит при их эксплуатации является изгиб [2]. Зачастую в элементах мебели и строительных конструкциях наблюдается видимая деформация плит (изгиб) при действии значительных нагрузок. ГОСТ 10632–2014 "Плиты древесно-стружечные. Технические условия" нормируется предел прочности при изгибе не менее 5,5...13,0 МПа в зависимости от марки и толщины. Для большинства мебельных и строительных изделий данная прочность является достаточной, но для ответственных элементов, воспринимающих значительные нагрузки при эксплуатации, требуются плиты повышенной прочности.

Известно, что изгибающий момент, возникающий при изгибе, вызывает в поперечном сечении материала нормальные напряжения растяжения и сжатия вдоль волокон, а перерезывающая сила – касательные напряжения сдвига на скалывание вдоль волокон. Первые достигают максимальных значений в наружных слоях, наиболее удаленных от нейтральной плоскости, а вторые – в нейтральной зоне, которая теоретически располагается посередине высоты сечения [3]. Повышение прочности древесных плит возможно путем введения в их конструкцию упрочняющих прослоек (армированием) [4], при этом армирующие слои целесообразно располагать в поверхностных прослойках для предотвращения разрушения от касательных напряжений. Так, из-

вестны древесно-стружечные плиты из осмоленных древесных частиц с прослойками армирующей металлической сетки, перфорированным металлическим листом или тканым материалом [5], [6]. Недостатком таких плит является повышенная стоимость в случае применения металлической сетки или перфорированного листа, недостаточная прочность в случае применения тканого материала вследствие уменьшения адгезионной прочности в месте контакта осмоленных древесных частиц с сухой поверхностью прослойки. Основная прочность соединения достигается за счет контактирования и склеивания осмоленных древесных частиц внутри ячеек армирующих материалов. Повышение прочности плит возможно также путем введения в их конструкцию упрочняющих слоев из лущеного шпона [7], [8], однако при этом существенно усложняется технология и возрастает стоимость готовой продукции.

Известны способы производства древесных плит на основе древесных частиц или измельченных частиц их отходов однолетних растений (солома, костра льна и др.) в смеси с отходами производства искусственного меха [9]. Введение в состав плиты искусственных волокон позволяет повысить прочность и водостойкость, однако упрочнение плиты по такому методу несущественное, поскольку синтетические волокна меха в процессе термопьезообработки плит претерпевают изменение агрегатного состояния.

Известно, что в процессе льнопереработки образуется костра льна с фракцией очеса [10], при этом отходы льнопроизводства не в полной мере перерабатываются с получением востребованной продукции [11]. В настоящее время разработаны и эффективно применяются различные технологические методы отделения льноволокна и его обескостривания [12...14], однако отходы производства в виде очеса имеют место.

Под очесом понимаются фракция от фракционирования (рассева) отходов льнопереработки (костры льна), оставшаяся на сите с диаметром ячейки 10 мм, представляющая собой остатки льноволокна длиной до 50 мм с незначительной примесью круп-

ных частиц костры льна, обычно длиной до 20 мм; доля очеса составляет около 10% от общей массы костры [15]. Введение к конструкции древесно-стружечной плиты очеса позволит заполнить пустоты, образованные при соприкосновении относительно крупных древесных частиц тонкими и податливыми частицами очеса, таким образом создав более сплошную, а значит более прочную структуру плиты. Кроме этого волокна льноволокна, содержащиеся в очесе, будут работать как армирующие частицы, способствуя повышению прочности плит.

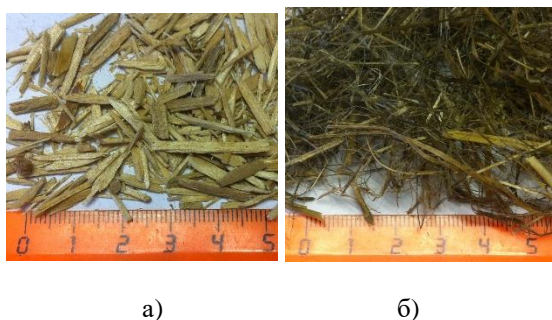


Рис. 1

На рис. 1 представлен внешний вид древесных частиц и очеса (а – древесные частицы; б – отходы льняного очеса).

Поскольку отходы льнопроизводства имеют меньшую смачивающую способность, чем древесные частицы [16], в связующее для осмоления очеса необходимо вводить модификатор, например бутанол-1, для повышения смачивающей способности [17].

Для экспериментального обоснования метода повышения прочности древесно-стружечных плит путем введения в состав наполнителя льняного очеса были проведены опыты по формированию, изготовлению и испытанию физико-механических свойств древесно-стружечной плиты, содержащей древесный наполнитель в виде древесной стружки в смеси с клеем, с дополнительным введением наполнителя из очеса в смеси с клеем. На рис. 2 представлена конструкция древесно-стружечной плиты на основе предложенного комбинированного наполнителя (1 – частицы древесной стружки в смеси с клеем; 2 – волокна очеса в смеси с клеем; 3 – отдельные частицы костры льна в смеси с клеем).

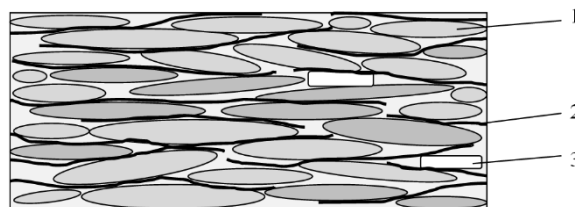


Рис. 2

При формировании ковра плиты соотношение по массе стружка: очес составляло 75:25, осмоление компонентов наполнителя производилось отдельно.

В качестве связующего материала использовалась карбамидоформальдегидная смола, в частном случае карбамидоформальдегидная смола марки КФН-54-П, имеющая следующие физико-химические свойства: массовая доля сухого остатка – 54%; рН – 7,8; условная вязкость по вискозиметру ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм – 48 с. В качестве катализатора отверждения использовался хлористый аммоний (1% от массы смолы).

В качестве основного наполнителя использовалась специальная плоская резаная стружка из древесины березы фракции 10/2, влажностью не более 3%. Осмоление древесных частиц осуществляли путем смешивания их с указанным связующим, с расходом связующего 8 масс.% относительно массы абсолютно сухих древесных частиц.

Отдельно производили подготовку очеса фракции -/10, влажностью не более 3%. В качестве связующего для очеса использовали основное связующее на основе карбамидоформальдегидной смолы с добавкой 2 масс.% бутанола-1 для повышения смачивающей способности. Осмоление осуществляли путем смешивания связующего материала с сухим очесом с расходом связующего 15 масс.% относительно массы абсолютно сухого очеса.

Осмоленные древесные частицы смешивали с осмоленным очесом, при этом средний расход связующего в плите составлял 9,75 масс.% от массы абсолютно сухого наполнителя.

Сформированный ковер древесно-стружечной плиты на основе комбинированного наполнителя подпрессовывали при

нормальной температуре и удельном давлении 1,5 МПа, а затем производили горячее прессование при температуре плит пресса 130 °С, удельном давлении 2,5 МПа, времени выдержки под давлением 8 мин. Толщина готовых плит составляла 16 мм. После прессования плиты кондиционировали в течение 24 часов, а затем производили

раскрой на образцы для проведения физико-механических показателей.

Проведенные качественные испытания показали повышение физико-механических свойств древесно-стружечных плит на основе комбинированного связующего по сравнению с традиционными плитами (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Вариант	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при отрыве перпендикулярно к пласти, МПа	Разбухание по толщине, %	Водопоглощение, %
Древесно-стружечная плита на основе древесных частиц	14,8	0,46	19,3	59,3
Древесно-стружечная плита на основе комбинированного наполнителя	18,8	0,56	17,3	54,4

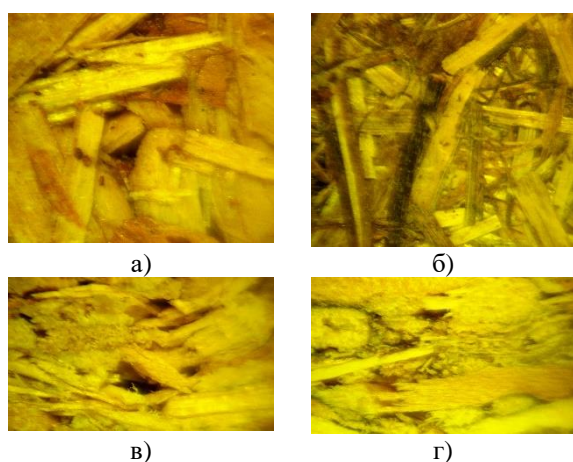


Рис. 3

На рис. 3 представлена структура пласти и кромки плит (а – плась древесно-стружечной плиты; б – плась плиты на основе комбинированного наполнителя; в – кромка древесно-стружечной плиты; г – кромка плиты на основе комбинированного наполнителя).

ВЫВОДЫ

Как видно из представленных данных, в структуре плит на основе комбинированного наполнителя имеется меньше полостей и пустот, а размеры имеющихся полостей и пустот гораздо меньше, чем у традиционной древесно-стружечной плиты за счет заполнения более мелкими волокнами очеса с примесью частиц костры. Прочностные характеристики плит на основе комбинированного наполнителя выше не

только за счет уменьшения количества пустот, но также за счет армирующей роли льноволокна, содержащегося в очесе. В комбинированной плите наблюдается также некоторое снижение разбухания по толщине и водопоглощения за счет меньшей впитывающей способности льняного наполнителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волынский В.Н.* Технология древесных плит и композитных материалов. – СПб.: Лань, 2010.
2. *Костенко Н.А., Баясникова С.В., Волошиановская Ю.Э.* Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 2000.
3. *Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.* Справочник по сопротивлению материалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1988.
4. *Батаев А.А., Батаев В.А.* Композиционные материалы: строение, получение, применение. – М.: Логос, 2006.
5. Патент SU 2012487. Способ изготовления изделия из спрессованных древесных частиц / В.Ф. Фарфонов, Э.П. Иванов, В.Д. Самарин, №5023243/15; заявл.: 12.11.1991.
6. *Угрюмов С.А., Александров П.В.* Оценка конкурентоспособности композиционного материала на основе шпона и древесно-клеевой композиции с упрочненными поверхностными слоями // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2015, №2(35). С. 80...84.
7. *Угрюмов С.А.* Исследование свойств композиционной фанеры с внутренним слоем из древесной стружки // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2005, №11. С.110...111.
8. *Угрюмов С.А., Боровков Е.А., Щербаков А.Е.* Кинетика водопоглощения и разбухания компози-

ционной фанеры // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2006, №13. С. 109...111.

9. Патент RU 2170749. Композиция для изготовления малотоксичных древесных плит / Н.Е. Николаев, В.П. Стрелков, А.П. Шалашов. – №2000103512/04; заявл.: 15.02.2000.

10. Безбабченко А.В., Шевалдин Д.М., Чекрышева Т.П., Новиков Э.В., Корабельников А.Р. Исследование технологии переработки льняной ленты в модифицированное волокно // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №6. С. 40...44.

11. Новиков Э.В., Королева Е.Н., Безбабченко А.В., Ущачовский И.В. Анализ эффективности первичной переработки льносырья в Российской Федерации // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №2. С. 71...75.

12. Новиков Э.В., Безбабченко А.В., Алтухова И.Н. Исследование характеристик тресты масличного льна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №1. С. 58...62.

13. Федосова Н.М., Соколов А.С., Вихарев С.М. Разработка комплексной оценки технологического качества льняных стеблей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №3. С.32...36.

14. Волков Д.А., Енин М.С., Пашин Е.Л., Бойко С.В. Интенсификация процесса обескостривания льна с применением пассивных рабочих планок // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №5. С. 29...32.

15. Угрюмов С.А. Организационно-техническое обеспечение производства композиционных материалов на основе древесных наполнителей и костры льна. – Кострома: КГТУ, 2008.

16. Угрюмов С.А., Цветков В.Е. Применение основных положений теории адгезии для расчета поверхностного натяжения костры льна // Деревообрабатывающая промышленность. – 2008, №1. С.22...23.

17. Патент RU 2377270. Клей для изготовления кстроплит / С.А. Угрюмов, В.Е. Цветков. – №2008115758/04; заявл. 21.04.2008.

REFERENCES

1. Volynskiy V.N. Tekhnologiya drevesnykh plit i kompozitnykh materialov. – SPb.: Lan', 2010.

2. Kostenko N.A., Balyasnikova S.V., Voloshanovskaya Yu.E. Soprotivlenie materialov. – M.: Vysshaya shkola, 2000.

3. Pisarenko G.S., Yakovlev A.P., Matveev V.V. Spravochnik po soprotivleniyu materialov. – 2-e izd., pererab. i dop. – Kiev: Nauk. dumka, 1988.

4. Bataev A.A., Bataev V.A. Kompozitsionnye materialy: stroenie, poluchenie, primeneniye. – M.: Logos, 2006.

5. Patent SU 2012487. Sposob izgotovleniya izdeliya iz spressovannykh drevesnykh chastits / V.F. Farafontov, E.P. Ivanov, V.D. Samarin, №5023243/15; заявл.: 12.11.1991.

6. Ugryumov S.A., Aleksandrov P.V. Otsenka konkurentosposobnosti kompozitsionnogo materiala na osnove shpona i drevesno-kleevoy kompozitsii s uprochnennymi poverkhnostnymi sloyami // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2015, №2(35). S. 80...84.

7. Ugryumov S.A. Issledovanie svoystv kompozitsionnoy fanery s vnutrennim sloem iz drevesnoy struzhki // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2005, №11. S.110...111.

8. Ugryumov S.A., Borovkov E.A., Shcherbakov A.E. Kinetika vodopogloshcheniya i razbukhaniya kompozitsionnoy fanery // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2006, №13. S. 109...111.

9. Patent RU 2170749. Kompozitsiya dlya izgotovleniya malotoksichnykh drevesnykh plit / N.E. Nikolaev, V.P. Strelkov, A.P. Shalashov. – №2000103512/04; заявл.: 15.02.2000.

10. Bezbabchenko A.V., Shevaldin D.M., Chekrysheva T.P., Novikov E.V., Korabel'nikov A.R. Issledovanie tekhnologii pererabotki l'nyanoy lenty v modifitsirovannoe volokno // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2012, №6. S. 40...44.

11. Novikov E.V., Koroleva E.N., Bezbabchenko A.V., Ushchapovskiy I.V. Analiz effektivnosti pervichnoy pererabotki l'nosyr'ya v Rossiyskoy Federatsii // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №2. S. 71...75.

12. Novikov E.V., Bezbabchenko A.V., Altukhova I.N. Issledovanie kharakteristik tresty maslichnogo l'na // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №1. S. 58...62.

13. Fedosova N.M., Sokolov A.S., Vikharev S.M. Razrabotka kompleksnoy otsenki tekhnologicheskogo kachestva l'nyanykh stebley // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2013, №3. S.32...36.

14. Volkov D.A., Enin M.S., Pashin E.L., Boyko S.V. Intensifikatsiya protsessa obeskostrivaniya l'na s primeneniem passivnykh rabochikh planok // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2013, №5. S. 29...32.

15. Ugryumov S.A. Organizatsionno-tekhnicheskoe obespechenie proizvodstva kompozitsionnykh materialov na osnove drevesnykh napolniteley i kostry l'na. – Kostroma: KGTU, 2008.

16. Ugryumov S.A., Tsvetkov V.E. Primeniye osnovnykh polozheniy teorii adgezii dlya rascheta poverkhnostnogo natyazheniya kostry l'na // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. – 2008, №1. S.22...23.

17. Patent RU 2377270 Kley dlya izgotovleniya kstroplit / S.A. Ugryumov, V.E. Tsvetkov. – №2008115758/04; заявл. 21.04.2008.

Рекомендована кафедрой лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств КГУ. Поступила 14.10.16.

**МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ
КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ**

**MODIFICATION OF THE STRUCTURE
OF COMPOSITE TEXTILE MATERIALS
UNDER THE INFLUENCE OF MICROWAVE RADIATION**

С.В. ЖЕРНОСЕК, В.И. ОЛЬШАНСКИЙ

S.V. ZHERNOSEK, V.I. OLSHANSKIY

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Belarus)

E-mail: tiomp@vstu.by

В работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса модификации структуры композиционных текстильных материалов способом импрегнирования текстильной основы полимерной композицией в условиях воздействия СВЧ-излучения.

The paper presents the results experimental studies of the process of modifying the structure of composite textile materials by impregnating a textile fabric with the use of polymer compositions under the influence of microwave radiatio.

Ключевые слова: текстильные композиционные материалы, импрегнирование, структура, электромагнитные волны СВЧ, физико-механические показатели.

Keywords: textile composite materials, impregnation, structure, electro-magnetic waves, microwave, physical and mechanical properties.

Целью работы является исследование структуры композиционных текстильных материалов, полученных в результате импрегнирования текстильной основы из льнохлопковых тканей в условиях воздействия СВЧ-излучения, анализ равномерности распределения полимерного наполнителя в волокнистой структуре, оценка показателей физико-механических свойств полученных материалов.

Высокий уровень качества композиционных текстильных материалов может быть обеспечен равномерным распределением полимерной композиции в структуре тканой основы в результате качественной термофиксации и эффективного удаления влаги в процессе сушки [1].

Для анализа качества КТМ (композиционные текстильные материалы) исследован механизм модификации структуры способом импрегнирования с применением инфракрасного (ИК) и сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения. В работе рассмотрены материалы, полученные способом импрегнирования льнохлопковых тканей арт. 10С-768-ШР (поверхностная плотность 380 г/м²) с применением раствора полимерной композиции – водной дисперсии стирол-акрилата "Appretan № 9616" (фирма Clariant), применяемой для обеспечения жесткости и каркасности. Этапы подготовки образцов описаны в табл. 1.

ИК-обработка	СВЧ-обработка
Пропитывание образцов раствором ПК концентрация ПК 300 г/л, начальная температура ПК 20°С	
мощность 1000 Вт; продолжительность 15 мин	мощность 450 Вт; продолжительность 2 мин
отжим влажносодержание 85...90%	
Термофиксация и сушка	
термофиксация (температура 160°С; продолжительность 30 с) сушка при температуре 120 °С (1000 Вт); продолжительность 5 мин	совмещенная термофиксация и сушка (мощность 1000 Вт; продолжительность 2 мин)

С использованием инвертированного микроскопа МИ-1 выполнены экспериментальные исследования микроструктуры материалов после импрегнирования с целью подтверждения полученных выводов и закономерностей об эффективности применения СВЧ-нагрева для модификации КТМ.

На рис. 1 представлены снимки срезов материалов, полученных с использованием ИК-обработки (а) и СВЧ-обработки (б) при 50-кратном увеличении. Представленные результаты позволяют визуально оценить и сравнить степень заполнения пористой волокнистой структуры тканой основы после ИК-обработки и СВЧ-обработки [3].

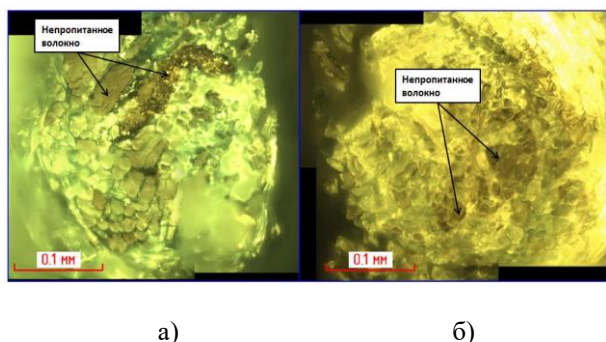


Рис. 1

В результате анализа полученных изображений срезов было отмечено, что в условиях ИК-нагрева (рис. 1-а) ПК фиксируется в виде чешуйчатой структуры на поверхности волокна, неравномерно проникая в структуру материала. При использовании СВЧ-нагрева (рис. 1-б) происходит более полная и равномерная миграция полимера в волокнистую структуру материала.

При воздействии на полимерные материалы электромагнитного излучения СВЧ-диапазона происходит поляризация целлю-

лозных волокон, это приводит к повышению гибкости макромолекулярных цепей. С увеличением подвижности сегментов полимерной цепи происходит разрушение существующих связей между макромолекулами водородных и образование новых в энергетически более выгодном состоянии. Вследствие этого в целлюлозном материале под действием СВЧ-излучения происходит релаксация внутренних напряжений, что сопровождается переходом полимера в более равновесное состояние – в аморфных областях волокна суммарная энергия межмолекулярного взаимодействия возрастает, и устойчивость ткани к физико-механическим воздействиям повышается. Кроме того, действие электромагнитного поля вызывает в надмолекулярной структуре волокна процесс разукрупнения кристаллических образований, сопровождающийся увеличением подвижности макромолекул. В результате происходит перераспределение нагрузки между отдельными структурными элементами [2...4].

Для количественного подтверждения установленных закономерностей выполнен анализ изменения физико-механических свойств КТМ: износостойкости, разрывной нагрузки, разрывного удлинения и жесткости. Испытания материалов на износостойкость (стойкость к истиранию по плоскости) проведены в соответствии с ГОСТ 18976–73 с использованием прибора ДИТ-2М. Разрывная нагрузка и разрывное удлинение материалов исследовались на разрывной машине типа WDW-20E в соответствии с ГОСТ 3813–72 (СТ. СЭВ 2675–80), ГОСТ 16218.5–93, ISO 13934. Жесткость полученных материалов при различных

способах формирования определялась методом кольца на приборе ПЖУ-12 М в соответствии с ГОСТ 8977–74, ГОСТ 10550–93 (ГОСТ Р 55826–2013).

В табл. 2 приведены экспериментальные значения показателей физико-механических свойств КТМ, полученных при различных концентрациях ПК. Представлен-

ные результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств подтверждают установленные закономерности, описывающие эффективность заполнения капиллярной пористой структуры раствором ПК при обработке в ИК- и СВЧ-излучении.

Т а б л и ц а 2

ИК-обработка							
Концентрация ПК, г/л	Износостойкость, циклы	Разрывная нагрузка, кН		Разрывное удлинение, %		Жесткость, сН	
		основа	уток	основа	уток	прод.	попер.
0	6266,1	0,350	0,378	9,99	10,0	7,16	7,09
100	7871,2	0,357	0,398	10,4	10,8	12,6	13,8
200	14902,3	0,364	0,418	10,8	11,5	18,0	20,6
300	27359,4	0,371	0,438	11,2	12,1	23,4	27,3
СВЧ-обработка							
0	7009,6	0,359	0,392	10,4	10,0	7,53	7,29
100	8200,3	0,369	0,422	10,9	11,3	18,9	20,7
200	22149,0	0,379	0,452	11,3	12,6	30,3	34,2
300	48855,7	0,389	0,482	11,8	13,8	41,7	47,6

ВЫВОДЫ

Установлено, что при воздействии электромагнитных волн СВЧ-диапазона наблюдается более равномерное распределение полимерной композиции в волокнистой структуре, способствующее формированию однородного по составу материала. Воздействие СВЧ-излучения оказывает положительное комплексное влияние на изменение качества и физико-механических характеристик полученных материалов, позволяет обеспечить повышение износостойкости на 70...78%; разрывной нагрузки и разрывного удлинения – на 10...14%; жесткости – на 74...78%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бизюк А.Н., Жерносек С.В., Ольшанский В.И., Ясинская Н.Н. Исследование влияния СВЧ-излучения на показатели качества тканых полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №2. С. 17...20.
2. Ольшанский А.И., Ольшанский В.И., Жерносек С.В. Исследование влагообмена при сушке натуральных тканей в электромагнитном поле сверхвысокой частоты // Инженерно-физический журнал. – 2014. Т. 86, №. 5. С. 1041...1048.
3. Бизюк А.Н., Жерносек С.В., Ольшанский В.И., Ясинская Н.Н. Влияние СВЧ-излучения на физико-механические свойства текстильных материалов//

Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2013. Т. 20, № 2. С. 16...19.

4. Бизюк А.Н., Жерносек С.В., Ольшанский В.И., Ясинская Н.Н. Исследование пропитки текстильных материалов в поле СВЧ-излучения // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2014. Вып. 26. С. 21...28.

REFERENCES

1. Biziuk A.N., Zhernosek S.V., Ol'shanskiy V.I., Yasinskaya N.N. Issledovanie vliyaniya SVCh-izlucheniya na pokazateli kachestva tkanykh poloten // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2014, №2. S. 17...20.
2. Ol'shanskiy A.I., Ol'shanskiy V.I., Zhernosek S.V. Issledovanie vlogoobmena pri sushke natural'nykh tkaney v elektromagnitnom pole sverkhvysokoy chastoty // Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal. – 2014. T.86, №.5. S. 1041...1048.
3. Biziuk A.N., Zhernosek S.V., Ol'shanskiy V.I., Yasinskaya N.N. Vliyanie SVCh-izlucheniya na fiziko-mekhanicheskie svoystva tekstil'nykh materialov// Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2013. T. 20, № 2. S. 16...19.
4. Biziuk A.N., Zhernosek S.V., Ol'shanskiy V.I., Yasinskaya N.N. Issledovanie propitki tekstil'nykh materialov v pole SVCh-izlucheniya // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2014. Vyp. 26. S. 21...28.

Рекомендована кафедрой технологии и оборудования машиностроительного производства. Поступила 06.02.19.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦВЕТА ПОЛИАМИДНЫХ ВОЛОКОН**

**IMPROVEMENT OF THE EXPRESS METHOD
OF DETERMINING OF POLYAMIDE FIBER COLOR**

Н.А. ОСМОЛОВСКАЯ, А.Н. КУЗИНА, И.В. КРОТОВА

N.A. OSOLOVSKAYA, A.N. KUZINA, I.V. KROTOVA

(Сибирский федеральный университет, Торгово-экономический институт)

(Siberian Federal University, Trade and Economic Institute)

E-mail: tei_nauka@mail.ru

В работе исследована возможность использования экспресс-метода определения цвета волокон, основанного на сочетании инструментального и органолептического подходов. В качестве инструмента фиксации цветowych характеристик объекта предлагается использовать спектрофотометр Model RM 200 S/W:0010046526 2013-07 – относительно простой и широко применяемый для подбора цвета при смешивании красок прибор. Зафиксированный с его помощью цветовой тон затем предлагается визуально сопоставить с палитрой цветов по каталогу международной шкалы The Natural Color Systems.

The possibility of using an express method for determining the color of fibers based on a combination of instrumental and organoleptic approaches was investigated. As a tool for fixing the color characteristics of the object, it is proposed to use the spectrophotometer Model RM 200 S / W: 0010046526 2013-07 - relatively simple and widely used for color matching when mixing paints. The fixed color tone is offered to compare with visually the color palette according to the catalog of the international scale The Natural Color Systems.

Ключевые слова: кора лиственницы сибирской, водный экстракт, полиамидные волокна, определение цвета, цветовые характеристики.

Keywords: siberian larch bark, water extract, polyamide fibers, color determination, color characteristics.

Традиционно для определения цвета окрашенных текстильных материалов используются методики, основанные на определении спектров отражений и расчетов коэффициентов отражений. Однако данные методики трудозатратны, так как требуют наличия не только специального лабораторного оборудования, но и зачастую проведения серии расчетов. С практической точки зрения представляет интерес метод, сочетающий инструментальную и органолептическую составляющую. Несомненно, имеет место погрешность, связанная с

субъективным восприятием анализируемого объекта, однако простота и скорость установления цвета образцов являются достоинством предлагаемого нами метода.

В качестве инструментального обеспечения метода целесообразно использовать спектрофотометр Model RM 200 S/W: 0010046526 2013-07 – относительно недорогой и поэтому весьма распространенный прибор, широко используемый для подбора цвета при смешивании красок. Снятый по показаниям прибора цветовой тон затем сопоставляется с палитрой цветов по каталогу

международной шкалы цвета The Natural Color Systems (NCS) – проприетарная цветовая модель, предложенная шведским Институтом Цвета. Она основана на системе противоположных цветов и нашла широкое применение в промышленности для описания цвета продукции. Сегодня NCS является одной из наиболее широко используемых систем описания цветов в мире, получила международное научное признание, а кроме того, NCS является национальным стандартом в Швеции, Норвегии, Испании и Южной Африке.

Система обычно используется для описания и сопоставления цветов, а не смешивания цветов. NCS – единственная система, описывающая цвет так, как мы его видим, поэтому она понятна, логична и проста в использовании. В рамках системы NCS возможно определить любой из миллионов оттенков и дать ему точное обозначение.

При описании цвета по NCS используются шесть элементарных цветов, которые нельзя описать сочетанием двух других (к примеру, элементарный красный – это только красный, без желтого или синего оттенков). Из них четыре хроматических цвета – Желтый (Yellow, Y), Красный (Red, R), Синий (Blue, B) и Зеленый (Green, G), и два нехроматических – Белый (White, W) и Черный (Swarthy, S). Остальные цвета представлены сочетанием элементарных (например, оранжевый – одновременно красноватый и желтоватый). Это сходство называется элементарными признаками цвета (желтизна (yellowness), краснота (redness), белизна (whiteness) и т.д.).

Рассматриваемая система положена в основу цветовой карты ACC Color Map, широко применяемой колористами, дизайнерами, цветовыми художниками. Она представляет одноцветную визуализацию для сочетаемых и гармонирующих цветов. Цвета организованы по структуре ACC, что позволяет пользователю просмотреть их в структурированном порядке. Цвета в данной карте кодируются в соответствии с тремя основными характеристиками: оттенок, насыщенность, яркость. Оттенок характеризует расположение цвета в самом

спектре (красный, желтый и т.п.). Насыщенность цвета соответствует его интенсивности. Чем выше содержание цвета, тем выше степень насыщенности. Степень яркости лежит в диапазоне от черного, имеющего минимальную яркость, до белого.

Таким образом, обозначение цвета по данной системе выглядит так: E4.29.50, где E4 – сегмент спектра, 29 – насыщенность (чем выше значение, тем светлее оттенок), 50 – яркость (светлота) (чем выше значение, тем ярче оттенок) [1].

Полиамидные окрашенные волокна, как известно, имеют не матовую, а глянцевую поверхность. Блеск нити не позволяет получить точное попадание в цветовые тона карты. Также следует принимать во внимание угол падения света, тип и мощность источника освещения, его яркость. Поскольку определение цветового тона проводится визуально, необходимо помнить о таком явлении, как метамерия – свойство зрения, при котором свет различного спектрального состава может вызывать ощущение одинакового цвета. В более узком смысле, метамерией называют явление, когда два окрашенных образца воспринимаются одинаково окрашенными под одним источником освещения, но теряют сходство при других условиях освещения (с другими спектральными характеристиками излучаемого света). Однако эти риски компенсируются простотой применяемого метода, тем более, что в промышленных масштабах высокая точность определения цветового тона не требуется [4].

Описанный способ определения цвета был применен для окрашенных водным экстрактом коры лиственницы полиамидных волокон. Окрашивание проводилось разными способами: без протрав, с предварительным протравливанием сульфатом железа и алюмокалиевыми квасцами (1,0 и 2,5% в концентрации экстракта без разбавления и с разбавлением 1:2), с одновременным протравливанием аналогичными реагентами. Гидромуль красильной ванны – 1:50. После окрашивания образцы промылись в слабокислой воде. Также окрашенные образцы подвергались испытаниям на

устойчивость к стирке и поту по стандартным методикам [2], [3]. За эталон принимались образцы, окрашенные без протрав.

Результаты определения цвета окрашенных образцов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Характеристика образца	Цветовой тон по карте	После испытания устойчивости к стирке	После испытаний устойчивости к поту
Крашение с предварительным протравливанием и без протрав				
1	Окрашивание без протрав (1:1)	E3.19.61	Без изменений	E2.22.47 (более насыщенный, но менее яркий)
2	Окрашивание без протрав (1:2)	E4.15.56	Без изменений	E1.21.50 (чуть более насыщенный, появляется красноватый оттенок)
3	Окрашивание с предварительным протравливанием сульфатом железа (5 г) (1:1)	E5.17.29	D8.18.25 (более насыщенный)	E4.20.21 (чуть менее яркий)
4	Окрашивание с предварительным протравливанием сульфатом железа (5 г) (1:2)	E7.19.30	E3.16.28 (изменения от желто-коричневых к красно-коричневым оттенкам)	E7.24.21 (увеличивается интенсивность)
5	Окрашивание с предварительным протравливанием сульфатом железа (12,5 г) (1:1)	E2.25.34	E2.19.35 (пропадает желтизна, красноватые оттенки)	E2.19.25
6	Окрашивание с предварительным протравливанием сульфатом железа (12,5 г) (1:2)	E4.25.35	E3.16.28 (более насыщенный, красноватый)	E5.31.24 (незначительно увеличивается интенсивность)
7	Окрашивание с предварительным протравливанием алюмокалиевыми квасцами (5 г) (1:1)	E0.26.45	E0.20.50 (от желто-коричневого к красно-коричневому)	E1.21.50 (уменьшается яркость)
8	Окрашивание с предварительным протравливанием алюмокалиевыми квасцами (5 г) (1:2)	E5.21.58	E4.21.52 (чуть насыщеннее)	визуально без изменений
9	Окрашивание с предварительным протравливанием алюмокалиевыми квасцами (12,5 г) (1:1)	E2.22.47	визуально без изменений	визуально без изменений
10	Окрашивание с предварительным протравливанием алюмокалиевыми квасцами (12,5 г) (1:2)	E4.21.52	E.4.20.51 (немного уменьшилась светлота и яркость)	E1.22.47 (незначительное увеличение насыщенности)
Крашение с одновременным протравливанием				
1	сульфатом железа (5 г) (1:1)	E2.16.24	D9.12.17 (более коричневый, уменьшилась светлота и яркость)	E2.14.22 (чуть интенсивнее)
2	сульфатом железа (5 г) (1:2)	E9.14.25	E4.13.16 (более темный, увеличение интенсивность)	E6.14.23 (незначительно уменьшилась яркость)
3	сульфатом железа (12,5 г) (1:1)	E7.19.27	D9.11.20 (более насыщенный)	E4.13.16
4	сульфатом железа (12,5 г) (1:2)	E9.16.29	E2.16.24 (уменьшилась яркость и насыщенность)	E9.14.25
5	алюмокалиевыми квасцами (5 г) (1:1)	E4.28.55	визуально без изменений	E2.20.54
6	алюмокалиевыми квасцами (5 г) (1:2)	E5.21.58	визуально без изменений	минимальное увеличение насыщенности E5.21.58
7	алюмокалиевыми квасцами (12,5 г) (1:1)	E0.20.50	E2.21.47 (отмечается незначительный переход от красно-коричневого к желто-коричневому)	E2.22.47 (изменение оттенка от красно-коричневого к желто-коричневому)
8	алюмокалиевыми квасцами (12,5 г) (1:2)	E1.22.47	визуально без изменений	E1.22.47 (минимальное потемнение)

Из данной таблицы следует, что окрашенные полиамидные волокна попадают в желто-оранжевый сегмент спектра (Е) разной степени насыщенности и яркости. Причем применение протрав приводит к углублению цвета. Протравливание сульфатом железа усиливает коричневые оттенки спектра, а алюмокалиевыми квасцами – желтые. Отмечается также увеличение устойчивости окраски к мокрым обработкам. Образцы после испытаний устойчивости к стирке и поту обладают тенденцией к появлению красно-коричневых оттенков, уменьшению светлоты и яркости. Однако в большинстве случаев такие изменения мало заметны.

Таким образом, можно рекомендовать использование данного экспресс-метода определения цвета волокон, в том числе применяемых при производстве чулочно-носочных изделий.

ВЫВОДЫ

1. Предложен экспресс-метод определения цвета волокон, основанный на сочетании инструментального и органолептического подходов.

2. Результаты апробации разработанного экспресс-метода определения цвета на примере полиамидных волокон свидетельствуют о возможности использования пред-

ложенного метода для определения цвета полиамидных волокон, окрашенных водными экстрактами коры лиственницы сибирской при различных условиях, а также после испытаний устойчивости к стирке и поту.

ЛИТЕРАТУРА

1. NCS – Международная система цвета / Режим доступа: <http://www.ncscolour.ru>
2. ГОСТ 9733.4–83. Материалы текстильные. Методы испытания устойчивости окраски к стирке. Введ. 01.01.80. – М.: Стандартинформ, 1983.
3. ГОСТ 9733.6–83. Материалы текстильные. Методы испытания устойчивости окраски к поту. Введ. 01.01.80. – М.: Стандартинформ, 1983.
4. *Ложкин Л.Д.* Цвет, его измерение и восприятие // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2012. Т.15, № 3. С. 110...122.

REFERENCES

1. NCS – Mezhdunarodnaya sistema tsveta / Rezhim dostupa: <http://www.ncscolour.ru>
2. GOST 9733.4–83. Materialy tekstil'nye. Metody ispytaniya ustoychivosti okraski k stirkе. Vved. 01.01.80. – М.: Standartinform, 1983.
3. GOST 9733.6–83. Materialy tekstil'nye. Metody ispytaniya ustoychivosti okraski k potu. Vved. 01.01.80. – М.: Standartinform, 1983.
4. *Lozhkin L.D.* Tsvet, ego izmerenie i vospriyatie // Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy. – 2012. T.15, № 3. S. 110...122.

Рекомендована кафедрой товароведения и экспертизы товаров СФУ. Поступила 03.02.20.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ РАЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ ТКАНОГО ПОЛОТНА С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ

STUDY OF THE EFFECT OF ORGANIC SOLVENTS TO CHANGE THE BREAKING LOAD OF THE WOVEN FABRIC WITH POLYMER COATING

Д.Р. ЗИЯТДИНОВА, Р.Р. ФАТКУЛЛИНА, Л.Н. АБУТАЛИПОВА, В.Ю. МАТВЕЕВА

D.R. ZIYATDINOVA, R.R. FATKULLINA, L.N. ABUTALIPOVA, V.YU. MATVEEVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казанский химический научно-исследовательский институт)

(Kazan National Research Technological University,
Kazan Chemical Research Institute)

E-mail: damira10ziyat@mail.ru; rimma_fat@mail.ru; abutal@kstu.ru

В работе дана оценка соответствия свойств полимерно-текстильных материалов нормативным требованиям при воздействии на данные материалы органических растворителей.

The paper provides an assessment of the compliance of the properties of polymer-textile materials with regulatory requirements when these materials are exposed to organic solvents.

Ключевые слова: защитные материалы, полимер, каучук, органический растворитель, стойкость, разрывная нагрузка.

Keywords: protective materials, polymer, rubber, organic solvent, durability, breaking load.

В работе исследовали изменение значений разрывной нагрузки защитных материалов на одинаковой текстильной основе (ткань полиамидная, 120 г/м²) с покрытием из различных каучуков и полимеров (табл. 1) после воздействия органических растворителей. Материал 1 – с покрытием с лицевой и изнаночной стороны на основе фторкаучука; материал 2 – с покрытием с лицевой и изнаночной стороны на основе уретана; материал 3 – с покрытием с лицевой стороны на основе бутилкаучука. Исследование проводили в соответствии со

стандартной методикой [1]. В качестве органических растворителей применяли керосин, [2] и уайт-спирит [3]. Измерение разрывной нагрузки проводили в двух направлениях: по основе и по утку. Форму и размеры элементарных проб для определения разрывной нагрузки определяли по ГОСТ [4]. Образцы полностью погружали в емкость с органическим растворителем на 7 ч. Далее образцы находились 24 ч в нормальных условиях, после этого выполняли измерения.

Т а б л и ц а 1

№ материала	Наименование материала	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина, мм
1	ФКФ-С	300	0,2
2	УК-Л	220	0,16
3	УНКЛ-3	380	0,36

Измерение разрывной нагрузки проводили с использованием разрывной машины MESDAN-tenso LAB (Италия). На рис. 1...3 представлены среднеарифметические значения показателей разрывной нагрузки материалов Pp, H.

Рис. 1 – результаты измерения разрывной нагрузки материала ФКФ-С. Контрольные образцы: 1о – по основе, 1у – по утку; после воздействия керосина: 2о – по основе, 2у – по утку; после воздействия уайт-спирита: 3о – основе, 3у – по утку.

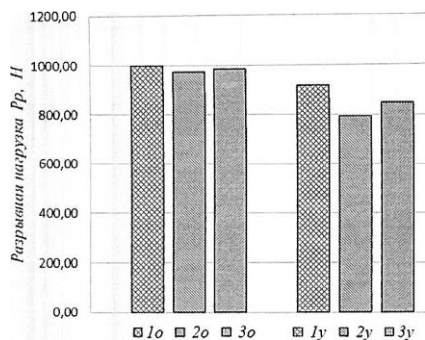


Рис. 1

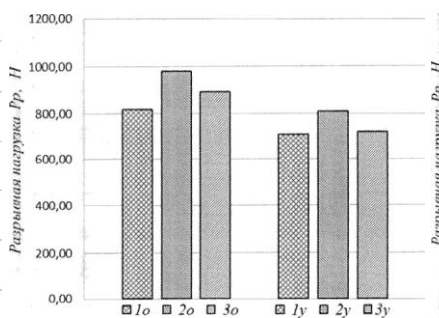


Рис. 2

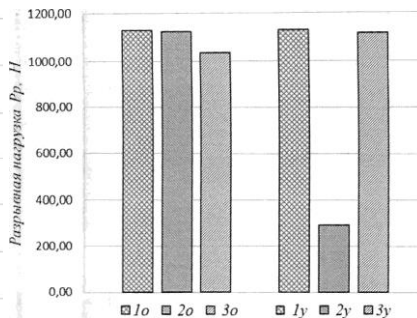


Рис. 3

Для материала ФКФ-С разрывная нагрузка ухудшилась незначительно при воздействии обоих растворителей (рис. 1). При этом значения показателя удовлетворяют требованиям стандарта [5]: не менее 700 Н – по основе, не менее 600 Н – по утку.

Показатель разрывной нагрузки материала УК-Л (рис. 2) подтвердил высокую стойкость основного вещества покрытия при регламентном времени воздействия керосина и уайт-спирита. На материал УНКЛ-3 влияние керосина проявилось значительнее, чем влияние уайт-спирита. При воздействии керосина ухудшается стойкость к разрыву по утку в сравнении с контрольным образцом, в то время как по основе практически остается неизменной (рис. 3). При проведении испытания наблюдалось

увеличение относительного разрывного удлинения и набухание покрытия материала. При воздействии уайт-спирита разрывная нагрузка по основе и по утку данного материала уменьшилась незначительно.

Стойкость (C_o) к действию органических растворителей материалов с полимерным покрытием (табл. 2) определяли по формуле:

$$C_o = (A_1/A_o) \cdot 100, \quad (1)$$

где A_1 – значение физико-механического показателя после воздействия органического растворителя; A_o – значение физико-механического показателя до воздействия органического растворителя.

Т а б л и ц а 2

№ материала	Стойкость к действию керосина, %		Стойкость к действию уайт-спирита, %	
	основа	уток	основа	уток
1	97,47	121,80	98,72	106,74
2	119,81	114,27	109,22	101,91
3	99,34	25,91	91,60	98,87

Для материала 3 среднее значение стойкости к действию керосина (по основе и утку) составило 62%. Во всех остальных случаях приближается к 100%.

ВЫВОДЫ

1. У материалов ФКФ-С и УК-Л при действии растворителей (керосин, уайт-спирит) сохраняются удовлетворительные прочностные свойства, соответствующие требованиям нормативных документов.

2. Снижение показателя разрывной нагрузки наблюдается для материала с покрытием на основе бутилкаучука (УНКЛ-3) вдоль долевого направления ткани-основы. Вдоль уточного (поперечного) направления при воздействии керосина разрывная нагрузка уменьшилась на 60%, несмотря на наибольшую толщину самого материала и его покрытия из рассмотренных материалов. При этом разрывное удлинение увеличилось в два раза. Изменение свойств материала объясняется набуханием покрытия в среде керосина.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.4.170–86. Система стандартов безопасности труда. Материалы с полимерным покрытием для специальной одежды. Метод определения

к действию органических растворителей. – М.: Издательство стандартов, 1986.

2. ТУ 0251-015-57859009–2015. Керосин. Технические условия.

3. ТУ 0251-006-57859009–2015. Уайт-спирит. Технические условия.

4. ГОСТ 17316–71. Кожа искусственная. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. – М.: Издательство стандартов, 1971.

5. НПБ 162-2002. Специальная защитная одежда пожарных изолирующего типа. Общие технические требования. Методы испытания. 2003. – ГУГПС и ФГУ ВНИИПО МЧС России.

REFERENCES

1. GOST 12.4.170–86. Sistema standartov bezopasnosti truda. Materialy s polimernym pokrytiem dlya spetsial'noy odezhdy. Metod opredeleniya k deystviyu organicheskikh rastvoriteley. – M.: Izdatel'stvo standartov, 1986.

2. TU 0251-015-57859009–2015. Kerosin. Tekhnicheskie usloviya.

3. TU 0251-006-57859009–2015. Uayt-spirit. Tekhnicheskie usloviya.

4. GOST 17316–71. Kozha iskusstvennaya. Metod opredeleniya razryvnoy nagruzki i udlineniya pri razryve. – M.: Izdatel'stvo standartov, 1971.

5. NPB 162-2002. Spetsial'naya zashchitnaya odezhda pozharnykh izoliruyushchego tipa. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniya. 2003. – GUGPS i FGU VNIIPPO MChS Rossii.

Рекомендована кафедрой моды и технологий КНИТУ. Поступила 04.06.19.

**ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ
НА ПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ МЕМБРАННЫХ ТКАНЕЙ
И ПАКЕТОВ ОДЕЖДЫ**

**THE INFLUENCE OF OPERATIONAL FACTORS
ON THE WATER VAPOR PERMEABILITY MEMBRANE FABRICS
AND CLOTHING PACKS**

В.И. БЕСШАПОШНИКОВА, Н.А. КЛИМОВА, Н.В. БЕСШАПОШНИКОВА, Н.Е. КОВАЛЕВА

V.I. BESSHAPOSHNIKOVA, N.A. KLIMOVA, N.V. BESSHAPOSHNIKOVA, N.E. KOVALEVA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина)

(Russian State University named after A. N. Kosygin (Technologies. Design. Art),
Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin)

E-mail: vibesvi@yandex.ru

В работе исследовано влияние температуры и влажности на паропроницаемость мембранных тканей и пакетов одежды. Установлено, что при высокой влажности лучше выводят пары влаги наружу поровые мембраны. Мембраны беспоровые эффективны при относительно низкой влажности окружающей среды. При низких температурах паропроницаемость поровых мембран снижается на 47...79%, беспоровых – почти в 3 раза.

The paper studies the effect of temperature and humidity on the vapor permeability of membrane tissues and clothing packages. Found that when the humidity is high output better than a pair of moisture out of the pore of the membrane. Non-porous membranes are effective at relatively low ambient humidity. At low temperatures, vapor permeability of pore membranes is reduced by 47...79%, non-pore membranes-by almost 3 times.

Ключевые слова: текстильные материалы, паропроницаемость, мембранные ткани, пакеты одежды, температура, влажность.

Keyword: textile materials, vapor permeability, membrane fabrics, clothing bags, temperature, humidity.

Объектами исследования [1...13] являлись мембранные ткани разных производителей. Характеристики структуры представлены в табл. 1.

Исследование свойств проводили по стандартным методам.

Исследование влияния низких температур на показатели паропроницаемости и водоупорности мембранных тканей показало (рис. 1 – влияние многократного воздействия температуры (-10)°С на паропроницаемость мембранных тканей: 1...5), что в

тканях с гидрофильными беспоровыми мембранами паропроницаемость возрастает ~ в 3 раза (рис. 1, образцы 3 и 5). Это обусловлено тем, что микрокапилляры беспоровой мембраны заполнены влагой пототделения, которая при многократном переходе из жидкого в твердое состояние, увеличивается в объеме на 9%, вызывая деформации растяжения и сжатия стенок каналов мембраны, расшатывая ее структуру. При температуре -10 °С паропроницаемость мембранных тканей с поровой мемб-

раной возрастает на 47...64 % (рис. 1), что свидетельствует о структурных изменениях

и увеличении диаметра пор мембран в результате замораживания-оттаивания воды.

Т а б л и ц а 1

Номер образца	Наименование образцов	Поверхностная плотность, г/м ²	Волокнистый состав ткани, %	Переплетение ткани	Полимер мембранной пленки, вид отделки	Толщина мембраны, мм
1	Мембранная ткань арт.С911М	150±5	100ПА	Комбинированное Рип-Стоп	ПТФЕ Parel, поровая	0,019
2	Мембранная ткань арт.09С20-КВ	148±5	100ПЭ	Плотняное	ПлЛАМ, поровая	0,020
3	Мембранная ткань арт. ПЭ/М-003- 194013	192±5	100ПЭ	Комбинированное Рип-Стоп	ПлЛАМ, отделка МВО, беспоровая	0,029
4	Мембранная ткань арт.09С13-КВ	170±5	100ПЭ	Плотняное	ПлПУМ поровая	0,020
5	Мембранная ткань арт.80021	190±5	100ПЭ	Саржевое	МВОКл3 беспоровая	0,028

П р и м е ч а н и е. Обозначение отделки: ПТФЕ Parel – политетрафторэтиленовая мембрана фирмы Parel; ПлЛАМ – пленочное покрытие, ламинированное политетрафторэтиленовой мембраной; ПлПУМ – пленочное покрытие, ламинированное полиуретановой мембраной; МВОКл3 –отделка маслородоотталкивающая (МВО) и полиуретановая мембрана "Климат 3".

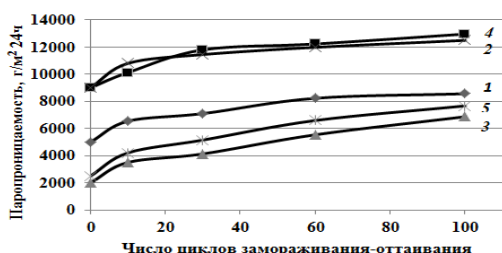


Рис. 1

Водоупорность тканей с поровой мембраной снижается на 20...41%. Ткани с бес-

поровой мембраной имеют дополнительную маслородоотталкивающую отделку лицевой поверхности основной ткани (табл. 1, образцы 3, 5), поэтому водоупорность этих материалов снижается в меньшей степени, на 18...31%.

Следовательно, чем больше влажность материала и количество циклов криолиза, тем быстрее мембранные ткани теряют свои первоначальные показатели качества при многократном замораживании-оттаивании.

Т а б л и ц а 2

Номер пакета	Состав слоев пакета материалов	M _s , г/м ²	δ, мм	λ, Вт/(м·К)	R _{сум} , м ² ·К/Вт
Пакет №1	Мембранная ткань арт.09С13-КВ	407	14,43	0,0260	0,554
	Холлофайбер СОФТ Р5190				
	Подкладочная ткань арт. 32290				
Пакет №2	Мембранная ткань арт.80021	420	14,52	0,0235	0,617
	Холлофайбер СОФТ Р5190				
	Подкладочная ткань арт. 32290				

П р и м е ч а н и е. M_s – поверхностная плотность, δ – толщина, λ – теплопроводность, R_{сум} – суммарное тепловое сопротивление.

В пакетах одежды в качестве ткани верха использовали анализируемые мембранные ткани, в качестве утеплителя – Холлофайбер СОФТ Р5190 в два слоя, подкладка 100%-ная вискозная ткань арт. 32290. Исследование влияния структуры мембраны на теплофизические свойства пакетов одежды, представленные в табл. 2, показывает, что беспоровая мембрана характеризуется меньшей теплопроводностью и, следовательно, лучшими теплозащитными свойствами (табл. 2, образец 2).

Исследование температуры и влажности пододежного пространства пакета материалов с поровой мембраной арт. 09С13-КВ показало (рис. 2 – влияние структуры мембранной ткани арт. 09С13-КВ на показатели: 1 – влажность внутренней стороны, %; 3 – влажность внешней стороны пакета, %; 2 – температура внутренней стороны, °С; 4 – температура внешней стороны пакета материалов, °С), что с внутренней стороны пакета одежды №1 влажность постепенно нарастает и достигает максимума 80% за 40 мин эксперимента. Затем влажность резко снижается до 50...60% и поддерживается на данном уровне до конца опыта. Такая закономерность может быть обусловлена тем, что на первом этапе с внутренней стороны пакета материалов пары влаги диффундируют к поверхности мембраны, накапливаются и создают движущую силу – осмотическое давление, которое выталкивает пары влаги во внешнюю среду. Далее процесс десорбции влаги продолжается, и влажность пододежного пространства снижается до вполне комфортной – 50...60%.

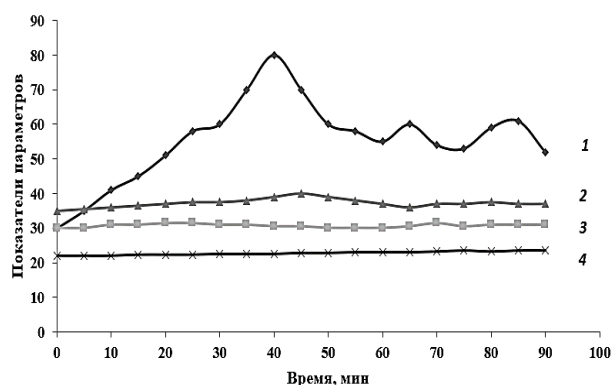


Рис. 2

На внутренней стороне поровой мембранной ткани при максимальной влажности 80% наблюдаются капли конденсированной влаги, что является нежелательным явлением, способствующим набуханию мембраны и уменьшению диаметра пор. Кроме того, при низких температурах влага, замерзая в порах, приведет к увеличению диаметра пор, вплоть до потери функции водонепроницаемости.

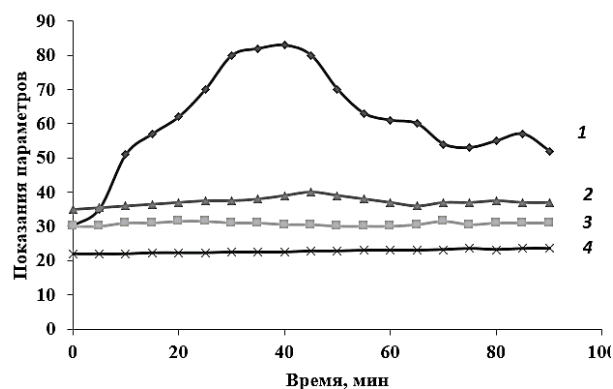


Рис. 3

Пакет одежды №2 с беспоровой мембранной тканью арт. 80021 за 30 мин достигает максимальной влажности 80% и продолжает ее накапливать в течение последующих 20 мин (рис. 3 – влияние структуры мембранной ткани арт. 80021 на показатели: 1 – влажность внутренней стороны, %; 3 – влажность внешней стороны пакета, %; 2 – температура внутренней стороны, °С; 4 – температура внешней стороны пакета материалов, °С). Затем мембрана начинает "дышать", и влажность постепенно снижается до вполне комфортной влажности пододежного пространства 50...60%.

Отмечается достаточно стабильная температура с внутренней стороны мембранной ткани, которая возрастает лишь на 5°C при максимальном насыщении парами влаги пододежного, внутреннего слоя. При этом конденсат влаги на внутренней поверхности мембранной ткани не обнаружен. Условия со стороны внешней среды поддерживаются прибором примерно постоянными, температура 22...23°C и влажность 30...32%, благодаря искусственно созданному регулируемому потоку воздуха.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что при высокой влажности лучше выводят пары влаги наружу поровые мембраны. Мембраны беспоровые эффективны при относительно низкой влажности окружающей среды. При низких температурах лучше работает поровая мембрана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weder M. Performance of Rainwear Material with Respect to Protection, Physiology, Durability and Ecology // Journal of Coated Fabrics. – V. 27, №2, 1997. P. 146...168.
2. Платэ Н.А. Мембранные технологии – авангардное направление развития науки и техники XXI века // Мембраны. – 2002, №1. С. 1...12.
3. Патент 2201257. Стабильное дышащее эластичное изделие / С.Э. Шоувер, П.В. Эсти, В.Б. Хафнер, С.Д. Блэксток, Г.А. Волтон, Д.Г. Ютенброк; заявитель и патентообладатель Кимберли-Кларк Ворлдвайд, Инк. - № 2000109580/12; заявл. 15.09.1998; опубл. 27.03.2003.
4. Свитцов А.А. Введение в мембранные технологии. – М.: ДеЛи принт, 2007.
5. Бугаев Е.А. Многослойные наноразмерные пленочные композиции // Материаловедение. – 2012, №5. С. 30...35.
6. Климова Н.А., Мельников Н.А., Рудой А.С., Верзилин Н.С., Горошко А.А., Казакова Н.М., Бесшапошников В.И. Исследование структуры и свойств мембранных тканей для одежды и обуви // В сб.: Технологии, дизайн, наука, образование в контексте инклюзии. – М., 2018. С. 50...53.
7. Хванг Сан-Так. К. Каммермейер. Мембранные процессы разделения. – М.: Химия, 1981.
8. Назаренко Е.А. Биофизика мембран / Под ред. О.В. Родионова. – Изд-во ВГТУ, 2004.
9. Патент США 5824405. Barrier membrane for protective clothing. (Барьерная мембрана для защитной одежды) - заявл. 07.06.1996 опубл. 20.10.1998.
10. Lomax G.R. Breathable Waterproof Fabrics // Explained Textiles, 2004. – V.19. № 6. P. 12...16.
11. David A.H. Performance Characteristics of Waterproof Breathable Fabrics // Journal of Industrial Textiles. – V.29, №4, 2000. P. 306...308.

12. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. – М.: Химия, 1975.

13. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. – М.: Химия, 1994.

REFERENCES

1. Weder M. Performance of Rainwear Material with Respect to Protection, Physiology, Durability and Ecology // Journal of Coated Fabrics. – V. 27, №2, 1997. P. 146...168.
 2. Plate N.A. Membrannye tekhnologii – avangardnoe napravlenie razvitiya nauki i tekhniki XXI veka // Membrany. – 2002, №1. С. 1...12.
 3. Patent 2201257. Stabil'noe dyshashchee elastichnoe izdelie / S.E. Shouver, P.V. Esti, V.B. Khafner, S.D. Blekstock, G.A. Volton, D.G. Yutenbrok; zayavitel' i patentoobladatel' Kimberli-Klark Vorldvayd, Ink. - №2000109580/12; zayavl. 15.09.1998; opubl. 27.03.2003.
 4. Svitsov A.A. Vvedenie v membrannye tekhnologii. – М.: DeLi print, 2007.
 5. Bugaev E.A. Mnogosloynnye nanorazmernye plenochnye kompozitsii // Materialovedenie. – 2012, №5. S. 30...35.
 6. Klimova N.A., Mel'nikov N.A., Rudoy A.S., Verzilin N.S., Goroshko A.A., Kazakova N.M., Beshaposhnikova V.I. Issledovanie struktury i svoystv membrannykh tkaney dlya odezhdy i obuvi // V sb.: Tekhnologii, dizayn, nauka, obrazovanie v kontekste inkluzii. – М., 2018. S. 50...53.
 7. Khvang San-Tak. K. Kammermeyer. Membrannye protsessy razdeleniya. – М.: Khimiya, 1981.
 8. Nazarenko E.A. Biofizika membran / Pod red. O.V. Rodionova. – Izd-vo VGTU, 2004.
 9. Patent SShA 5824405. Barrier membrane for protective clothing. (Bar'ernaya membrana dlya zashchitnoy odezhdy) - zayavl. 07.06.1996 opubl. 20.10.1998.
 10. Lomax G.R. Breathable Waterproof Fabrics // Explained Textiles, 2004. – V.19. № 6. R. 12...16.
 11. David A.H. Performance Characteristics of Waterproof Breathable Fabrics // Journal of Industrial Textiles. – V.29, №4, 2000. P. 306...308.
 12. Dytnerskiy Yu.I. Membrannye protsessy razdeleniya zhidkikh smesey. – М.: Khimiya, 1975.
 13. Dytnerskiy Yu.I. Obratnyy osmos i ul'trafil'tratsiya. – М.: Khimiya, 1994.
- Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 04.04.19.

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИТА
ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ
НА ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ**

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITE STRUCTURE
OF CELLULOSE-CONTAINING WASTE ON ITS PERFORMANCE INDICATORS**

И.В. СУСОЕВА, А.А. ТИТУНИН, Т.Н. ВАХНИНА, Ю.Б. ГРУНИН, Б.Е. НАРМАНИЯ

I.V. SUSOEVA, A.A. TITUNIN, T.N. VAHNINA, YU.B. GRUNIN, B.E. NARMANIA

**(Костромской государственной университет,
Поволжский государственный технический университет,
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Kostroma State University,
Volga State University of Technology,
Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: i.susoeva@yandex.ru

В качестве альтернативы традиционно применяемой минеральной вате рассмотрен теплоизоляционный материал из отходов прядения льна и хлопка и мягких отходов переработки древесины. Наполнитель является капиллярно-пористым телом и способен впитывать влагу, в результате чего меняется его теплопроводность. Однако при циклических температурно-влажностных воздействиях формоустойчивость композита на основе целлюлозосодержащего наполнителя выше, чем у минеральной ваты, что объясняется наличием обширного фронта прочных водородных связей в структуре композита.

Для исследования температурных полей композита в зависимости от его структуры и температурно-влажностных воздействий предложено использовать программный комплекс Comsol.

As an alternative to the traditionally used mineral wool, an insulating material made of flax and cotton spinning waste and soft wood processing waste is considered. The filler is a capillary-porous body and is capable of absorbing moisture, as a result of which its thermal conductivity changes. However, under cyclic temperature and humidity effects, the form stability of the composite based on the cellulose-containing filler is higher than that of mineral wool, which is explained by the presence of an extensive front of strong hydrogen bonds in the composite structure.

To study the temperature fields of the composite, depending on its structure and temperature and humidity effects, it is proposed to use the Comsol software package.

Ключевые слова: растительные отходы, лен, хлопок, древесина, композиционные плиты, коэффициент теплопроводности.

Keywords: vegetable waste, flax, cotton, wood, composite boards, coefficient of thermal conductivity.

Одной из главных задач современного строительного производства является рациональное использование энергоресурсов и

повышение энергоэффективности зданий. Работы по ресурсо- и энергосбережению в строительной отрасли относятся к приори-

тетным направлениям развития науки и техники Российской Федерации. Огромная доля в потреблении энергоресурсов принадлежит зданиям; общий технологический потенциал энергосбережения в РФ консервативно оценивается в 350 млн. тонн условного топлива, из которых около 130 млн. тонн условного топлива – за счет снижения непроизводительных энергопотерь в зданиях [1].

Строительство зданий, как жилых, так и общественных и большинства промышленных, должно осуществляться в соответствии с требованиями к тепловой защите. Для удовлетворения этим требованиям в практике строительного производства применяются многослойные стеновые конструкции с эффективными теплоизоляционными материалами [2]. Ассортимент применяемых теплоизоляционных материалов достаточно разнообразен по виду исходного сырья, структуре, форме, их техническим и теплофизическим характеристикам [3]. Преимущественно на отечественном рынке используются волокнистые материалы на основе стеклянного и базальтового волокна, минеральной и шлаковой ваты. Минераловатные утеплители для стен имеют, пожалуй, самую низкую по сравнению с другими утеплителями объемную массу (плотность) – от 40 кг/м³. Однако минеральная вата имеет ряд существенных недостатков – она дорогостояща [4], пылит при изготовлении и монтаже [5], негативно воздействуя на органы дыхания, имеет высокое водопоглощение, дает усадку при эксплуатации [6...9].

Многолетний опыт применения минераловатных утеплителей выявил и другие трудноустраняемые недостатки таких материалов, а именно – возможность конденсатообразования в сечении конструкции [10], приводящего к снижению теплотехнической эффективности утеплителя; ограниченная долговечность теплоизоляционных материалов [11].

Отмеченные недостатки инициировали поиск и разработку других альтернативных материалов теплоизоляционного назначения, в первую очередь, получаемых на основе матрицы из поликонденсационного

связующего и многокомпонентного наполнителя из целлюлозосодержащих отходов прядения хлопка, льна и мягких отходов переработки древесины, являющихся возобновляемым ресурсом по своей природе [12], [13].

С позиций теории тепломассопереноса [14] мягкие отходы деревообработки, а также отходы прядения льна и хлопка можно рассматривать как систему мелкодисперсных частиц, каждая из которых представляет собой капиллярно-пористое тело, содержащее влагу в макро- и микрокапиллярах, а также осмотическую влагу, входящую в растительные клетки. Так как вода имеет коэффициент теплопроводности в 25 раз больше, чем неподвижный воздух, то ее количество будет оказывать влияние на основной эксплуатационный показатель теплоизоляционных материалов – коэффициент теплопроводности и характер температурных полей в структуре композита.

В общем случае, согласно теории Фурье, температурное поле тела определяется характером его теплообмена с окружающей средой, причем теплообмен обусловлен двумя факторами – непосредственной передачей тепла от нагретого тела к более холодной среде и излучением тепла в окружающее пространство.

При эксплуатации зданий наружные и внутренние стороны ограждающих конструкций практически всегда находятся в разных температурных условиях. Вследствие этого формируется градиент температур grad T, и из-за разницы температур происходит перенос теплоты, или тепловой поток. Согласно закону Био–Фурье, вектор теплового потока q прямо пропорционален градиенту температуры T:

$$q = -\lambda \text{grad}T. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности λ уравнения (1), то есть коэффициент теплопроводности, Вт/(мК), характеризует способность материала проводить теплоту. Именно коэффициент теплопроводности является одним из основных параметров термического сопротивления материала.

Коэффициент теплопроводности зависит от комплекса характеристик материала – его природы, температуры, плотности, влажности и др. Если не затрагивать теплопередачу в металлах, можно для твердых тел утверждать, что теплопередача обусловлена колебательными движениями молекул. Исходя из этого, изменение температуры влияет на коэффициент теплопроводности, однако на практике при ограниченном изменении температуры материала (порядка 50...60°C) изменение коэффициента теплопроводности невелико, в строительных расчетах оно обычно не учитывается.

Существенное влияние на величину коэффициента теплопроводности оказывает плотность материала. Коэффициент теплопроводности материала тем меньше, чем меньше объемная масса материала. Эта зависимость обусловлена тем, что в материале меньшей плотности больше пор, заполненных воздухом, теплопроводность которого очень низкая.

Одной из задач создания эффективных теплоизоляционных материалов является получение такой структуры композита, которая удовлетворяла бы требованиям к тепловой защите¹, а также при неизбежных процессах конденсации влаги внутри утеплителя вследствие образования точки росы позволила бы обеспечить формоустойчивость материала и продлить срок его службы.

Рассматривая, в качестве одного из примеров, краевую задачу тепломассопереноса в целлюлозосодержащем материале под воздействием циклических изменений нагревание – охлаждение в анализируемой системе [15], процесс изменения температуры принято описывать системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа с нелинейными граничными условиями и произвольным видом функций, определяющих начальные распределения потенциалов переноса без учета влияния баропереноса [16...19]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial t}{\partial \tau} &= \operatorname{div}(\operatorname{agrad}(t)) + \varepsilon \frac{r^*}{c} \frac{\partial u}{\partial \tau}, \\ \frac{\partial u}{\partial \tau} &= \operatorname{div}(k \operatorname{grad}(u)) + \operatorname{div}(k \delta_T \operatorname{grad}(t)). \end{aligned} \right\} (2)$$

Первое уравнение может быть названо дифференциальным уравнением теплопереноса, второе – уравнением влагопереноса. Эти уравнения описывают тепловлажностное состояние теплоизоляционного материала под воздействием изменяющихся параметров окружающей среды. Здесь a , k – коэффициенты тепло- и влагопроводности наполнителя; δ_T – коэффициент термодиффузии, характеризующий влияние градиента влагосодержания на теплоперенос; c – теплоемкость древесины; ε – критерий фазового превращения, показывающий долю влаги, перемещающейся в материале в виде пара; r^* – скрытая теплота парообразования.

В общем случае коэффициенты тепло-температуро- и массопроводности, а также теплофизические характеристики материала зависят от его температуры, плотности, влажности и могут изменяться во времени процесса. Поэтому они и находятся под знаками математических операторов дивергенции [15]. Также следует отметить, что целлюлозосодержащий материал является сложным комплексом макромолекул с различной плотностью упаковки. Согласно одной из структурных схем [20] макромолекулы целлюлозы представляют из себя немного свернутую спиралевидную ленту с поперечным размером 0,39×0,83 нм. Ленты укладываются в плоскости по 10...15 штук в пачки макромолекул из 8...10 слоев. Вследствие обширного фронта межмолекулярных водородных связей для целлюлозы крайне длительное время сохраняется жесткая и прочная структура, но это утверждение справедливо только для кристаллической области макромолекулы, составляющей 15...17 нм. Следующие за кристаллическими областями аморфные участки имеют в длину 2,5...3,0 нм.

¹ СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М.: Госстрой России, 2003.

Физические характеристики материала целлюлозосодержащего наполнителя изменяются в процессе сорбции. Внутри аморфных областей имеются поры размером 0,5...1,0 нм. При сорбции влаги макромолекулы целлюлозы на данных участках раздвигаются и приобретают характер "бус". Именно это является причиной изменения физических характеристик целлюлозосодержащих материалов при увлажнении.

Кристаллические участки целлюлозы обеспечивают начальную стойкость материала к воздействию воды, внутрь кристаллитов целлюлозы адсорбат не проникает. Создание адсорбционного монослоя воды приводит к расклинивающим воздействиям в аморфной области целлюлозы, и, как следствие, к разбуханию материала [20], [21], причем моноадсорбированная вода прочно связана с активной поверхностью адсорбента [22]. Насколько велико негативное влияние влаги на формоустойчивость и теплопроводность композита из целлюлозосодержащих отходов, можно оценить по результатам лабораторных исследований.

В лаборатории кафедры лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств (ЛДП) Костромского государственного университета (КГУ), г. Кострома, Россия, разработаны теплоизоляционные композиционные плиты на основе целлюлозосодержащих наполнителей и матрицы из синтетических связующих. Образцы изготавливались по технологии древесноволокнистых плит мокрого способа производства. В качестве матрицы для производства плит было использовано синтетическое термореактивное связующее – фенолоформальдегидная смола (ФФС). Композиционный плитный материал изготавливался средней плотности 240...260 кг/м³, расход связующего составлял 40 % от

массы растительного наполнителя. Образцы материала высушивались при 80 °С до влажности 8±0,5 %. Оценивалась теплопроводность и размерная стабильность композиционных плит после пребывания в воде в течение 24 часов.

Определялись влагопоглощение по массе $W_{п}$, %, коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К), и относительное изменение параметров – коэффициента теплопроводности $\Delta\lambda$, %, и толщины материала Δh , %. Значение коэффициента теплопроводности материала определялось с помощью измерителя теплопроводности ИТП-МГ4 в соответствии с ГОСТ 7076–99².

На рис. 1 представлены фото образцов плит из отходов прядения льна и мягких древесных отходов (а), из отходов прядения хлопка и мягких древесных отходов (б) и минеральной ваты (в) до и после пребывания в воде в течение 24 часов.

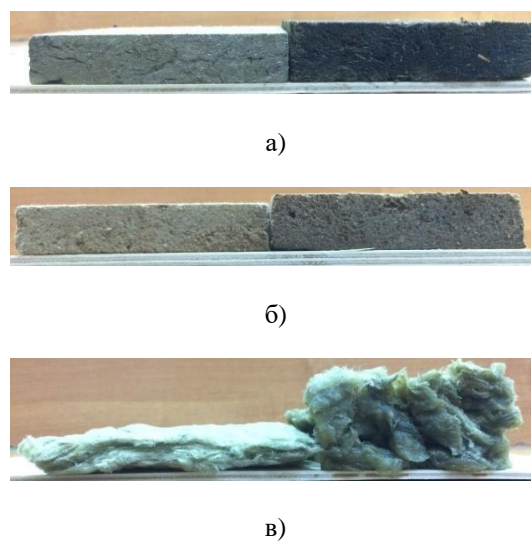


Рис. 1

Результаты определения параметров материалов после воздействия воды представлены в табл. 1.

² ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. – М.: ГУП ЦПП, 2000.

Вид материала	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)		Изменение коэффициента теплопроводности $\Delta\lambda$, %	Разбухание по толщине P_h , %
	до увлажнения	после увлажнения		
Композит из отходов хлопка и древесины	0,086	0,246	186	15,3
Композит из отходов льна и древесины	0,061	0,245	302	13,8
Минеральная вата	0,048	1,076	2141	153,4

Как видно из табл. 1, минераловатный утеплитель вследствие попадания в его структуру влаги значительно утратил свои теплоизоляционные свойства и увеличился по толщине. В то время как теплоизоляционный композит на основе целлюлозосодержащих отходов показал примерно в 10 раз лучшие показатели устойчивости к влажностным воздействиям. Тем самым в ходе лабораторных исследований было подтверждено предположение о том, что, несмотря на наличие расклинивающих воздействий влаги в аморфной области целлюлозы, композит из отходов прядения льна, хлопка и мягких отходов деревообработки обладает более высокой стойкостью к влажностным воздействиям.

При изучении явления тепломассопереноса в теплоизоляционном композите из целлюлозосодержащего наполнителя также следует предположить, что от равномерности распределения его компонентов будет зависеть его теплопроводность в целом. И, наоборот, неоднородность структуры ком-

позита, наличие участков концентрации связующего или влаги будут ухудшать теплоизоляционные свойства материала. Поэтому в процессе его создания следует соблюдать рекомендуемые технологические режимы производства композита. Для проверки этого положения мы не можем рассматривать композит как ортотропное тело однородной структуры. С учетом многокомпонентной структуры композита и сложностью процессов, протекающих в нем при приложении тепловой нагрузки, система уравнений (2) не может быть решена аналитическими методами. А значит, мы не можем получить ответ на вопрос, при каких условиях в композите будут образовываться участки концентрации влаги. Поэтому авторами предложено использовать возможности программного комплекса Comsol для расчета и анализа температурных полей в композите на основе многокомпонентного целлюлозосодержащего наполнителя.

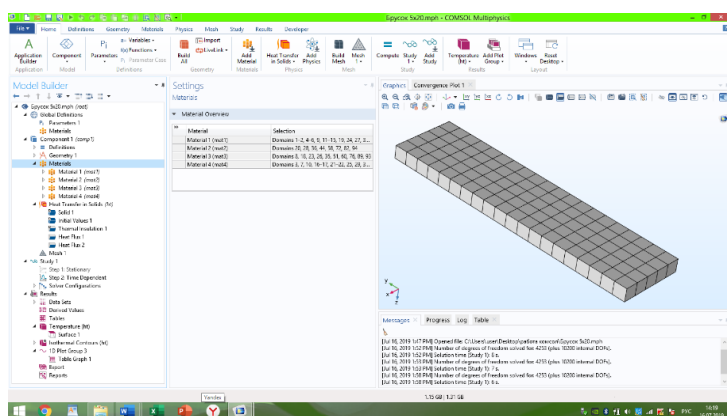


Рис. 2

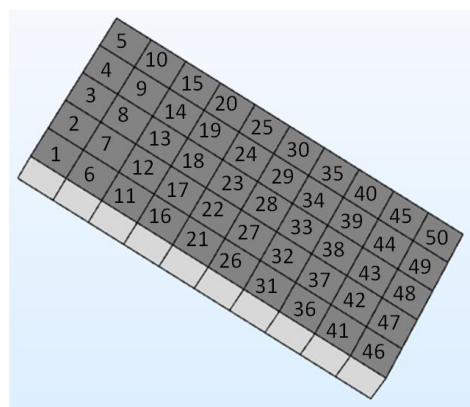


Рис. 3

Для выполнения расчетов в среде Comsol необходимо иметь трехмерную модель

объекта (рис. 2), построенную непосредственно в системе трехмерного моделиро-

вания Comsol или импортированную в систему с помощью средств импорта моделей. Для предварительного анализа принят однослойный элемент материала в виде тонкой пластины. Длина пластины соответствует толщине теплоизоляционного слоя композита в некоторой ограждающей конструкции. Взаимное расположение компонентов в композите представлено на рис. 3 где: 9, 20, 27, 38 – воздух; 3,15, 22, 29, 36 – вода; 2, 4, 7, 10, 17, 18, 26, 28, 30, 31, 34, 40, 42, 43, 44 – связующее; 1, 5, 6, 8, 11, 12, 13, 14, 16, 19, 21, 23, 24, 25, 32, 33, 35, 37, 39, 41, 45, 46, 47, 48, 49, 50 – наполнитель.

Для исследований выбираем нестационарный процесс, соответствующий реальным условиям работы конструктивного элемента. Зададим параметры временного анализа: время моделирования 7200 с, шаг моделирования 600 с, начальная температура 20°C, плотность теплового потока 10 Вт/м². После этого проведем расчет и про-

анализируем полученные результаты. В отличие от стационарного теплового расчета, в котором фигурирует один главный результат – установившаяся в системе температура, в результате нестационарного расчета получаем температурные поля в различные моменты времени в пределах заданного временного интервала (рис. 4).

Анализируя полученные результаты, видно, что в местах расположения разных компонентов происходит более интенсивное изменение температуры. Уже через 600 с после приложения тепловой нагрузки к правой поверхности композита на нем устанавливается температура 306 до 294 К, при этом на противоположной – левой стороне – температура практически не меняется за исключением тех участков, где расположены компоненты воды и связующего и сказывается влияние наполнителя с хорошими теплоизоляционными свойствами.

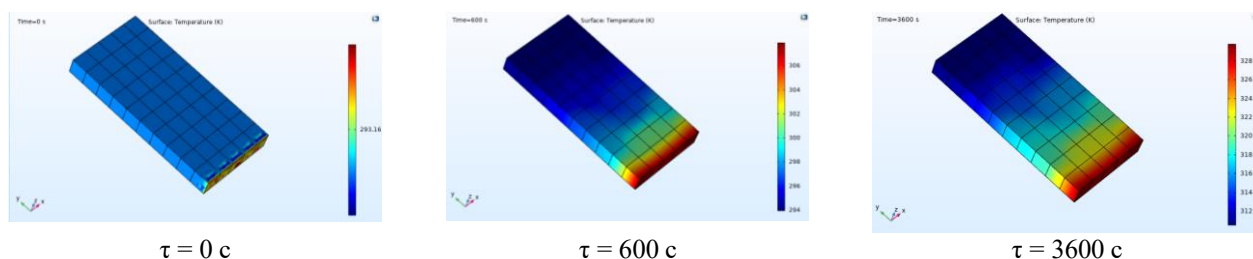


Рис. 4

Компоненты, состоящие из воды и связующего, интенсивнее проводят тепло, чем из воздуха и наполнителя, что подтверждает соответствие модели общим положениям теории теплопроводности.

Анализ результатов показал, что для достижения стабильности теплоизоляционных свойств материала необходимо в процессе формирования структуры композита обеспечить равномерность совмещения наполнителя со связующим (матрицей) и максимальную степень осмоления наполнителя.

Это позволит исключить из композиции большемерные участки связующего и воды, создающие значительный вклад в проводимость тепла в материале.

ВЫВОДЫ

1. Сравнительные испытания теплоизоляционных материалов показали преимущества разработанного авторами композиционного материала на основе целлюлозосодержащего наполнителя по сравнению с минеральной ватой, что объясняется наличием обширного фронта прочных водородных связей в структуре композита.

2. Установлено, что при увлажнении сравниваемых видов утеплителей приращение коэффициента теплопроводности и разбухание минеральной ваты примерно в 10 раз выше, чем у композита на основе целлюлозосодержащих наполнителей.

3. Предложено для анализа влияния структуры композита на основе многокомпонентного целлюлозосодержащего наполнителя на его теплопроводность использовать программный комплекс Comsol.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения. – Иваново, 2016.

2. Граник Ю.Г. Теплоэффективные ограждающие конструкции жилых и гражданских зданий // Строительные материалы. – 1999, № 2. С. 4...6.

3. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. – М., 1989.

4. European Commission Joint Research Centre Institute for prospective technological studies. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass <http://glassresearch.ru/uploads/items/NDT/> (дата обращения: 23.12.2020).

5. Бобров Ю.Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции. – М., 2003.

6. Гусев Б.В., Езерский В.А., Монастырев П.В. Изменение линейных размеров минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий // Промышленное и гражданское строительство. – 2004, № 8. С. 32...34.

7. Гусев Б.В., Езерский В.А., Монастырев П.В. Потеря массы минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий // Кровельные и изоляционные материалы. – 2005, № 2. С. 48...49.

8. Ярцев В.П., Дорофеев А.М. Влияние силовых и атмосферных воздействий на теплофизические характеристики минераловатных плит // Кровельные и изоляционные материалы. – 2010, № 4. С. 14...15.

9. Ярцев В.П., Мамонтов А.А., Мамонтов С.А. Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов // Кровельные и изоляционные материалы. – 2013, № 1. С. 8...11.

10. Грошев А.Е., Данкер М.П., Боброшов А.В., Замолоцких П.С. Исследование различных видов наружных ограждающих конструкций в монолитном домостроении // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012, №1. С. 62...65.

11. Корниенко С.В. Температурный режим трехслойной стеновой панели // Жилищное строительство. – 2001, №9. С. 20...21.

12. Susoeva I.V., Vakhnina T.N., Titunin A.A., Asatkina J.A. The performance of composites from vegetable raw materials with changes in temperature and humidity // Magazine of Civil Engineering. – 2017, 3(71). P. 39...50.

13. Palumbo M., Navarro A., Avellaneda J., Lacasta A. M. Characterization of thermal insulation materials developed with crop wastes and natural binders // World Barcelona. – 2014. P. 1...10.

14. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968.

15. Федосов С.В., Котлов В.Г., Алоян Р.М., Ясинский Ф.Н., Бочков М.В. Моделирование теплопереноса в системе газ – твердое при нагелном соединении элементов деревянных конструкций. – Ч.1. Общая физико-математическая постановка задачи // Строительные материалы. – 2014, № 7. С.86...91.

16. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963.

17. Kreith F., Manglik R.M., Bohn M.S. Principles of heat transfer. 7 edition. – Cengage Learning, 2010.

18. Incropera F., DeWitt D. Fundamentals of heat and mass transfer. 6 edition. – New York: Wiley, 2007.

19. Рудобаашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. – М.: Химия, 1980.

20. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. – СПб., 1999.

21. Грунин Ю.Б., Грунин Л.Ю., Шевелева Н.Н., Масас Д.С., Федосов С.В., Котлов В.Г. Характер изменения надмолекулярной структуры целлюлозы в процессе ее увлажнения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №2. С. 233...237.

22. Грунин Ю.Б., Грунина Т.Ю., Иванова М.С., Федосов С.В., Котлов В.Г. Изучение методом ЯМР-¹H-релаксации характера надмолекулярных перестроек хлопковой целлюлозы в результате ее биохимической деградации // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 5. С.124...130.

REFERENCES

1. Aloyan R.M., Fedosov S.V., Oparina L.A. Energoeffektivnye zdaniya – sostoyanie, problemy i puti resheniya. – Ivanovo, 2016.

2. Granik Yu.G. Teploeffektivnye ogradhdayushchie konstruksii zhilykh i grazhdanskikh zdaniy // Stroitel'nye materialy. – 1999, № 2. S. 4...6.

3. Gorlov Yu.P. Tekhnologiya teploizolyatsionnykh i akusticheskikh materialov i izdeliy. – M., 1989.

4. European Commission Joint Research Centre Institute for prospective technological studies. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass <http://glassresearch.ru/uploads/items/NDT/> (data ob-rashcheniya: 23.12.2020).

5. Bobrov Yu.L. Teploizolyatsionnye materialy i konstruksii. – M., 2003.

6. Gusev B.V., Ezerskiy V.A., Monastyrev P.V. Izmenenie lineynykh razmerov mineralovatnykh plit v usloviyakh ekspluatatsionnykh vozdeystviy // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2004, № 8. S.32...34.

7. Gusev B. V., Ezerskiy V.A., Monastyrev P.V. Poterya massy mineralovatnykh plit v usloviyakh ekspluatatsionnykh vozdeystviy // Krovel'nye i izolyatsionnye materialy. – 2005, № 2. S. 48...49.

8. Yartsev V.P., Dorofeev A.M. Vliyanie silovykh i atmosferykh vozdeystviy na teplofizicheskie kharak-

teristiki mineralovatnykh plit // Krovel'nye i izolyatsionnye materialy. – 2010, № 4. S. 14...15.

9. Yartsev V.P., Mamontov A.A., Mamontov S.A. Ekspluatatsionnye svoystva i dolgovechnost' teploizolyatsionnykh materialov // Krovel'nye i izolyatsionnye materialy. – 2013, № 1. S. 8...11.

10. Groshev A.E., Danker M.P., Bobroshov A.V., Zamolotskikh P.S. Issledovanie razlichnykh vidov naruzhnykh ogradhdayushchikh konstruktsiy v monolitnom domostroenii // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2012, №1. S. 62...65.

11. Kornienko S.V. Temperaturnyy rezhim trekhsloynoy stenovoy paneli // Zhilishchnoe stroitel'stvo. – 2001, №9. S. 20...21.

12. Susoeva I.V., Vakhnina T.N., Titunin A.A., Asatkina J.A. The performance of composites from vegetable raw materials with changes in temperature and humidity // Magazine of Civil Engineering. – 2017, 3(71). P. 39...50.

13. Palumbo M., Navarro A., Avellaneda J., Lacasta A. M. Characterization of thermal insulation materials developed with crop wastes and natural binders // World Barcelona. – 2014. P. 1...10.

14. Lykov A.V. Teoriya sushki. – M.: Energiya, 1968.

15. Fedosov S.V., Kotlov V.G., Aloyan R.M., Yasin'skiy F.N., Bochkov M.V. Modelirovanie teplo-massoperenosa v sisteme gaz – tverdoe pri nagel'nom soedinenii elementov derevyannykh konstruktsiy. – Ch. 1.

Obshchaya fiziko-matematicheskaya postanovka zadachi // Stroitel'nye materialy. – 2014, № 7. S.86...91.

16. Lykov A.V., Mikhaylov Yu.A. Teoriya teplo- i massoperenosa. – M.–L.: Gosenergoizdat, 1963.

17. Kreith F., Manglik R.M., Bohn M.S. Principles of heat transfer. 7 edition. – Cengage Learning, 2010.

18. Incropera F., DeWitt D. Fundamentals of heat and mass transfer. 6 edition. – New York: Wiley, 2007.

19. Rudobashta S.P. Massoperenos v sistemakh s tverdoy fazoy. – M.: Khimiya, 1980.

20. Azarov V.I., Burov A.B., Obolenskaya A.B. Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov. – Spb., 1999.

21. Grunin Yu.B., Grunin L.Yu., Sheveleva N.N., Masas D.S., Fedosov S.V., Kotlov V.G. Kharakter izmeneniya nadmolekulyarnoy struktury tsellyulozy v protsesse ee uvlazhneniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, №2. S. 233...237.

22. Grunin Yu.B., Grunina T.Yu., Ivanova M.S., Fedosov S.V., Kotlov V.G. Izuchenie metodom YaMR-1N-relaksatsii kharaktera nadmolekulyarnykh perestroek khlopkovoy tsellyulozy v rezul'tate ee biokhimicheskoy degradatsii // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, № 5. S.124...130.

Рекомендована кафедрой лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств КГУ. Поступила 16.12.20.

УДК 691.328.44

РАЗРАБОТКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОЛОВ ДЛЯ ЗДАНИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

DEVELOPING OPPORTUNITIES FOR IMPROVING THE QUALITY OF THE FLOORS FOR TEXTILE BUILDINGS

Е.И. ШМИТКО, В.Е. РУМЯНЦЕВА, Н.А. БЕЛЬКОВА

E.I. SHMITKO, V.E. RUMYANTSEVA, N.A. BELKOVA

**(Воронежский государственный технический университет,
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Voronezh State Technical University,
Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: verlnata@mail.ru, varrym@gmail.com, shmitko@vgasu.vrn.ru

В статье рассмотрены возможности повышения прочностных и деформативных характеристик цементных бетонов для полов промышленных зданий. Показано, что для повышения качества полов возможно их дисперсное армирование с помощью волокна различного типа. Установлено, что оптимальный расход базальтового и полипропиленового фиброволокна составляет 2 кг на 1 м³ бетонной смеси. Определены значения нормативных показателей фибробетона для полов.

The article considers the possibility of increasing strength and deformation characteristics of cement concretes for floors of industrial buildings. It has been shown that to improve the quality of floors, their disperse reinforcement with the help of fibers of various types is possible. The optimum consumption of basalt and polypropylene fiber has been found to be 2 kg per 1 m³ of concrete mixture. Values of standard indices of fibrobeton for floors are determined.

Ключевые слова: цементный бетон, фиброволокно, базальтовая фибра, полипропиленовая фибра, трещиностойкость.

Keywords: cement concrete, fibrous fiber, basalt fiber, polypropylene fiber, crack strength.

Основные требования к полам производственных зданий представлены в СП 29.13330.2011 [1], согласно которому их характеристики назначаются в зависимости от интенсивности внешних воздействий (механических, химических и т.п.). Полы для зданий текстильной промышленности чаще всего выполняют с использованием в качестве основного материала тяжелого бетона на цементном вяжущем. Такие полы испытывают значительные и умеренные механические воздействия, а также воздействия различных жидкостей с различными дозировками. Например, в результате жизнедеятельности грибов на полах предприятий текстильной промышленности выделяются органические кислоты: лимонная, уксусная, щавелевая и другие [2]. Прочностные характеристики этих полов должны соответствовать классу бетона по прочности не ниже В 22,5. Также к покрытиям полов предъявляются повышенные требования по показателю пылеотделения (истираемость должна составлять не более 0,4 г/см² для малопылящих и беспыльных типов покрытия). Помимо вышеизложенного к монолитным бетонным полам предъявляются особые требования по трещиностойкости, зависящей от показателя деформативности, в частности, усадки как на начальном этапе схватывания и твердения материала покрытия, так и на этапе его эксплуатации в условиях попеременного увлажнения и высыхания. В целом все вышеизложенные характеристики определяют износостойкость и долговечность покрытия пола.

Как показывают многочисленные исследования [3...8], одним из эффективных способов улучшения качества цементного бетона по показателю деформативности является дисперсное армирование, которое обеспечивает принципиальное изменение условий и энергетики образования трещин в структуре материала.

Так, исследования В.В. Белова и Л.Р. Маиляна [9], [10] показали, что применение базальтового фиброволокна обеспечивает больший эффект для улучшения качества бетона с фиброволокном, получившего название "фибробетон". Базальтофибробетон по сравнению с обычным тяжелым бетоном обладает более высокой прочностью и меньшей деформативностью, так как армирующее его базальтовое волокно обеспечивает более высокую степень дисперсности армирования цементного камня, а само базальтовое волокно обладает высокой прочностью.

Однако по данным В. Б. Бабаева [11] установлено, что волокно, находящееся в щелочной среде при гидратации цемента, характеризуется недостаточной щелочестойкостью: длительное хранение (72 дня) фибры в щелочном растворе способствует ее растворению.

Альтернативой базальтовому фиброволокну специалисты называют полимерные волокна различного состава (полиамидные, полипропиленовые, полиэфирные и т.д.). Исследованиями [12] установлено, что полипропиленовое волокно является эффективным дисперсным армирующим компонентом мелкозернистого бетона, способ-

ствующим повышению прочности на растяжение при изгибе и его трещиностойкости.

При разработке состава фибробетона необходимо прежде всего обеспечить оптимальность параметров их армирования: вид волокон, их относительная длина и расход в смеси, которые должны назначаться, исходя из требований к изделиям и конструкциям. Оптимальные показатели армирования позволяют получить бетоны с более плотной структурой, повышенной прочностью и долговечностью.

Целью наших исследований было получение оптимальных составов бетона для по-

лов с армирующим компонентом – фиброволокном различного типа.

Для изготовления образцов использовался портландцемент класса ЦЕМ I 42,5 Н производства ЗАО "Осколцемент", песок кварцевый с модулем крупности $M_k = 1,9...2,2$, щебень гранитный фракции 5...20 мм. Состав бетона был принят в соответствии с нормативными документами для класса бетона В 25. В качестве армирующей добавки использовалось фиброволокно марки Fibra №1 (изготовитель ООО "ИНКОМСТРОЙ") с характеристиками, приведенными в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Показатели	Вид фиброволокна	
	базальтовое	полипропиленовое высокопрочное
Материал	100% базальт	100% первичный полипропилен
Толщина волокон, мкм	11-18; 19-21	18
Прочность на разрыв, МПа	2700...3200	579
Модуль упругости, МПа	85...95	16000...17000
Удлинение, %	3,2	20...25
Плотность, г/см ³	2,2	0,91-0,93
Стойкость к щелочной среде бетона	средняя	высокая
Температура плавления, °С	1260	165
Длина волокна, мм	12, 20	12, 20

На первом этапе исследований проводилась оптимизация состава бетона по параметру расхода фиброволокна в зависимости от его вида и длины. На рис. 1 представлены зависимости прочности при сжатии, на рис. 2 – прочности при изгибе от вида, расхода и длины фиброволокна.

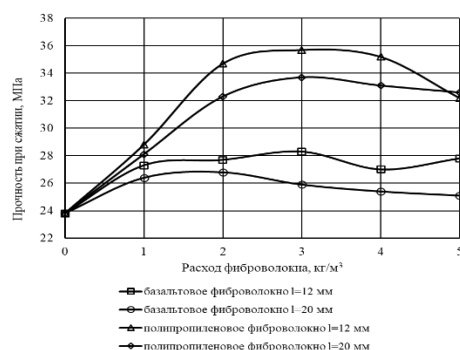


Рис. 1

Из полученных данных следует, что введение фиброволокна любого типа повышает прочностные показатели бетона. При этом прочность при сжатии увеличивается всего на 20...40%, а прочность при изгибе в 2...2,5 раза, что объясняется армирующим действием волокон, которые создают объемную сетку в структуре бетона.

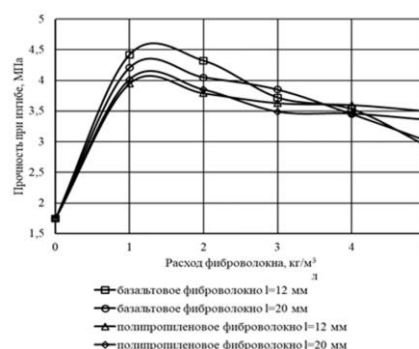


Рис. 2

Повышение расхода базальтового фиброволокна практически не влияет на прочность при сжатии бетона, которая колеб-

лется в пределах от 26 до 28 МПа независимо от длины фиброволокна. Для бетона с полипропиленовым фиброволокном наблю-

дается увеличение прочности при сжатии при увеличении расхода до 3 кг/м^3 независимо от длины фиброволокна, дальнейшее повышение расхода приводит к некоторому снижению прочности, что можно объяснить разуплотняющим действием фибры.

Что касается показателя прочности при изгибе, то независимо от вида фиброволокна максимальные значения прочности соответствуют расходу $1...2 \text{ кг/м}^3$. Увеличение расхода фиброволокна приводит к снижению этого показателя: с $4,4...4,5 \text{ МПа}$ до $3,0 \text{ МПа}$ для бетона с базальтовым фиброволокном ($30...35\%$). Для бетона с полипропиленовым фиброволокном это снижение меньше: с $4,2$ до $3,5 \text{ МПа}$, то есть всего на 17% . Это можно объяснить большей эластичностью и гибкостью полипропиленового фиброволокна, которые в больших количествах переплетаются друг с другом и формируют сплошную армирующую сетку. Базальтовое фиброволокно имеет большую жесткость и меньшую гибкость, поэтому при превышении расхода сверх оптимального образуются разрозненные скопления волокон, так называемые "ежи". Из полученных данных также следует, что длина фиброволокна практически не влияет на прочностные свойства бетона. Так, прочность при сжатии бетона с базальтовым фиброволокном при расходе 2 кг/м^3 колеблется в пределах $27...28 \text{ МПа}$, при изгибе – $4,0...4,4 \text{ МПа}$.

Таким образом, по результатам первого этапа исследований выявлено, что оптимальный расход фиброволокна составляет $1...2 \text{ кг/м}^3$ вне зависимости от его длины.

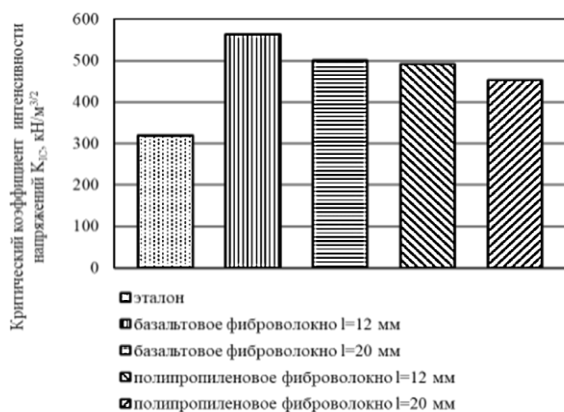


Рис. 3

На втором этапе исследований проводилась оценка влияния вида и длины фиброволокна на показатели трещино-стойкости и истираемости бетона для полов. Расход фиброволокна составил 2 кг/м^3 смеси. Трещиностойкость бетона оценивалась по коэффициенту интенсивности напряжений – критерию пропорциональности напряжений, обусловливающему начало развития трещины.

Значения показателя критического коэффициента интенсивности напряжений (K_{IC}) (рис. 3 – зависимость критического коэффициента интенсивности напряжений от вида и длины фиброволокна) согласуются с полученными значениями прочности при изгибе (рис. 2). Максимальное значение получено для бетона с базальтовым фиброволокном ($560 \text{ кН/м}^{3/2}$ против $310 \text{ кН/м}^{3/2}$ для эталона). Значение K_{IC} для бетона с полипропиленовым фиброволокном несколько ниже ($450...490 \text{ кН/м}^{3/2}$). При этом большие значения соответствуют бетону с фиброволокном длиной 12 мм , независимо от его типа, то есть волокна такого размера лучше распределяются в бетонной смеси и создают более прочную армирующую сетку.

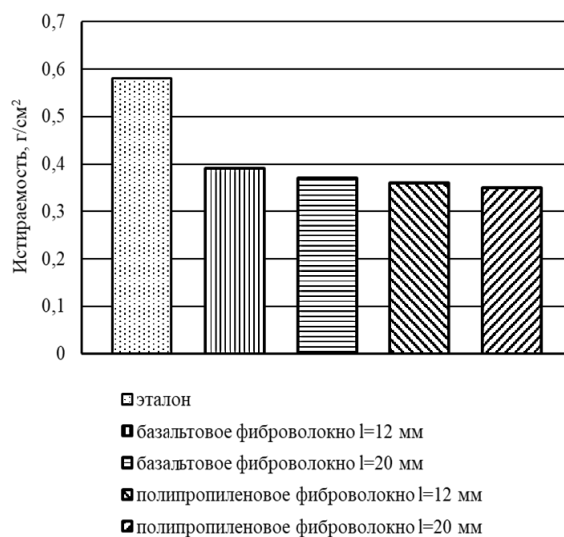


Рис. 4

И, наконец, обратимся к результатам, приведенным на рис. 4, на котором представлена зависимость величины истираемости от вида и длины фиброволокна. Как видно из полученных данных, величина

истираемости бетона-эталоны составляет $0,58 \text{ г/см}^2$, что превышает нормативное значение в $0,4 \text{ г/см}^2$ (для полов мало-пылящих). Введение фибры любого типа и длины снижает этот показатель до значения $0,35...0,39 \text{ г/см}^2$, то есть обеспечивает требования нормативных документов. При этом значение истираемости не зависит ни от вида, ни от размера фиброволокна.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что введение и полипропиленового, и базальтового фиброволокна улучшает качество бетона для полов.

2. Независимо от типа фиброволокна (полипропиленовое или базальтовое) оптимальный расход составляет $1...2 \text{ кг}$ на 1 м^3 смеси.

3. Определены значения характеристик фибробетона, соответствующие нормативам:

- классы бетона с полипропиленовым фиброволокном: по прочности при сжатии – В 30, по прочности на растяжение при изгибе – Вt 2,8, марка по истираемости G1 – не более $0,7 \text{ г/см}^2$ (низкой истираемости);

- классы бетона с базальтовым фиброволокном: по прочности при сжатии – В 25, по прочности на растяжение при изгибе – Вt 3,6, марка по истираемости G1 – не более $0,7 \text{ г/см}^2$ (низкой истираемости).

Решение о применении конкретного типа фибры должно приниматься на основе технических и экономических соображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 29.13330.2011 Полы. Актуализированная редакция СНиП 2.03.13-88 (с Изменением №1). – М., 2011.

2. Чеснокова Т.В., Румянцева В.Е., Логинова С.А. Моделирование процесса биоразрушения бетона на предприятиях текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 1. С. 206...212.

3. Коротких Д.Н. Принципы формирования структуры и прогнозирования прочности фибробетона // Вестник гражданских инженеров. – 2009, №3 (20). С. 126...128.

4. Баженов Ю.М., Демьянова В.С. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: АСВ, 2006.

5. Пухаренко Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирования прочности фибробетона // Строительные материалы. – 2004, №10. С.47...51.

6. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсноармированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. – М.: АСВ, 2004.

7. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Гоглев И.Н. Явления массопереноса в системе "цементный раствор-композитная пластиковая арматура" на стадии структурообразования композита. – Часть 1. Физические представления и математическая постановка задачи // Academia. Архитектура и строительство. – 2020, № 1. С. 118...123.

8. Velde K., Kiekens P., Van Langenhove L. Basalt fibers as reinforcement for composites // Van de Department of Textiles, Ghent University, Technologiepark 907. – В-9052 Zwijnaarde.

9. Маляян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона // Интернет-журнал "НАУКОВЕДЕНИЕ" Том 9. №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf> (доступ свободный).

10. Белов В.В., Абрамов Д.Г. Определение нормативных и расчетных характеристик фибробетона на местных отходах базальтовой ваты // Химия, физика и механика материалов. – 2018, № 4 (19). С.28...43.

11. Бабаев В.Б., Строчкова В.В., Нелюбова В.В., Савгир Н.Л. К вопросу о щелочестойкости базальтовой фибры в цементной системе // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013, №2. С.63...66.

12. Клюев С.В., Лесовик Р.В. Дисперсноармированный мелкозернистый бетон с использованием полипропиленового волокна // Бетон и железобетон. – 2011, № 3. С. 7...9.

REFERENCES

1. SP 29.13330.2011 Poly. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.03.13-88 (s Izmeneniem №1). – М., 2011.

2. Chesnokova T.V., Rumyantseva V.E., Loginova S.A. Modelirovanie protsessa biorazrusheniya betona na predpriyatiyakh tekstil'noy promyshlennosti // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2020, № 1. С. 206...212.

3. Korotkikh D.N. Printsipy formirovaniya struktury i prognozirovaniye prochnosti fibrobetonov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. – 2009, №3 (20). С.126...128.

4. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S. Modifitsirovannye vysokokachestvennyye betony. – М.: ASV, 2006.

5. Pukharenskiy Yu.V. Printsipy formirovaniya struktury i prognozirovaniye prochnosti fibrobetonov // Stroitel'nye materialy. – 2004, №10. С.47...51.

6. Rabinovich F.N. Kompozity na osnove dispersnoarmirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruksii. – M.: ASV, 2004.

7. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N. Yavleniya massoperenosa v sisteme "tsementnyy rastvor-kompozitnaya plastikovaya armatura" na stadii strukturoobrazovaniya kompozita. – Chast' 1. Fizicheskie predstavleniya i matematicheskaya postanovka zadachi // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. – 2020, № 1. S. 118...123.

8. Velde K., Kiekens P., Van Langenhove L. Basalt fibers as reinforcement for composites // Van de Department of Textiles, Ghent University, Technologiepark 907. – B-9052 Zwijnaarde.

9. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M. Vybory vidov volokon dlya dispersnogo armirovaniya izdeliy iz tsentrifugirovannogo betona // Internet-zhurnal "NAUKOVEDENIE" Tom 9. №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf> (dostup svobodnyy).

10. Belov V.V., Abramov D.G. Opredelenie normativnykh i raschetnykh kharakteristik fibrobetona na mestnykh otkhodakh bazal'tovoy vaty // Khimiya, fizika i mekhanika materialov. – 2018, № 4 (19). S. 28...43.

11. Babaev V.B., Strokova V.V., Nelyubova V.V., Savgir N.L. K voprosu o shchelochestoykosti bazal'tovoy fibry v tsementnoy sisteme // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. – 2013, №2. S.63...66.

12. Klyuev S.V., Lesovik R.V. Dispersnoarmirovanny melkozernisty beton s ispol'zovaniem polipropilenovogo volokna // Beton i zhelezobeton. – 2011, №3. S. 7...9.

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 10.12.20.

УДК 677.076.4

ВЫБОР СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И АНАЛИЗ СВОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫБОРКИ ДЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ НЕТКАНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ*

SELECTION OF STATISTICAL MODELS AND ANALYSIS OF SUMMARY CHARACTERISTICS FOR QUALITY INDICATORS OF SELF-REGULATING NONWOVEN THERMAL INSULATION MATERIALS

E. B. MEZENTSEVA, V.YU. MISHAKOV

E.V. MEZENTSEVA, V.YU. MISHAKOV

**(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
ООО "Термопол")**

**(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art),
Thermopol, LLC)**

E-mail: yelena_ev@mail.ru; viktormishakov@rambler.ru

Представлен анализ результатов испытаний показателей качества теплоизоляционных нетканых материалов, полученных из смеси полиэфирных и полиакрилатных волокон по физико-химической технологии на соответствие нормальному, логарифмически нормальному закону, распределению Гумбеля и Вейбулла. Проверка соответствия установленным законам осуществлялась с помощью величины асимметрии и эксцесса, вероятностных бумаг и критериев: Колмогорова, Шапиро-Уилка, Андерсона-Дарлингса.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90010.

* Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number № 19-38-90010.

The analysis of the test results of the quality indicators of thermal insulation nonwoven materials obtained from a mixture of polyester and polyacrylate fibers by physical-chemical technology for compliance with the normal, log-normal, Gumbel and Weibull distributions is presented. Verification of compliance with the established distributions was carried out using the magnitude of the asymmetry and excess, probabilistic papers, and tests: Kolmogorov, Shapiro-Wilk, Anderson-Darling.

Ключевые слова: нетканые материалы, утеплитель, контроль качества, статистическая модель, критерий Колмогорова, критерий Шапиро-Уилка, критерий Андерсона-Дарлинга, полиакрилатные волокна, сводные характеристики, доверительный интервал.

Keywords: nonwoven materials, insulation, quality control, statistical model, Kolmogorov test, Shapiro-Wilk test, Anderson-Darling test, polyacrylate fibers, summary characteristics, confidence interval.

Целью настоящего исследования является выбор статистических моделей для показателей качества теплоизоляционных нетканых материалов.

Объектом исследования является нетканый теплоизоляционный материал, разработанный и произведенный на площадке индустриального партнера ООО "Термопол", состоящий из 45% полиэфирных волокон, 35% полиакрилатных волокон и 20% легкоплавких волокон [1], [2].

Предметом исследования является проверка гипотезы о соответствии эмпирического распределения различным статистическим моделям исходя из физической обусловленности изучаемых показателей качества.

Для правильной интерпретации результатов испытаний при осуществлении контроля показателей качества на производстве необходимо знать законы распределе-

ния, а также сводные характеристики выборки, заменяющие совокупность первичных результатов отдельных измерений: среднее арифметическое значение, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации [3], [4].

Статистическая модель – закон распределения изучаемого показателя – устанавливается путем последовательного выполнения следующих основных этапов:

- получение выборочного эмпирического распределения и нахождение его основных статистик;
- априорный выбор теоретического закона в качестве статистической модели изучаемого показателя;
- предварительная оценка эмпирического распределения;
- статистическая оценка соответствия эмпирического распределения априорно выбранному теоретическому закону [5].

Т а б л и ц а 1

Номер испытания	Показатели качества				
	поверхностная плотность, г/м ²	суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки, м ² ·°С/Вт	гигроскопичность, %	неровнота по массе, %	разрывное удлинение по длине, %
1	151,00	0,549	16,00	3,90	5,80
2	155,00	0,580	18,00	4,00	5,00
3	150,00	0,550	17,00	4,20	6,00
4	143,00	0,490	16,28	4,60	6,35
5	151,00	0,545	16,41	4,50	6,00
6	150,00	0,550	17,30	3,20	6,65
7	143,00	0,495	17,68	3,00	4,35
8	156,00	0,498	15,39	3,00	6,00
9	150,00	0,500	16,00	4,40	5,60
10	157,00	0,561	17,01	4,40	4,30

Получение выборочного эмпирического распределения – это проведение испытаний изучаемого показателя качества, система-

тизация и обработка полученных результатов [5]. Результаты испытаний для объекта исследования представлены в табл. 1.

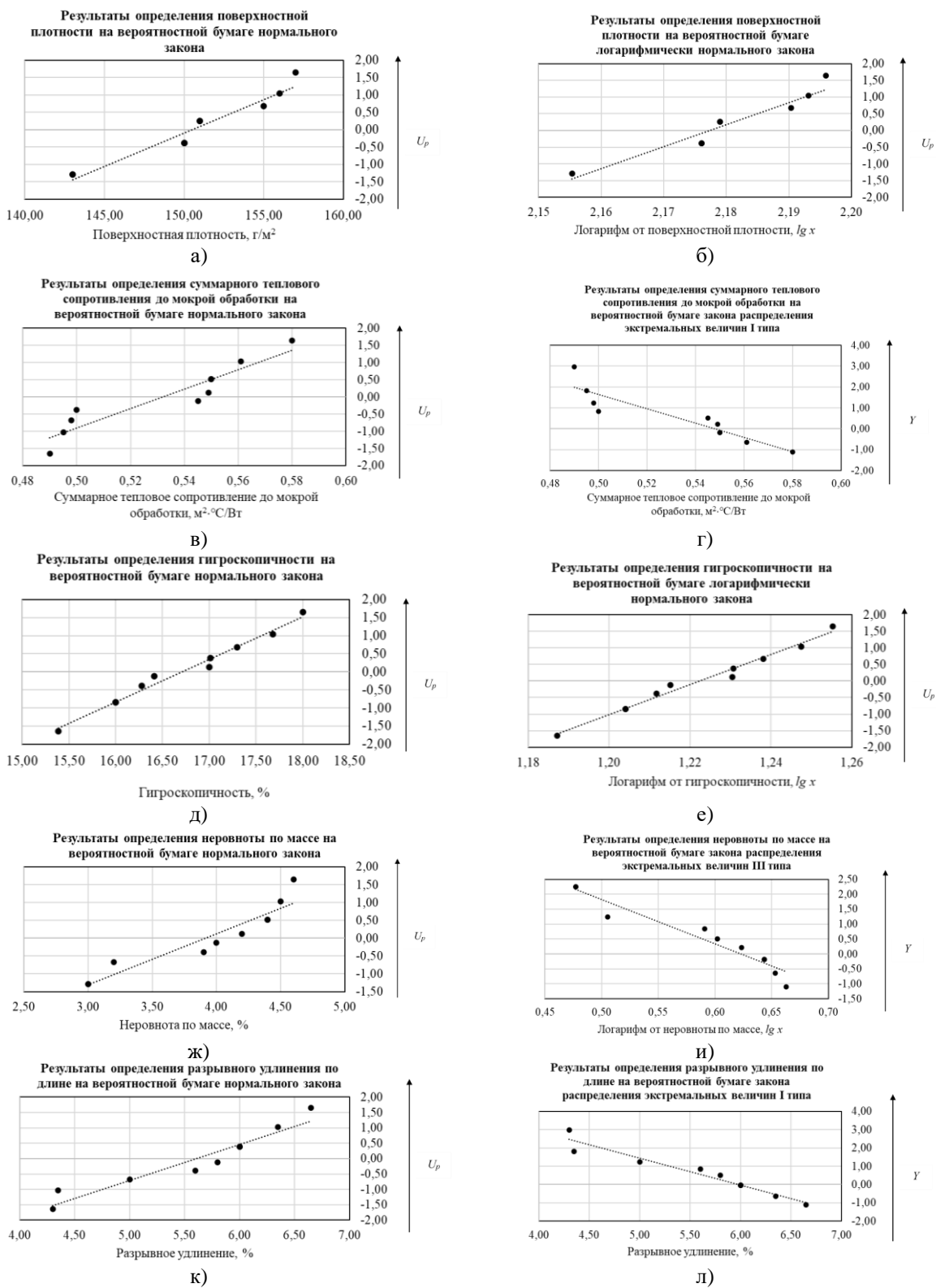


Рис. 1

Общая методика исследования сводилась к тому, что по существующим стандартным методикам были получены эмпирические распределения, затем осуществлялась проверка соответствия теоретическим законам – статистическим моделям исследуемых показателей качества.

Априорный выбор теоретического закона в качестве статистической модели изучаемого показателя был основан на исследовании физических процессов, которые происходят в материале при испытании с учетом применяемой аппаратуры, и их соответствии вероятностно-статистической модели теоретического закона [5].

Предварительная оценка эмпирического распределения была проведена по величине коэффициента вариации, асимметрии и эксцесса, а также с помощью метода вероятностных бумаг.

Установлено, что для всех исследуемых показателей качества справедливо неравенство $|as| \leq 3|\sigma_{as}|$ и $|ex| \leq 3|\sigma_{ex}|$ (табл. 2), в качестве теоретического использовался нормальный закон, как наиболее распространенный.

Для наглядной оценки соответствия эмпирического распределения выбранному теоретическому закону применялся метод вероятностных бумаг, основанный на построении интегральной функции исследуемого распределения на специальной вероятностной бумаге соответствующего закона (рис. 1).

Визуальный анализ вероятностных бумаг нормального закона распределения (рис. 1-а, в, д, ж, к) показывает, что точки группируются относительно выравнивающих прямых достаточно хорошо, поэтому для интерпретации результатов испытаний исследуемых показателей качества возможно использование нормального закона распределения.

Статистическая оценка соответствия эмпирического распределения априорно выбранному теоретическому закону проводилась с использованием критериев: Колмогорова λ [4], Андерсона-Дарлинга Ω^2 [6], Шапиро-Уилка W [7].

В ходе проверки с помощью критериев Колмогорова и Шапиро-Уилка установлено, что для всех исследуемых показателей качества выполняются условия: по критерию Колмогорова: $P(\lambda) > 0,050 = q$; по критерию Шапиро-Уилка: $W > W_{0,05}$, следовательно, согласие между экспериментальными данными и выравнивающими прямыми не случайно, гипотеза о соответствии эмпирического распределения нормальному закону не отвергается.

Вследствие того, что нормальный закон не позволяет оценивать сущность физического явления, была рассмотрена возможность применения других распределений для выявления наиболее подходящего при их сравнении.

Для поверхностной плотности произведена проверка соответствия результатов испытаний логарифмически нормальному распределению [8] вследствие того, что значение поверхностной плотности можно рассматривать в виде суммы независимых равномерно малых величин единичных волокон в структуре теплоизоляционных нетканых материалов.

Визуальная оценка вероятностной бумаги логарифмически нормального закона для поверхностной плотности (рис. 1-б) показывает, что точки группируются относительно выравнивающей прямой достаточно хорошо, поэтому для интерпретации результатов возможно использование логарифмически нормального закона распределения.

По критерию Колмогорова и Андерсона-Дарлинга нулевая гипотеза H_0 о соответствии значений поверхностной плотности логарифмически нормальному распределению не отвергается.

В качестве альтернативы для показателя качества суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки была проведена проверка соответствия результатов испытаний асимптотическому распределению экстремальных величин I типа (теория "слабейшего звена", распределение Гумбеля) [9] вследствие того, что показатель качества – суммарное тепловое сопротивление

связан с экстремальными значениями толщины теплоизоляционных нетканых материалов [10].

В данном случае отмечено, что экспериментальные точки хуже ложатся на прямую в сравнении с нормальным законом распределения (рис. 1-в, г).

По критерию Колмогорова согласие между экспериментальными данными и выравнивающей прямой не случайно, гипотеза о соответствии эмпирического распределения закону распределения экстремальных величин I типа не отвергается, но по критерию Андерсона-Дарлинга гипотеза отвергается.

В качестве альтернативы для показателя качества гигроскопичность была проведена проверка соответствия результатов испытаний логарифмически нормальному распределению вследствие того, что гигроскопичность теплоизоляционных нетканых материалов складывается из физических свойств отдельных компонентов.

Отмечено, что точки группируются относительно выравнивающей прямой достаточно хорошо (рис. 1-е), по критерию Колмогорова и Андерсона-Дарлинга гипотеза о соответствии эмпирического распределения логарифмически нормальному закону не отвергается.

В качестве альтернативы для показателя качества неровнота по массе была проведена проверка соответствия результатов испытаний асимптотическому распределению экстремальных величин III типа (распределение Вейбулла) [11] вследствие того, для неровноты по массе теплоизоляционных нетканых материалов применима теория "слабейшего звена", так как количество участков с максимальной и минимальной поверхностной плотностью определяют конечный результат.

Отмечено, что экспериментальные точки хуже ложатся на прямую вероятностной бумаги распределения Вейбулла в сравнении с нормальным законом распределения (рис. 1-ж, и).

По критерию Колмогорова согласие между экспериментальными данными и выравнивающей прямой не случайно, гипотеза о соответствии эмпирического распределения закону распределения экстремальных величин III типа не отвергается, но по критерию Андерсона – Дарлинга гипотеза отвергается.

В качестве альтернативы для показателя качества разрывное удлинение по длине была проведена проверка соответствия результатов испытаний распределению экстремальных величин I типа вследствие того, что для разрывного удлинения теплоизоляционных нетканых материалов применима теория "слабейшего звена", так как именно слабые участки в структуре в первую очередь подвержены различного рода деформациям и разрушению.

Отмечено, что экспериментальные точки ложатся на прямую примерно одинаково в сравнении с нормальным законом распределения (рис. 1-к, л).

По критерию Колмогорова согласие между экспериментальными данными и выравнивающей прямой не случайно, гипотеза о соответствии эмпирического распределения закону распределения экстремальных величин I типа не отвергается, но по критерию Андерсона-Дарлинга гипотеза отвергается.

В табл. 2 приведены обобщенные результаты оценки соответствия исследуемых показателей качества законам распределения.

Установлено, что для всех исследуемых показателей качества приемлемым является использование статистической модели нормального закона, что подтверждается предварительной оценкой эмпирических распределений, величиной асимметрии и эксцесса и их ошибок, визуальной оценкой расположения экспериментальных точек относительно выравнивающих прямых на вероятностной бумаге, а также критериями.

Т а б л и ц а 2

Сводные данные	Показатели качества					
	поверхностная плотность, г/м ²	суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки, м ² ·°С/Вт	гигроскопичность, %	неровнота по массе, %	разрывное удлинение по длине, %	
Асимметрия, a_s	-0,34	-0,11	0,04	-0,47	-0,52	
Ошибка асимметрии σ_{as}	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	
Экссес e_x	-1,18	-1,79	-1,42	-1,63	-1,29	
Ошибка эксцесса σ_{ex}	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	
Критерий Колмогорова λ	норм. распр.	0,35	0,65	0,33	0,47	0,47
	лог. норм. распр.	0,35	–	0,96	–	–
	распр. Гумбеля	–	0,45	–	–	0,33
	распр. Вейбулла	–	–	–	0,48	–
Вероятность $P(\lambda)$ при $q = 0,05$	норм. распр.	1,00	0,86	1,00	0,96	0,96
	лог. норм. распр.	1,00	–	0,27	–	–
	распр. Гумбеля	–	0,96	–	–	1,00
	распр. Вейбулла	–	–	–	0,96	–
Критерий Шапиро-Уилка (расч.) W	норм. распр.	0,89	0,86	0,97	0,85	0,85
Крит. Шапиро-Уилка (табличное) при $q = 0,05$		0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Критерий Андерсона-Дарлинга (расч.) Ω_n^2	лог. норм. распр.	0,54	–	0,20	–	–
	распр. Гумбеля	–	29,69	–	–	33,18
	распр. Вейбулла	–	–	–	3,86	–
Критерий Андерсона-Дарлинга (табл.) при $\alpha = 0,10$		1,93	1,93	1,93	1,93	1,93

Доверительные интервалы для сводных характеристик выборки определялись по соответствующим формулам для нормаль-

ного распределения с вероятностью $\gamma_0 = 0,95$ [10] и представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Сводные характеристики выборки	Доверительные интервалы		
	среднее \bar{x}	среднее квадратическое отклонение σ_x	коэффициент вариации C_v , %
Поверхностная плотность, г/м ²	147,17 < 150,60 < 154,03	3,29 < 4,79 < 8,76	2,32 < 3,18 < 5,25
Суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки, м ² ·°С/Вт	0,51 < 0,53 < 0,56	0,02 < 0,03 < 0,06	4,47 < 6,13 < 10,11
Гигроскопичность, %	16,12 < 16,71 < 17,30	0,57 < 0,83 < 1,51	3,61 < 4,95 < 8,17
Неровнота по массе, %	3,47 < 3,92 < 4,37	0,43 < 0,63 < 1,15	11,71 < 16,04 < 26,46
Разрывное удлинение по длине, %	5,03 < 5,61 < 6,18	0,55 < 0,80 < 1,47	10,45 < 14,32 < 23,63

Проведенное исследование позволило обосновать выбор нормального закона распределения для исследуемых показателей качества теплоизоляционных нетканых материалов и установить доверительные интервалы для сводных характеристик выборки.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что для интерпретации результатов испытаний по показателям качества: поверхностная плотность, суммарное тепловое сопротивление до мокрой об-

работки, гигроскопичность, неровнота по массе, разрывное удлинение по длине для нетканых теплоизоляционных материалов целесообразно использование нормального закона распределения в качестве статистической модели.

2. Установлено, что наименьшая изменчивость вариационного ряда наблюдается у показателей качества – поверхностная плотность и гигроскопичность; средняя изменчивость у суммарного теплового сопротивления до мокрой обработки; значительная изменчивость у неровноты по массе и разрывного удлинения по длине.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Исследования структурных характеристик нетканого объемного термоскрепленного материала, сформированного путем диспергирования волокон в потоке воздуха, содержащего полиакрилатные волокна // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2019, №3. С.29...33.

2. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Исследование структуры и свойств нетканых объемных материалов в зависимости от содержания полиэфирных волокон // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №5. С. 54...60.

3. Соловьев А.Н., Кирюхин С.М. Оценка качества и стандартизация текстильных материалов. – М.: Легкая индустрия, 1974.

4. Хакимуллин Ю.Н., Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю., Шакиров Б.Л. Прогнозирование долговечности ламинированного нетканого материала, стерилизованного ионизирующим излучением // Вестник Технологического университета. – 2015. Т.18, № 17. С. 120...122.

5. Соловьев А.Н., Кирюхин С.М. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.

6. Anderson T., & Darling D. A Test of Goodness of Fit // Journal Of The American Statistical Association. – 49(268), 1954. P. 765-769. doi: 10.1080/01621459.1954.10501232.

7. Shapiro S.S., Wilki M.B. An analysis of variance test for normality // Biometrika. – 1965, 52, № 3. P.591...611.

8. Limpert E., Stahel W., & Abbt M. Log-normal Distributions across the Sciences: Keys and Clues // Bioscience/ – 51(5),2001. P. 341...352.

9. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений / Пер. с англ. В. Ю. Татарского; под ред. Д. М. Чибисова; с предисл. Б. В. Гнеденко. – М.: Мир, 1965.

10. Кирюхин С.М., Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение. – М.: Колосс, 2011.

11. Вейбул В. Усталостные испытания и анализ их результатов / Пер. с англ. Т.А. Бекш и Е.С. Муслина; под. ред. С.В. Сернсена. – М.: Машиностроение, 1964.

REFERENCES

1. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Issledovaniya strukturnykh kharakteristik netkanogo ob"emnogo termoskrepennogo materiala, sformirovannogo putem dispergirovaniya volokon v potoke vozdukha, soderzhashchego poliakrilatnye volokna // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2019, №3. S.29...33.

2. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Issledovanie struktury i svoystv netkanykh ob"emnykh materialov v zavisimosti ot soderzhaniya poliefirnykh volokon // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, №5. S. 54...60.

3. Solov'ev A.N., Kiryukhin S.M. Otsenka kachestva i standartizatsiya tekstil'nykh materialov. – М.: Legkaya industriya, 1974.

4. Khakimullin Yu.N., Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu., Shakirov B.L. Prognozirovaniye dolgovечnosti laminirovannogo netkanogo materiala, sterilizovannogo ioniziruyushchim izlucheniem // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. – 2015. T.18, №17. S. 120...122.

5. Solov'ev A.N., Kiryukhin S.M. Otsenka i prognozirovaniye kachestva tekstil'nykh materialov. – М.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1984.

6. Anderson T., & Darling D. A Test of Goodness of Fit // Journal Of The American Statistical Association. – 49(268), 1954. P. 765-769. doi: 10.1080/01621459.1954.10501232.

7. Shapiro S.S., Wilki M.B. An analysis of variance test for normality // Biometrika. – 1965, 52, № 3. P.591...611.

8. Limpert E., Stahel W., & Abbt M. Log-normal Distributions across the Sciences: Keys and Clues // Bioscience/ – 51(5),2001. P. 341...352.

9. Gumbel' E. Statistika ekstremal'nykh znacheniy / Per. s angl. V. Yu. Tatarskogo; pod red. D. M. Chibisova; s predisl. B. V. Gnedenko. – М.: Mir, 1965.

10. Kiryukhin S.M., Shustov Yu.S. Tekstil'noe materialovedenie. – М.: Koloss, 2011.

11. Veybul V. Ustalostnye ispytaniya i analiz ikh rezul'tatov / Per. s angl. Т.А. Beksh i E.S. Muslina; pod. red. S.V. Sernsena. – М.: Mashinostroenie, 1964.

Рекомендована кафедрой коммерции и сервиса РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 18.03.20.

**ВЛИЯНИЕ ПОТОКА ПЛАЗМЫ НА ПОВЫШЕНИЕ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ****EFFECT OF PLASMA FLOW ON IMPROVING
THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TECHNICAL MATERIALS***Р.Ф. ГАЙНУТДИНОВ, В.В. ХАММАТОВА**R.F. GAINUTDINOV, V.V. KHAMMATOVA*

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: venerabb@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с методом повышения механических свойств текстильных материалов с содержанием химических волокон. Рассматривается метод модификации экспериментальных образцов арселоновой ткани с использованием плазменной установки, поскольку предложенная ткань специального назначения играет первостепенную роль в различных сферах, в авиации и автомобилестроении, медицине, сельском хозяйстве, военной промышленности, строительстве и ряде других областей, и подвергается механическим факторам воздействия. Проведено наноструктурирование арселоновой ткани на основе применения потока неравновесной плазмы пониженного давления. Анализ экспериментальных исследований показал значительное увеличение показателей арселоновой ткани, обработанной потоком неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления. Ткани становятся малоусадочными, имеют повышенную прочность на разрыв и удлинение, повышенный кислородный индекс и уровень равновесной влажности.

The article deals with issues related to the method of improving the mechanical properties of textile materials containing chemical fibers. The method of modification of experimental samples of Arselon fabric using a plasma installation is considered, since the proposed special-purpose fabric plays a primary role in various fields in aviation and automotive industry, medicine, agriculture, military industry, construction and a number of other areas and is exposed to mechanical factors. Nanostructuring of Arselon tissue was performed using a low-pressure nonequilibrium plasma flow. Analysis of experimental studies has shown a significant increase in the parameters of Arselon tissue, treated with a flow of non-equilibrium low-temperature plasma of reduced pressure, become low-shrink, have an increased tensile strength and elongation, an increased oxygen index and the level of equilibrium humidity.

Ключевые слова: химические волокна, арселон, наноструктурированный, специальная одежда, текстильный материал, плазма, модификация, свойства.

Keywords: chemical fiber, arselon, nanostructured, special clothing, of textile material, plasma, modification, properties.

Производство тканей с содержанием химических волокон – развитое направление текстильной промышленности. Ее продукция пользуется большим спросом, так как активно применяется в различных сферах в авиа- и автомобилестроении, медицине, сельском хозяйстве, военной промышленности, строительстве и ряде других областей. Поэтому современный рынок требует от производителей текстильных материалов: постоянного улучшения свойств изготавливаемых товаров; проведения разработок и исследований; использования инновационных технологий; модернизации оборудования для изготовления современных и наукоемких видов продукции [1].

Необходимость в инновационном развитии отрасли стала причиной ее распространения в развитых странах. Однако потребность в доступном сырье осталась прежней, что является сегодня определяющим фактором географического размещения химической промышленности в мире.

В зависимости от вида выпускаемого изделия используемое химическое волокно приобретает различные свойства и характеристики [1]. Текстильный материал с содержанием химических волокон имеет ряд преимуществ по сравнению с натуральными, так как не зависит от сезона, погоды и является менее трудоемким. Это позволяет производить из одного исходного сырья текстильные ткани с различными характеристиками. Их физико-механические и химические свойства могут быть изменены путем модификации потоком неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления как самого материала, так и уже готового изделия, что позволит достичь высоких показателей устойчивости к разрывам, действиям бактерий и плесени, формоустойчивости, несминаемости, стойкости к неблагоприятным воздействиям (свету, влаге и т.п.), нагреванию, многократным нагрузкам.

Кроме того, текстильные материалы с содержанием химических волокон могут смешиваться для создания новых моделей и расширения ассортимента товаров различной структуры. Поэтому к 2050 г. намечается дальнейший подъем производства текс-

тильных материалов с содержанием химических волокон до 37...49 млн. тонн в год.

Производство химических волокон ввиду их высокой рентабельности и огромной сырьевой базы растет очень интенсивно и дает большой экономический эффект. Себестоимость химической продукции зависит от стоимости и полноты использования сырья, от стоимости и расхода топлива и энергии. Поэтому экономное использование сырья, топлива и энергии является основным условием снижения себестоимости продукции.

Целью работы является разработка метода повышения эксплуатационных свойств текстильных материалов с содержанием химических волокон для улучшения их физико-механических свойств.

В качестве объекта исследования выбрали термостойкие материалы из полиоксадиазольного волокна класса арамидов под общим названием Арселон (полипарафенилен-1,3,4-оксадиазол или полиарилен-1,3,4-оксадиазол), которые выпускаются в виде штапельного волокна, измельченного волокна, нити и ткани.

В производстве нити арселоновой используется сырье: кислота терефталевая, гидразин-сульфат, кислота серная техническая (улучшенная), олеум, умягченная вода, натрий двууглекислый, замасливатель А-1, модификатор ДНС, который вводят для получения термо- и светостойкой нити, а также используется для придания повышенной гидрофильности, способности к окрашиванию, устойчивости к атмосферным воздействиям, антистатичности.

Волокно Арселон и изделия на его основе обладают уникальными свойствами и находят широкое применение в различных отраслях промышленности, а также при производстве защитной и специальной одежды (костюмы пожарных, сотрудников МЧС, работников горячих цехов, терморукавицы); тентов для грузовых автомобилей (предназначенных для высокотемпературных перевозок); защитной обивки самолетов и поездов. Однако он имеет низкий коэффициент трения по металлу (до 0,2), что обеспечивает его использование в композиционных материалах.

Главное назначение любого текстильного материала, используемого для пошива специальной одежды – высокий уровень защиты в течение всего срока эксплуатации. Степень защиты зависит от характеристик: физико-механических показателей, сохранения специальных свойств во время эксплуатации. Специальная одежда на основе волокон Арселона должна надежно защищать от опасных факторов производства, быть прочной и обеспечивать нормальную терморегуляцию организма и хорошо очищаться от грязи.

Применение нетрадиционных технологий наноструктурирования материалов, основанных на использовании электрохимических, плазменных, лазерных и других высокоэффективных методов модификации, существенно влияет на свойства не только изделий одежды специального назначения, но и на технические материалы различной структуры и назначения. Известные методы химического и физического наноструктурирования технических материалов потребуют усложнения технологии их получения, что приведет к увеличению времени технологических процессов, повышению расхода химических веществ и, как правило, в условиях промышленных производств – к сложным экологическим проблемам. Для существующей технологии наноструктурирования текстильных материалов с использованием волокон Арселона характерны высокая материалоемкость, трудоемкость, зависимость от зарубежных поставок, а следовательно, высокая стоимость арселоновой ткани. Поэтому необходимо разрабатывать импортозамещающие технологии в техническом текстиле – это создание и промышленное освоение технологий, обеспечивающих получение текстильных материалов с широким набором новых свойств, расширяющих области их применения при производстве одежды специального назначения. По этой технологии текстильным материалам для специальной одежды могут придаваться такие свойства, как водо- и маслостойкость, пониженная горючесть, противозагрязняемость, мягкость, антистатический и антибактериаль-

ный эффекты, термостойкость, формоустойчивость и др.

Специальная одежда, полученная из импортозамещающих тканей, должна поддерживать требуемую температуру в пододежном пространстве, нейтрализовать химические отравляющие вещества, обладать гигиеническими свойствами. Экипировка рабочего должна при этом оставаться легкой, не стесняющей движений. Реализовать подобный инновационный текстильный материал возможно в связи с разработкой наукоемких технологий в текстильное производство.

Так, сотрудниками Ивановской государственной текстильной академии установлено, что с помощью плазмы атмосферного давления в растворах электролитов осуществляется физико-химическое воздействие на поверхность полипропиленовой нити (ПП), при этом происходит ее упрочнение с 34 до 39 сН/текс [3]. Это же направление модификации ПП нити сравнивается с обработкой плазмой тлеющего разряда. Установлено, что плазмохимическая модификация волокна в растворе электролита является более мягкой, приводящей к переходу аморфной фазы ПП в α -кристаллическую [4]. В работе Петрова С.В. показано, что многокомпонентная химически активная плазма продуктов сгорания углеводородного газа с воздухом с уникальными транспортными и теплофизическими свойствами служит для напыления покрытий и обработки поверхности материалов специального назначения [5].

Низкотемпературная плазма тлеющего разряда является эффективным средством изменения свойств поверхности полимерных материалов. В тлеющем разряде обработка текстильных материалов осуществляется в зоне положительного столба и характеризуется постоянством напряженности электрического поля, его мощности и ровным свечением [6...9].

На сегодняшний день в качестве импортозамещающей технологии можно предложить плазменную технологию модификации арселоновой ткани с использованием потока неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) [10]. ННТП обра-

ботка обладает следующими преимуществами: эффективно и устойчиво изменяет поверхностные свойства образца, не ухудшает объемных (в том числе физико-механических) характеристик, не нагревает материал до температуры выше 50°C. Эффект наноструктурирования текстильных материалов с помощью потока ННТП зависит от природы плазмообразующего газа. В зависимости от состава газа, давления, длительности и напряжения разряда, природы материала можно менять следующие свойства: смачиваемость, относительную молекулярную массу, химический состав, микрошероховатость, устойчивость к усадке натуральных и синтетических волокон, диффузионная способность и др. [11].

Причинами ухудшения качества материалов для спецодежды строительной отрасли могут быть физические факторы, таковыми являются: движущиеся машины, механизмы или их части; вращающееся оборудование; внешний микроклимат (температура и влажность воздуха), электрический ток и вибрация и др. Менее интенсивное воздействие на материалы специальной одежды оказывают химические и биологические факторы, что зависит от условий работы сотрудников. Биологические факторы в основном зависят от внешних условий эксплуатации. Как правило, внешние условия эксплуатации – это внешние природные условия, а также внешние условия, созданные самим продуктом или внешними источниками. Изнашивание специальной одежды проявляется в основном в процессе эксплуатации и зависит от воздействия внешних факторов, от режимов эксплуатации и работы изделий.

Изменяя параметры разряда и вид плазмообразующего газа, можно управлять составом химически активных частиц и, следовательно, характером воздействия ННТП обработки на материал, используемый для производства швейного изделия специального назначения [10].

Метод получения экспериментальных образцов арселеновой ткани осуществ-

лялся на плазменной установке ВАТТ 1500 Р/Р ПЛАЗМА 3, которая предназначена для обработки рулонных тканей из натуральных и смесовых тканей в потоке ННТП пониженного давления в условиях вакуума. Данная установка является однокамерной установкой периодического действия. Питание установки осуществляется от сети переменного тока напряжением 380/220 В ± 5%, частотой 50 Гц. Объемная обработка текстильных материалов из арселеновых волокон осуществлялась при варьировании входных параметров плазменной установки, к которым относятся: мощность разряда (P_p)=0,2...2,0 кВт, расход плазмообразующего газа (G) от 0 до 0,08 г/с, давление в вакуумной камере (P) от 13 до 53 Па и время обработки (*) от 1 до 3 метров в минуту, мощность, потребляемая установкой ($P_{потр}$), от 1,0 до 5,0 кВт. В качестве плазмообразующего газа использовался азот.

Наноструктурирование арселеновой ткани проводилось следующим образом: рулон исходного материала устанавливался внутри вакуумной камеры и протягивался через перемоточные валы на приемный вал для перемотки рулонного материала и устанавливался между ВЧ-электродами в вакуумной камере, затем вакуумная камера закрывалась. При закрытии крышки вакуумной камеры с помощью откатной двери электроды устанавливались в рабочее положение. В камере создавалось низкое давление и происходила обработка в потоке неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления.

Арселеновые ткани, обработанные потоком ННТП пониженного давления, становятся малоусадочными, имеют повышенную прочность на разрыв и удлинение, повысился кислородный индекс и уровень равновесной влажности. Результаты экспериментов представлены в табл. 1 (основные показатели тканей из волокна Арселон после наноструктурирования ННТП пониженного давления).

Показатели тканей	Контрольный образец	Наноструктурированный в потоке ННТП при давлении в вакуумной камере, P_k (Па)			
		$P_k = 20$ Па	$P_k = 22$ Па	$P_k = 24$ Па	$P_k = 24$ Па
Разрывная нагрузка, Н, не менее:					
- основа	999	1050	1100	1020	960
- уток	618	750	850	710	602
Разрывное удлинение, % не менее:					
- основа	34	36	38	32	30
- уток	24	26	28	24	22
Кислородный индекс, не менее	28	30	32	28	28
Уровень равновесной влажности, %	10	10	12	10	8
Состав волокон, %	волокно Арселон 100				
Ширина, см	160				
Поверхностная плотность, г/м ²	240				
Переплетение	саржа, полотно				

Как видно из табл. 1, показатели тканей из волокна Арселон имеют высокие значения поверхностной плотности и разрывной нагрузки как по основе, так и по утку; обладают улучшенными механическими свойствами (разрывной нагрузкой и разрывным удлинением, трением, раздирающей нагрузкой и др.).

Из многообразных причин, приводящих к ухудшению свойств текстильных изделий специального назначения в процессе их эксплуатации, а в отдельных случаях, делающих невозможным дальнейшее использование изделий по назначению, стойкость (устойчивость) тканей к истиранию является основным фактором. Действительно, в процессе эксплуатации специальной одежды она разрушается в первую очередь там, где отдельные ее детали многократно соприкасаются с окружающими предметами или с тканью других участков этого же изделия. Наибольшей стойкостью к истиранию обладают ткани, которые состоят из волокон, имеющих высокую стойкость к многократным деформациям растяжения, изгиба, кручения и смятия, в том числе и высокую стойкость к истиранию, это натуральные волокна шерсть, лен, хлопок. Повышенной стойкостью к истиранию обладают, как правило, смешанные ткани из комплексных химических и натуральных нитей.

Величина стойкости к истиранию на изгибах и поверхности образцов технического материала Арселон измерялась в соответствии с ГОСТ 9913–90 "Материалы текстильные. Методы определения стойкости к истиранию" с помощью прибора типа МТ191 на контрольном образце и образце, наноструктурированном в потоке ННТП пониженного давления.

На основе проведенных исследований установлено, что после наноструктурирования образцов технического материала Арселон для специальной одежды стойкость к истиранию образцов увеличивается для всех материалов, используемых в качестве объектов исследования. Результаты исследований образцов технического материала Арселон для специальной одежды от параметров наноструктурирования в потоке ННТП пониженного давления: режим модифицирования: $G = 0,04$ г/с; $\tau = 1$ м/мин).

Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных в табл. 2, показал, что стойкость к истиранию образцов материалов для специальной одежды от параметров модифицирования в потоке "холодной" плазмы пониженного давления увеличивается относительно конт-

рольных образцов материалов "Премьер Комфорт 250" на 50,0%, "Премьер FR-350" – на 28,5%, "Парусина полульняная" – на

66,6%, а в ткани "Премьер Cotton 300" – в 1,2 раза.

Т а б л и ц а 2

Мощность разряда W_p , кВт	Стойкость к истиранию, циклы при давлении в вакуумной камере P_k (Па)			
	$P_k = 20$ Па	$P_k = 22$ Па	$P_k = 24$ Па	$P_k = 24$ Па
2,0	21 900	21 000	21 500	21 750
2,5	22 700	22 700	22 300	22 830
3,0	23 000	23 500	22800	22 910
3,5	23 400	23000	23 000	23 000
4,0	22 000	22 500	22 500	22 890
4,5	21 800	21 000	21 800	21 850
Контрольный образец	21 000			

Значения полученных показателей стойкости к истиранию образцов текстильных материалов зависят от вида и состава применяемых текстильных волокон, их строения, истираемой поверхности и режимов модифицирования потоком "холодной" плазмы пониженного давления. Увеличение стойкости к истиранию образцов после плазменного модифицирования происходит за счет конформационных изменений макромолекул целлюлозы, вследствие чего происходит усиление межмолекулярных водородных связей между гидроксильными группами, что приводит к уплотнению надмолекулярной структуры хлопковых волокон.

ВЫВОДЫ

Таким образом, используемые материалы для изготовления специальной одежды на основе применения метода модифицирования потоком "холодной" плазмы пониженного давления способны повысить их качество и безопасность труда работников строительных специальностей за счет улучшения комплекса механических характеристик, влияющих на эксплуатационные свойства готовых изделий.

При этом ткани "Премьер Комфорт 250" увеличили стойкость к истиранию на 50,0%, "Премьер FR-350" – на 28,5%, "Парусина полульняная" – на 66,6%, а в ткани "Премьер Cotton 300" – в 1,2 раза, а также увеличили прочностные свойства от 12 до 25% в зависимости от параметров моди-

фицирования в потоке "холодной" плазмы пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере $P_k=20...24$ Па и времени воздействия $\tau=2$ м/мин, $P_k=20...22$ Па, мощности разряда $W_p = 3,5...4,0$ кВт, расходом плазмообразующего газа $G_{Ar} = 0,04$ г/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рынок химических волокон и нитей в России. Текущая ситуация и прогноз 2020-2024 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://alto-group.ru/>
2. Ткань арселон. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <https://tkanchik.ru/tkani/tkan-arselon/>. 2020г.
3. Жердев В.П., Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Кузьмин С.М. Оценка эффективности способов физико-химической модификации поверхности синтетического волокна по электрооптическим эффектам в мезофазе // Изв. вузов: Химия и химическая технология. – 2007. Т. 50. Вып. 3. С.113...117.
4. Голубчиков О.А., Горнухина О.В., Агеева Т.А. и др. Влияние плазмоактивации на поверхностную структуру и прочностные характеристики полипропиленовой пленки //Пластические массы. – 2006, № 12. С. 7...9.
5. Петров С.В. Плазма продуктов сгорания в инженерии поверхности. – Киев, 2000.
6. Гильман А.Б., Пискарев М.С., Стариченко О.В., Шмакова Н.А., Яблоков М.Ю., Кузнецов А.А. Модификация пленок промышленного полипропилена в разряде постоянного тока // Сб. тр. – Иваново: Ивановский гос. хим-технол. ун-т, 2008. Т.2. С. 372...375.
7. Гильман А.Б., Пискарев М.С., Стариченко О.В., Шмакова Н.А., Яблоков М.Ю., Кузнецов А.А. Модификация пленок полипропилена в разряде постоянного тока // Химия высоких энергий. – 2008. Т.42. С. 368...371.

8. Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Дятко Н.А., Каральник В.Б., Кочетов И.В., Напартович А.П., Петряков А.В., Трушкин Н.И. Экспериментальные и теоретические исследования воздействия неравновесной низкотемпературной плазмы атмосферного давления на поверхность полимерных пленок // Сб. тр. – Иваново: Ивановский гос. хим-технол. ун-т, 2008. Т.2. С.372...375.

9. Шикова, Т.Г., Рыбкин В.В., Титов В.А., Чой Х.С. Взаимодействие активных частиц плазмы кислорода с полиэтиленом // Химия высоких энергий. – 2006. Т.40. №5. С. 396...400.

10. Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова Э.А., Матвеев Ю.Н. Разработка технологий производства модифицированных композиционных волокнистых материалов, применяемых в нефтехимическом и нефтеперерабатывающем комплексах. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2016.

11. Райзер Ю.П., Шнейдер М.Н., Яценко Н.А. Высокочастотный емкостной разряд. – М.: Наука. Физматлит, 1995. С.7...10.

REFERENCES

1. Rynok khimicheskikh volokon i nitey v Ros-sii. Tekushchaya situatsiya i prognoz 2020-2024 gg. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://altogroup.ru/>

2. Tkan' arselon. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa : <https://tkanchik.ru/tkani/tkan-arselon/>. 2020g.

3. Zherdev V.P., Prorokova N.P., Vavilova S.Yu., Kuz'min S.M. Otsenka effektivnosti sposobov fiziko-khimicheskoy modifikatsii poverkhnosti sinteticheskogo volokna po elektroopticheskim efektam v mezofaze // Izv. vuzov: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. – 2007. Т. 50. Вып. 3. S.113...117.

4. Golubchikov O.A., Gornukhina O.V., Ageeva T.A. i dr. Vliyanie plazmoaktivatsii na poverkhnostnyuyu

strukturu i prochnostnye kharakteristiki polipropileno-voy plenki //Plasticheskie massy. – 2006, № 12. S. 7...9.

5. Petrov S.V. Plazma produktov sgoraniya v inzhenerii poverkhnosti. – Kiev, 2000.

6. Gil'man A.B., Piskarev M.S., Starichenko O.V., Shmakova N.A., Yablokov M.Yu., Kuznetsov A.A. Modifikatsiya plenok promyshlennogo polipropilena v razryade postoyannogo toka // Sb. tr. – Ivanovo: Ivanovskiy gos. khim-tekhnol. un-t, 2008. Т.2. S.372...375.

7. Gil'man A.B., Piskarev M.S., Starichenko O.V., Shmakova N.A., Yablokov M.Yu., Kuznetsov A.A. Modifikatsiya plenok polipropilena v razryade postoyannogo toka // Khimiya vysokikh energiy. – 2008. Т.42. S. 368...371.

8. Akishev Yu.S., Grushin M.E., Dyatko N.A., Karal'nik V.B., Kochetov I.V., Napartovich A.P., Petryakov A.V., Trushkin N.I. Eksperimental'nye i teoreticheskie issledovaniya vozdeystviya neravnovesnoy nizkotemperaturnoy plazmy atmosfernogo davleniya na poverkhnost' polimernykh plenok // Sb. tr. – Ivanovo: Ivanovskiy gos. khim-tekhnol. un-t, 2008. Т.2. S.372...375.

9. Shikova, T.G., Rybkin V.V., Titov V.A., Choy Kh.S. Vzaimodeystvie aktivnykh chastits plazmy kisloroda s polietilenom // Khimiya vysokikh energiy. – 2006. Т.40. №5. S. 396...400.

10. Gaynutdinov R.F., Khammatova E.A., Matveev Yu.N. Razrabotka tekhnologiy proizvodstva modifitsirovannykh kompozitsionnykh voloknistykh materialov, primenyaemykh v neftekhimicheskoy i neftepererabatyvayushchem kompleksakh. – Kazan': Izd-vo KNIU, 2016.

11. Rayzer Yu.P., Shneyder M.N., Yatsenko N.A. Vysokochastotnyy emkostnoy razryad. – М.: Наука. Физматлит, 1995. С.7...10.

Рекомендована кафедрой дизайна. Поступила 30.10.20.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СВЯЗИ СИСТЕМЫ "РЕЗИНА-КАПРОНОВЫЙ ТЕКСТИЛЬНЫЙ КОРД"

WAYS TO INCREASE THE BOND STRENGTH OF THE SYSTEM "RUBBER-NYLON TEXTILE CORD"

Г.Ф. САГИТОВА¹, Г.З. ТУРЕБЕКОВА¹, Г.И. ИСАЕВ²,
Л. АБИЛХАЙМКЫЗЫ¹, М.Т. СИХИМБАЕВА¹, А.Б. АЛПАМЫСОВА²

G.F. SAGITOVA¹, G.Z. TUREBEKOVA¹, G.I. ISSAYEV²,
L. ABILHAIMKYZY¹, M.T. SIKHIMBAYEVA¹, A.B. ALPAMYSSOVA²

¹Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, Республика Казахстан,

²Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, Республика Казахстан)

(M. Auezov South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan,
South Kazakhstan State Pedagogical University, Republic of Kazakhstan)

E-mail: g.ture@mail.ru.

В статье показаны результаты исследований по возможности улучшения прочности связи между резиной и капроновым текстильным кордом. Слои обрешиненного текстильного корда используются в качестве каркаса при производстве автомобильных покрышек. Обрешиненный текстильный корд из капрона обладает рядом преимуществ по сравнению с кордом из натуральных волокон, но имеются значительные недостатки: вискозный корд обладает низкой прочностью сцепления с резиной. Для улучшения прочности связи резины с капроновым кордом предлагается использовать в пропиточном составе новый химический компонент – смолу ЭКС-20, полученную из отходов гидролизного производства. Результаты экспериментов показали, что прочность связи резин с капроновым кордом, обработанным пропиточным составом с ЭКС -20 при 120°С, на 32% выше, чем с капроновым кордом, обработанным обычным пропиточным составом. Полиамидные кордные нити являются наиболее прочным текстильным материалом, используемым в шинном производстве.

Таким образом, при изучении свойств и видов кордной технической ткани было выявлено, что их эксплуатационные свойства определяются составом пропитки для текстильных кордов и технических условий пропитки и термообработки капронового корда.

The article shows the results of studies on the possibility of improving the bond strength between rubber and nylon textile cord. Layers of rubberized textile cord are used as a frame in the production of automobile tires. Rubberized textile cord made of nylon has a number of advantages compared to the cord made of natural fibers, but there are significant drawbacks: viscose cord has low adhesion strength to rubber. To improve the bond strength of rubber with nylon cord, it is proposed to use a new chemical component resin EX-20, obtained from the waste of hydrolysis production, in the impregnation composition. The results of the experiments showed that the bond strength of rubbers with nylon cord treated with impregnation composition with EX-20 at 120°C is 32% higher than with nylon cord treated with conventional impregnation composition. Polyamide cord threads are the most durable textile material used in tire production.

Thus, when studying the properties and types of cord technical fabric, it was revealed that their performance properties are determined by the composition of impregnation for textile cords and technical conditions of impregnation and heat treatment of nylon cord.

Ключевые слова: шины, пропиточные составы, капроновый корд, резинорезинные детали, эпоксисилитановая смола (ЭКС), прочность сцепления, функциональные группы, каучук, адгезия, эластомерная матрица.

Keywords: tires, impregnation compositions, nylon cord, rubber cord parts, epoxy saltine resin (EX), adhesion strength, functional groups, rubber, adhesion, elastomeric matrix.

Корд является конструкционным материалом шин и резиновых технических изделий, воспринимающих нагрузки, поэтому выносливость изделий в эксплуатации в значительной степени определяется как комплексом физико-механических свойств корда, так и прочностью связи между кордом и резиной.

Комплекс характеристик полиэфирных волокон делает их перспективным материалом для корда, применяемого в каркасе легковых и легкогрузовых шин. Во всем мире продолжается рост применения в каркасе легковых радиальных шин полиэфирного корда разных марок на основе полиэтилентерефталата.

Недостаток полиэфирного корда заключается в том, что его невозможно обрабатывать обычными латексно-резорцинформальдегидными составами без предварительной химической модификации волокон, поэтому для достижения высокой адгезии необходима либо поверхностная модификация полиэфирного корда, либо разработка и использование новых адгезивов.

Повышение адгезионной прочности достигается за счет их химической или физической обработки. Несмотря на большое количество работ в этой области, до сих пор не найдены оптимальные условия обработки, позволяющие повысить адгезию корда к резине. В связи с этим перспективным является использование в пропиточном составе нового химического компонента – смолы ЭКС-20, полученной из отходов гидролизного производства.

Известны различные типы модификаторов, улучшающих адгезионные свойства

резин. Модификаторы, диффундируя из резины в граничные области адгезивов, могут оказывать влияние на их свойства. Поэтому применение новых модификаторов в обкладочных резинах может потребовать новых подходов к рецептуростроению адгезивов. Это обуславливает необходимость дальнейшего развития представлений о свойствах граничных областей.

Сегодня резинотекстильные изделия – это широкий класс самых необходимых изделий в нашей жизни и технике. Они включают большое число разных видов, в том числе следующие:

- автомобильные, авиационные и другие виды шин;
- передаточные элементы устройств для перемещения различных материалов (конвейерные ленты, рукава, шланги);
- гибкие тяговые связи передач (приводные ремни, гусеничные ленты и др.);
- воздухо- и водоплавательные средства (аэростаты, надувные лодки, плоты, понтоны и др.);
- устройства безопасности в авто- и авиатранспорте (надувные трапы, подушки безопасности и др.);
- пневматические строительные конструкции (сборно-разборные промышленные, сельскохозяйственные, общественные и жилые здания и сооружения и др.), а также надувная мебель;
- средства защиты человека (костюмы, фартуки) и многие другие.

Особенностью резинотекстильных изделий является то, что они почти всегда создаются как конструкции, и их в большинстве случаев получают путем соединения

текстильного армирующего наполнителя и резиновых заготовок с последующей вулканизацией [1...3].

Резинотекстильные изделия в основном работают в условиях преимущественного воздействия растягивающих нагрузок; они легко деформируются также при воздействии изгибающих или сжимающих нагрузок. В резинотекстильных материалах основным структурным элементом являются нити или системы нитей. Нити могут состоять из волокон (пряжа) или являться непрерывными химическими нитями. Входящие в их состав волокна или элементарные нити (филаменты) объединены в единый структурный элемент путем обязательной крутки и пропитаны связующим резиновым компонентом. Важнейшим условием армирования резинотекстильных материалов и изделий является низкое значение модуля деформации матрицы (резины) по сравнению с нитями $E_m \ll E_n$.

Резинотекстильные изделия представляют собой специально созданные изделия – конструкции с заданным расположением волокнистого наполнителя в направлении растягивающих нагрузок и находящихся между ними слоев резины. Слои резины вследствие малого модуля деформации и высокой деформативности почти не препятствуют изгибающим и сжимающим нагрузкам.

Наиболее распространенным техническим текстильным материалом, используемым в производстве шин, является корд. Для резино-тканевых изделий ответственного назначения (тяжелые автомобильные, авиационные и некоторые другие виды шин) наиболее пригоден корд из полиамидных волокон (капроновый корд). Корд – плотная, особо прочная ткань, применяемая при изготовлении автопокрышек. Корд используют преимущественно в производстве шинных покрышек. Корд отличается от обычных тканей тем, что основа его состоит из нитей двойного кручения, а уток – из обыкновенной некрученой пряжи. Редкий уток служит только для связи нитей основы и сохранения равномерности их расположения при обрезинивании. Таким образом, основа кордной технической ткани

принимает на себя большую часть нагрузки, испытываемой покрышкой. Это очень важно, именно шины обеспечивают безопасность, комфорт езды, управляемость и проходимость.

Снаружи автомобильная резина делится на такие элементы: протектор – главная рабочая часть ската автомобиля, который расположен на поверхности – диаметра снаружи. От особенностей протекторного рисунка зависит назначение резины в зависимости от погодных условий, ее проходимость и скоростные характеристики. Протекторный рисунок выполнен из чередующихся между собой блоков и канавок (ламелей); боковина или плечо – находится сбоку шины. Устройство автомобильной шины, рассчитанной на преодоление бездорожья, включает в себя дополнительный боковой протектор, расположенный на плече колеса, посадочный бортик – круговое утолщение – которое проходит вдоль внутреннего диаметра. Бортик "заправляется" под изогнутость края диска. Такое устройство шины автомобиля позволяет хорошо зафиксировать покрышку на диске колеса. Каркас шины – выполнен на тканевой основе. Он изготавливается из специальной прорезиненной нити корда. Нитяные слои чередуются с прослойками резины, которые называются сквиджами. Высокая динамическая нагрузка требует от шины гибкости. В матрицу резины, которая придает шине форму и работает одновременно как эластичная оболочка, вводится каркас повышения прочности. Он воспринимает действующие на шину нагрузки.

Основными требованиями к каркасу являются:

- прочность;
- стабильная размерность (высокий модуль, – низкая усадка);
- усталостная прочность;
- прочность связи с другими деталями покрышки (протектор, бреккерный пояс);
- устойчивость к высоким температурам при эксплуатации.

Образование адгезионного соединения начинается с приведения в контакт его элементов, при этом происходит смачивание и растекание адгезива на поверхности суб-

страта, что способствует образованию молекулярного контакта. В зоне контакта между молекулами адгезива и субстрата действуют дисперсионные силы с образованием и других молекулярных связей. Вследствие молекулярного контакта под действием тепла при наличии в эластомерной матрице адгезива функциональных групп, способных к реакциям с функциональными группами субстрата, образуются химические связи. Образующееся адгезионное соединение характеризуется определенной прочностью (статической и динамической или усталостной), зависящее от механических и усталостных свойств граничных (переходных) слоев. Для обеспечения высокой адгезионной прочности необходимо, чтобы механические и усталостные свойства переходных слоев приближались к соответствующим характеристикам монолитной резины. Упругоэластические свойства переходных слоев должны быть промежуточными между соответствующими характеристиками адгезива и субстрата для того, чтобы свести их деформацию до минимума. При этих условиях разрушение композита будет проходить по массиву адгезива или субстрата (когезионный характера разрушения). Если субстрат имеет сильно расчлененную поверхность, как, например, кордная нить, свитая из многих тонких ниточек (стенг) или проволочек, то для достижения высокой прочности композита очень большое значение имеют реологические свойства. Для достижения молекулярного контакта необходимо, чтобы резиновая смесь в короткий промежуток времени при прохождении кордной ткани зазор каландра прошла внутрь кордной нити и вытеснила оттуда воздух и влагу [2].

Полиамидные кордные нити являются наиболее прочным текстильным материалом, используемым в шинном производстве. Благодаря высокой прочности полиамидного (капронового) корда, удается изготовить нейлоновую шину, по прочности не уступающую вискозной, но такая шина легче вискозной, имеет высокую ударную прочность и способна выдерживать большие пробеги. Сравнительные испытания грузовых шин, изготовленных из вискоз-

ного и капронового кордов, на очень плохих дорогах показали, что с применением последнего пробег шин увеличивается примерно в 1,5 раза. Кордные нити, изготовленные из капрона, обладают высокой прочностью. Он отличается легкостью (плотность 1,14 г / см³) и высокой усталостной прочностью. При увлажнении он мало понижает свою прочность, сохраняя 87% исходной прочности. Капроновые кордные нити выдерживают более значительные динамические деформации по сравнению с вискозным кордом, так как он отличается высокой упругостью, низким модулем и большим разрывным удлинением [3...5], [8]. Капроновые кордные нити, обладающие хорошим сопротивлением ударным нагрузкам, применяются в грузовых шинах больших размеров, работающих в тяжелых дорожных условиях, и в легковых шинах высокого класса. Высокая разрывная прочность капронового корда дает возможность уменьшить толщину каркаса и, следовательно, теплообразование в шине, определяет перспективность этого корда для шин на основе синтетических каучуков. Эти нити наряду с достоинствами, которые рассмотрены выше, имеют такие недостатки, как ползучесть, изнашиваемость, повышенная усадка при высоких температурах. В процессе эксплуатации увеличиваются размеры изделия. Это вызывает дополнительное напряжение в резине, что приводит к образованию трещин и преждевременной порче изделий [6], [7], [9].

Однако капрону свойственны недостатки, к которым в первую очередь относятся низкий модуль упругости, малая теплостойкость и недостаточная стабильность размеров. А также недостатком капронового корда является повышенная изнашиваемость его в процессе эксплуатации шин, которая частично устраняется специальной горячей вытяжкой корда при пропитке и вытяжкой сырых покрышек при вулканизации, а также охлаждением шин под давлением после вулканизации. В результате изучения характеристик и особенностей кордных нитей, выявлены их преимущества и недостатки в зависимости от сырьевого состава. Использование полиамидных

нитей обеспечивает повышенную износостойчивость шин, стабильность их размеров и вследствие этого мягкую бесшумную езду. Капроновые кордные нити обладают хорошим сопротивлением ударным нагрузкам, что дает возможность применять их в грузовых шинах больших размеров, работающих в тяжелых дорожных условиях, и в легковых шинах высокого класса [10]. Свойства кордной технической ткани определяются также и способом их переплетения. Строение ткани определяется взаимным расположением продольных (основа) и поперечных (уток) нитей, видом и толщиной основных и уточных нитей, числом нитей по основе и утку, приходящимся на единицу длины ткани, видом переплетения нитей в ткани. При изменении толщины нитей основы или утка изменится и их изгиб в ткани, что приведет к изменению строения ткани, а следовательно, и к изменению ее физико-механических свойств [11]. Полот-

няное переплетение технических тканей является одним из наиболее простых и распространенных. Технические ткани полотняного переплетения имеют ровную матовую поверхность и одинаковый внешний вид лицевой и изнаночной сторон. При большой разнице в линейной плотности основной и уточной пряжи в ткани полотняного переплетения образуются продольные или поперечные рубчики [12]. Кордные технические ткани для изготовления шин имеют чаще всего полотняное переплетение с основой из крученых кордных нитей различной линейной плотности (обычно используются нити в интервале линейных плотностей 125...500 текс) и очень редким утком из тонких нитей (около 15...25 текс). Такая конструкция кордных тканей обусловлена конструкцией каркаса шин, в котором механические напряжения должны действовать в направлении нитей основы [13],[14].

Т а б л и ц а 1

Пропиточный состав (масс. ч.)	20°С		120°С	
	резина на основе НК	резина на основе СКИ-3	резина на основе НК	резина на основе СКИ-3
Контрольный пропиточный состав	9,5	7,4	8	7,3
Пропиточный состав с ЭКС-20 (1,0)	11,3	9,7	9,7	7,9
Пропиточный состав с ЭКС-20 (2,5)	12,9	12,8	10,9	10
Пропиточный состав с ЭКС-20 (4,0)	14	12,6	14,1	10,9
Пропиточный состав с ЭКС-20 (5,5)	13,9	11	11,8	9,9

Резиновая смесь легко взаимодействует с функциональными группами пропитанного капронового корда. Интенсивность химического взаимодействия смолы и продуктов ее термохимических превращений с карбоцепными эластомерами (СКИ, СКД, БСК) относительно невелика. После введения в пропиточный состав смолы ЭКС-20 прочность связи в резинокордных системах существенно возрастает за счет функциональных амидных, эпoxисилитановых групп, входящих в состав ЭКС-20 (табл. 1 – прочность связи резин с капроновым кордом 23К, пропитанным различными соста-

вами, Н-метод, Н). Существенное замедление снижения прочности связи в указанных системах при повышении температуры испытания, а также после набухания в парах бензола или утомления подтверждает увеличение концентрации химических связей на границе резины с кордом. Несколько больший уровень прочности связи в резинокордных системах при применении натурального каучука в сравнении с СКИ-3 при применении в пропиточном составе ПАВ ЭКС-20 объясняется также увеличением концентрации химических связей в межфазной границе за счет взаимодействия по-

лимера с функциональными кислородсодержащими (карбокисильными, гидроксильными) группами. Неодинаковая концентрация химических связей на межфазной границе, вероятно, связана из-за различия в прочности связи при введении в пропиточный состав смолы и латекса. Поэтому корреляцию между содержанием гель-фракции, образующейся при прогреве каучука СКИ-3, и прочностью связи в резинокордной системе с капроновым кордом также можно объяснить различной скоростью взаимодействия молекул пропиточного состава с каучуком обкладочной смеси.

Наибольший эффект повышения прочности связи при введении ЭКС-20 достигается при дозировке 5,5 масс. ч. По-видимому, химические связи, образующиеся при взаимодействии эпоксисилитановой смолы и макромолекулами эластомера, относительно стабильны.

ВЫВОДЫ

Положительное влияние на прочность связи резин с волокнами оказывает замена в пропиточных составах смолы на ЭКС-20. Прочность связи резин с капроновым кордом, обработанным пропиточным составом с ЭКС-20 при 120°C, на 32% выше, чем с капроновым кордом, обработанным обычным пропиточным составом. Наиболее высокие прочностные свойства резинокордных систем в каркасе покрышки достигаются при образовании спектра вулканизационных и межфазных связей различной энергии. По-видимому, аналогично можно объяснить часто наблюдаемый эффект синергизма при применении ЭКС-20 с различными типами функциональных групп, а также при сочетании продуктов, улучшающих смачивание резиновой смесью субстрата и текучесть смеси с соединениями, образующими химические связи.

Таким образом, при изучении свойств и видов кордной технической ткани было выявлено, что их эксплуатационные свойства определяются составом пропитки для текстильных кордов и технических условий пропитки и термообработки капронового корда.

1. Особенности устройства шины автомобиля разных типов. Автомобильный информационный сайт: полезные статьи и новости о машинах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://365cars.ru/remont/ustroystvo-shinyiavtomobilya.html>

2. Корд. Технический словарь. Том IV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ai08.org/index.php/term>

3. Сакибаева С.А., Ескараева Г.З., Тасанбаева Н.Е., Белоусов В.А., Сагитова Г.Ф., Пак Н.В., Бейсенбаев О.К. Резиновая смесь // Пред. патент. По заявке № 2000/1309.1

4. Сакибаева С.А., Ескараева Г.З., Тасанбаева Н.Е., Белоусов В.А., Сагитова Г.Ф., Пак Н.В., Бейсенбаев О.К. Резиновая смесь // Патент. По заявке №2000/1309.1

5. Сатаев И.К., Сакибаева С.А., Сагитова Г.Ф. О применении ПАВ серии "Унифлор", "ЭПАН" в резиновой промышленности // Наука и образование Южного Казахстана. – 2002, №28. С.34...36.

6. Джакипбекова Н.О., Туребекова Г.З. Применение поверхностно-активных веществ (ПАВ) из отходов для активации минеральных наполнителей // Наука и образование Южного Казахстана. – 2006, №2(52). С.62...64.

7. Сагитова Г.Ф., Джакипбекова Н.О., Туребекова Г.З. Снижение техногенной нагрузки при получении изолирующего состава путем применения минеральных наполнителей // Мат. III Междунар. науч.-практич. конф.: Актуальные проблемы современных наук: теория та практика – 2006, 16-30 июня. – Днепропетровск. Т.2. С.69...73.

8. Гарцева Л.А., Васильев В.В. Химическая технология текстильных материалов. – Рязань: Филиал ИГТА, 2004.

9. Большой справочник резинщика. Ч.2. Резины и резино-технические изделия /Под ред. С.В.Резниченко, Ю.Д.Морозова. – М.: ООО "Издательский центр "Техинформ" МАИ", 2012.

10. Новопольцева О.М., Каблов В.Ф., Кракин М.А. Материалы и создание рецептур резиновых смесей для шинной и резинотехнической промышленности. – Волгоград: ВолгГТУ, 2009.

11. Гришин Б.С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных). – Изд. КГТУ, 2010.

12. Мырхалыков Ж.У., Туребекова Г.З., Сагитова Г.Ф., Сакибаева С.А. Возможности повышения адгезии резины к текстильному корду из искусственных волокон // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №1. С. 49...53.

13. Корд. Кордная ткань [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>

14. Туребекова Г.З., Сагитова Г.Ф., Сакибаева С.А., Наукенова А.А., Пусурманова Г.Ж. Пути повышения прочности связи системы резина - вискозный текстильный корд // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №3. С. 67...70.

REFERENCES

1. Osobennosti ustroystva shiny avtomobilya raznykh tipov. Avtomobil'nyy informatsionnyy sayt: poleznye stat'i i novosti o mashinakh [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://365cars.ru/remont/ustroystvo-shinyavtomobilya.html>
2. Kord. Tekhnicheskii slovar'. Tom IV [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.ai08.org/index.php/term>
3. Sakibaeva S.A., Eskaraeva G.Z., Tasanbaeva N.E., Belousov V.A., Sagitova G.F., Pak N.V., Beysenbaev O.K. Rezinovaya smes' // Pred. patent. Po zayavke № 2000/1309.1
4. Sakibaeva S.A., Eskaraeva G.Z., Tasanbaeva N.E., Belousov V.A., Sagitova G.F., Pak N.V., Beysenbaev O.K. Rezinovaya smes' // Patent. Po zayavke №2000/1309.1
5. Sataev I.K., Sakibaeva S.A., Sagitova G.F. O primeneniі PAV serii "Uniflok", "EPAN" v rezinovoy promyshlennosti // Nauka i obrazovanie Yuzhnogo Kazakhstana. – 2002, №28. С.34...36.
6. Dzhakipbekova N.O., Turebekova G.Z. Prime-nenie poverkhnostno-aktivnykh veshchestv (PAV) iz ot-khodov dlya aktivatsii mineral'nykh napolniteley // Na-uka i obrazovanie Yuzhnogo Kazakhstana. – 2006, №2(52). С.62...64.
7. Sagitova G.F., Dzhakipbekova N.O., Turebekova G.Z. Snizhenie tekhnogennoy nagruzki pri poluchenii izoliruyushchego sostava putem primeneniya mineral'nykh napolniteley // Mat. III Mezhdunar. nauch.-prak-tich. konf.: Aktual'ni problemi suchastnikh nauk: teoriya ta praktika – 2006, 16-30 chervnya. – Dnepropetrovsk. T.2. S.69...73.
8. Gartseva L.A., Vasil'ev V.V. Khimicheskaya tekhnologiya tekstil'nykh materialov. – Ryazan': Filial IGTA, 2004.
9. Bol'shoy spravochnik rezinshchika. Ch.2. Reziny i rezinotekhnicheskie izdeliya /Pod red. S.V.Rez-nichenko, Yu.D.Morozova. – M.: ООО "Izdatel'skiy tsentr "Tekhinform" MAI", 2012.
10. Novopol'tseva O.M., Kablov V.F., Krakshin M.A. Materialy i sozdanіe retseptur rezinovykh smesey dlya shinnoy i rezinotekhnicheskoy promyshlennosti. – Volgograd: VolgGTU, 2009.
11. Grishin B.S. Materialy rezinovoy promyshlennosti (informatsionno-analiticheskaya baza dannyykh). – Izd. KGTU, 2010.
12. Myrkhalykov Zh.U., Turebekova G.Z., Sagitova G.F., Sakibaeva S.A. Vozmozhnosti povysheniya adgezii reziny k tekstil'nomu kordu iz iskusstvennykh volokon // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015, №1. S. 49...53.
13. Kord. Kordnaya tkan' [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org>
14. Turebekova G.Z., Sagitova G.F., Sakibaeva S.A., Naukenova A.A., Pusurmanova G.Zh. Puti povysheniya prochnosti svyazi sistema rezina - viskoznyy tekstil'nyy kord // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №3. S. 67...70.

Рекомендована кафедрой нефтепереработки и нефтехимии. Поступила 22.01.20.

УДК 641. 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРОТКИХ ОБРЕЗИНЕННЫХ КОРДНЫХ ВОЛОКОН НА СВОЙСТВА РЕЗИНЫ ДЛЯ ПОДРЕЛЬСОВЫХ ПРОКЛАДOK

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SHORT RUBBER CORD FIBERS ON THE PROPERTIES OF RUBBER FOR UNDER-RAIL GASKETS

*Г.Ф. САГИТОВА, В.М. ДЖАНПАИЗОВА, А.Е. АРИПБАЕВА,
Л. АБИЛХАЙМКЫЗЫ, М.Т. СИХИМБАЕВА, С.М. КОНЬСБЕКОВ*

*G.F. SAGITOVA, V.M. JANPAIZOVA, A.E. ARIPBAEVA,
L. ABILHAIMKYZY, M.T. SIKHIMBAYEVA, S.M. KONYSBEKOV*

(Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан)

(M. Auezov South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan)

E-mail: vasmir1@mail.ru

В статье представлены результаты исследования обрeзинeнных текстильных кордов отходов шинного производства, как источника волоконистых наполнителей. Вторичная переработка отходов, таких как изношенные шины, не пригодные для рекуперации, изношенные ездовые и варочные

камеры, отработанные диафрагмы, изношенные конвейерные ленты, приводные ремни и другие изделия, позволяет получать дешевые волокнистые наполнители для резин. Для снижения стоимости подрельсовых прокладок изучено влияние концентрации кордных обрезиненных волокон на свойства резин. Результаты анализа показателей свойств резин и подрельсовых прокладок показывают, что значительное увеличение содержания резиноволокнистого наполнителя оказывает неоднозначное влияние на их физико-механические характеристики. Установлено, что увеличение концентрации резинокордного наполнителя более 40% от массы вызывает ухудшение свойств резиновых смесей и прокладок, что связано с ориентацией коротких волокон при обработке резиновых смесей образца заготовки как для испытаний, так и для прокладок.

The article presents the results of the study of rubberized textile cords waste tire production as a source of fibrous fillers. Recycling of waste such as worn tires, not suitable for recovery, worn riding and cooking chambers, spent diaphragms, worn conveyor belts, drive belts and other products, allow to obtain cheap fibrous fillers for rubber. To reduce the cost of sub-rail gaskets, the influence of the concentration of cord rubber fibers on the properties of rubbers was studied. The results of the analysis of indicators of properties of rubbers and under-rail gaskets show that a significant increase in the content of rubber-fiber filler has an ambiguous effect on their physical and mechanical characteristics. It was found that an increase in the concentration of rubber-cord filler more than 40% by weight causes a deterioration in the properties of rubber mixtures and gaskets, which is associated with the orientation of short fibers in the processing of rubber mixtures of the workpiece sample, both for testing and for gaskets.

Ключевые слова: волокна, свойства, отходы, корд, переработка, резинокордный наполнитель, прокладка.

Keywords: fibers, properties, waste, cord, recycling, rubber cord filler, gasket.

В процессе производства резиновых изделий и при эксплуатации образуется большое количество разнообразных отходов, содержащих ценное полимерное сырье: резину и волокна, которые после соответствующей обработки можно использовать в качестве сырья или как готовую продукцию.

Резиновая промышленность относится к группе производств, занимающихся механической и механохимической переработкой сырья и материалов. Отходами производства резиновых изделий являются остатки сырья, материалов и полуфабрикатов, образующихся в процессе изготовления продукции, не полностью утратившие свое качество, но не соответствующие стандартам.

По составу полимерные отходы резинового производства делятся на резиновые, резинотекстильные, резинометаллические и текстильные. По степени вулканизации, определяющей технологические свойства отходов как вторичных материальных ресурсов, – на невулканизованные и вулканизованные.

Резиновые невулканизованные (и частично вулканизованные) отходы – это резиновые смеси, не пригодные для использования по прямому назначению. К ним относятся подвулканизованные резиновые смеси (в виде бесформенных кусков), образующиеся как брак при изготовлении и обработке (вальцевании, каландровании, профи-

лировании) резиновых смесей, обрезки и остатки резиновых смесей после раскроя и вырубки заготовок изделий.

Резиновые вулканизированные отходы образуются, как правило, при вулканизации и отделке готовой продукции в виде выпрессовок, шлифовальной пыли и обрезков. Форма отходов зависит от технологического процесса или операции, при которых они получаются.

Резинотекстильные невулканизированные отходы – обрезки и остатки обрезаемого корда и прорезиненных тканей, образующиеся при изготовлении заготовок изделий. Они представляют собой обработанные различными латексно-смоляными и резиновыми составами кордные, кордтканевые, тканевые материалы на основе природных и химических волокон, таких как вискозное, хлопковое, полиамидное, полиэфирное и др. По внешнему виду это куски шириной до 1,5 м различной длины.

Резинометаллические отходы образуются при обрезке металлокорда и проволоки и изготовлении из них заготовок для сборки покрышек в шинном производстве. Они содержат компоненты резиновых смесей и соответствующую металлическую часть в виде различных по длине остатков стального латунированного троса диаметром до 1,45 мм и стальной латунированной или омедненной проволоки диаметром 1 мм.

К отходам потребления относятся различные изношенные изделия и отработанные материалы, образующиеся в процессе потребления продукции. В эту группу отходов, являющуюся наиболее массовой, входят изношенные шины, не пригодные к восстановлению, изношенные ездовые и варажные камеры, отработанные диафрагмы, дорны, изношенные конвейерные ленты, приводные ремни и другие изделия.

Резиноволокнистые системы как конструкционные материалы широко используются для производства шин и других резинотехнических изделий. Особый интерес представляют композиты с короткими волокнами. Короткие волокна выполняют те же армирующие функции, что и длинные нити корда: они способны увеличивать

жесткость, прочность и сопротивление ползучести композитных материалов [1], [2].

Основным преимуществом резиноволокнистых композитов с короткими волокнами по сравнению с резинордными системами является возможность существенного снижения трудоемкости изготовления изделий, то есть создания на их основе малооперационного технологического процесса [3].

Степень приближения армирующего действия коротких волокон к действию направленных нитей корда зависит от величины адгезии между резиновой матрицей и поверхностью волокон, их ориентации в изделии и сохранения геометрических размеров в процессе переработки.

Решающую роль в передаче усилий от волокна к волокну через резиновую матрицу играет образование химических связей на границе раздела. Более высокая адгезионная прочность на границе резиновой матрицы с волокном уровень статической прочности резиноволокнистого композита повышается эффективность армирующего действия короткого волокна.

Тип каучука резиновой матрицы изменяет уровень статической прочности композита не более чем на 10...15%, что связано с качеством распределения волокон [4], [5].

Наибольшее применение для рельсовых скреплений железнодорожных путей находят резиновые прокладки, которые обеспечивают эффективное гашение вибраций, продольное сопротивление смещению рельсов, снижение динамических нагрузок и электроизоляцию.

Резиноволокнистые композиты являются перспективными материалами для этих изделий. Поэтому целью данной работы было изучение влияния резиноволокнистых наполнителей на свойства подрельсовых прокладок для железнодорожных путей.

В качестве резиноволокнистого наполнителя использовали измельченные отходы обрезаемого полиамидного корда шинного производства. Как известно, высокопрочный полиамидный корд для каркаса шин обрезаются смесью на основе кау-

чука СКИ-3 с полуактивным техническим углеродом N550 и содержит систему модификаторов адгезии. Это обеспечивает высокую прочность как самой резины, так и высокий уровень адгезии резины с кордом [6], [7].

Обрезиненный текстильный корд измельчают следующим образом: брикеты корда, распиленные пилой на пластины толщиной не более 30 мм, измельчают на роторном измельчителе "Шинорез". И затем корд пропускают через дробилку XPZ-800 с зазором между подвижными и неподвижными ножами (1,0...1,5) мм. Этим достигали необходимую длину кордных волокон.

В табл. 1 представлен состав резиновой смеси с содержанием резиноволокнистого наполнителя (РВН) 20 % масс., которую использовали как эталон сравнения и изготавливали в резиносмесителе РСВД 250-30.

Резиновую смесь изготавливали в две стадии. На первой стадии изготавливали маточную смесь, на второй – вводили в маточную смесь вулканизующий агент, ускоритель вулканизации и модификатор: серу, этилцимат и N.N/- дитиодиморфолин. Полуэффективная серная вулканизующая система обеспечивает необходимую степень вулканизации и высокую стойкость к тепловому старению [8], [9].

Т а б л и ц а 1

Наименование материала	Масс. доли, %
Каучук СКМС-30АРКМ-15	35,87
Углерод технический П803	17,94
Мел	17,93
Белила цинковые	1,79
Битум нефтяной	3,59
Масло ПН-6ш	1,79
РВН	19,73
Сантогард РVI	0,03
Стеариновая кислота	0,36
N.N/-дитиодиморфолин	0,43
Сера	0,18
Этилцимат	0,36
Итого	100,00

В резиновую смесь с содержанием РВН 20 % масс. на дробильных вальцах вводили РВН для получения образцов с разной концентрацией. Для исследований были получены резиновые смеси с содержанием РВН 30, 35, 40, 65, 70 % масс. Режим обработки подбирался таким образом, чтобы размер волокон и качество их распределения были постоянными.

Подготовку и вулканизацию образцов, а также их испытания проводили в соответствии с нормативно-технической докумен-

тацией (табл. 2) на данные виды испытаний.

В табл. 2 приведены результаты испытаний вулканизатов, содержащих 20% масс. РВН.

Сравнение показателей с нормами, заложенными в нормативно-технической документации на подрельсовые прокладки для железнодорожных путей, показывает, что резина с 20 масс. % РВН соответствует нормам по всем показателям.

Т а б л и ц а 2

Наименование показателя	Условная прочность при растяжении, МПа, (ГОСТ 270–75, Тип 1)	Относительное удлинение при разрыве, %, (270–75, Тип 1)	Твердость по Шору А, ед. Шор А, (ГОСТ 263–75)	Плотность, кг/м ³ , (ГОСТ 267–73)	Удельное объемное сопротивление, Ом×см, (ГОСТ 9.030–74 (метод А).)
Норма по НД	Не менее 4,0	Не менее 40	65...80	1270±30	Не менее 1·10 ⁹
Значение	4,5	191	72	1291	4,8·10 ¹³

Из полученной смеси были изготовлены прокладки. Результаты физико-механических испытаний прокладок приведены в табл. 3. Прокладки были свулканизованы

по следующему режиму: температура $(165\pm 5)^\circ\text{C}$, давление 150 МПа, продолжительность 13 мин.

Т а б л и ц а 3

Наименование показателя	Норма по НД	Значение
1. Условная прочность при растяжении, МПа	Не менее 4,0	4,54
2. Относительное удлинение при разрыве, %	Не менее 40,0	239
3. Твердость по Шору А, усл. ед.	65...90	73
4. Удельное объемное сопротивление для прокладок, применяемых для железобетонных шпал, Ом×см	Не менее $1 \cdot 10^9$	$2,7 \cdot 10^{13}$
5. Изменение массы после воздействия агрессивной среды в течение (24 ± 1) ч, при температуре $(23\pm 2)^\circ\text{C}$, %, (ГОСТ 9.030–74 (метод А): – СЖР-3 – воды	от –1 до 7 от 0 до 0,5	6,0 0,1
6. Плотность, кг/м ³	1270 ± 30	1291
7. Изменение свойств прокладок после теплового старения:		
– по условной прочности при растяжении, %	± 20	+4
– по относительному удлинению при разрыве, %	± 20	–15
– по твердости по Шору А, %	± 20	+3

Как видно из табл. 3, все физико-механические показатели прокладок соответствуют нормам нормативно-технической документации на подрельсовые прокладки.

Данные по влиянию концентрации РВН на прочность и относительное удлинение при растяжении резин приведены на рис. 1 и 2.

Как видно из рис. 1 (зависимость условной прочности резин от содержания резиноволокнистого наполнителя), благодаря введению в резиновую смесь резиноволокнистого материала, условная прочность при растяжении возрастает с повышением его содержания в резиновой смеси.

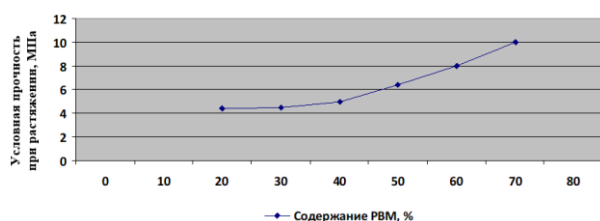


Рис. 1

Относительное удлинение при разрыве с повышением содержания резиноволокнистого материала уменьшается (рис. 2 – зависимость относительного удлинения при растяжении резин от содержания резиноволокнистого наполнителя). При содержании корда 70 % значение относительного удлинения очень близко к пограничному значе-

нию. При содержании корда менее 40 % все значения соответствуют требованиям.

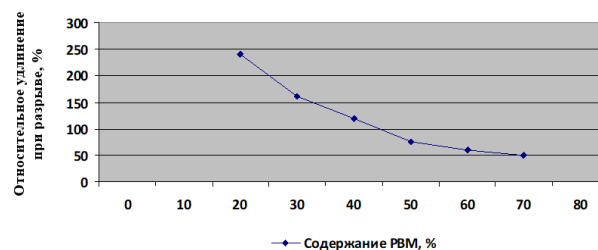


Рис. 2

Изменение ряда показателей свойств подрельсовых прокладок по сравнению с показателями, определяемыми для резин, связано, вероятно, с разностью в условиях изготовления образцов для испытаний, которые не учитывают ориентацию волокон при вальцевании ("каландровый" эффект).

Удельное объемное сопротивление электрическому току прокладок уменьшается с увеличением содержания РВН с $2,7 \cdot 10^{13}$ Ом×см (при содержании РВН 20%) до $4,0 \cdot 10^7$ Ом×см (при содержании РВН 70 %). Это можно объяснить тем, что у РВН сопротивление электрическому току меньше, чем у резины, и с уменьшением содержания резины сопротивление электрическому току пропорционально уменьшается. При увеличении содержания корда до 65...70% прокладки не соответствуют по

этому показателю требованиям НД (не менее $1 \cdot 10^9$ Ом \times см).

Набухание в агрессивных средах (СЖР-3 и воде) повышается с увеличением содержания РВН.

Показатель "изменение массы после воздействия агрессивной среды" в СЖР-3 соответствует нормам (от -1 до 7%) только при содержании корда 20%. Очевидно, это связано с увеличением количества торцевых срезов волокон на поверхности образцов и, следовательно, с увеличением площади контакта волокно-агрессивная среда. Набухание в воде при концентрациях до 40% не превышает нормы, так как используемый полиамидный корд имеет низкую гигроскопичность. При повышении содержания РВН изменение свойств после теплового старения увеличивается. Изменение твердости по Шору А после теплового старения соответствует нормативным значениям. Изменение условной прочности при растяжении после теплового старения не соответствует требованиям НТД при содержании корда 65...70 %. Изменение относительного удлинения при разрыве не соответствует требованиям НТД уже при содержании корда 30%.

ВЫВОДЫ

Таким образом, результаты исследования показывают, что для снижения стоимости подрельсовых прокладок для железнодорожных путей можно использовать отходы шинного обрешиненного корда до 40% по массе. Анализ всего комплекса свойств резин и подрельсовых прокладок показывает, что значительное увеличение содержания резиноволокнистого наполнителя оказывает неоднозначное влияние на показатели свойств. Вероятно, это определяется ориентацией коротких волокон при обработке резиновых смесей образца заготовки как для испытаний, так и для прокладок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевченко А.А. Физикохимия и механика композиционных материалов. – Санкт-Петербург: Профессия, 2010.

2. Шмурак И.Л. Шинный корд и технология его обработки. – М., 2007.

3. Минигалиев Т.Б., Дорожкин В.П. Технология резиновых изделий. – Казань: КГТУ, 2009.

4. Перепелкин К.Е. Структура и структурная обусловленность свойств волокон и волокнистых материалов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2009, №1. С.64...75.

5. Гарцева Л.А., Васильев В.В. Химическая технология текстильных материалов. – Рязань: Филиал ИГТА, 2004.

6. Власов Г.Я. Основы технологии шинного производства. – Воронеж, 2002.

7. Мырхалыков Ж.У., Туребекова Г.З., Сагитова Г.Ф., Сакибаева С.А. Возможности повышения адгезии резины к текстильному корду из искусственных волокон // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №1. С. 49...53.

8. Сагитова Г.Ф., Туребекова Г.З., Пусурманова Г.Ж., Жаппаров Б.Е. The possibilities of increasing the strength of connecting rubber and textile cord in the carcass of cars // ICITE-2018 V ежегодная конференция "Производственные технологии и инжиниринг", посвященная 75-летию Южно-Казахстанского государственного университета имени М.Ауэзова и 90-летию академика Султан Таширбаевича Сулейменова. Т3. – Шымкент, 2018, С. 126...129.

9. Сагитова Г.Ф., Туребекова Г.З., Пусурманова Г.Ж., Лубчик С.Б., Калматаева Г.Н. Studying of waste of cut cord of tire production and influence of short cut cord fibers on the properties of rubbers // Industrial Technology and Engineering. – №12, декабрь 2019.

REFERENCES

1. Shevchenko A.A. Fizikokhimiya i mekhanika kompozitsionnykh materialov. – Sankt-Peterburg: Professiya, 2010.

2. Shmurak I.L. Shinnyy kord i tekhnologiya ego obrabotki. – M., 2007.

3. Minigaliev T.B., Dorozhkin V.P. Tekhnologiya rezinovykh izdeliy. – Kazan': KGTU, 2009.

4. Perepelkin K.E. Struktura i strukturnaya obuslovlennost' svoystv volokon i voloknistykh materialov // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2009, №1. S.64...75.

5. Gartseva L.A., Vasil'ev V.V. Khimicheskaya tekhnologiya tekstil'nykh materialov. – Ryazan': Filial IGTA, 2004.

6. Vlasov G.Ya. Osnovy tekhnologii shinnogo proizvodstva. – Voronezh, 2002.

7. Myrkhalikov Zh.U., Turebekova G.Z., Sagitova G.F., Sakibaeva S.A. Vozmozhnosti povysheniya adgezii reziny k tekstil'nomu kordu iz iskusstvennykh volokon // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015, №1. S. 49...53.

8. Sagitova G.F., Turebekova G.Z., Pusurmanova G.Zh., Zhapparov B.E. The possibilities of increasing the strength of connecting rubber and textile cord in the

carcase of cars// ICITE-2018 V ezhegodnaya konferentsiya "Proizvodstvennye tekhnologii i inzhiniring", posvyashchennaya 75-letiyu Yuzhno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo universiteta imeni M.Auezova i 90-letiyu akademika Sultan Tashirbaevicha Suleymenova. T3. – Shymkent, 2018, S. 126...129.

9. Sagitova G.F., Turebekova G.Z., Pусurmanova G.Zh, Lubchik S.B., Kalmataeva G.N. Studying of

waste of cut cord of tire production and influence of short cut cord fibers on the properties of rubbers // Industrial Technology and Engineering. – №12, dekabr' 2019.

Рекомендована кафедрой нефтепереработки и нефтехимии. Поступила 22.01.20.

УДК 677.022

**ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ КОТОНИЗИРОВАННОГО ЛЬНА
ДЛЯ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**IMPORT-SUBSTITUTING TECHNOLOGY
FOR PRODUCTION OF COTONIZED FLAX
FOR COTTON PRODUCTION**

Е.Л. ПАШИН

E.L. PASHIN

(Костромская государственная сельскохозяйственная академия)

(Kostroma State Agricultural Academy)

E-mail: evgpashin@yandex.ru

В статье отмечена актуальность проблемы импортозамещения хлопка как сырья для текстильных предприятий. Указана важность разработки новых технологий, ориентированных на использование льна в виде модифицированных волокон (МЛВ). Эффективность их производства должна определяться себестоимостью, качеством и конечным выходом. Выявлены преимущества способа, основанного на продольном расщипывании волокна из ленты посредством скоростного знакопеременного скользящего изгиба. Его реализация требует использования реннеспелых сортов льна-долгунца и получение тресты с показателем отделяемости не менее 7 единиц по ГОСТ 24383–89. Кроме этого требуется перед модификацией механическое облагораживание ленты посредством промина. Эти условия обеспечивают улучшение свойств МЛВ и особенно его потенциальную дробимость. Доказана возможность использования МЛВ при производстве смесовой хлопкольна-ной пряжи толщиной 50 текс при содержании льна $\approx 50\%$, пригодной для изготовления трикотажа и тканых изделий.

The article notes the urgency of the problem of import substitution of cotton as a raw material for textile enterprises. The importance of developing new technologies focused on the use of flax in the form of modified fibers (MLF) is indicated. The efficiency of their production should be determined by cost, quality and final output. The advantages of a method based on the longitudinal plucking of fiber from a tape by means of a high-speed alternating sliding bend are revealed. Its implementation requires the use of ripening flax varieties of flax and obtaining trusts with a separability index of at least 7 units according to GOST 24383–89. In addition, me-

chanical upgrading of the tape by means of a promin is required before modification. These conditions provide an improvement in the properties of MLV and, especially, its potential crushability. The possibility of using MLF in the production of mixed cotton-linen yarn 50 tex thick with a flax content of $\approx 50\%$, suitable for the manufacture of knitwear and woven products, has been proved.

Ключевые слова: хлопок, лен, волокнистый комплекс, лента, хлопкольная пряжа, модификация по длине и толщине, скоростной двухсторонний скользящий изгиб, облагораживание ленты.

Keywords: cotton, linen, fiber complex, tape, cotton yarn, length and thickness modification, high-speed double-sided sliding bending, tape dressing.

Одной из проблем отечественной текстильной промышленности, ориентированной на производство натуральных тканей, востребованных на внутреннем и отечественном рынках, является слаборазвитая сырьевая база. В полной мере это относится к хлопчатобумажному производству, 90% которого в России сосредоточено в Ивановской области. Однако за последние 30 лет объемы производства тканей здесь сократились почти на 40 % [1].

Причины такого положения дел во многом связаны с сокращением поставок хлопка-волокна в РФ, а также ростом импорта более дешевой среднеазиатской пряжи, делающей конечную продукцию из отечественной пряжи неконкурентоспособной [2].

В связи с этим становится актуальным создание конкурентоспособных импортозамещающих технологий производства текстильных полуфабрикатов, производимых из отечественного сырья, например льняного, пригодного, после соответствующей обработки, к использованию на хлопчатобумажных предприятиях [3]. Так, проект по использованию льняного волокна в виде котонина начала реализовывать компания "Шуйские ситцы" [4].

К настоящему времени известные технологии производства котонизированного (модифицированного по длине и толщине) льняного волокна (МЛВ) в качестве исходного сырья используют в основном отходы трепания льняного сырца при переработке стланцевой тресты (рис. 1 – классификация способов получения модифицированного

льняного волокна) [5]. Сравнительный анализ выявил необходимые условия для их практического использования. Доминирующими являются затраты на производства МЛВ, его прядильное качество и выход.

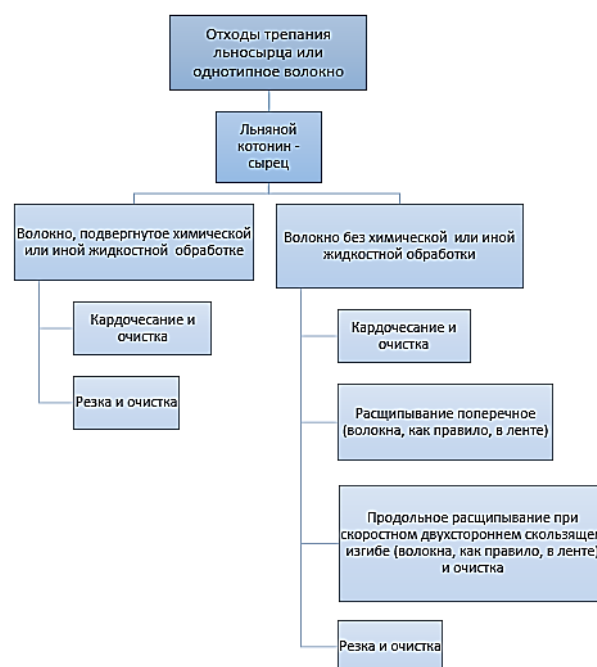


Рис. 1

Комплексное исследование известных технологий получения МЛВ с учетом указанных критериев их применимости выявило преимущество способа, исключаящего какую-либо жидкостную предварительную обработку исходного волокна и основанного на использовании продольного расщипывания при скоростном знакопеременном скользящем изгибе волокна в ленте с последующей его очисткой от нево-

локнистых примесей [6]. Помимо исключения затрат на жидкостную предварительную обработку волокна в предложенном способе обеспечиваются необходимые условия для обескостривания, а с поверхности волокнистых комплексов – лучшее удаление паренхимных тканей. Кроме этого особенностью способа является эффективное ослабление межволоконных связей вследствие скользящего изгиба относительно закругленных кромок рабочих органов и возникающих при этом сдвиговых напряжений. Такие воздействия в условиях высоких относительных скоростей (≈ 40 м/с) вызывают захлестывания отдельных волокон, расположенных на концах обрабатываемых прядей, вследствие чего волокна отщипываются и выскальзывают из общей массы. Это минимизирует их разрыв, являющийся причиной образования непрядых очень коротких волокнистых фракций. Формируемые при этом модифицированные волокнистые комплексы оказываются более пригодными для дальнейшего дробления, менее загрязнены, а их концевые участки сохраняют природную веретенообразную форму.

Развитие теории этого процесса и дальнейшее совершенствование используемых операций при получении МЛВ [7] позволили предложить дополнительные пути улучшения его качества. Оказалось, что важная роль в этом принадлежит этапам подготовки льняной тресты в условиях агропроизводства и волокнистой ленты перед механической модификацией.

Исследования этих этапов выявили необходимость использования стеблей льняной тресты с показателем отделяемости по ГОСТ 24383–89 "Треста льняная.

ТУ" не менее 7 ед. Для приготовления такой тресты и ее эффективной уборки с поля в условиях средней полосы РФ необходимо производство раннеспелых сортов льна-долгунца. Это позволяет получать сырье с указанным значением отделяемости уже в конце августа - начале сентября. У такой тресты формируются минимальные различия по линейной плотности волокна у стеблей разного диаметра (от 1,0 до 2,5 мм), составляющих общую массу тресты, а также различия по их длине [8], [9].

Изучение степени влияния на качество МЛВ этапов подготовки волокнистой ленты перед механической модификацией позволило предложить простой в реализации способ механического облагораживания волокнистой ленты путем ее двухстороннего многократного возвратно-поступательного промина между валками с рифлями определенных параметров [10]. Названные предварительные воздействия существенно снижают величину межволоконных связей и обеспечивают лучшие условия для последующего дробления волокнистых комплексов путем скоростного знакопеременного скользящего изгиба.

Таким образом, в настоящее время получено обоснование комплекса рациональных технологических операций по получению МЛВ с пониженной себестоимостью и улучшенными технологическими качествами. Их последовательность представлена на рис. 2 (операции, необходимые для реализации способа получения МЛВ посредством продольного расщипывания при скоростном знакопеременном скользящем изгибе).

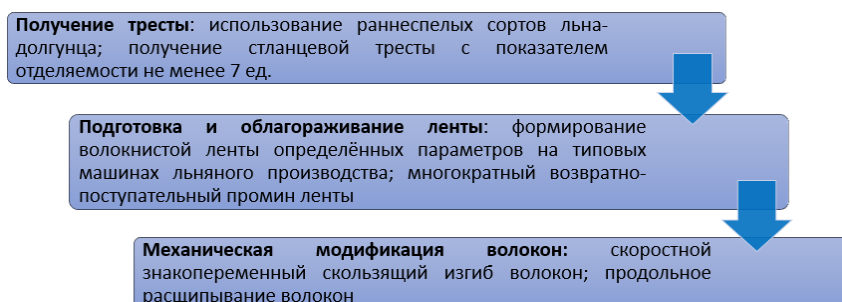


Рис. 2

Практическая реализация указанных операций может осуществляться в условиях предприятий по первичной обработке льна, которые в последнее время занимаются и его агропроизводством. В заводских условиях, наряду с машинами для первичной обработки стеблей, потребуются типовые кардочесальная (Ч-600-Л или Ч-460-Л) и ленточные (два перехода: ЛЛ-1-Ч и ЛЛ-2-Ч) машины. Оригинальной техникой является машина для модификации волокон ММЛ-1А (рис. 3), снабженная блоком контроля их свойств в ленте и агрегируемая с узлом для ее облагораживания [10].



Рис. 3

Для промышленной проверки новой технологии была подготовлена масса МЛВ, необходимая для последующего смешения и переработки на оборудовании в целях производства хлопкольняной пряжи. Испытания провели при следующей последовательности операций. Образованное в процессе механической модификации волокно с помощью системы пневмотранспорта поступало в смеситель-накопитель СН-3У, где осуществлялось предварительное перемешивание волокон льна и хлопка в нескольких вариантах их соотношения. После переработки на наклонном очистителе ОН-6-3 волокнистая смесь поступала на трепальные машины МТБ и ЧМД. Здесь волокна более полно перемешивались, очищались от пос-

торонних примесей, а льняные комплексы, имеющее перед смешиванием линейную плотность $\approx 3,5$ текс, получали дополнительное утонение. Из подготовленной смеси волокон, используя два перехода ленточных машин Л2-50 и Л2-220, формировали ленту, которую перерабатывали на прядильной машине ППМ-120-МС. В зависимости от варианта смешивания получали пряжу с различным содержанием льняного волокна (рис. 4 – смесовая пряжа с различным содержанием льняного волокна: а – пряжа 100 % хлопок; б, в, г – варианты пряжи с первоначальным вложением льна, соответственно 30, 60 и 80 %).



а) б) в) г)

Рис. 4

По результатам оценки уровня обрывности наилучшей оказалась пряжа с 60%-ным вложением МЛВ. Применительно к этому варианту исследовали изменение доли льноволокна в получаемых полуфабрикатах по мере их переработки. Установлено, что по факту в готовой пряже содержится около 50% МЛВ (рис. 5 – изменение соотношения льна и хлопка в обрабатываемой начальной смеси (лен 60%, хлопок 40%) по переходам производства). При таком содержании оценили свойства смесовой и чисто хлопковой пряжи (рис. 6).

Производственная проверка подтвердила возможность использования МЛВ, приготовленного по предложенному способу для производства хлопкольняной пряжи линейной плотностью 50 текс с содержанием льна $\approx 50\%$. Пряжа была пригодна для изготовления трикотажа и тканых изделий.

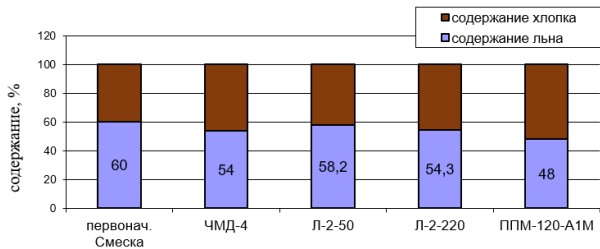


Рис. 5

На рис. 6 показаны результаты испытаний хлопчатобумажной и хлопкольнай пряжи по оси ординат: 1 – линейная плотность, текс; 2 – неровнота по линейной плотности, %; 3 – разрывная нагрузка, гс; 4 – неровнота по разрывной нагрузке, %; 5 – разрывное удлинение, мм; 6 – удельная разрывная нагрузка, гс/текс; 7 – крутка, кр/м; 8 – коэффициент крутки; 9 – работа разрыва, Н·мм; 10 – жесткость при кручении, сН·текс.

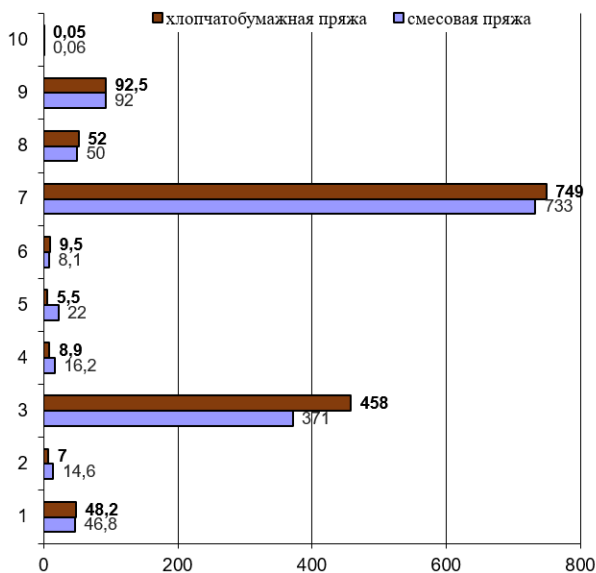


Рис. 6

ВЫВОДЫ

1. Сравнительный анализ известных технологий производства модифицированного льняного волокна (МЛВ) по его себестоимости, качеству и конечному выходу выявил перспективный способ продольного расщипывания волокон в ленте путем скоростного знакопеременного скользящего изгиба. Его особенностью является лучшая очистка волокнистых комплексов, их потенциальная дробимость и сохране-

ние природной формы окончаний элементарных волокон.

2. Реализация новой технологии получения МЛВ требует использования в качестве сырья скороспелых сортов льна-долгунца, получение тресты с показателем отделяемости 7 ед. и более, а также применения перед продольным расщипыванием облагораживания ленты путем ее промина при возвратно-поступательном относительном перемещении рифленых валков. Необходимо применение типового оборудования льнокомбинатов и оригинальной техники – модификатора ММЛ-1А с блоком контроля свойств ленты и узлом для ее облагораживания.

3. Доказана возможность использования МЛВ при производстве смесовой хлопкольнай пряжи толщиной 50 текс при содержании льна $\approx 50\%$, пригодной для изготовления трикотажа и тканых изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мокрецов М. Текстильные итоги 2019 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://ivanovolive.ru/news/15624>
2. Белая А. Стратегическое сырье. Нужно ли развивать производство хлопка в России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/31848-strategicheskoe-syre/>
3. Живетин В.В., Рыжов А.И., Гинзбург Л.Н. Моволен (модифицированное волокно льна). – М.: Рос. Заочн. ин-т текст. и легкой пром-ти, 2000.
4. Мокрецов М. "Шуйский лен" – новый грандиозный проект Анны Богаделиной и "Шуйских ситцев". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://ivanovolive.ru/news/14831>
5. Пашин Е.Л., Смирнова Т.Ю., Разин С.Н. Совершенствование технологии механической модификации льна. – Кострома: Всероссийский НИИ по перераб. лубян. культур, 2004.
6. Пашин Е.Л. Сравнительный анализ технологических схем модификации путем расщепления льняного волокна из ленты // Вестник Костром. гос. технол. ун-та. – 2014, № 2. С. 11...15.
7. Разин С.Н., Пашин Е.Л. Теоретические основы совершенствования механической модификации льна. – Кострома: Костром. гос. технол. ун-т, 2005.
8. Пашин Е.Л. Агропроизводство и технологическое качество льна. – Кострома: Всероссийский НИИ по перераб. лубян. культур, 2004.
9. Пашин Е.Л., Пашина Л.В. Агропромышленные технологии получения льна. Производство тресты. – Кострома: Костром. гос. технол. ун-т, 2013.

10. Пашин Е.Л. Способ механического облагораживания льняного волокна на этапах предпрядения // Сб. матер. Межд. научн-техн. конф. (Инновации-2018) Ч.1. – М.: Российск. гос. ун-т им. А.Н. Косыгина", 2018. С. 58...60.

REFERENCES

1. Mokretsov M. Tekstil'nye itogi 2019 goda. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <https://ivanovolive.ru/news/15624>

2. Belaya A. Strategicheskoe syr'e. Nuzhno li razvivat' proizvodstvo khlopka v Rossii. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/31848-strategicheskoe-syre/>

3. Zhivetin V.V., Ryzhov A.I., Ginzburg L.N. Movolen (modifitsirovannoe volokno l'na). – М.: Ros. Zaochn. in-t tekst. i legkoy prom-ti, 2000.

4. Mokretsov M. "Shuyskiy len" – novyy grandioznyy proekt Anny Bogadelinoy i "Shuyskikh sittsev". [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <https://ivanovolive.ru/news/14831>

5. Pashin E.L., Smirnova T.Yu., Razin S.N. Sovershenstvovanie tekhnologii mekhanicheskoy modifikatsii l'na. – Kostroma: Vserossiyskiy NII po pererab. lubyam. kul'tur, 2004.

6. Pashin E.L. Sravnitel'nyy analiz tekhnologicheskikh skhem modifikatsii putem rasshepleniya l'nyanogo volokna iz lenty // Vestnik Kostrom. gos. tekhnol. un-ta. – 2014, № 2. S. 11...15.

7. Razin S.N., Pashin E.L. Teoreticheskie osnovy sovershenstvovaniya mekhanicheskoy modifikatsii l'na. – Kostroma: Kostrom. gos. tekhnol. un-t, 2005.

8. Pashin E.L. Agroproizvodstvo i tekhnologicheskoe kachestvo l'na. – Kostroma: Vserossiyskiy NII po pererab. lubyam. kul'tur, 2004.

9. Pashin E.L., Pashina L.V. Agropromyshlennyye tekhnologii polucheniya l'na. Proizvodstvo tresty. – Kostroma: Kostrom. gos. tekhnol. un-t, 2013.

10. Pashin E.L. Sposob mekhanicheskogo oblagorazhivaniya l'nyanogo volokna na etapakh predpryadaniya // Sb. mater. Mezhd. nauchn-tekhn. konf. (Inno-vatsii-2018) Ch.1. – М.: Rossiysk. gos. un-t im. A.N. Kosygina", 2018. С. 58...60.

Рекомендована кафедрой технических систем в АПК. Поступила 10.05.20.

УДК 677.024:519.876.5

**О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ НЕРОВНОТОЙ ОДНОМЕРНЫХ
ВОЛОКНИСТЫХ ПРОДУКТОВ ПО ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ
И ДОЛЕ КОМПОНЕНТОВ**

**ON THE RELATIONSHIP BETWEEN UNEVENNESS OF ONE-DIMENSIONAL FI-
BER PRODUCTS AND MIXTURES OF COMPONENTS**

П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, Т.А. САМОЙЛОВА

P.A. SEVOSTYANOV, T.A. SAMOYLOVA

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

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

E-mail: petrsev46@yandex.ru

Методом статистического моделирования выполнено исследование взаимосвязи между неровнотой по линейной плотности компонентов одномерного волокнистого продукта (ленты, ровницы, пряжи и т.п.) и неровнотой по доле компонентов в поперечных сечениях продукта. Рассмотрены дисперсия, коэффициент вариации и автокорреляционная функция неровноты по доле компонентов.

A statistical modeling method was used to study the relationship between the unevenness in the linear density of components of a one-dimensional fibrous product (tape, roving, yarn, etc.) and the unevenness in the proportion of components in the cross sections of the product. The variance, coefficient of variation, and autocorrelation function of unevenness in the proportion of components are considered.

Ключевые слова: одномерный продукт, неровнота, линейная плотность, доля компонента, дисперсия, коэффициент вариации, автокорреляционная функция.

Keywords: one-dimensional product, unevenness, linear density, component fraction, variance, coefficient of variation, autocorrelation function.

Ряд полуфабрикатов и продуктов прядильных производств (лента, ровница, пряжа, нити, жгуты и др.) относятся к категории одномерных продуктов, поскольку один их геометрический размер (длина или протяженность) на много порядков превос-

ходит его поперечные размеры [1]. Неровномерность продуктов по линейной плотности описывают вероятностными (случайными) функциями, для исследования которых разработаны измерительные приборы и методы обработки данных [1...3]. По мно-

гим причинам эти продукты формируют из смесей различных компонентов [2]. Доля компонентов вдоль продукта также не постоянна и описывается случайными функциями. Однако, в отличие от линейной плотности, надежных и адекватных измерительных средств для прямого измерения доли компонентов по длине продукта до сих пор создать не удалось [4...6]. Поэтому важно найти взаимосвязь между неровностью продукта по линейной плотности и по долям компонентов. Далее ограничимся двухкомпонентными смесями [4], [7].

$$\delta p_1 = \frac{(g_1(t) + g_2(t))\delta g_1(t) - g_1(t)\delta(g_1(t) + g_2(t))}{(g_1(t) + g_2(t))^2} = \frac{g_2(t)\delta g_1(t) - g_1(t)\delta g_2(t)}{(g_1(t) + g_2(t))^2},$$

$$Dp_1(t) = \frac{g_2^2(t)Dg_1(t) + g_1^2(t)Dg_2(t)}{(g_1(t) + g_2(t))^4} = pm_1^2 pm_2^2 (CVg_1^2 + CVg_2^2).$$

Здесь pm_1 и pm_2 – средние доли по линейной плотности компонентов в продукте. Разделим это равенство на квадрат средней (не варьированной) доли и найдем квадрат коэффициента вариации доли 1-го компонента. После преобразований получим:

$$CVp_1 = pm_2 \sqrt{CVg_1^2 + CVg_2^2}. \quad (1)$$

Обмен индексов дает, в силу симметрии, аналогичное выражение для коэффициента вариации CVp_2 :

$$CVp_2 = pm_1 \sqrt{CVg_1^2 + CVg_2^2}.$$

Из формул следует, что дисперсия доли 1-го и 2-го компонентов равна нулю для однокомпонентного продукта, а наибольшее значение принимает при $pm_1 = pm_2 = 0,5$ независимо от коэффициентов вариации компонентов по линейной плотности. Наибольшее значение дисперсии по доле компонентов при этом будет равно:

$$Dp_1 = Dp_2 = (CVg_1^2 + CVg_2^2)/16.$$

Коэффициенты вариации доли компонента линейной убывают пропорционально средней доле самого компонента.

Обозначим $g_1(t)$ и $g_2(t)$ случайные функции, описывающие линейную плотность каждого из двух складываемых в продукте компонентов. Линейная плотность продукта в результате сложения компонентов равна $g(t) = g_1(t) + g_2(t)$. Доля 1-го компонента в продукте описывается случайной функцией $p_1(t) = g_1(t) / g(t)$. Чтобы найти взаимосвязь между коэффициентами вариации по линейной плотности и по доле компонентов, проварьируем выражение для доли компонента и вычислим дисперсию вариации доли:

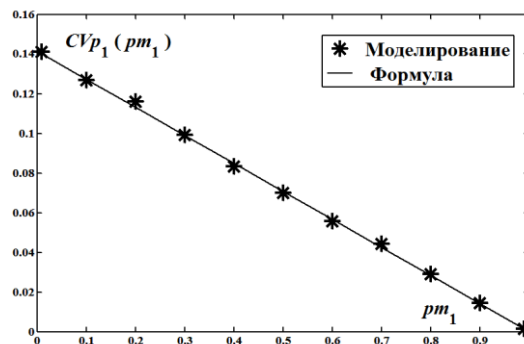


Рис. 1

Формулы получены при условии малых и независимых вариаций линейных плотностей компонентов. Для проверки формулы в широком диапазоне вариаций долей компонентов было выполнено статистическое моделирование значений $g_1(t)$ и $g_2(t)$ и расчет доли $p_1(t)$ по выборкам в $N = 1000$ значений [8]. Результаты оценки коэффициентов вариации доли 1-го компонента при разных средних значениях g_1 , то есть разных долях p_1 , приведены на рис. 1 (сплошная линия – расчет по формуле (1), маркеры – результаты статистического моделирования доли 1-го компонента двухкомпонентной смеси).

Другая важная характеристика неровности – автокорреляционная функция (АКФ) продукта. Получить аналитическое преобразование АКФ неровности по линейной

плотности в АКФ доли компонента в составе продукта весьма не просто. Поэтому был использован метод статистической компьютерной имитации. Двухкомпонентный продукт складывался из потоков значе-

$$g_1^0(t) = x_1(t) - 0,9g_1^0(t-1) + 0,3g_1^0(t-2), \quad g_1(t) = pm_1Mg + g_1^0(t),$$

$$g_2^0(t) = x_2(t) + 0,9g_2^0(t-1) - 0,1g_2^0(t-2), \quad g_2(t) = pm_2Mg + g_2^0(t).$$

В этих формулах индексы 1, 2 нумерует компоненты, $t = 1, \dots, T_m = 1000$ – дискрета переменной времени, pm_1 и $pm_2 = 1 - pm_1$ доли компонентов в продукте со средней линейной плотностью Mg . Коэффициенты авторегрессий подбирались в соответствии с рекомендациями [9], [10] так, чтобы АКФ 1-го компонента содержала колебательную составляющую, а 2-го компонента была монотонно убывающей [11]. Графики АКФ компонентов показаны на рис. 2.

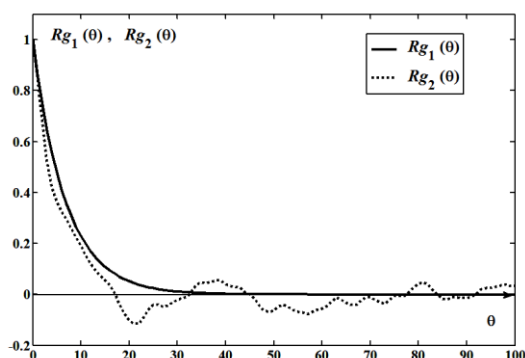


Рис. 2

На рис. 3 показаны АКФ долевого состава по длине продукта $rp_1(t)$ для нескольких значений доли 1-го компонента на всем диапазоне значений. На графиках видно, как с уменьшением доли 1-го компонента с монотонной АКФ нарастает колебательная составляющая в АКФ доли компонента. При этом колебательная составляющая возникает и проявляется в основном на коротких интервалах корреляции, что отсутствует у АКФ линейной плотности 2-го компонента.

Наблюдаемый эффект весьма необычен и приводит к выводу, что наличие волн по линейной плотности в одном из компонентов может быть причиной возникновения

ний линейной плотности двух компонентов. Моделями линейной плотности каждого из потоков являлись авторегрессионные преобразования 2-го порядка дискретного белого шума $x_1(t)$ и $x_2(t)$:

коротковолновой неровноты по доле компонентов, то есть по смесовому составу в смешанном одномерном продукте. Эта коротковолновая неровнота по доле компонентов может проявиться на последующих переходах прядильного производства и в готовом продукте.

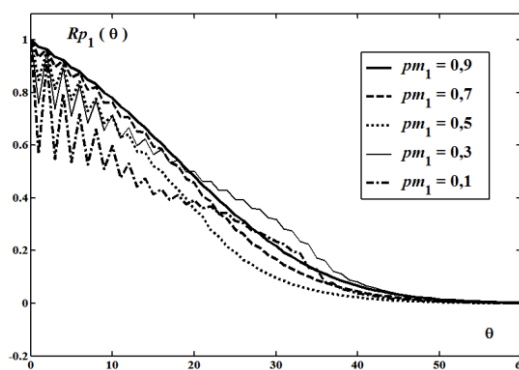


Рис. 3

ВЫВОДЫ

Установлено, что коэффициент вариации доли компонента по длине одномерного волокнистого продукта нарастает пропорционально убыванию его доли, а дисперсия доли компонентов достигает максимума при одинаковой доле компонентов независимо от их неровноты по линейной плотности. Формулы, полученные для этих оценок, пригодны в широком диапазоне неровноты по линейной плотности компонентов. Оценка автокорреляционной функции доли компонента имеет специфическую форму, зависящую от формы автокорреляционной функции линейной плотности компонентов, и прогнозирует возможность коротковолновой неровноты по доле компонентов.

1. Севостьянов А.Г. Методы исследования неровноты продуктов прядения (Характеристики случайных функций и их применение). – М.: Ростехиздат, 1962.

2. Севостьянов А.Г. Составление смесок и смешивание в хлопкопрядильном производстве (Теория и практика). – М.: Гизлегпром, 1954.

3. Горячая И.С., Севостьянов П.А. Численные методы анализа распределения волокон в поперечных сечениях пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №1. С.130...134.

4. Громов С.С., Севостьянов П.А. Анализ динамики долевого состава двухкомпонентного волоконистого материала в процессе кардочесания // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №6. С.109...112.

5. Горский Д.А., Севостьянов П.А. Оценка эффективности управления кипным питателем с верхним отбором волокна методами компьютерного моделирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №3. С.124...127.

6. Калмыков И.В., Севостьянов П.А. Компьютерное проектирование меланжевых смесей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1999, №1.

7. Добринская, Т.А., Севостьянов П.А. Сравнение эффективности смешивания смешивающими и дозирующими устройствами // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, №3, 2000. С.39...43.

8. Севостьянов П.А. Методы исследования и моделирования неровноты продуктов прядения. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019. ISBN 978-5-87055-809-7

9. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов: Прогноз и управление / Пер. с англ. А. Л. Левшина, под ред. В. Ф. Писаренко. – М.: Мир, 1974. Вып. 1.

10. Севостьянов П.А., Ордов К.В. Основы анализа и моделирования данных в технике и экономике. – М.: Тисо Принт, 2015. ISBN 978-5-9904852-3-5

11. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Родин А.А. Последовательные регрессии при анализе и прогнозировании вариабельности временных рядов // Мат. Междунар. науч.-технич. конф.: Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности. – Витебск: ВГТУ, 2019. С. 305...307.

1. Sevost'yanov A.G. Metody issledovaniya nerovnoty produktov pryadeniya (Kharakteristiki sluchaynykh funktsiy i ikh primeneniye). – M.: Rostekhizdat, 1962.

2. Sevost'yanov A.G. Sostavlenie smesok i smeshivanie v khlopkopryadil'nom proizvodstve (Teoriya i praktika). – M.: Gizlegprom, 1954.

3. Goryachaya I.S., Sevost'yanov P.A. Chislennyye metody analiza raspredeleniya volokon v poperechnykh secheniyakh pryazhi // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2012, №1. S.130...134.

4. Gromov S.S., Sevost'yanov P.A. Analiz dinamiki dolevogo sostava dvukhkomponentnogo voloknistogo materiala v protsesse kardochesaniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2009, №6. S.109...112.

5. Gorskiy D.A., Sevost'yanov P.A. Otsenka effektivnosti upravleniya kipnym pitatelem s verkhnim otborom volokna metodami komp'yuternogo modelirovaniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2008, №3. S.124...127.

6. Kalmykov I.V., Sevost'yanov P.A. Komp'yuternoe proektirovanie melanzhevykh smesey // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1999, №1.

7. Dobrinskaya, T.A., Sevost'yanov P.A. Sravnenie effektivnosti smeshivaniya smeshivayushchimi i doziruyushchimi ustroystvami // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2000, №3, 2000. S.39...43.

8. Sevost'yanov P.A. Metody issledovaniya i modelirovaniya nerovnoty produktov pryadeniya. – M.: RGU im. A.N. Kosygina, 2019. ISBN 978-5-87055-809-7

9. Boks Dzh., Dzenkins G. Analiz vremennykh ryadov: Prognoz i upravlenie / Per. s angl. A.L. Levshina, pod red. V. F. Pisarenko. – M.: Mir, 1974. Vyp. 1.

10. Sevost'yanov P.A., Ordov K.V. Osnovy analiza i modelirovaniya dannykh v tekhnike i ekonomike. – M.: Tiso Print, 2015. ISBN 978-5-9904852-3-5

11. Sevost'yanov P.A., Samoylova T.A., Rodin A.A. Posledovatel'nye regressii pri analize i prognozirovanii variabel'nosti vremennykh ryadov // Mat. Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf.: Innovatsionnye tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti. – Vitebsk: VGTU, 2019. S. 305...307.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления. Поступила 14.09.20.

УДК 677.054

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИСКОВ
ТКАНЕФОРМИРУЮЩЕГО МЕХАНИЗМА С НИТЯМИ УТКА**

**TO STUDY THE INTERACTION OF DISKS
FABRIC-FORMING MECHANISM WITH THE WEFT THREADS**

Т.А. ИНДЕРБИЕВА, Р.З. ХУСАИНОВ, В.И. ТЕРЕНТЬЕВ

T.A. INDERBIEVA, R.Z. KHUSAINOV, V.I. TERYTYEV

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

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

E-mail: inderbieva.taisa@mail.ru, roma37345@mail.ru.

В статье приведены преимущества тканеформирующего механизма роторного типа, предназначенного для установки на скоростных пневматических ткацких машинах, по сравнению с батанными механизмами прибора уточных нитей, совершающих возвратно-качательное движение с выстоем в крайнем положении в период прокладки уточных нитей. Тканеформирующий механизм роторного типа совершает однонаправленное вращательное движение, во время которого происходит прокладка уточной нити воздушной струей в конфузоре, расположенном в приборных дисках. В результате анализа силового взаимодействия приборных дисков и уточной нити в опушке ткани определено условие выхода уточной нити из конфузора после окончания процесса прибора. Роторный тканеформирующий механизм позволяет до 1500 об/мин и более увеличить скоростной режим пневматической ткацкой машины.

The article presents the advantages of the fabric-forming mechanism of the rotor type, designed for installation on high-speed pneumatic weaving machines, in comparison with the Batan mechanisms of the surf of weft threads, performing back – rocking motion with a stand in the extreme position during the laying of weft threads.

Fabric-forming the rotary mechanism performs the rotational motion, which is laying the weft yarn air jet in the confuser located in the surf drives. As a result of the analysis of the force interaction of the beat up disks and the weft thread in the edge of the fabric, the condition of the weft thread exit from the confuser after the surf process is determined. The rotary fabric-forming mechanism allows up to 1500 rpm and more to increase the speed of the pneumatic weaving machine.

Ключевые слова: тканеформирующий механизм, ротор, эксцентрик, прибойный диск, конфузур, уточная нить, опушка ткани, зев, нити основы.

Keywords: fabric-forming mechanism, the rotor, Cam, surf drive, the confuser, the weft end, the edge of the fabric, the shed, the warp threads.

Тканеформирующий механизм (ТФМ) роторного типа с прибойными дисками наиболее эффективен для использования на пневматических ткацких машинах (ПТМ) со скоростным режимом 1000 и более оборотов в мин главного вала [1], [2], [5]. Эффективность ПТМ достигается за счет:

1) однонаправленного вращения ротора с прибойными дисками, что значительно уменьшает инерционную нагрузку на привод, увеличивая надежность и долговечность ТФМ;

2) однонаправленного вращения ротора, позволяющего значительно увеличить скорость и время прокладки уточной нити в зеве нитей основы благодаря исключению из цикловой диаграммы ПТМ периода выстоя ТФМ в крайнем заднем положении, необходимого для прокладки уточной нити, и холостого хода в заднее положение.

Прокладка утка воздушной струей осуществляется при непрерывном вращении прибойных дисков;

3) существенного уменьшения фрикционного воздействия ТФМ на нити основы благодаря отсутствию в конструкции зубьев направляющего конфузора воздушного потока и бруса батана, что особенно важно при переработке специальных нитей (стеклянных, углеродных и др.), которые склонны к образованию осыпи, засоряющей эстафетные сопла и ухудшающей условия обслуживания скоростных ПТМ.

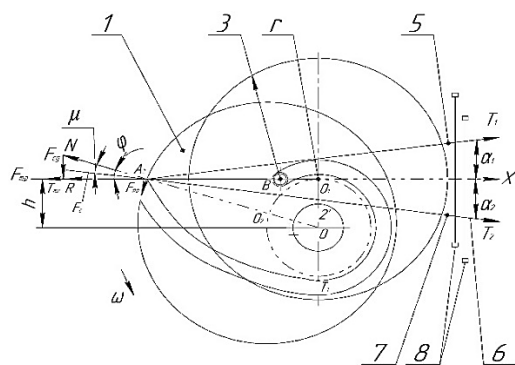


Рис. 1

На рис. 1 изображена принципиальная схема одного из дисков 1, закрепленных на валу 2 ротора с эксцентриситетом OO_1 . Каждый диск 1 имеет паз (конфузор) 4, который выполняет две функции: участок A_1A_2 – для перемещения и введения в опушку ткани уточной нити 3. Радиус профиля этого участка паза возрастает к точке A_2 , которым осуществляется окончательный ввод утка 3 в опушку ткани в зеве, образуемом нитями основы 5 и 7 при перемещении ремизок 8. Зазор, необходимый для проборки нитей основы 5,7, обеспечивается проставными шайбами между дисками. Участок паза BA_1 предназначен для перемещения воздушного потока при вращении прибойных дисков. Оси воздушного потока и прокладываемой уточной нити находятся в точке 3.

Профиль паза на участке A_1A_2 проектируется по закону ускорения дисков в зависимости от плотности вырабатываемой ткани по утку и основе, скоростного режима ткацкой машины. Профиль паза на участке BA_1 проектируется по радиусу окружности с центром в точке O .

Количество дисков n , необходимое для установки плотности ткани по основе, определяется:

$$n = \frac{BP_0}{z \cdot 10}, \quad (1)$$

где B – ширина заправки основой ткацкой машины, см; P_0 – плотность вырабатываемой ткани, нит/10 см; z – количество нитей основы, пробранных между дисками.

Разность радиусов $OA_1 - OA_2$ равна размеру зоны формирования тканей различных плотностей по утку.

В процессе взаимодействия дисков с тканью (т. A_2) нормаль N , восставленная к профилю дисков, составляет с направлением ткани угол φ (рис.1), поэтому необхо-

димо равновесие опушки ткани при выработке тканей различной структуры [3], [4].

Полагаем, что для несимметричного зева в общем случае проекция натяжения ткани $T_{\text{тк}}$ и натяжения основы T_1 и T_2 на ось x не изменяется:

$$-N \cos \varphi - F_{\text{тр}} \sin \varphi - T_{\text{тк}} + T_1 \cos \alpha_1 + T_2 \cos \alpha_2, \quad (2)$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения между диском и тканью. Если принять, что

$$F_{\text{тр}} = Nf = Ntg\mu,$$

где f – коэффициент трения между дисками и уточной нитью; μ – угол трения покоя

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha \text{ и } T_1 = T_2 = T,$$

то

$$N \cos \varphi + Ntg\mu \sin \varphi = 2T \cos \alpha - T_{\text{тк}}. \quad (3)$$

Левая часть уравнения (3) может быть представлена:

$$F_c \cos(\varphi - \mu) = R, \\ F_c = \frac{R}{\cos(\varphi - \mu)}, \quad (4)$$

где F_c – сопротивление, оказываемое диском при прибое уточной нити в опушке ткани с учетом сил трения между дисками и уточной нитью; R – сопротивление, спроектированное на направление перемещения ткани – ось x .

Правая часть уравнения (3) – сила уплотнения $P_{\text{уп}}$, приложенная к опушке ткани со стороны дисков, может быть представлена:

$$P_{\text{уп}} = P_{\text{пр}} = 2T \cos \alpha - T_{\text{тк}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{пр}}$ – сила прибоа со стороны диска на уточную нить; T – натяжения основы у опушки ткани в конце прибоа; α – половина угла зева при прибое; $T_{\text{тк}}$ – натяжение ткани в конце прибоа уточных нитей.

Так как сопротивление F_c опушки ткани может не совпадать с направлением перемещения ткани, то уточная нить A_2 будет

смещаться по поверхностям дисков, выходя из паза конфузора, за счет сдвигающей силы $F_{\text{сд}}$. Чтобы опушка ткани не смещалась вместе с проложенной уточной нитью, к ней должна быть приложена удерживающая сила, по величине равная $F_{\text{сд}}$, но направленная противоположно.

Сила, удерживающая опушку ткани в равновесии, равна

$$-F_{\text{уд}} = F_{\text{сд}} = F_c \sin(\mu - \varphi). \quad (6)$$

Для нахождения условия равновесия опушки ткани спроектируем силы, действующие на диск, на ось y :

$$N \sin \varphi - F_{\text{тр}} \cos \varphi + T_1 \sin \alpha_1 - T_2 \sin \alpha_2. \quad (7)$$

Для симметричного зева $\alpha_1 = \alpha_2$ уравнение (7) принимает вид:

$$N \sin \varphi = Ntg\mu \cos \varphi. \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует:

$$tg\varphi = tg\mu \text{ и } \varphi = \mu. \quad (9)$$

Уравнение (9) является условием равновесия опушки ткани, при котором отсутствует ее наползание на диски, так как при этом $F_{\text{сд}} = 0$, что возможно, когда сила N направлена по оси x .

Величина угла μ зависит от коэффициента трения дисков и уточной нити. Величина угла φ зависит от конструктивных размеров тканеформирующего механизма: h – расстояния от линии заправки до оси вращения диска; $h = OO_1$, что является эксцентриситетом установки диска на приводном валу 2, который должен обеспечить зазор для нитей основы при открытом зеве; r – радиус тканеформирующего диска 1, который должен предусматривать размещение направляющего канала (конфузора) 4 для воздушного потока. Условия отсутствия наползания опушки ткани на диски достигается одновременно выбором технологических параметров ткацкой машины и, прежде всего, размеров зева.

Условие отсутствия наползания опушки ткани на приборные диски является необходимым для многозевных ткацких машин, так как в противном случае нарушается процесс ткачества.

Для ПТМ с роторным тканеформирующим механизмом наполнение прибываемой уточной нити гарантирует ее выход из конфузора для воздушного потока и повторение цикла процесса ткачества.

ВЫВОДЫ

1. Разработана схема ТФМ роторного типа скоростной пневматической ткацкой машины.

2. Обоснованы преимущества ТФМ роторного типа по сравнению с батанными механизмами роторного типа.

3. Определено условие надежного выхода уточной нити из конфузора после прибоа к опушке ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Оников Э.А., Николаев С.Д.* Проектирование технологических процессов ткацкого производства. – М.: Информ-знание, 2010.

2. *Терентьев В.И., Королев П.А.* Функциональные механизмы и системы основа-ткань ткацких машин. – М.: МГУДТ, 2016.

3. *Мкртычев О.В.* Теория механизмов и машин. – М.: ИНФРА-М, 2018.

4. *Севостьянов А.Г.* Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007.

5. *Малафеев Р.М.* Ткацкие станки: механика прокладывания утка. – М.: МГФ "Знание", 2004.

REFERENCES

1. Onikov E.A., Nikolaev S.D. Proektirovanie tekhnologicheskikh protsessov tkatskogo proizvodstva. – М.: Inform-znanie, 2010.

2. Terent'ev V.I., Korolev P.A. Funktsional'nye mekhanizmy i sistemy osnova-tkan' tkatskikh mashin. – М.: MGUDT, 2016.

3. Mkrtychev O.V. Teoriya mekhanizmov i mashin. – М.: INFRA-M, 2018.

4. Sevost'yanov A.G. Metody i sredstva issledovaniya mekhaniko-tekhnologicheskikh protsessov tekstil'noy promyshlennosti. – М.: MGТУ im. A.N. Kosygina, 2007.

5. Malafeev R.M. Tkatskie stanki: mekhanika prokladyvaniya utka. – М.: MGF "Znanie", 2004.

Рекомендована кафедрой технологических машин и мехатронных систем. Поступила 13.01.20.

УДК 677.022

УСТРАНЕНИЕ СКРЫТОЙ ВЫТЯЖКИ БЕСКРУТОЧНОЙ РОВНИЦЫ ПРИ ЕЕ НАМАТЫВАНИИ

ELIMINATION OF LATENT STRETCHING OF UNTWISTED ROVING DURING WINDING

П.Н. РУДОВСКИЙ, С.В. ПАЛОЧКИН, М.Н. НУРИЕВ

P.N. RUDOVSKY, S.V. PALOCHKIN, M.N. NURIEV

(Костромской государственной университет,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Азербайджанский государственный экономический университет)

(Kostroma State University,
Bauman Moscow State Technical University,
Azerbaijan State Economic University)

E-mail: pavel_rudovsky@mail.ru, palnigs@mfil.ru, mehman62@mail.ru

Одним из преимуществ мокрого вьюркового способа формирования бескруточной ровницы является возможность наматывания ее с помощью мотального механизма с фрикционным приводом катушки. Однако при таком способе наматывания возникает большая неравномерность натяжения, ко-

торая приводит к возникновению скрытой вытяжки в таком продукте, как бескруточная ровница, обладающая малой прочностью. Показано, как с помощью компенсатора натяжения снизить его неравномерность и исключить образование скрытой вытяжки в ровнице.

One of the advantages of the wet finch method of forming of an untwisted roving is the possibility of winding it using a winding mechanism with a frictional coil drive. However, with this method of winding a large unevenness of tension arises, which leads to the appearance of latent drawing in a product such as an untwisted roving, which has a low strength. It is shown how, with the help of a tension compensator, to reduce its unevenness and to exclude the formation of latent drawing in the roving.

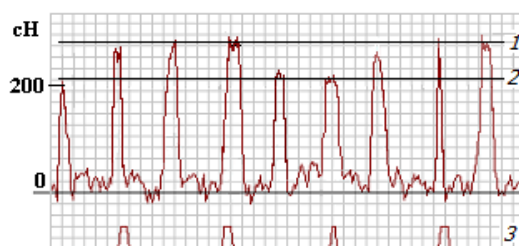
Ключевые слова: бескруточная ровница, неравномерность натяжения, скрытая вытяжка, прочность ровницы, компенсатор натяжения.

Keywords: untwisted roving, tension unevenness, hidden drawing, roving strength, tension compensator.

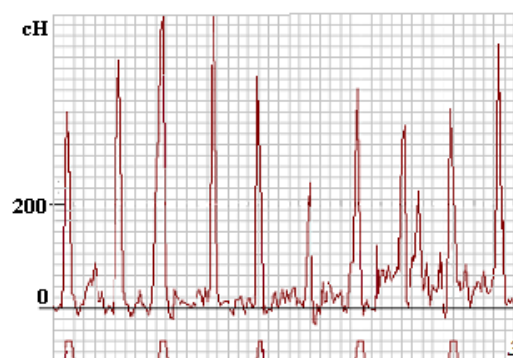
При традиционных технологиях для изготовления льняной ровницы в основном используются ровничные машины с подвесными рогульками, которые относятся к наиболее сложному и низко производительному оборудованию в технологической цепочке выработки текстильной пряжи. В связи с этим разработка и внедрение альтернативных скоростных методов формирования ровницы без крутки, связанных с созданием новых более простых и экономичных конструкций ровничных машин, является одной из актуальных задач отечественной текстильной промышленности. Анализ основных направлений и результатов исследований в данной области представлен, например, в [1].

Одним из таких перспективных методов выработки бескруточной ровницы является ее формирование мокрым способом, сущность которого и реализующие его технические решения отражены в [2...5]. Такая бескруточная ровница имеет специфическую структуру и пониженную прочность, которая объясняется отсутствием крутки [6], [7]. Намотка ровницы осуществляется при помощи механизма с фрикционным приводом катушки и механизмом раскладки с нитеводителем, совершающим возвратно-поступательное движение вдоль ее образующей. Получаемые при этом паковки имеют ряд характерных дефектов, описанных в

[8]. Некоторые из них связаны с особенностью такого механизма, которая заключается в периодическом изменении натяжения в веере раскладки, наматываемого продукта в зависимости от хода нитеводителя.



а)



б)

Рис. 1

На рис. 1 показаны экспериментальные диаграммы изменения натяжения при наматывании бескруточной ровницы (рис. 1-а) и классической крученой ровницы (рис. 1-б),

линейная плотность которых в обоих случаях составляла 500 текс [9]. Линия 3 на обеих диаграммах с пиками отмечает моменты нахождения нитеводителя в крайнем левом положении. Разница в натяжении объясняется тем, что прочность бескруточной ровницы находится в диапазоне 200...250 сН. Линия 1 на рис. 1-а показывает верхнее значение диапазона, линия 2 – нижнее. Так как деформация ровницы, вызванная движением нитеводителя, превосходит разрывную, то в эти моменты начинается сдвиг волокон, натяжение по достижении силы трения между волокнами больше не растет и остается практически постоянным до тех пор, пока деформация не уменьшится. В результате пики натяжения имеют плоскую вершину. При намотке крученой ровницы сдвига волокон не происходит, так как льняная ровница с линейной плотностью 500 текс имеет разрывную нагрузку 1100 сН, то есть на диаграмме, приведенной на рис. 1-б натяжение крученой ровницы нигде не достигает разрывной нагрузки и имеет существенно большее значение, чем при намотке бескруточной ровницы. Сдвиг волокон в бескруточной ровнице приводит к неконтролируемой вытяжке [10], которую можно обнаружить на спектре неровноты по линейной плотности, представленной на рис. 2-а.

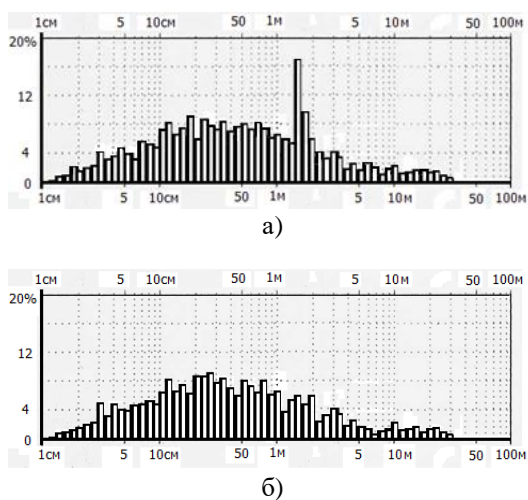


Рис. 2

Схема мотального механизма бескруточной ровничной машины показана на рис. 3. Он принимает нить, выходящую из

выпускной пары 1 формирующего устройства. Привод бобины 2 осуществляется за счет фрикционного контакта с мотальным барабанчиком 3. Механизм, обеспечивающий прижим бобины к мотальному барабанчику, на рис. 3 не показан. Раскладка ровницы вдоль бобины осуществляется глазком нитеводителя (точка С), закрепленным на штанге раскладчика 4. При отсутствии компенсации натяжения в веере раскладки нить располагается по линии АСD, причем точки С и D перемещаются параллельно оси бобины. Наименьшая длина нити будет в момент нахождения точки С в положении C_0 , а наибольшее – в положении C' . Поскольку скорость выпуска ровницы из выпускной пары в точке А остается постоянной, то происходит удлинение, которое сопровождается ростом натяжения, как это показано на рис. 1. Для устранения этого явления необходимо, чтобы длина траектории нити не зависела от положения нитеводителя. С этой целью в состав мотального механизма вводится пруток 5, закрепленный на рычаге 6, качающемся вокруг точки Е. Этот пруток отклоняет нить в точке В, в результате чего длина нити равна длине ломаной линии АВСD, постоянство которой можно обеспечить за счет поворота рычага 6 на угол $\Delta\gamma$ по оправленному закону. Привод рычага 6 осуществляется через второе его плечо ЕF от кулачкового механизма, не показанного на рис. 3. Исходными данными для проектирования этого механизма являются длина плеча ЕF, его начальное положение и угол отклонения $\Delta\gamma$ в функции перемещения глазка нитеводителя (точки С).

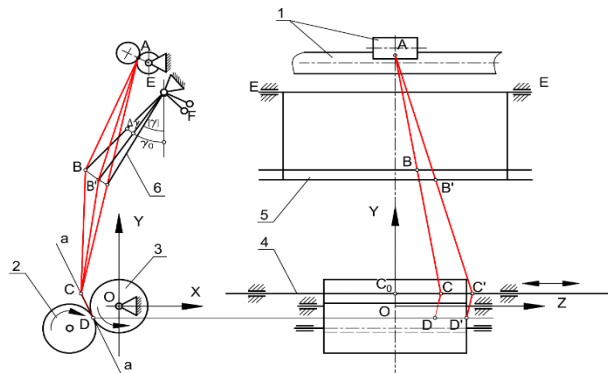


Рис. 3

$$CD = \frac{\sqrt{(x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2}}{\cos\beta}. \quad (8)$$

При движении нитеводителя в противоположную сторону от точки C' до точки C''

где

$$C'C'' = 2\sqrt{(x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2} \operatorname{tg}\beta. \quad (10)$$

Аппликата точки D в ее крайнем поло-

положение точки D можно принять неизменным и совпадающим с точкой D' , то есть при

$$L \leq z_C \leq L - C'C'', \quad (9)$$

жении определяется выражением

$$z_{D'} = L - \sqrt{(x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2} \operatorname{tg}\beta, \quad (11)$$

а длину нити на участке CD можно рассчи-

тать по формуле

$$CD = \sqrt{(x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2 + (z_C - z_{D'})^2}. \quad (12)$$

Таким образом, выражения с (4) по (12) позволяют определить длину ломаной $ABCD$ при любом положении нитеводителя z_C .

Определение зависимости $\Delta\gamma(z_C)$ производится следующим образом.

На первом шаге определяется длина ломаной $ABCD$ в случае, когда точка C находится в крайнем положении C' .

На втором шаге задается начальное положение нитеводителя в виде $z_C=0$ и $\Delta\gamma=0$. По формулам (6), (7) и (8) рассчитывается длина ломаной $ABCD$. Она оказывается меньше рассчитанной для положения раскладчика в точке C' . Для обеспечения длины, равной длине в крайнем положении, производится пошаговое увеличение угла $\Delta\gamma$ и пересчет длины ломаной $ABCD$. Полученное значение сравнивается со значением для крайнего положения нитеводителя. Процесс повторяется до тех пор, пока длина ломаной $ABCD$ в рассматриваемом положении не станет равной длине в крайнем положении с заданной точностью. После чего z_C получает приращение и процесс повторяется снова до тех пор, пока точка C не достигнет положения C' , при котором $z_C=L$.

На следующем этапе моделируется движение нитеводителя в обратную сторону, то есть производится пошаговое уменьшение z_C . При этом на каждом шаге производится проверка условия (9). В случае его

выполнения расчет длины участка CD проводится по формулам (11), (12), в противном случае по формуле (8). Длина участков AB и BC в любом случае рассчитывается по формулам (6) и (7). Расчет заканчивается при достижении нитеводителем среднего положения, то есть при $z_C=0$. В результате будет получено табличное описание функции $\Delta\gamma(z_C)$ для половины хода нитеводителя. Для второй половины функция может быть получена отражением относительно плоскости XOY . Угол поворота плеча рычага β EF равен углу $\Delta\gamma$ поворота рычага β и может использоваться для получения профиля кулака привода прутка β компенсатора натяжения. Расчет профиля кулачка осуществляется известными методами, один из которых изложен, например, в [11].

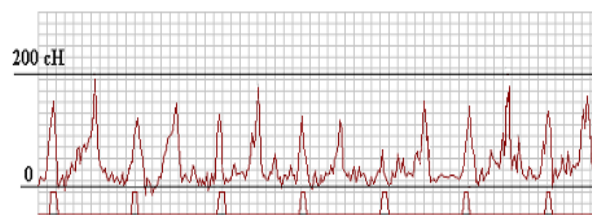


Рис. 5

Диаграмма натяжения ровницы с использованием компенсатора натяжения приведена на рис. 5. На ней видно снижение пиков натяжения по отношению к диаграмме рис. 1-а.

Следует отметить, что полное выравнивание натяжения при использовании компенсатора не происходит. Это связано с погрешностями в приводе компенсатора и тем, что при его проектировании не учитывалось отклонение траектории нити, вызванное силами трения между нитью и прутком компенсатора. Несмотря на то, что полного выравнивания натяжения не достигнуто, натяжение ровницы за цикл намотки не превышает разрывного. Поэтому не должно возникать неконтролируемой вытяжки, что подтверждается спектром неровноты ровницы, приведенным на рис. 2-б.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что неравномерность натяжения бескруточной ровницы при наматывании механизмом с фрикционным приводом паковки ведет к образованию скрытой вытяжки.

2. Предложена конструкция компенсатора натяжения в мотальном механизме бескруточной ровничной машины, и разработана методика расчета зависимости угла поворота прутка компенсатора от положения нитеводителя, использование которых позволяет существенно снизить неравномерность натяжения ровницы в зоне наматывания.

3. Экспериментально подтверждено, что предложенная конструкция компенсатора действительно приводит к снижению натяжения ровницы в зоне наматывания и исключению за счет этого образования скрытой вытяжки бескруточной ровницы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Палочкин С.В. Технология формирования и переработки некрученной обвитой льняной ровницы. – М.: МГТУ имени А.Н. Косыгина, 2002.

2. Палочкин С.В., Рудовский П.Н., Егоров Д.Л. Способ формирования некрученной ровницы из льняного волокна. Патент на изобретение RU 2148113 C1, 27.04.2000. Заявка № 99116205/12 от 22.07.1999.

3. Палочкин С.В., Рудовский П.Н., Соркин А.П. Ровница и способ ее получения. Патент на изобретение RU 2164567 C1, 27.03.2001. Заявка №2000107289/12 от 27.03.2000.

4. Палочкин С.В., Соркин А.П., Рудовский П.Н., Егоров Д.Л. Устройство формирования некрученной ровницы из льняного волокна. Патент на изобретение RU 2168569 C1, 10.06.2001. Заявка №2000112706/12 от 22.05.2000.

5. Палочкин С.В., Рудовский П.Н., Соркин А.П., Смирнова С.Г. Устройство для формирования ровницы из льняного волокна. Патент на полезную модель RU 90444 U1, 10.01.2010. Заявка №2009135137/22 от 22.09.2009.

6. Рудовский П.Н., Смирнова С.Г. Математическая модель прочности мокрой бескруточной ровницы из льна. Депонир. рукопись № 82-B2010 17.02.2010. – 21 с.

7. Рудовский П.Н., Соркин А.П., Смирнова С.Г. Влияние условий формирования мокрой бескруточной ровницы на ее структуру и прочность // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 3. С. 34...38.

8. Денисов А.Р., Кирпина Л.Ю., Рудовский П.Н. Применение методов кластерного анализа для контроля качества паковок крестовой намотки. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 4С. С. 111...113.

9. Рудовский П.Н., Палочкин С.В. Изменение натяжения при намотке бескруточной ровницы // Сб. мат. Междунар. науч.-технич. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020). Часть 2. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2020. С. 292...295.

10. Палочкин С.В., Рудовский П.Н., Нуриев М.Н. Методы и средства контроля основных параметров текстильных паковок. – М.: МГТУ имени А.Н. Косыгина, 2006.

11. Рудовский П.Н., Палочкин С.В. Синтез кулачка механизма раскладки нити для бескруточной ровничной машины // Journal of Advanced Research in Technical Science. –2017, №4. С. 21...29.

REFERENCES

1. Palochkin S.V. Tekhnologiya formirovaniya i pererabotki nekruchenoy obvitoy l'nyanoy rovnitsy. – М.: MG TU imeni A.N. Kosygina, 2002.

2. Palochkin S.V., Rudovskiy P.N., Egorov D.L. Sposob formirovaniya nekruchenoy rovnitsy iz l'nyanogo volokna. Patent na izobretenie RU 2148113 C1, 27.04.2000. Zayavka № 99116205/12 ot 22.07.1999.

3. Palochkin S.V., Rudovskiy P.N., Sorkin A.P. Rovnitsa i sposob ee polucheniya. Patent na izobretenie RU 2164567 C1, 27.03.2001. Zayavka №2000107289/12 ot 27.03.2000.

4. Palochkin S.V., Sorkin A.P., Rudovskiy P.N., Egorov D.L. Ustroystvo formirovaniya nekruchenoy rovnitsy iz l'nyanogo volokna. Patent na izobretenie RU 2168569 C1, 10.06.2001. Zayavka №2000112706/12 ot 22.05.2000.

5. Palochkin S.V., Rudovskiy P.N., Sorkin A.P., Smirnova S.G. Ustroystvo dlya formirovaniya rovnitsy iz l'nyanogo volokna. Patent na poleznuyu model' RU

90444 U1, 10.01.2010. Zayavka №2009135137/22 ot 22.09.2009.

6. Rudovskiy P.N., Smirnova S.G. Matema-ticheskaya model' prochnosti mokroy beskrutochnoy rovnitsy iz l'na. Deponir. rukopis' № 82-V2010 17.02.2010. – 21 s.

7. Rudovskiy P.N., Sorkin A.P., Smirnova S.G. Vliyaniye usloviy formirovaniya mokroy beskrutochnoy rovnitsy na ee strukturu i prochnost' // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2011, № 3. S. 34...38.

8. Denisov A.R., Kiprina L.Yu., Rudovskiy P.N. Primeneniye metodov klasternogo analiza dlya kontrolya kachestva pakovok krestovoy namotki. // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2006, № 4S. S. 111...113.

9. Rudovskiy P.N., Palochkin S.V. Izmeneniye natyazheniya pri namotke beskrutochnoy rovnitsy// Sb.

mat. Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf.: Dizayn, tekhnologii i innovatsii v tekstil'noy i legkooy promyshlennosti (INNOVATsII-2020). Chast' 2. – M.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2020. S. 292...295.

10. Palochkin S.V., Rudovskiy P.N., Nuriev M.N. Metody i sredstva kontrolya osnovnykh parametrov tekstil'nykh pakovok. – M.: MGTU imeni A.N. Kosygina, 2006.

11. Rudovskiy P.N., Palochkin S.V. Sintez kulachka mekhanizma raskladki niti dlya beskrutochnoy rovnichnoy mashiny // Journal of Advanced Research in Technical Science. –2017, №4. S. 21...29.

Рекомендована кафедрой ТММ, ДМ и ПТМ КГУ. Поступила 24.09.20.

УДК 677.024

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СТРОЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТКАНИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО СОКРАЩЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

CALCULATION OF TECHNICAL FABRIC STRUCTURE PARAMETERS FOR THE PRODUCTION OF THERMOPLASTIC COMPOSITE MATERIALS BY ABBREVIATED TECHNOLOGY

*С.Г. СТЕПАНОВ¹, В.М. ДЖАНПАИЗОВА², Ж.У. МЫРХАЛЫКОВ³,
Г.С. КЕНЖИБАЕВА², Б.С. ТУРАКУЛОВ²*

*S.G. STEPANOV, V.M. JANPAIZOVA, ZH.U. MYRKHALYKOV,
G.S. KENZHIBAEVA, B.S. TURAKULOV*

¹Ивановский государственный политехнический университет,
²Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан,
³Международный университет SILKWAY, Республика Казахстан)

¹Ivanovo State Polytechnical University,
²M. Auezov South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan,
³Silk Way International University, Republic of Kazakhstan)

E-mail: step-sg@mail.ru

Выполнен расчет параметров строения технической ткани из термопластичных полиамидных нитей и термостойких стеклонитей для производства термопластичных композиционных материалов по сокращенной технологии.

The calculation of the parameters of the structure of technical fabric made of hot-melt polyamide yarns and heat-resistant glass fibers for the production of thermoplastic composite materials by abbreviated technology.

Ключевые слова: техническая ткань, термопластичные композиционные материалы, полиамидные нити, стеклонити, параметры строения ткани.

Keywords: technical fabric, thermoplastic composite materials, polyamide filaments, glass fiber, fabric structure parameters.

В [1] исследована структура технической ткани ТОПАС-2 из термопластичных полиамидных нитей и термостойких стеклонитей для производства термопластичных композиционных материалов по сокращенной (беспропиточной) технологии, получены расчетная и математическая модель ее строения.

Для расчета параметров строения ткани типа ТОПАС-2, характеризующейся низкой плотностью по основе, математическая модель (1)...(13) [1] может быть существенно упрощена. Вследствие низкой плотности по основе этой ткани прогибы и углы поворота поперечных сечений уточной стеклонити и уточной капроновой нити являются малыми величинами. В этом случае из уравнений (5), (6) для уточной стеклонити

и уравнений (8), (9) для уточной капроновой нити системы (1)...(13) [1] следует:

$$\frac{dV}{dZ} = \operatorname{tg}\alpha \approx \alpha, \quad (1)$$

$$\frac{dU}{dW} = \operatorname{tg}\beta \approx \beta, \quad (2)$$

Кроме того, имеем $\ell \approx Z$, $r \approx W$.

Отбрасывая в уравнениях (4) и (7) системы (1)...(13) [1] нелинейные члены ввиду их малости и учитывая, что $\ell \approx Z$, $r \approx W$, после преобразований получим:

$$-A_y^c \frac{d^4 V}{dZ^4} + N_{O_2} \frac{d^2 V}{dZ^2} = T_y(Z), \quad (3)$$

$$-A_y^k \frac{d^4 U}{dW^4} + N_{O_3} \frac{d^2 U}{dW^2} = T_y(W), \quad (4)$$

где

$$T_y(Z) = q_1^y [1 - H(Z - Z_1) - H(Z - Z_2) + H(Z - Z_3) + H(Z - Z_4)], \quad (5)$$

$$T_y(W) = q_1^y [1 - H(W - W_1) - H(W - W_2) + H(W - W_3) + H(W - W_4)].$$

В выражениях (5) $Z_i (i=1,2,\dots,4)$ и $W_i (i=1,2,\dots,4)$ являются координатами по

осям Z и W , определяющими действие распределенных нагрузок (рис. 4.7) из [1].

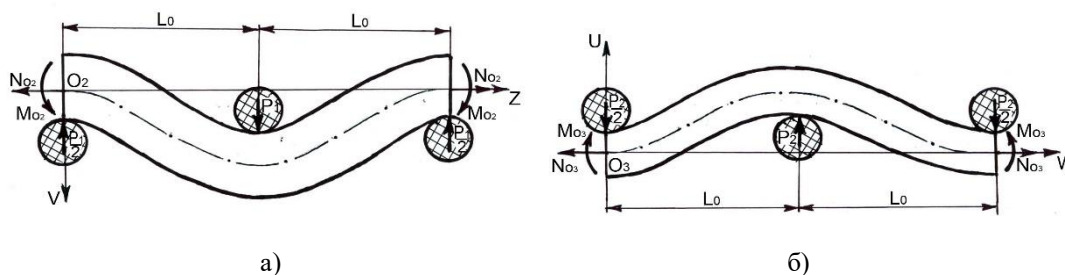


Рис. 1

Дальнейшее упрощение система получит, если распределенные нагрузки, приложенные к уточным нитям, заменить сосредоточенными силами (рис. 1). В этом случае функции внешних нагрузок принимают вид:

$$T_y(Z) = -P_1 \delta(Z - L_0), \quad (6)$$

$$T_y(W) = -P_2 \delta(W - L_0), \quad (7)$$

где $\delta(Z - L_0)$, $\delta(W - L_0)$ – дельта-функции Дирака [2].

С учетом выполненных преобразований система (1)...(13) [1] принимает следующий упрощенный вид [3]:

$$A_0 \left\{ \frac{d^3\varphi}{ds^3} - 0,5 \left[\left(\frac{d\varphi}{ds} \right)_{|s=0}^2 - \left(\frac{d\varphi}{ds} \right)^2 \right] \frac{d\varphi}{ds} \right\} - N_{01} \frac{d\varphi}{ds} + T_0(s) = 0, \quad (8)$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\varphi, \quad (9)$$

$$-A_y^c \frac{d^4V}{dZ^4} N_{O_2} \frac{d^2V}{dZ^2} = T_y(Z), \quad (10)$$

$$-A_y^k \frac{d^4U}{dW^4} N_{O_3} \frac{d^2U}{dW^2} = T_y(W), \quad (11)$$

$$q_1^0 d_y^c = q_1^y d_0, \quad (12)$$

$$q_2^0 d_y^k = q_2^y d_0, \quad (13)$$

$$Y|_{x=3L_y} + V|_{Z=L_0} = \eta_{об} d_0 + \eta_{yb}^c d_y^c, \quad (14)$$

$$U|_{W=L_0} + Y|_{Z=L_y} - Y|_{x=2L_y} = \eta_{об} d_0 + \eta_{yb}^k d_y^k, \quad (15)$$

Полученная система уравнений (8)...(15) может быть использована для расчета параметров строения тканей типа ТОПАС-2 в любой зоне на станке (в опущке, в шпартках, у грудницы и т.д.). Однако

$$A_0 \left[\frac{d^3\varphi}{dx^3} \cos^2 \varphi - 2 \frac{d^2\varphi}{dx^2} \frac{d\varphi}{dx} \sin 2\varphi - \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)^3 (1,5 \cos^2 \varphi - 1) \right] - 0,5 A_0 \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)_{x=0}^2 \frac{d\varphi}{dx} + \frac{1}{\cos \varphi} T_0(x) = 0, \quad (16)$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\varphi, \quad (17)$$

$$Y|_{x=3L_y} + \frac{4q_1^0 d_y^c}{A_y^c \alpha_y^4 L_0} = \eta_{об} d_0 + \eta_{yb}^c d_y^c, \quad (18)$$

$$\frac{4q_2^0 d_y^k}{A_y^k \alpha_y^4 L_0} + Y|_{Z=L_y} - Y|_{x=2L_y} = \eta_{об} d_0 + \eta_{yb}^k d_y^k, \quad (19)$$

где

$$T_0(x) = q_1^0 [1 - H(x - x_1)] - q_2^0 [H(x - x_2) - H(x - x_3)] + q_2^0 [H(x - x_4)] - H(x - x_5)] - q_1^0 H(x - x_6), \quad (20)$$

$H(x-x_i)$ – функции Хевисайда [2].

Итак, имеем систему четырех уравнений с таким же числом неизвестных: φ , y , q_1^0 , q_2^0 .

Граничные условия для решения системы (16)...(19) имеют вид

$$\begin{aligned} \text{при } x=0; \quad \varphi=0; \quad y=0, \\ \text{при } x=3L_y; \quad \varphi=0; \quad y=y|_{x=3L_y}. \end{aligned} \quad (21)$$

Воспользуемся для решения системы

ограничимся исследованием строения ткани ТОПАС-2 в свободном состоянии, то есть ткани, снятой со станка. В этом случае $N_{O_1}=0$, $N_{O_2}=0$, $N_{O_3}=0$. Решая для этого случая уравнения (10), (11) приближенным способом, выражая через полученные решения высоты волн изгиба точной стеклонити $V|_{Z=L_0}$, точной капроновой нити $U|_{W=L_0}$, принимая допущение о том, что длины дуг контакта между основой и уточинами равны диаметрам контактирующих с ней уточных нитей, выполнив замену переменной s на x , получим следующую математическую модель строения ткани ТОПАС-2 в свободном состоянии (подробный вывод этой математической модели приводится на с. 267...270 [3]):

(16)...(19) методом конечных разностей, для чего введем конечно-разностную сетку на отрезке $3L_y$ по оси x основной капроновой нити ([1], рис. 4.7-а), разделив этот отрезок на n равных частей (рис. 2). Аппроксимируя производные уравнений (16), (17) центральными разностями [4] и выражая $Y|_{x=3L_y}$, $Y|_{x=2L_y}$, $Y|_{x=L_y}$ через углы φ_j в узлах сетки, получим [3]:

$$A_0 \left[\frac{(\varphi_{i+2} - 2\varphi_{i+1} + 2\varphi_{i-1} - \varphi_{i-2})}{2h_1^3} \cos^2 \varphi_i - \frac{(\varphi_{i+1} - 2\varphi_i + \varphi_{i-1})(\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1})}{h_1^3} \sin 2\varphi_i - \frac{(\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1})^3}{8h_1^3} (1,5 \cos^2 \varphi_i - 1) \right] - \quad (22)$$

$$-0,5A_0 \frac{(\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1})^2}{4h_1^2} \Big|_{x=0} \cdot \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1}}{2h_1} + \frac{1}{\cos \varphi_i} T_0(x) = 0, \quad (23)$$

$$\frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2h_1} = \operatorname{tg} \varphi_i,$$

$$2h_1 \sum_{j=1,3,5\dots}^{j=n-1} \operatorname{tg} \varphi_j + \frac{4q_1^0 d_y^c}{A_y^c \alpha_y^4 L_0} = \eta_{\text{об}} d_0 + \eta_{\text{уб}}^c d_y^c, \quad (24)$$

$$\frac{4q_2^0 d_y^k}{A_y^k \alpha_y^4 L_0} + 2h_1 \sum_{j=1,3,5\dots}^{j=n-1} \operatorname{tg} \varphi_j - 2h_1 \sum_{j=1,3,5\dots}^{j=m-1} \operatorname{tg} \varphi_j = \eta_{\text{об}} d_0 + \eta_{\text{уб}}^k d_y^k, \quad (25)$$

где k, m – номера узлов, совпадающих с плоскостями, перпендикулярными оси x и проведенными через центры сечений уточных капроновых нитей; n – номер последнего узла конечно-разностной сетки (при $x=3L_y$).

Граничные условия для решения конечно-разностного аналога (22 ... 25) имеют вид:

$$\varphi_0 = x_0 = y_0 = 0; \quad \varphi_{-1} = -\varphi_1; \varphi_n = 0; \quad x_n = 3L_y; \quad y_n = 2h_1 \sum_{j=1,3,5\dots}^{j=n-1} \operatorname{tg} \varphi_j; \quad y_{n+1} = -y_{n-1}. \quad (26)$$

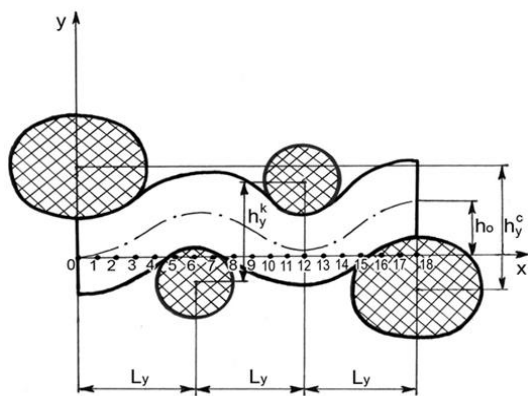


Рис. 2

Воспользуемся полученным конечно-разностным аналогом для расчета параметров строения ткани ТОПАС-2 [5]. С этой целью зададимся конкретным числом элементов конечно-разностной сетки $n=18$, на которое разобьем весь интервал по оси X от 0 до $3L_y$ (рис. 2 – конечно-разностная

сетка для отрезка капроновой нити ткани ТОПАС - 2). Номера узлов, совпадающих с плоскостями, перпендикулярными оси X , и проведенными через центры сечений уточных капроновых нитей, получают значения: $k=6$; $m=12$. При этом номер последнего узла сетки $n=18$.

Расчет параметров строения ткани ТОПАС - 2 выполнялся при следующих исходных данных:

геометрические плотности по основе $L_0=2$ мм; по утку $L_y=0,154$ мм; диаметры поперечных сечений основной капроновой $d_0=0,13$ мм; уточной стеклонити $d_y^c=0,23$ мм; уточной капроновой $d_y^k=0,13$ мм; коэффициенты вертикального смятия основной капроновой $\eta_{\text{об}}=1$; уточной стеклонити $\eta_{\text{уб}}^c=0,75$; уточной капроновой $\eta_{\text{уб}}^k=1$; жесткости при изгибе основной капроновой $A_0=0,0124$ Н·мм²; уточной стеклонити $A_{c_y}=0,006$ Н·мм²; уточной капроновой

$A^c_y=0,0124 \text{ Н}\cdot\text{мм}^2$; число узлов конечно-разностной сетки для отрезка основы – 19; шаг конечно-разностной сетки для основы

$$h_o = \frac{3L_y}{18} = \frac{3 \cdot 0,154}{18} = 0,0257 \text{ мм}.$$

В результате численного решения с использованием пакета программ MathCAD11 конечно-разностного аналога (22)...(25) при перечисленных выше исходных данных и граничных условиях (26) определены следующие параметры строения ткани ТОПАС-2 [5]:

координаты деформированной оси основной нити, в том числе высота ее волны изгиба $U_{|x=3L_y} = 0,057 \text{ мм}$; отношение высоты волны изгиба основы к высоте волны

изгиба уточной стеклонити 0,236; силы взаимного давления между основной и уточной стеклонитью 0,437 сН; между основной и уточной капроновой нитью 1,1 сН; длины деформированных осей отрезка основной нити 0,467 мм; уточной стеклонити в элементе ткани 2,022 мм; уточной капроновой нити в элементе ткани 2,029 мм (расчет длин деформированных осей уточных нитей в элементе ткани выполнен с использованием формулы Симпсона); уработки основной нити 1,071%; уточной стеклонити 1,088 %; уточной капроновой нити 1,429 %; толщина ткани 0,416 мм; коэффициент наполнения ткани 0,375.

В табл. 1 сведены расчетные значения уработки нитей, толщины ткани ТОПАС-2 и фактические значения этих параметров, вычислена относительная ошибка.

Т а б л и ц а 1

Параметры ткани ТОПАС-2	Расчетное значение параметра, %	Фактическое значение параметра, %	Относительная ошибка, %
Уработка основной капроновой нити	1,071	1,04	3,0
Уработка уточной стеклонити	1,088	1,05	3,6
Уработка уточной капроновой нити	1,429	1,38	3,6
Толщина ткани	0,416 мм	0,40 мм	4

Сравнение расчетных и фактических значений уработки нитей и толщины ткани ТОПАС-2 показывает, что эти параметры достаточно близки.

ВЫВОДЫ

1. Получены упрощенная математическая модель строения технической ткани ТОПАС-2 для производства термопластичных композиционных материалов по сокращенной (беспропиточной) технологии и ее конечно-разностный аналог.

2. Выполнен расчет параметров строения ткани ТОПАС-2, в том числе уработки нитей и толщины этой ткани, расчетные значения которых оказались близки к экспериментальным значениям, что подтверждает достоверность разработанной теории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов С.Г., Джаннапаузова В.М., Кенжибаева Г.С., Туракулов Б.С. Математическая модель строения технических тканей для производства термопластичных композиционных материалов по сокращенной технологии // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 4. С.79...83.
2. Светлицкий В.А. Механика гибких стержней и нитей. – М.: Машиностроение, 1978.
3. Степанов С.Г. Развитие теории формирования и строения ткани на основе нелинейной механики гибких нитей: Дис.... докт. техн. наук. – Иваново: ИГТА, 2007.
4. Годунов С.К., Рябенкий В.С. Разностные схемы. – М.: Наука, 1973.
5. Пат. 2040606 Российская Федерация. Техническая ткань / Степанов Г.В., Ерохин Ю.Ф., Синицын В.А., Степанов С.Г., Рыбкина Е.Г. – Оpubл. 27.07.1995, Бюл. № 21.

REFERENCES

1. Stepanov S.G., Dzhanpaizova V.M., Kenzhibaeva G.S., Turakulov B.S. Matematicheskaya model' stroeniya tekhnicheskikh tkaney dlya proizvodstva termoplastichnykh kompozitsionnykh materialov po sokrashchenoy tekhnologii // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2020, № 4. S.79...83.

2. Svetlitskiy V.A. *Mekhanika gibkikh sterzhney i nitey*. – M.: Mashinostroyeniye, 1978.

3. Stepanov S.G. *Razvitie teorii formirovaniya i stroeniya tkani na osnove nelineynoy mekhaniki gibkikh nitey*: Dis.... dokt. tekhn. nauk. – Ivanovo: IGTA, 2007.

4. Godunov S.K., Ryaben'kiy V.S. *Raznostnyye skhemy*. – M.: Nauka, 1973.

5. Pat. 2040606 Rossiyskaya Federatsiya. *Tekhnicheskaya tkan'* / Stepanov G.V., Erokhin Yu.F., Sinitsyn V.A., Stepanov S.G., Rybkina E.G. – Opubl. 27.07.1995, Byul. № 21.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования текстильных материалов ЮГУ. Поступила 22.01.20.

УДК 677.014

ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА

FEATURES OF LINEN FIBER PLASMA TREATMENT

*А.А. АЗАНОВА, Л.Н. АБУТАЛИПОВА, Н.В. ТИХОНОВА, Л.Г. ХИСАМИЕВА,
Р.Г. МИННЕБАЕВА, Я.В. ИВШИН*

*A.A. AZANOVA, L.N. ABUTALIPOVA, N.V. TIKHONOVA, L.G. KHISAMIEVA,
R.G. MINNEBAEVA, Y.V. IVSHIN*

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: azanovlarn@mail.ru

В статье рассмотрено влияние плазменной обработки на нецеллюлозные примеси льняного волокна. Полученные результаты свидетельствуют об относительной устойчивости лигнина к воздействию плазмы и обуславливают его защитную функцию по отношению к целлюлозе.

The article discusses the effect of plasma treatment on non-cellulose impurities of flax fiber. The results show the relative resistance of lignin to plasma and determine its protective function against cellulose.

Ключевые слова: нецеллюлозные примеси льняного волокна, плазменная обработка, устойчивость лигнина, защитная функция.

Keywords: non-cellulose impurities of flax fiber, plasma treatment, lignin stability, protective function.

Лен является природным целлюлозным волокном, имеющим сложное строение. Текстильное льняное волокно представляет собой комплекс элементарных волокон (по 10...40), скрепленных между собой связующими веществами [1], которые состоят преимущественно из пектиновых веществ, гемицеллюлоз и лигнина. Связующие вещества разделяют на три вида образований: срединные пластинки – тонкие прослойки между плотно прилегающими клетками

элементарных волокон; межклеточные связующие вещества в зонах некомпактного расположения волокон, а также инкрусты – покровный слой остатков паренхимных тканей, окружавших лубяные пучки в стебле, которые препятствуют прядению и поэтому должны удаляться. Присутствие в волокне нецеллюлозных спутников усложняет процессы облагораживания льняных текстильных материалов, но в то же время способствует повышению гибкости и проч-

ности волокна [2]. Лигнин, к примеру, придает ему жесткость, хрупкость, ломкость, трудность окрашивания и вместе с тем высокую устойчивость к действию влаги, температуры, микроорганизмов, света и непогоды.

Повышение эффективности промышленной переработки льна связано с совершенствованием химических методов разрушения примесей волокнистого материала, разработкой интенсифицированных экологических методов облагораживания льняных полуфабрикатов, использованием нетрадиционных физико-химических воздействий [2]. Авторами статьи изучено воздействие на льняное волокно низкотемпературной плазмы, создаваемой высокочастотным емкостным (ВЧЕ) разрядом при пониженном давлении, которая все больше находит применение при обработке различных материалов.

Основным объектом исследования являлась вареная и беленая льняная пряжа по ГОСТ 10078–85 "Пряжа чистольняная, льняная и льняная с химическими волокнами. Общие технические условия"; в сравнительных целях использовали также очищенную целлюлозу [3]. Обработку образцов проводили в плазме воздуха на ВЧЕ-установке при пониженном давлении (10...12 Па). Содержание лигнина в льняных волокнах оценивали по УФ-спектрам его диоксановых растворов по общепринятой методике [1] и гидролитическим способом по стандартной методике [4]. Содержание лигнина определяли непосредственно после плазменной обработки пряжи и после ее обработки в горячей воде (кипячением в течение 10 мин). Изменение целлюлозной составляющей волокон определяли по удельной вязкости медно-аммиачных растворов по стандартной методике [5].

Известно [6], что по соотношению интенсивностей характерного сигнала в области λ 280 нм в УФ-спектрах диоксан-лигнина можно судить о его удалении из материала после различных обработок. УФ-спектры диоксановых экстрактов лигнина, полученные до и после плазменной обработки льняной пряжи, представлены на

рис. 1 (УФ-спектры диоксановых экстрактов льняной вареной (а) и беленой (б) пряжи: 1 – контрольный образец; 2 – образец, обработанный ВЧЕ-плазмой; 3 – контрольный образец после обработки в горячей воде; 4 – образец, обработанный ВЧЕ-плазмой после обработки в горячей воде).

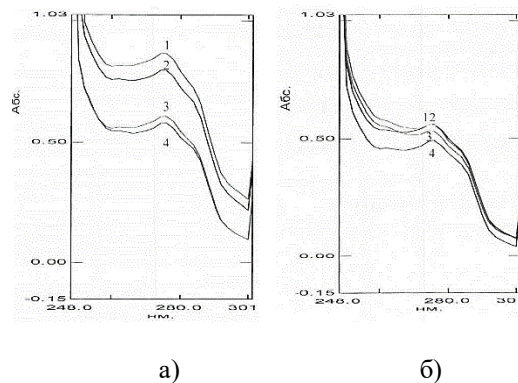


Рис. 1

Интенсивность сигнала УФ-спектра ($\lambda=280$ нм) вареной пряжи выше, чем беленой, что свидетельствует о большем содержании в ней органорастворимого лигнина. После плазменной обработки интенсивность сигнала для контрольного и модифицированного образцов аналогичная (рис. 1-а, б) – то есть плазменная обработка не влияет на содержание диоксан-лигнина в льняной пряже. Лигнин, как известно [1], является ароматическим сетчатым полимером, нерастворимым в воде и водных растворах кислот и щелочей, поэтому из всех нецеллюлозных компонентов льняного волокна он наиболее устойчив к физико-химическим воздействиям, в том числе, по-видимому, и к плазменной обработке при рассматриваемых параметрах.

Рис. 1 позволяет заключить, что обработка льняной пряжи в горячей воде приводит к уменьшению количества лигнина, причем в большей степени в вареной пряже, чем в беленой. В то же время интенсивность спектров модифицированных образцов при $\lambda=280$ нм после обработки в горячей воде меньше, чем интенсивность спектров контрольных (без обработки) образцов. Полученные данные позволяют предположить, что плазменное воздействие не приводит к удалению органораствори-

мого лигнина из льняного волокна, а способствует облегчению его перевода в водорастворимое состояние и извлечению из пряжи при последующей промывке [6].

Далее гидролитическим методом установлено, что относительное содержание в льняном волокне кислотного лигнина после ВЧЕ-плазменной обработки не снижается, а напротив – увеличивается. Это может быть связано с удалением других составных компонентов волокна, в том числе целлюлозы, и, следовательно, уменьшением их относительного содержания. После обработки контрольной беленой пряжи в горячей воде количество лигнина не изменяется, в обработанной ВЧЕ-плазмой – снижается на 58,8 %. Обработка в горячей воде

контрольного образца отваренной пряжи приводит к уменьшению содержания лигнина в волокне на 24,5%. обработанной ВЧЕ-плазмой – на 27,1%. Таким образом, степень удаления лигнина при промывке плазмообработанной пряжи выше, чем контрольной. Это согласуется с результатами экстрагирования диоксан-лигнина (рис. 1). Полученные результаты свидетельствуют об относительной устойчивости лигнина к воздействию плазмы и обуславливают его защитную функцию по отношению к целлюлозе. Данное положение подтверждают результаты определения вязкости медноаммиачных растворов целлюлозы (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Образец		Вязкость η , сПуаз	Относительное изменение, %
Лен	Исходный	5,27	-3,2
	После ВЧЕ-плазменной обработки	5,10	
Очищенная целлюлоза	Исходный	2,29	-4,8
	После ВЧЕ-плазменной обработки	2,18	

Изменение удельной вязкости η медноаммиачных растворов целлюлозы после плазменной обработки образцов в среде воздуха незначительно: 3,2...4,8%. Однако следует отметить тенденцию к снижению η при уменьшении количества нецеллюлозных сопутствующих веществ: в очищенной целлюлозе их содержание не более 1,5% [4], в льняных текстильных волокнах 25...10% [1]. Подобный "защитный" эффект лигнина обнаруживается при радиационной деструкции целлюлозы в составе древесины [7]. Таким образом, обработка низкотемпературной плазмой позволила выявить защитную функцию лигнина по отношению к целлюлозе в льняном волокне.

ВЫВОДЫ

1. Воздействие ВЧЕ-плазмы пониженного давления на льняное волокно не вызывает значительного изменения его целлюлозной составляющей.

2. Нецеллюлозные примеси льняного волокна, в частности лигнин, выполняют защитную функцию по отношению к целлюлозе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривчевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов. – М.: Изд-во РосЗИТЛП, 2000.
2. Алеева С.В., Кокшаров С.А. Дифференцированная оценка влияния примесей льняного волокна на свойства пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 1. С.66...70.
3. ГОСТ 595–79. Целлюлоза хлопковая. Технические условия.
4. ГОСТ 11960–79. Полуфабрикаты волокнистые и сырье однолетних растений для целлюлозно-бумажного производства.
5. ГОСТ 9105–74. Целлюлоза. Метод определения средней степени полимеризации.
6. Акулова М.В., Шарнина Л.В. Применение тлеющего разряда в текстильной и строительной промышленности. – Иваново: ИГХТИ, 2008.
7. Чухчин Д.Г., Матонина Н.А., Новожилов Е.В., Канарская З.А. Закономерности деструкции целлюлозы при обработке электронно-пучковой плазмой // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. Т 17, № 16. С. 131... 135.

REFERENCES

1. Krichevskiy G.E. Khimicheskaya tekhnologiya tekstil'nykh materialov. – M.: Izd-vo RosZITLP, 2000.
2. Aleeva S.V., Koksharov S.A. Differentsirovannaya otsenka vliyaniya primesey l'nyanogo volokna na svoystva pryazhi // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2011, № 1. S.66...70.

lokna na svoystva pryazhi // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2011, № 1. S.66...70.

3. GOST 595–79. Tsellyuloza khlopkovaya. Tekhnicheskie usloviya.

4. GOST 11960–79. Polufabrikaty voloknistye i syr'e odnoletnikh rasteniy dlya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva.

5. GOST 9105–74. Tsellyuloza. Metod opredeleniya sredney stepeni polimerizatsii.

6. Akulova M.V., Sharnina L.V. Primenenie tleyushchego razryada v tekstil'noy i stroitel'noy promyshlennosti. – Ivanovo: IGKhTI, 2008.

7. Chukhchin D.G., Matonina N.A., Novozhilov E.V., Kanarskaya Z.A. Zakonomernosti destruktivnoy tsellyulozy pri obrabotke elektronno-puchkovoy plazmoy // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2014. T 17, № 16. S. 131... 135.

Рекомендована кафедрой моды и технологий.
Поступила 21.01.19.

УДК 677.11:615.46

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПОЛУЧЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ
С ПРОЛОНГИРОВАННЫМИ АНТИИНФЕКЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ***

**RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES
OF OBTAINING TEXTILE MATERIALS AND PRODUCTS
WITH PROLONGED ANTI-INFECT-IZIONAL PROPERTIES**

Н.С. ДЫМНИКОВА, Е.В.ЕРОХИНА, А.П. МОРЫГАНОВ, О.Ю. КУЗНЕЦОВ, С.В.КОРОЛЕВ

N.S. DYMNIKOVA, E.V. EROHINA, A.P. MORYGANOV, O.YU. KUZNETSOV, S.V. KOROLEV

**(Институт химии растворов им. Г.А.Крестова Российской академии наук, г. Иваново,
Ивановская государственная медицинская академия,
Объединение "Специальный текстиль")**

**(G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian academy of Sciences, Ivanovo,
Ivanovo State Medical Academy,
Unification "Special Textiles)**

E-mail: nsd@isc-ras.ru

В статье представлены новые разработки специалистов ИХР РАН по синтезу препаратов на основе наносеребра. Показаны возможности использования разработанных технологий для получения антигрибковых, антибактериальных или вирулицидных текстильных материалов из целлюлозных волокон с пролонгированным защитным действием. Выпущены опытно-промышленные партии вирулицидной хлопчатобумажной ткани и защитных масок с ее использованием в качестве активного защитного слоя.

The article presents new developments by specialists of the IHR RAS on the synthesis of nanosilver-based preparations. The possibilities of using the developed technologies to obtain antifungal, antibacterial or virucidal textile materials from cellulose fibers with a prolonged protective effect are shown. Pilot batches of virucidal cotton-fabric and protective masks with its use as an active protective layer were produced.

* Исследования выполнены в рамках Государственного задания Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (проект № 01201260484).

Ключевые слова: хлопчатобумажные ткани, защитные маски, антимикробные препараты, наночастицы серебра, пролонгированные вирулицидные свойства.

Keywords: cotton fabrics, protective masks, antimicrobial preparations, silver nanoparticles, prolonged virucidal properties.

Актуальность создания антиинфекционных текстильных материалов обусловлена необходимостью разработки новых профилактических и санитарно-гигиенических мер в связи с ухудшающимся экологическим состоянием окружающей среды и снижением уровня иммунитета у населения. Вероятно, стоит ожидать устойчивого спроса на изделия индивидуальной защиты с антибактериальными свойствами, как со стороны граждан, так и медицинских учреждений и служб экстренного реагирования. Пандемия COVID-19 показала, что к таким событиям надо готовиться, и мир не является абсолютно безопасным местом. На сегодня нет доказательств эффективности применения при COVID-19 каких-либо лекарственных препаратов. Специфическая профилактика (вакцина) против COVID-19 в настоящее время не разработана [1], однако работа в этом направлении несомненно увенчается успехом.

Эффективными, но недостаточно используемыми методами борьбы с инфекционными заболеваниями являются приемы предотвращения инфицирования за счет создания материалов и изделий гигиенического и бытового назначения (маски, салфетки, костюмы, пеленки, простыни, чулочно-носочные изделия, перчатки) для профилактики поражения вирусными, бактериальными и грибковыми микроорганизмами. Создание защитных средств повседневного применения сопряжено с рядом трудностей как в подборе биоцидных препаратов во избежание побочных, неблагоприятных для человека последствий (что характерно для многих известных импортных и российских препаратов), так и в разработке эффективных приемов их иммобилизации для обеспечения длительного функционального действия при многократном использовании текстильных изделий.

Одним из перспективных подходов к производству антиинфекционных изделий является применение наночастиц серебра для модификации текстильных материалов. Их выбор обусловлен значительными преимуществами перед ныне применяемыми антимикробными средствами. Доказано, что НЧ_{Ag} обладают более мощным антимикробным эффектом, чем пенициллин, биомицин и другие антибиотики, и оказывают губительное действие на антибиотикоустойчивые штаммы бактерий [2]. В последнее время предпринимаются попытки получить многоразовые защитные маски с серебром, которое наносится электроосаждением из раствора на сетку, вшиваемую затем между слоями ткани [3], хотя, вероятно, такое изделие будет достаточно дорогим для массового применения.

В ИХР РАН в последние годы разработана серия препаратов "Нанотекс" [4], обладающих антимикробными, антигрибковыми и вирулицидными свойствами, а также способы иммобилизации их на текстильных носителях. Научная новизна подхода заключается в реализации приемов регулирования субстантивности биологически активных серебросодержащих гибридных наноматериалов к целлюлозным волокнам посредством оптимизации их состава и условий получения [5], [6]. Так, введение в стабилизирующую оболочку формируемых ультрадисперсных частиц серебра катионактивного полиэлектролита, обладающего антимикробной активностью и способного регулировать субстантивность НЧ_{Ag} к целлюлозным волокнам, позволяет:

- обеспечить высокий уровень защитных свойств текстильного материала или изделий при обработке их очень низкоконтентрированным водным раствором препарата, (содержит 0,01...0,02 г/л наночастиц серебра);

- сохранять необходимый уровень анти-микробной (антигрибковой, антибактериальной или вирулицидной) активности в процессе эксплуатации данного изделия, включая многократное проведение операций стирки (20 стирок и более).

Экспериментальные данные по микробиологической оценке антимикробной активности хлопчатобумажной ткани, модифицированной препаратом Нанотекс, полученные в ИГМА по известной методике [7], показали, что этот препарат обеспечивает более высокие зоны задержки роста к представителям грамположительной (золотистому стафилококку *Staphylococcus aureus*) и грамотрицательной (кишечной палочке *Escherichia coli*) микрофлоры, а также к грибковой культуре, в сравнении с известными препаратами (повиаргол, хлоргексидина биглюконат, диоксидин, Санитайсед) при концентрации его в волокнистом материале в 10...70 раз меньшей [6].

Новый препарат из серии Нанотекс – Нанотекс АВ – предназначен для придания целлюлозным текстильным материалам пролонгированных антиинфекционных свойств. Для оценки вирулицидных (убивающих вирус) свойств антимикробных тканей обычно используют Руководство Роспотребнадзора от 01.06.2010 № Р 4.2.2643-10. На кафедре микробиологии и вирусологии ИГМА разработана упрощенная методика определения вирулицидной активности текстильных материалов, которая может быть использована как косвенный метод экспресс-определения жизнеспособности вирусов на различных видах текстиля. В данном эксперименте в качестве целлюлозных материалов использовали нетканое льносодержащее полотно (30% отбеленного льноволокна + 70% вискозного волокна, поверхностная плотность 50 г/м²), хлопчатобумажную марлю (поверхностной плотностью 36 г/м²), хлопчатобумажную ткань поплин (поверхностной плотностью

140 г/м²). В качестве тест-культуры вируса использовали стафилококковый бактериофаг с титром 10⁷/мл. После 30-, 60- и 90-минутной экспозиции бактериофага на текстильном материале образцы помещали в питательную среду, предварительно засеянную культурой *Staphylococcus aureus*.

Наличие роста чувствительной к бактериофагу культуры *S. aureus* расценивается как полное ингибирование вируса на материале текстильного образца в указанное время экспозиции. Отсутствие роста бактериальной культуры в месте аппликации указывает на сохранение жизнеспособности вируса (фага), что привело к гибели всей бактериальной культуры в жидкой питательной среде.

На рис. 1 показано, как действует культура бактериофаг (вирус) в жидкой питательной среде *S. aureus*. Наличие зоны ингибирования культуры *S. aureus* (темное пятно) в месте нанесения фага на поверхность засеянной "методом газона" агаризованной питательной среды является доказательством того, что грамположительная культура *S. aureus* уничтожается.

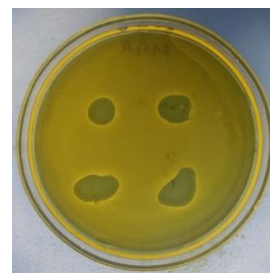


Рис. 1

Данные, полученные по выбору оптимального состава Нанотекс-АВ и концентрации активных компонентов, сведены в табл. 1.

Для наглядности эксперимента на рис. 2 (оценка жизнеспособности вируса (фага) на марлевых образцах) приведены фото, полученные при исследовании образцов марли.



Рис. 2

Таблица 1

Образцы	Время экспозиции, мин		
	30	60	90
Нетканый материал			
1	-	-	+
2	-	+	+
3	+	+	+
4	+	+	+
Марля			
1	+	+	+
2	+	+	+
3	+	+	+
4	+	+	+

Примечание. +- наличие ингибирующего действия на вирус (фаг) - лизис бактериальной культуры; - отсутствие ингибирующего действия на вирус (фаг), наблюдается рост бактериальной культуры.

Отсутствие зоны ингибирования (просветления) вокруг образцов питательной среды с включенной в нее бактериальной культурой *S. aureus* указывает на отсутствие жизнеспособного вируса на текстильном материале. Данные по вирулицидной активности целлюлозных текстильных материалов (табл. 1) показывают высокую активность всех модификаций препарата Нанотекс-АВ для образцов марли. Для более плотного материала (нетканое полотно) наиболее эффективно подавляют вирус образцы № 3 и 4.

Выбранным в ходе предварительного эксперимента составом Нанотекс-АВ была обработана на Тейковском ХБК хлопчато-

бумажная ткань поплин поверхностной плотностью 140 г/м². Первая опытно-промышленная партия антиинфекционной ткани была получена по следующей схеме: пропитка ткани водным раствором препарата Нанотекс-АВ (0,02 г/л) при 20-25 °С – отжим (80...100%) – сушка (100...130°С) на сушильно-ширильной машине [8].

Для сравнения были испытаны образцы ткани, обработанные промышленно выпускаемыми антимикробными препаратами, условно названными Препарат А и Препарат Б. Кроме того, испытан образец, обработанный Нанотексом-АВ в лабораторных условиях.

Полученные результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

№	Наименование препарата, концентрация	Время экспозиции, мин		
		30	60	90
		Рост бактериальной культуры*		
1	Препарат А, 5 г/л	С	С	С
2	Препарат А, 10 г/л	С	С	С
3	Препарат Б, 30 г/л	А	У	С
4	Нанотекс-АВ(обработан на фабрике)	С	А	А
5	Нанотекс-АВ (обработан в лаборатории)	А	А	А
6	без отделки	С	С	С

Примечание. * - ингибирующее действие на вирус (фаг): С – слабое действие, У – умеренное действие, А – активное действие.

Как следует из полученных данных, образцы, обработанные промышленно выпускаемыми препаратами, оказывают лишь сдерживающее (слабое) влияние на тестируемую культуру вируса. Это связано, очевидно, с тем, что данные биоциды являются антимикробными агентами и не могут использоваться как противовирусные.

На образце ткани, обработанном в промышленных условиях препаратом Нанотекс-АВ, через 30 мин культура вируса погибает не полностью (наблюдается ее слабый рост), однако через час – полная инактивация вируса. На образце №5, обработанном в лаборатории отделочной фабрики, наблюдается полная инактивация вируса

уже через 30 мин без восстановления его жизнеспособности. Данный факт говорит о том, что препарат Нанотекс-АВ очень эффективно убивает вирус.

Следует отметить, что дополнительные затраты на препарат Нанотекс-АВ на 1 пог. м ткани составят не более 3...5 руб. В то же время, для сравнения, стоимость японских медицинских антибактериальных тканей пролонгированного действия для штор "Green Days" составляет 85...120 \$/пог.м [9].

Изготовленная на основе полученной ткани объединением "Специальный текстиль" опытная партия защитных масок имеет следующие преимущества перед ныне используемыми масками из хлопчатобумажных тканей или марли без специальных отделок:

- возможность непрерывного ее использования в течение 8 ч;
- сохраняются антивирусные свойства после стирок (не менее 20);
- относительно небольшое увеличение себестоимости.

Антиинфекционные материалы, помимо использования в качестве активного слоя защитных масок, можно будет применять и для других видов текстильных изделий (салфетки, полотенца, одежда первого слоя, перчатки).

Следует отметить, что это первые исследования по модификации целлюлозных материалов препаратом Нанотекс-АВ для придания им пролонгированных антимикробных, в том числе и вирулицидных (убивающих вирусы) свойств. Необходимо продолжить работу в данном направлении с целью усиления воздействия, инактивирующего вирус, в том числе, различные штаммы SARS-Cov-2 (Covid 19).

ВЫВОДЫ

1. Представлены новые препараты Нанотекс, синтезированные в ИХР РАН на основе наночастиц серебра, для придания текстильным материалам из целлюлозных волокон (ткани, марля, нетканые и трикотажные полотна, готовые изделия) пролонгированных антимикробных, в том числе и

вирулицидных (убивающих вирусы) свойств.

2. Показано, что обработанные препаратом Нанотекс-АВ текстильные материалы обеспечивают полную инактивацию вируса (стафилококковый бактериофаг) без восстановления его жизнеспособности.

3. Выявлены преимущества препаратов Нанотекс в сравнении с отечественными и импортными аналогами как по эффективности и долговечности придаваемых текстильным материалам и изделиям защитных свойств, так и по экономичности их использования (в связи с применением новых ресурсосберегающих технологий их синтеза и иммобилизации на текстильном материале).

4. Выпущены опытно-промышленные партии вирулицидной хлопчатобумажной ткани и защитных масок с ее использованием в качестве активного защитного слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Никифоров В.В. и др.* Новая коронавирусная инфекция (COVID 19): клиничко-эпидемиологические аспекты// Архив внутренней медицины. – 2020, № 2. С.87...93.

2. *Щербаков А.Б., Корчак Г.И., Сурмашева Е.В. и др.* // Фармацевтический журнал. – 2006, №5. С.45...57.

3. Защитные маски с премиум серебром. 26.06.2020, 16:11 Иваново. <https://www.ivanovonews.ru/reports/1028810>.

4. Патент РФ №2640277 от 27.12.2017 г., бюл. №36. Способ получения антимикробного серебросодержащего целлюлозного материала/ Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Галашина В.Н., Морыганов А.П., Дьячин С.А.

5. *Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Кузнецов О.Ю., Морыганов А.П.* Исследование влияния субстантивности серебросодержащих препаратов к целлюлозному материалу на его биологическую активность // Российский химический журнал. – 2017, т. LXI, № 2. С. 3...12.

6. *Морыганов А.П., Дымникова Н.С., Ерохина Е.В.* Биологически активные текстильные материалы для изделий медицинского и косметического назначения// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №6. С.16...21.

7. ГОСТ ISO 20645-2014. Изделия текстильные. Определение антибактериальной активности.

8. Выдержит больше 20 стирок: ученые создали антивирусную пропитку для ткани. РИА Новости, 16.06.2020. <https://ria.ru/20200616/1572939233.html>

9. Медицинские антибактериальные шторы "Green Days" - необходимый атрибут современного лечебного учреждения, рекомендовано Министерством здравоохранением Российской Федерации. <https://wm-greendays.ru/?yclid=3657554545107305718>

REFERENCES

1. Nikiforov V.V. i dr. Novaya koronavirusnaya infektsiya (COVID 19): kliniko-epidemiologicheskie aspekty // Arkhiv vnutrenney meditsiny. – 2020, № 2. S.87...93.

2. Shcherbakov A.B., Korchak G.I., Surmasheva E.V. i dr. // Farmatsevticheskiy zhurnal. – 2006, №5. S.45...57.

3. Zashchitnye maski s premium serebrom. 26.06.2020, 16:11 Ivanovon'yus. <https://www.ivanovonews.ru/reports/1028810>.

4. Patent RF №2640277 ot 27.12.2017 g., byul. №36. Sposob polucheniya antimikrobnogo serebro-soderzhashchego tsellyuloznogo materiala/ Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Galashina V.N., Moryganov A.P., D'yachin S.A.

5. Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Kuznetsov O.Yu., Moryganov A.P. Issledovanie vliyaniya substantivnosti serebro-soderzhashchikh preparatov k tsellyuloznomu materialu na ego biologicheskuyu aktivnost' // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. – 2017, t. LXI, № 2. S. 3...12.

6. Moryganov A.P., Dymnikova N.S., Erokhina E.V. Biologicheski aktivnye tekstil'nye materialy dlya izdeliy meditsinskogo i kosmeticheskogo naznacheniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, №6. S.16...21.

7. GOST ISO 20645-2014. Izdeliya tekstil'nye. Opredelenie antibakterial'noy aktivnosti.

8. Vyderzhit bol'she 20 stirok: uchenye sozdali antivirsnuyu propitku dlya tkani. RIA Novo-sti, 16.06.2020. <https://ria.ru/20200616/1572939233.html>

9. Meditsinskie antibakterial'nye shtory "Green Days" - neobkhodimyy atribut sovremennogo lechbnogo uchrezhdeniya, rekomendovano Ministerstvom zdruvookhraneniem Rossiyskoy Federatsii. <https://wm-greendays.ru/?yclid=3657554545107305718>

Рекомендована техническим семинаром отдела "Химия текстильных материалов" ИХР РАН. Поступила 30.06.20.

УДК 677.027.652

ПОЛИМЕРНО-КЛЕЕВЫЕ КОМПОЗИЦИИ С МЕМБРАННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ДУБЛИРОВАНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

POLYMER ADHESIVE COMPOSITIONS WITH MEMBRANE PROPERTIES FOR DUPLICATING FIBROUS MATERIALS

*О.И. ОДИНЦОВА, Е.В. РУМЯНЦЕВ, О.В. КОЗЛОВА,
В.Е. РУМЯНЦЕВА, Е.Г. ПОЛУШИН, А.Н. РУСАКОВА*

*O.I. ODINTCOVA, E. V. RUMYANTSEV, O.V. KOZLOVA,
V.E. RUMYANTSEVA, E.G. POLUSHIN, A.N. RUSAKOVA*

(Ивановский государственный химико-технологический университет,
Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: ovk-56@mail.ru

Представлен анализ и описаны достоинства и недостатки современных текстильных материалов с непористым мембранным покрытием. Показана эффективность использования полимерно-клеевых композиций (ПКК) на водной основе при дублировании волокнистых материалов, позволяющих не только прочно склеить два текстильных материала, но и сообщить материалам дополнительно свойства паропроницаемости.

An analysis is presented and the advantages and disadvantages of modern textile materials with a non-porous membrane coating are described. The efficiency of using water-based polymer-adhesive compositions (PAC) for duplicating fibrous materials is shown, which allows not only firmly gluing two textile materials, but also imparting additional vapor permeability properties to the materials.

Ключевые слова: непористое мембранное покрытие, полимерно-клеевые композиции, водная основа, дублирование, паропроницаемость.

Keywords: non-porous membrane coating, polymer-adhesive compositions, water base, duplication, vapor permeability.

Наилучшими свойствами водонепроницаемости и паропроницаемости обладают материалы на основе пористых мембран. Одежда, изготовленная из них, отвечает всем потребительским требованиям по комфорту и высокой износостойкости, однако для отечественного потребителя является дорогой. Кроме того, все зарубежные технологии производства пористых мембранных материалов технически сложны, поэтому для отечественных производителей особый интерес представляет развитие технологий производства текстильных материалов с непористым мембранным покрытием, полученных способом дублирования и обладающих высокими свойствами паропроницаемости.

Механизм паропроницаемости через непористое мембранное покрытие отличается от механизма проницаемости в пористых мембранах и основан на явлении избирательной диффузии, где соответственно скорость сорбции и диффузии молекул воды пропорциональна гидрофильности полимера, из которого создано непористое мембранное покрытие [1]. Благодаря гидрофильным группам ($-O-$, $CO-$, $-OH$ или $-NH_2$) в макромолекуле полимера, которые создают полярные участки макромолекулярных цепей полимера, обеспечивается перенос молекул воды из областей с более высокой относительной влажностью (пододежное пространство) в окружающую среду, в то время как капли воды удерживаются на поверхности пленок гидрофобными цепями полимера [2]. Эта двойственность свойств, необходимых для работы непористой мембраны по принципу избирательной диффузии, создает сложности для

выбора полимерной составляющей покрытия.

В настоящее время известна непористая мембрана на основе гидрофильной ПУ смолы, содержащей смесь полиола и полиизоцианата или форполимера. Мембрану отличает экологичность производства и сокращенные процессы термического отверждения [3].

В работе [4] описано получение мембранного покрытия на текстильной основе из полиэфира и ПП, с нанесенной подложкой из полипропилена толщиной 35 мкм, дублированной затем алюминием и покровным слоем ПУ. Известен композиционный текстильный материал для спецодежды и изделий технического назначения, состоящий из огнезащитного текстильного верхнего слоя, сорбционного теплозащитного текстильного нижнего слоя и промежуточного слоя из полимерного клея. Изобретение обеспечивает улучшенные эксплуатационные свойства и низкую стоимость производства [5]. В [6] приведен способ получения отражающего, водонепроницаемого, паропроницаемого материала с металлическим покрытием на основе полиуретана, использование которого в изобретении предполагается не только для приклея металлического слоя, но и для формирования пленки, обладающей свойствами мембраны, а в [7] для создания слоя со свойствами мембраны применяют наполненный фторкаучук.

Описывая достоинства и недостатки современных текстильных материалов с непористым мембранным покрытием, следует отметить, что основные недостатки таких материалов заключаются в медленном

достижении максимальной паропрооницаемости, которое может сопровождаться набуханием и промоканием в условиях сильных осадков, а также наличия «шумовых» эффектов, которые возникают за счет трения слоев мембраны и ткани. Некоторые авторы указывают, что, несмотря на доступность различных гидрофильных полимеров, многие из них малоприспособлены для производства мембранных тканей, поскольку высокочувствительны к воде и способны растворяться или сильно набухать. Такие материалы не обеспечивают достаточную долговечность покрытия при обычной эксплуатации одежды и ее периодической стирке из-за существенного снижения прочности при изгибе и высокого истирания [1], [8], [9].

В то же время непористые мембранные материалы обладают рядом очевидных преимуществ, к которым можно отнести достаточную простоту процесса изготовления и нанесения покрытий; низкую себестоимость; высокую устойчивость к химикатам и растворителям; высокую прочность и устойчивость к изгибу [1].

На практике для формирования непористых мембранных покрытий на текстильных материалах используют сегментированные сополимеры, обладающие достаточным количеством гидрофобных сегментов или сшивкой полимера покрытия, что обеспечивает требуемую долговечность покрытия, хотя эти способы в определенной степени и снижают паропрооницаемость материала. Поэтому плотность сшивки оптимизируют таким образом, чтобы обеспечить достаточную прочность покрытия при сохранении необходимого уровня гидрофильности и хорошей паропрооницаемости, в рамках баланса гидрофильных и гидрофобных свойств [3].

Большое количество работ посвящено созданию материалов, обладающих свойствами непористых мембран на основе композиционных материалов из полимерных составляющих в сочетании с различными добавками. Известны разработки материалов на основе полиэтилена и его производных [10], с дополнительным термопластичным адгезивом для увеличения времени

нахождения в защитной одежде, а также на основе модифицированного полиэтилентерефталата для создания прочных адсорбционных полимерных пленок [11].

Запатентован способ производства многослойных химзащитных материалов для спецодежды работников аварийно-спасательных служб. Сущность изобретения состоит в использовании в качестве сорбционного слоя угленасыщенной крепированной бумаги, армированной с двух сторон тканью с термоклеевым точечным покрытием, содержащий целлюлозу сульфатную небеленую, уголь активированный, сорбционный слой содержит латекс синтетический. Технический результат заключается в увеличении стойкости к истиранию, повышении воздухопроницаемости, паропрооницаемости, устойчивости к мокрым обработкам, в увеличении срока эксплуатации готового изделия, а также в упрощении технологии изготовления [12].

Интерес представляет также введение нанокompозитов и различных добавок в полимерные системы, этому вопросу посвящено множество работ. Показано, что наилучшие результаты достигаются при использовании следующих наполнителей: нанокompозиты [13], пигменты [14], кремнийсодержащие вещества [15], цеолиты [16], фуллерены [17], которые вводят в различные полимерные системы [18].

Отечественные текстильные материалы с непористым мембранным покрытием уступают мировым аналогам по ряду показателей: гидрофильности, паро- и воздухопроницаемости, износостойкости. Основная причина, которая приводит к снижению эксплуатационных свойств изделий из данных материалов, связана с высокой скоростью полного или частичного разрушения мембранного покрытия.

Лидером использования среди полимеров для создания покрытий со свойствами мембран в настоящее время являются полиуретаны, тем не менее, ассортимент полиакрилатов [19], [20] значительно расширился за последнее десятилетие, в том числе за счет российских производителей. Таким образом, поиск и апробация новых полимерных систем для изготовления непо-

ристых мембран или композитов со свойствами непористых мембран представляет большой интерес, который будет только усиливаться с успехами синтеза новых полимеров, обладающих высокими потребительскими свойствами.

В ИГХТУ разработана технология получения дублированных волокнистых материалов (ДВМ) на основе водных полимерно-клеевых композиций (ПКК), позволяющих не только прочно склеить два текстильных материала, но и сообщить материалам дополнительно свойства паропроницаемости. Авторами [21], [22] показано, что в качестве основы клеевой композиции эффективнее всего использовать водную сополимерную дисперсию акриловой и метакриловой кислот, модифицированную акрилонитрилом – Рузин-33.

Для повышения показателей паропроницаемости ДВМ авторами предложено вводить в полимерную композицию в качестве дополнительных порообразователей минеральные наполнители – каолин, графит и др.[23].

Полученные закономерности легли в основу создания технологий получения (ДВМ) в зависимости от назначения материала и с соответствующим уровнем показателя паропроницаемости в г/м² за сутки: 1 группа – 5 000-10 000; 2 группа – 10000-15 000; 3 группа – выше 20 000.

Для каждой группы материалов разработаны технологии их получения и предложены схемы предполагаемого строения дублированных материалов (рис. 1...3).

1. Полиэфирная ткань с хлопчатобумажной трикотажной подкладкой для комфортной одежды, предполагающей малую подвижность – для прогулок, отдыха, обладающая мягким грифом, свойствами паропроницаемости, влагонепроницаемости (рис. 1 – схема строения дублированного волокнистого материала для одежды, предполагающей малую подвижность). Технология получения этого материала проста и включает рапельное нанесение полимерно-клеевой композиции, включающей акриловое связующее Рузин-33 и акриловый загуститель; подсушку и термосклеивку при 150°С в течение 10 секунд.

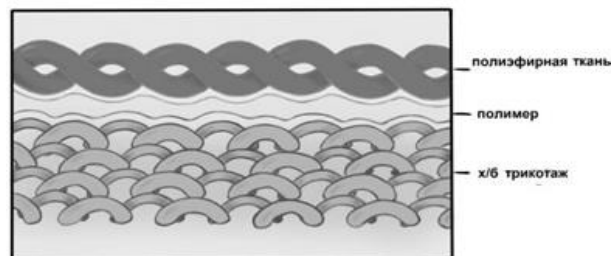


Рис. 1

2. Дублированный материал, состоящий из полиэфирной ткани и полиэфирного флиса, склеенных посредством комбинированного мембранного слоя, сформированного из ПКК на основе Рузина-33 с добавкой каолина (или наногрфита) (рис. 2 – схема строения дублированного волокнистого материала для одежды, предполагающей использование при умеренных нагрузках). Данный материал является водонепроницаемым, паропроницаемым, тепло- и ветрозащитным и незаменим для одежды, предназначенной для активного отдыха, спортсменов, охотников, рыбаков и др. Технология отличается от предыдущей только составом ПКК.

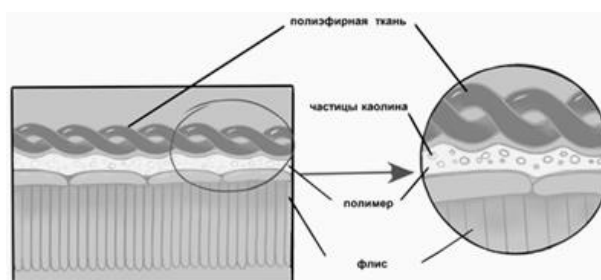


Рис. 2

3. Дублированный материал, состоящий из полиэфирной ткани с водоотталкивающей пропиткой (наружная ткань) и полиэфирным флисовым полотном с двухсторонним ворсом (внутренняя ткань). ПКК наносится рапельным способом на флисовую ткань, после чего идет подсушка и собственно дублирование с полиэфирной тканью. При склеивании ворсовой поверхности флиса с полиэфирной тканью ПКК не плотно склеивает оба материала, как это происходит по вышеописанным технологиям. В процессе термосклеивания происходит вдавливание и углубление полимера

в структуру ворса. Эта модель нанесения приближена к известному способу точечного склеивания материалов. Улучшенные показатели теплозащиты и паропроницаемости достигаются в этом случае за счет образующихся пустот в межволоконных пространствах.

Рис. 3 – схема строения дублированного волокнистого материала для одежды, предполагающей использование в экстремальных условиях эксплуатации

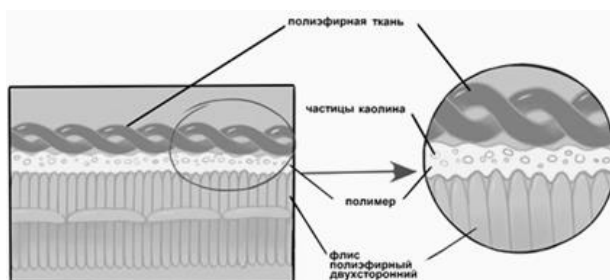
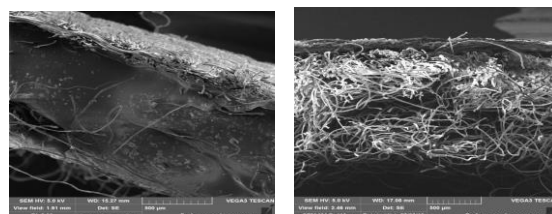


Рис. 3

Микроструктура срезов ДВМ, полученных с использованием различных составов ПКК, как без минеральных добавок, так и с введением наполнителей, исследована с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA3 SBH. Электронные фотографии срезов дублированных материалов свидетельствуют об образовании структурно неоднородного композита (за счет ворсовой фактуры флисовой ткани). На примере третьего типа материалов на рис. 4 (поверхность среза ДВМ, полученного методом электронной сканирующей микроскопии (полиэфирная ткань – сверху, флисовое трикотажное полотно – снизу, между

слоями ТМ – полимерно-клеевая композиция с каолином)) с 802-х кратным (а) и 100-кратным (б) увеличением приведены снимки среза ДВМ. Сверху на фото верхний материал – полиэфирная ткань, снизу – флисовое полиэфирное трикотажное полотно, между слоями полимерный слой с включением в него каолина.



а) б)
Рис. 4

Для полученных материалов определен такой важный (особенно для ветрозащитной одежды) показатель, как воздухопроницаемость. Единицей измерения служит кубический фут воздуха, проходящий через материал за одну минуту – CFM (cubic feet per minute). [24]. С помощью прибора Textest (Швейцария) в соответствии со стандартами ASTM D737 и ISO 9237 оценены ветрозащитные свойства испытуемых ДВМ. В табл. 1 представлены данные по показателям паропроницаемости, водоотталкивания и воздухопроницаемости ДВМ, полученные по всем трем рассмотренным выше схемам дублирования. Хорошими ветрозащитными свойствами обладают второй и третий образцы, что отвечает требованиям в соответствии с их назначением.

Таблица 1

Тип	Назначение ДВМ	Паропроницаемость (г/м ² /24 ч)	Воздухопроницаемость, ДВМ/м ² /с	Водоотталкивание, усл.ед
1	Одежда для активного отдыха	200...500	120...132	62...66
2	Одежда с мембранными свойствами	600...12000	11...15	78...82
3	Одежда для работников в экстремальных условиях	38000...42000	2...8	95...98

Полученные характеристики тканей подтвердили высокую технологическую эффективность разработанных технологий получения ДВМ на основе отечественных водных полимерно-клеевых композиций и

конкурентоспособность наряду с брендовой продукцией, выпускаемой с использованием дорогостоящего зарубежного сырья – готовых мембранных пленок или полимерных клеевых составов на неводной основе.

ВЫВОДЫ

1. Анализ приведенных технологий получения текстильных материалов с непористым мембранным покрытием, полученных способом дублирования подтвердил актуальность создания отечественных материалов, обладающих высокими свойствами паропроницаемости.

2. Оценена возможность применения отечественных водных полимерно-клеевых композиций для создания дублированных материалов различного целевого назначения и с соответствующим уровнем показателя паропроницаемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Painter C.J.* Waterproof, Breathable Fabric Laminates: A Perspective from Film to Market Place // *Journal of Coated Fabrics*. – 1996, № 26 (2). P. 107...130.

2. *Метелева О.В., Покровская Е.П.* Новая технология повышения защитных свойств одежды для туризма и активного отдыха // *Сервис в России и за рубежом*. – 2013, № 1 (39). С.86...96.

3. *Scott R.A.* Coated and Laminated Fabrics // *Chemistry of the Textile Industry*. – 1995. P. 210...247.

4. Патент 2527989 США. Устойчивый к загрязнению, воздухопроницаемый тканевый слоистый материал и одежда из него / Г.Л. Стургилл, М.И. Ходгинс, П.Дж. Уолш, У.Г. Харди. Заявл. 20.06.14; опубл. 10.09.14. <http://www.freepatent.ru/patents/2527989>

5. Патент 2457763. Российская федерация. А41D31/02 Композиционный текстильный материал для спецодежды и изделий технического назначения / В.И. Бесшапошникова, Н.Е. Ковалева, Т.В. Куликова, Е.В. Жилина, М.В. Загоруйко, И.В. Андреева. Заявл.25.06.10; опубл.10.08.12

6. Патент 2422062 А41D31/02, В01D67/00 Способ получения отражающей мембраны и мембрана, полученная по этому способу / Г.Б. Витманн, Ван Де Вен Хенрикус Йоаннес Мария (NL) Заявл.26.09.06-09; опубл.27.06.11.

7. Патент 2082469. Российская федерация. А62В17/00 Материал для теплозащитной одежды/Л.Е. Арефьев, М.Н. Белицин, В.И. Брагин, В.А. Выгодин. Заявл.16.11.95; опубл. 27.06.97.

8. *Lomax G.R.* Hydrophilic Polyurethane Coatings // *Journal of Coated Fabrics*. – 1990, №20 (2). P.88...107.

9. *Krishnan K.* New applications for breathable hydrophilic and non-hydrophilic coatings // *J. Coated Fabrics*, 1996, №25. P. 103...114.

10. *Сайфутдинова, И.Ф., Абдуллин И.Ш., Фатхутдинов Р.Х.* Получение и исследование свойств композиционных пленок на основе хлорсульфированного полиэтилена // *Мат. конкурса на*

лучшую работу студентов и аспирантов XII Республиканская школа студентов и аспирантов «Жить в XXI веке»: / М-во обр. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2012 . С.110...114.

11 *Красновский А.Н., Осмоловская Н.А., Лаврентьев В.К., Мякин С.В., Васильева И.В., Макаров А.В.* // Адгезионно-прочные полимерные слои на пленках полиэтилентетрафталата, модифицированных под воздействием ускоренных электронов // *Журнал прикладной химии*. – 2012, № 5. С.819...825.

12. Патент 2281800. РФ. Химзащитный термоклеевой композиционный материал для защитной одежды / В.С. Иванова, Е.А. Кузнецов, И.Ю. Гайлов, Р.Х. Фатхутдинов, С.П. Никитаев, И.Н. Зарипов, О.Г. Шупленко; патентообладатель ГУП «Казанский химический научно-исследовательский институт», ОАО «Волжский научно-исследовательский институт». С.130.

13. *Светличный В.М., Ромашкова К.А., Субботина Л.И., Юдин В.Е., Попова Е.В., Гофман И.В., Суханова Т.Е.* Наноконпозиты на основе полиамидоимида и октоэдрального силсесквиоксана // *Журнал прикладной химии*. – 2013. Т. 86, вып. 3. С.446...453.

14. Патент Германия 10253310. D06N3/141 A synthetic plastic membrane obtainable from at least 70 vol.% of two polyurethanes and a pigment powder useful for tarpaulins, bed ware, protective and sports clothing and other clothing, packaging materials, carpets, and leather goods / Н. Sylvia; заявитель Kuesters Peter. – заявл. 14.11.02; опубл. 28.05.03, <http://www.freepatentsonline.com/DE10253310A1.html> (10.06.20)

15. *Ефимов Н.Ю., Жуков Г.В., Соснов Е.А., Малыгин А.А.* Модифицирование поверхности пленок поливинилхлорида кремнийсодержащими наноструктурами // *Журнал прикладной химии*. – 2012, № 4. С.659...664.

16. *Ферапонтова Л.Л., Гладышев Н.Ф., Ферапонтов Ю.А., Путин С.Б., Родаев В.В., Головин Ю.И.* Изучение физико-химических свойств композиционных сорбционно-активных материалов на основе цеолита и фторпроизводных этилена // *Журнал прикладной химии*. – 2012, № 3. С.470...476.

17. Патент 2414953 РФ. Способ получения композитных мембран с фуллеренсодержащим полимерным селективным слоем / Г.А. Полоцкая, А.В. Пенькова; патентообладатель Учреждение Российской Академии Наук Институт высокомолекулярных соединений РАН. – № 2009127219/04; заявл. 14.07.09; опубл. 27.03.11.

18. Патент 2211725 РФ. Способ получения композиционных полимерных диффузионных мембран и диффузионные мембраны, полученные этим способом / С.В. Кононова, Ю.П. Кузнецов, В.Н. Иванова, К.А. Ромашкова, В.В. Кудрявцев; заявитель и патентообладатель Институт высокомолекулярных соединений РАН. – № 2000119418/04; заявл. 20.07.00; опубл. 10.09.03.

19. Акрилаты. Метакрилаты. Мономеры. Каталог продукции. <https://chemdirect.ru/acrylates> (10.06.20)

20. Гаврилова О.Е. Обзор современных полимерных материалов, применяемых в производствах легкой промышленности <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-sovremennyh-polimernykh-materialov-primenyaemykh-v-proizvodstvakh-legkoj-promyshlennosti/viewer> (10.06.20)

21. Полушин Е.Г., Козлова О.В., Одинцова О.И. Изучение паропроницаемости дублированных текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №6 С. 154...158.

22. Меленчук Е.В., Козлова О.В. Использование полимеров-модификаторов при колорировании параарамидных тканей // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2013. Т.56. Вып.8. С.90...93.

23. Полушин Е.Г., Козлова О.В., Одинцова О.И. Изучение паропроницаемости дублированных текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 6. С.154...158.

24. Шайдурова Г.И., Мальшева А.В. Аналитические исследования по реализации наноструктур в полимерных композициях // Master's journals. – 2016, № 2. Р. 87...92.

REFERENCES

1. Painter C.J. Waterproof, Breathable Fabric Laminates: A Perspective from Film to Market Place // Journal of Coated Fabrics. – 1996, № 26 (2). Р. 107...130.

2. Meteleva O.V., Pokrovskaya E.P. Novaya tekhnologiya povysheniya zashchitnykh svoystv odezhd dlya turizma i aktivnogo otdykha // Servis v Rossii i za rubezhom. – 2013, № 1 (39). S.86...96.

3. Scott R.A. Coated and Laminated Fabrics // Chemistry of the Textile Industry. – 1995. Р. 210...247.

4. Patent 2527989 SShA. Ustoychivyy k zagryazneniyu, vozdukhopronitsaemyy tkanevyy sloisty material i odezhd iz nego / G.L. Sturgill, M.I. Khodgins, P.Dzh. Uolsh, U.G. Khardi. Zayavl. 20.06.14; opubl. 10.09.14. <http://www.freepatent.ru/patents/2527989>

5. Patent 2457763. Rossiyskaya federatsiya. A41D31/02 Kompozitsionnyy tekstil'nyy material dlya spetsodezhdy i izdeliy tekhnicheskogo naznacheniya /V.I. Besshaposhnikova, N.E. Kovaleva, T.V. Kulikova, E.V. Zhilina, M.V. Zagoruyko, I.V. Andreeva. Zayavl.25.06.10; opubl.10.08.12

6. Patent 2422062 A41D31/02, B01D67/00 Sposob polucheniya otrazhayushchey membrany i membrana, poluchennaya po etomu sposobu /G.B. Vittmann, Van De Ven Khenrikus Yoannes Mariya (NL) Zayavl.26.09.06-09; opubl.27.06.11.

7. Patent 2082469. Rossiyskaya federatsiya. A62B17/00 Material dlya teplozashchitnoy odezhdy/L.E. Aref'ev, M.N. Belitsin, V.I. Bragin, V.A. Vygodin. Zayavl.16.11.95; opubl. 27.06.97.

8. Lomax G.R. Hydrophilic Polyurethane Coatings // Journal of Coated Fabrics. – 1990, №20 (2). Р.88...107.

9. Krishnan K. New applications for breathable hydrophilic and non-hydrophilic coatings // J. Coated Fabrics, 1996, №25. Р. 103...114.

10. Sayfutdinova, I.F., Abdullin I.Sh., Fatkhutdinov R.Kh. Poluchenie i issledovanie svoystv kompozitsionnykh

plenok na osnove khlor-sul'firovannogo polietilena // Mat. konkursa na luchshuyu rabotu studentov i aspirantov KhII Respublikanskaya shkola studentov i aspirantov «Zhit' v KhKhI veke»: / M-vo obr. i nauki Rossii, Kazan. nats. issled. tekhnol. un-t. – Kazan': Izd-vo KNITU, 2012. S.110...114.

11. Krasnovskiy A.N., Osmolovskaya N.A., Lavren'tev V.K., Myakin S.V., Vasil'eva I.V., Makarov A.V. // Adgezionno-prochnye polimernye sloi na plenkakh polietilentetraftalata, modifitsirovannykh pod vozdeystviem uskorennykh elektronov // Zhurnal prikladnoy khimii. – 2012, № 5. S.819...825.

12. Patent 2281800. RF. Khimzashchitnyy termokleevoy kompozitsionnyy material dlya zashchitnoy odezhdy / V.S. Ivanova, E.A. Kuznetsov, I.Yu. Gaylov, R.Kh. Fatkhutdinov, S.P. Nikitayev, I.N. Zari-pov, O.G. Shuplenko; patentoobladatel' GUP «Kazan'skiy khimicheskii nauchno-issledovatel'skiy institut», OAO «Volzhskiy nauchno-issledovatel'skiy institut. S.130.

13. Svetlichnyy V.M., Romashkova K.A., Subbotina L.I., Yudin V.E., Popova E.V., Gofman I.V., Sukhanova T.E. Nanokompozity na osnove poliamidoimida i oktoedral'nogo silseskvioksana // Zhurnal prikladnoy khimii. – 2013. Т. 86, vyp. 3. S.446...453.

14. Patent Germaniya 10253310. D06N3/141 A synthetic plastic membrane obtainable from at least 70 vol.% of two polyurethanes and a pigment powder useful for tarpaulins, bed ware, protective and sports clothing and other clothing, packaging materials, carpets, and leather goods / H. Sylvia; zayavitel' Kuesters Peter. – zayavl. 14.11.02; opubl. 28.05.03, <http://www.freepatentonline.com/DE10253310A1.html> (10.06.20)

15. Efimov N.Yu., Zhukov G.V., Sosnov E.A., Malygin A.A. Modifitsirovanie poverkhnosti plenok polivinilkhlorida kremniysoderzhashchimi nanostrukturami // Zhurnal prikladnoy khimii. – 2012, № 4. S.659...664.

16. Ferapontova L.L., Gladyshev N.F., Ferapontov Yu.A., Putin S.B., Rodaev V.V., Golovin Yu.I. Izuchenie fiziko-khimicheskikh svoystv kompozitsionnykh sorbtionno-aktivnykh materialov na osnove tseolita i ftorproizvodnykh etilena // Zhurnal prikladnoy khimii. – 2012, № 3. S.470...476.

17. Patent 2414953 RF. Sposob polucheniya kompozitnykh membran s fullerensoderzhashchim polimernym selektivnym sloem / G.A. Polotskaya, A.V. Pen'kova; patentoobladatel' Uchrezhdenie Rossiyskoy Akademii Nauk Institut vysokomolekulyarnykh soedineniy RAN. – № 2009127219/04; zayavl. 14.07.09; opubl. 27.03.11.

18. Patent 2211725 RF. Sposob polucheniya kompozitsionnykh polimernykh diffuzionnykh membran i diffuzionnye membrany, poluchennye etim sposobom / S.V. Kononova, Yu.P. Kuznetsov, V.N. Ivanova, K.A. Romashkova, V.V. Kudryavtsev; zayavitel' i patentoobladatel' Institut vysokomolekulyarnykh soedineniy RAN. – № 2000119418/04; zayavl. 20.07.00; opubl. 10.09.03.

19. Akrilaty. Metakrilaty. Monomery. Katalog produktii. <https://chemdirect.ru/acrylates> (10.06.20)

20. Gavrilova O.E. Obzor sovremennykh polimernykh materialov, primenyaemykh v proizvodstvakh legkoy promyshlennosti <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-sovremennyh-polimernyh-materialov-primenyaemyh-v-proizvodstvah-legkoy-promyshlennosti/viewer> (10.06.20)

21. Polushin E.G., Kozlova O.V., Odintsova O.I. Izuchenie paropronitsaemosti dublirovannykh tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, №6 S. 154...158.

22. Melenchuk E.V., Kozlova O.V. Ispol'zovanie polimerov-modifikatorov pri kolorirovanii paraaramidnykh tkaney // Izv. vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. – 2013. T.56. Vyp.8. S.90...93.

23. Polushin E.G., Kozlova O.V., Odintsova O.I. Izuchenie paropronitsaemosti dublirovannykh tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, № 6. S.154...158.

24. Shaydurova G.I., Malysheva A.V. Analiticheskie issledovaniya po realizatsii nanostruktur v polimernykh kompozitsiyakh // Master's journals. – 2016, № 2. R. 87...92.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов ИГХТУ. Поступила 16.12.20.

УДК 677.017

**РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ДЕФОРМАЦИИ РАСТЯЖЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН**

**CALCULATION METHOD FOR DETERMINING
TENSILE STRAIN OF TEXTILE WEBS**

Е.М. КОПАРЕВА, С.Н. ТИТОВ, Л.Л. ЧАГИНА, Н.А. СМИРНОВА

E.M. KOPAREVA, S.N. TITOV, L.L. CHAGINA, N.A. SMIRNOVA

(Костромской государственной университет)

(Kostroma State University)

E-mail: lyu-chagina@yandex.ru

В статье приведено теоретическое обоснование и вывод формулы для вычисления деформации растяжения текстильного полотна по его фрагменту или изображению фрагмента при неразрушающем оптическом контроле.

The article provides theoretical justification and inference of the formula for calculating the strain of the stretching of the textile web from its fragment or from the image of the fragment in non-destructive optical control.

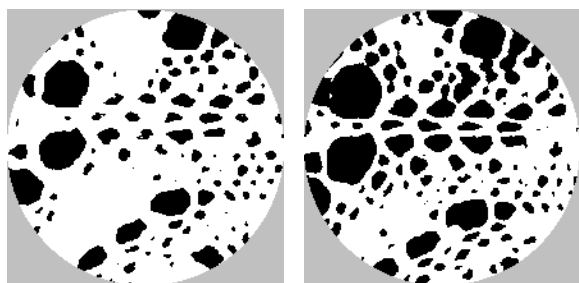
Ключевые слова: текстильное полотно, деформация растяжения, оптическое изображение, поверхностное заполнение, расчетный метод.

Keywords: textile web, tension strain, optical image, surface filling, design method.

Характеристики деформационных свойств являются наиболее информативными и необходимыми для учета при проектировании изделий легкой промышленности. Наиболее ценными для трикотажных полотен являются показатели растяжимости и упругих свойств, определяющие условия использования материала для конкретного изделия [1...7]. На сегодняшний день перспективными методами исследова-

ния являются прямые наблюдения структуры материалов средствами электронной и оптической микроскопии. Предлагаемый метод [8] позволяет оценить изменение структуры трикотажного полотна при растяжении в пределах эксплуатационных нагрузок в результате автоматизированного распознавания оптических изображений (рис. 1 – оптические изображения трикотажного полотна: а) – до нагружения, б)

– после нагружения) с использованием разработанного программного обеспечения. Количественной характеристикой является изменение площади сквозных пор после растяжения в пределах эксплуатационных нагрузок. Эта методика применима для трикотажных полотен разреженных структур разного волокнистого состава.



а) б)
Рис. 1

С целью расширения области использования метода [1] в качестве критерия оценки предлагается использовать коэффициент изменения структуры, определяющий поверхностное заполнение текстильного полотна. Для реализации метода принимаются следующие начальные условия и ограничения.

1. Объект анализа – изображение двухкомпонентного материала (один компонент – сквозные поры, другой – проекция нитей), обладающего следующими свойствами:

- компоненты достаточно равномерно распределены по объему полотна;
- податливость компонентов в направлении (направлениях) деформирования многократно различается;
- при растяжении площадь проекции текстильного полотна в направлении деформирования остается неизменной, деформация осуществляется за счет изменения площади сквозных пор.

2. Физические размеры объекта анализа в окне изображения до и после деформирования остаются неизменными.

3. Разрешения фотографий могут различаться.

Перечисленным условиям, кроме трикотажных полотен, удовлетворяют ткани и нетканые материалы со сквозными порами, а также эластичные материалы.

На рис. 2 представлены схемы объектов исследования до и после растяжения.

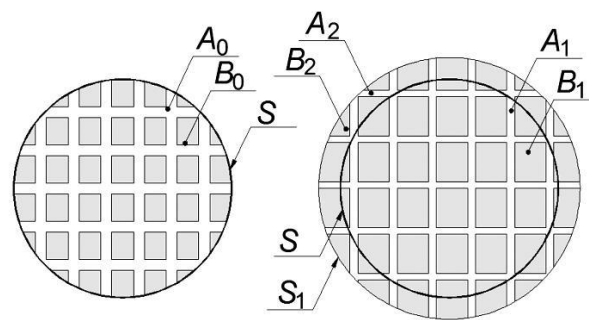


Рис. 2

Пусть анализируемая область объекта имеет размер S , а количества компонентов в этой области соответственно равны: до деформирования – A_0 и B_0 , после деформирования – A_1 и B_1 , где через A обозначен материал, количество которого в процессе деформации не изменяется, через B – просветы (эластичная составляющая) с изменяемым в процессе деформирования значением количественной характеристики. Компонент A будет отражать площадь проекции полотна, компонент B – площадь сквозных пор.

Очевидны следующие соотношения:

$$\begin{aligned} S &= A_0 + B_0 = A_1 + B_1, & (1) \\ A_0 &= A_1 + A_2. &) \end{aligned}$$

В результате растяжения размер области S материала изменится и станет равным S_1 . Абсолютная деформация анализируемой области

$\Delta S = S_1 - S$, а относительная деформация материала (цель анализа) определится следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S} = \frac{S_1 - S}{S} = \frac{S_1}{S} - 1. \quad (3)$$

При растяжении границы S_1 объекта выходят за границы анализа S и, как следствие, не могут быть определены путем прямого измерения. Поэтому абсолютная деформация ΔS напрямую не определяется.

Однако учитывая, что:

$$\Delta S = A_2 + B_2, \quad (4)$$

из (2) следует:

$$A_2 = A_0 - A_1 = \Delta A. \quad (5)$$

Из условия равномерности распределения компонентов в материале $\frac{B_2}{A_2} = \frac{B_1}{A_1}$ получаем: $B_2 = A_2 \frac{B_1}{A_1}$, что дает после подстановки в (4) с учетом (5):

$$\Delta S = \Delta A \left(1 + \frac{B_1}{A_1}\right) = \Delta A \frac{A_1 + B_1}{A_1} = \Delta A \frac{S}{A_1}. \quad (6)$$

После подстановки (6) в (3) выражение принимает вид:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{S} \cdot \frac{S}{A_1} = \frac{\Delta A}{A_1}. \quad (7)$$

Таким образом, относительная деформация представляет собой отношение величины уменьшения площади проекции нитей к площади проекции нитей в зоне измерения после деформирования.

Следует учесть, что в этом определении вместо термина “абсолютная деформация” использован термин “уменьшение площади проекции”, которое численно равно абсолютной деформации, но противоположно ей по знаку, что обеспечивает положительную относительную деформацию материала при растяжении и отрицательную при сжатии.

Степень поверхностного заполнения материала представляет собой отношение количества площади проекции нитей к общему количеству материала в объекте анализа: $E = \frac{A}{S}$. Тогда степени заполнения до и после деформирования будут соответственно равны $E_0 = \frac{A_0}{S}$ и $E_1 = \frac{A_1}{S}$.

Подставив (5) в (7):

$$\varepsilon = \frac{A_0 - A_1}{S} \cdot \frac{S}{A_1} = \left(\frac{A_0}{S} - \frac{A_1}{S}\right) \bigg/ \frac{A_1}{S}. \quad (8)$$

После замены в (8) отношений на соответствующие степени заполнения получаем:

$$\varepsilon = \frac{E_0 - E_1}{E_1} = \frac{E_0}{E_1} - 1. \quad (9)$$

Следовательно, относительная деформация представляет собой уменьшенное на единицу отношение степеней поверхностного заполнения материала до и после деформирования.

Учитывая, что каждая степень заполнения определяется только по одному объекту измерения (области, фотографии), и будучи относительной величиной, не зависит ни от размера области, ни от оптического разрешения фотографии, можно заключить, что выражение (9) и соответствующее определение являются универсальными для вычисления относительной деформации материала по его фрагменту или изображению фрагмента при неразрушающем оптическом контроле.

В Ы В О Д Ы

1. Предложен расчетный метод определения деформации растяжения текстильных материалов по поверхностному заполнению.

2. Предлагаемое решение целесообразно использовать для неразрушающего контроля стабильности структуры текстильных полотен при проектировании и эксплуатации изделий.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Флерова Л.Н., Сурикова Г.И. Материаловедение трикотажа. – М.: Легкая индустрия, 1972.

2. Чагина Л.Л., Смирнова Н.А., Вершинина А.В. Исследование и учет деформационных свойств при проектировании одежды из льняных трикотажных полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 1. С. 10...14.

3. Чагина Л.Л., Смирнова Н.А. Трикотажные полотна и изделия из льна: методы исследования свойств и оценка качества. – Кострома: Изд-во Костром. гос. ун-та, 2015.

4. Чагина Л.Л., Копарева Е.М. Трикотажные полотна и изделия из льна: современные направления в проектировании. – Кострома: Изд-во Костром. гос. ун-та, 2017.

5. Чагина Л.Л. Влияние свойств трикотажного полотна на конструктивные характеристики изделия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, № 2. С. 91...95.

6. Чагина Л.Л., Смирнова Н.А., Воронова Е.М. Применение неразрушающего метода для исследования деформационных свойств льняных трикотажных полотен // Вестник КГТУ. – Кострома: КГТУ, 2012, №1(28). С. 40...43.

7. Чагина Л.Л., Виноградова Г.Л., Воронова Е.М. Разработка методики конструирования льняных трикотажных изделий и ее реализация в системе T-Flex CAD // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 4. С. 124....127.

8. Способ определения изменения структуры трикотажного полотна при пространственном растяжении /Копарева Е.М., Маринкина М.А., Рассадина С.П., Чагина Л.Л. Патент на изобретение № 2619728 РФ - Оpubл. 17.05.2017 Бюл. № 14.

REFERENCES

1. Flerova L.N., Surikova G.I. Materialovedenie trikotazhaa. – М.: Legkaya industriya, 1972.

2. Chagina L.L., Smirnova N.A., Vershinina A.V. Issledovanie i uchet deformatsionnykh svoystv pri proektirovani odezhdy iz l'nyanykh trikotazhnykh poloten // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2011, № 1. S. 10...14.

3. Chagina L.L., Smirnova N.A. Trikotazhnye polotna i izdeliya iz l'na: metody issledovaniya svoystv i otsenka kachestva. – Kostroma: Izd-vo Kostrom. gos. un-ta, 2015.

4. Chagina L.L., Kopareva E.M. Trikotazhnye polotna i izdeliya iz l'na: sovremennyye napravleniya v

proektirovani. – Kostroma: Izd-vo Kostrom. gos. un-ta, 2017.

5. Chagina L.L. Vliyanie svoystv trikotazhnogo polotna na konstruktivnye kharakteristiki izdeliya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2014, № 2. S. 91...95.

6. Chagina L.L., Smirnova N.A., Voronova E.M. Primenenie nerazrushayushchego metoda dlya issledovaniya deformatsionnykh svoystv l'nyanykh trikotazhnykh poloten // Vestnik KGTU. – Kostroma: KGTU, 2012, №1(28). S. 40...43.

7. Chagina L.L., Vinogradova G.L., Voronova E.M. Razrabotka metodiki konstruirovaniya l'nyanykh trikotazhnykh izdeliy i ee realizatsiya v sisteme T-Flex CAD // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2012, № 4. S. 124....127.

8. Sposob opredeleniya izmeneniya struktury trikotazhnogo polotna pri prostranstvennom rastyazhenii /Kopareva E.M., Marinkina M.A., Rassadina S.P., Chagina L.L. Патент на изобретение № 2619728 РФ - Оpubл. 17.05.2017 Бюл. № 14.

Рекомендована кафедрой дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров. Поступила 10.12.19.

УДК 687.056.8/9

РАЗРАБОТКА 3D-СКАНЕРА ДЛЯ СКАНИРОВАНИЯ ФИГУРЫ ЧЕЛОВЕКА

DEVELOPMENT OF A 3D SCANNER FOR SCANNING A HUMAN FIGURE

Н.А. ЗАМОТИН, А.С. ДЯГИЛЕВ

N.A. ZAMOTIN, A.S. DYAGILEV

(Витебский государственный технологический университет)

(Vitebsk State Technological University)

E-mail: ni-ko-lay@mail.ru; dyagilev@vstu.by

В работе описана разработка 3D-сканера для сканирования фигуры человека с использованием поворотного подиума и сенсоров Kinect. В конструкции 3D-сканера предложено использование лазерных излучателей для последующего упрощения процесса ориентации 3D-модели относительно горизонтальной плоскости в трехмерном пространстве. Предложена конструкция специального инструмента для повышения точности снятия размерных признаков фигуры человека.

The work is devoted to the development of a 3D scanner for scanning a human figure using a pivot podium and "Kinect" sensors. The design of the 3D scanner assumes the use of laser emitters for the subsequent simplification of the process of orientation of the 3D model relative to the horizontal plane in three-dimensional space. The construction of a special tool for increasing the accuracy of measuring the dimension of a human figure is proposed.

Ключевые слова: 3D-сканирование, сканирование фигуры человека, сенсор Kinect, бодисканер.

Keywords: 3D scanning, human figure scanning, Kinect sensor, body scanner.

Обновление ассортимента швейных изделий, повышение эффективности производства и улучшение качества одежды – постоянные и всегда актуальные задачи швейной промышленности. Проектирование любого вида одежды всегда начинается с выбора исходных данных, первой и основной частью которых являются размерные при-

знаки тела человека. Существующий механизм получения размерных признаков тела человека представляет собой трудоемкий и длительный процесс, чаще всего осуществляемый контактными методами. Из-за широкого внедрения IT-технологий в массовое швейное производство, а также наличия современных САПР, реализующих тради-

ционное 2D- и перспективное 3D-конструирование и моделирование [1], большой интерес представляют бесконтактные способы получения информации о размерах и форме тела человека с помощью 3D-сканеров [2].

Ряд зарубежных производителей предлагает готовые системы, называемые бодисканерами [3]. Ежегодно компанией Nometrica Consulting проводится крупнейшая в мире регулярная конференция по бодисканированию 3DBODY.TECH [4]. В общем виде бодисканер – это 3D-сканер, способный создавать 3D-модель фигуры человека и специальное программное обеспечение, позволяющее получить весь диапазон размерных признаков с минимальной погрешностью [5...7]. Внедрению подобных систем в швейные производства Республики Беларусь мешают высокая цена и разнородность получаемых данных из-за различий в методиках снятия размерных признаков, заложенных в программном обеспечении бодисканера и отраженных в ГОСТе [8].

В рамках настоящей работы ставилась задача разработки опытного образца 3D-сканера, позволяющего с высокой точностью проводить сканирование фигуры человека с целью последующего снятия его размерных признаков. Разрабатываемый 3D-сканер должен обладать сравнительно невысокой стоимостью, простой конструкцией, позволяющей без особых усилий осуществлять его транспортировку, достаточной для целей конструирования одежды и независимой от квалификации оператора точностью сканирования.

Анализ существующих решений

Начальным этапом разработки 3D-сканера для сканирования фигуры человека является выбор технологии 3D-сканирования. Технологий 3D-сканирования существует множество. Они делятся на контактные и бесконтактные, бесконтактные, в свою очередь, делятся на активные и пассивные. Выбор технологии 3D-сканирования необходимо осуществлять, учитывая свойства, размеры и сложность объекта сканирования. Поэтому были сформулированы требования, которым должен отвечать 3D-сканер для сканирования фигуры человека: высо-

кая скорость сканирования, безопасность технологии для глаз человека, возможность захвата текстур (цветное сканирование).

Учитывая требования, предъявляемые к 3D-сканеру для сканирования фигуры человека, была выбрана бесконтактная активная технология 3D-сканирования, предлагаемая израильской компанией PrimeSense [10] и реализованная в сенсорах Kinect [11]. Данный сенсор при помощи инфракрасного излучателя проецирует на сканируемый объект образец инфракрасных лучей, которые, отражаясь от объекта сканирования, принимаются с помощью датчика глубины. Это захваченное изображение передается на специализированную микросхему, где преобразуется в карту глубины. Одновременно с этим, при помощи RGB-камеры, сенсор захватывает цветное изображение. На основе карты глубины и цветного изображения строится изображение глубины сцены [12].

Сенсор Kinect обладает полем зрения в 57 градусов по горизонтали и в 43 градуса по вертикали [13], поэтому он сможет захватить только часть поверхности сканируемого объекта в определенный момент времени.

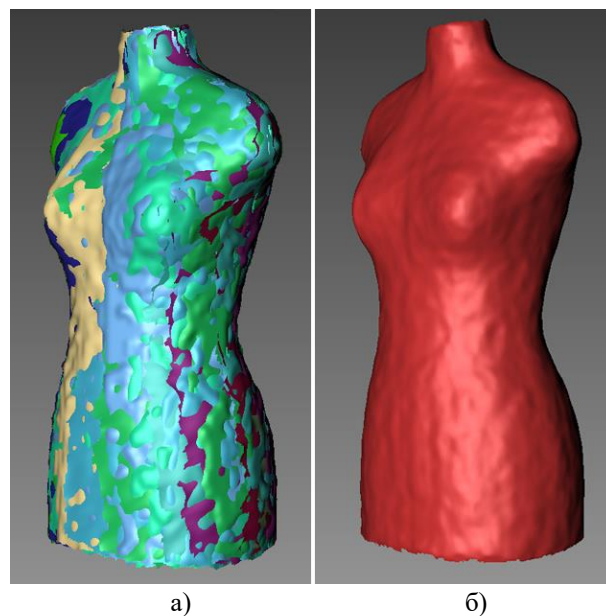


Рис. 1

Процесс сканирования с помощью данного сенсора состоит из нескольких этапов: захват и преобразование отдельных частей

сканируемого объекта в 3D-сети (рис. 1 – этапы сканирования при помощи сенсора "Kinect": а – захват, преобразование и выравнивание отдельных частей сканируемого объекта, б – результирующий 3D-объект), выравнивание их относительно друг друга (рис. 1-а) и объединение всех 3D-сетей в 3D-объект (рис. 1-б).

Следующий этап разработки 3D-сканера – выбор конструктивного решения. Выбор конструктивного решения необходимо осуществлять, учитывая требования, предъявляемые к 3D-сканерам для сканирования фигуры человека, и технические характеристики сенсоров Kinect.

В результате анализа 20 моделей 3D-сканеров ведущих мировых производителей (Artec Shapify Booth, Artec Eva, 3dMDbody.t System, Botscan, VECTRA WB360, Fit3D, mPort mPod, Naked 3D Fitness Scanner, SS20 3D Body Scanner, Styku S100, TELMAT Symcad III, Texel Portal, Twindom Twinstant Mobile, Vitronic VITUS 3D body Scanner, Shapescan, zSnapper 360 Scan, Chishine3d RayGo240, 3D Elements,

Shapeanalysis 3D Body Scanner) [14] и ряда научных работ [15...17] были выделены четыре базовых типа конструкций 3D-сканеров.

Главным критерием группировки конструкций, анализируемых 3D-сканеров в определенный базовый тип, являлся принцип перемещения 3D-сенсора относительно объекта сканирования: тип I – 3D-сенсор перемещается оператором вокруг неподвижного сканируемого объекта, тип II – 3D-сенсоры неподвижны и закреплены на стойке, сканируемый объект вращается вокруг своей оси на поворотном подиуме, тип III – 3D-сенсоры закреплены на штативе, который движется вокруг неподвижного сканируемого объекта, тип IV – 3D-сенсоры неподвижны, закреплены на стойках и расположены со всех сторон неподвижного сканируемого объекта.

В результате анализа базовых типов конструкций 3D-сканеров был выделен ряд сравнительных характеристик, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики	Тип базовой конструкции 3D-сканера			
	I	II	III	IV
Количество сенсоров (тип Kinect)	1	4	4	16
Поворотная платформа для вращения сканируемого объекта	-	Есть	-	-
Поворотная платформа для вращения 3D-сенсоров	-	-	Есть	-
Количество стоек для установки 3D-сенсоров	-	1	1	4
Влияние квалификации оператора на качество сканирования	Есть	-	-	-
Сложность при транспортировке	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Время сканирования, с	600	30	30	1
Степень комфорта для сканируемого человека	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Ориентировочная стоимость, \$ (данные на декабрь 2018 г.)	750	2025	3150	5000

Как видим из табл. 1, при выборе сенсоров типа Kinect на каждую стойку должно приходиться не менее четырех сенсоров, что приводит, с одной стороны, к удорожанию конструкции сканеров типов II, III, IV, включающих в конструкцию от одной до четырех стоек, а с другой стороны, умень-

шается время сканирования с одновременным увеличением точности сканирования.

Конструкции типа II и III должны быть снабжены поворотными механизмами, обеспечивающими либо вращательное движение сканируемого объекта относительно своей оси, либо сенсоров относительно объекта.

Для реализации конструкции типа I достаточно использование одного сенсора, что позволяет удешевить конструкцию и обеспечивает легкость ее транспортировки, однако предполагает наличие соответствующей квалификации оператора, достаточно много времени сканирования, что утомительно для сканируемого человека.

Реализация конструкции типа IV предполагает наличие не менее четырех стоек и при использовании сенсоров Kinect не менее четырех сенсоров на стойке, что приводит к значительному удорожанию конструкции, делает ее стационарной, но при этом обеспечивает минимально возможное время сканирования и максимально возможную точность, не зависящую от квалификации оператора.

Проектирование и разработка 3d-сканера для сканирования фигуры человека

В соответствии с поставленной задачей на основе проведенного анализа для разрабатываемого 3D-сканера была выбрана конструкция типа II, состоящая из стойки с закрепленными на ней четырьмя сенсорами Kinect и поворотной платформы, так как она обеспечивает независимость качества сканирования от квалификации оператора, обеспечивает относительную легкость ее

транспортировки и обладает сравнительно невысокой стоимостью.

Для обеспечения точности снятия размерных признаков с отсканированной модели человека в разрабатываемую модель сканера были внесены соответствующие доработки.

Использование сенсоров Kinect в выбранной конструкции 3D-сканера не позволяет после получения 3D-модели человека однозначно определить ее ориентацию в пространстве. Таким образом, одна из задач, которую нужно решить для обеспечения точности снятия размерных признаков по отсканированной 3D-модели человека, – определение ее ориентации относительно горизонтальной плоскости. Задача по позиционированию 3D-модели ложится на оператора и производится вручную. Если модель будет "завалена", это приведет к неверным результатам измерения обхватов и балансовых измерений [18].

Для ориентации 3D-модели относительно горизонтальной плоскости в трехмерном пространстве поворотная платформа была оснащена лазерными излучателями, проецирующими вертикальные линии на сканируемый объект во фронтальной и сагиттальной плоскостях.

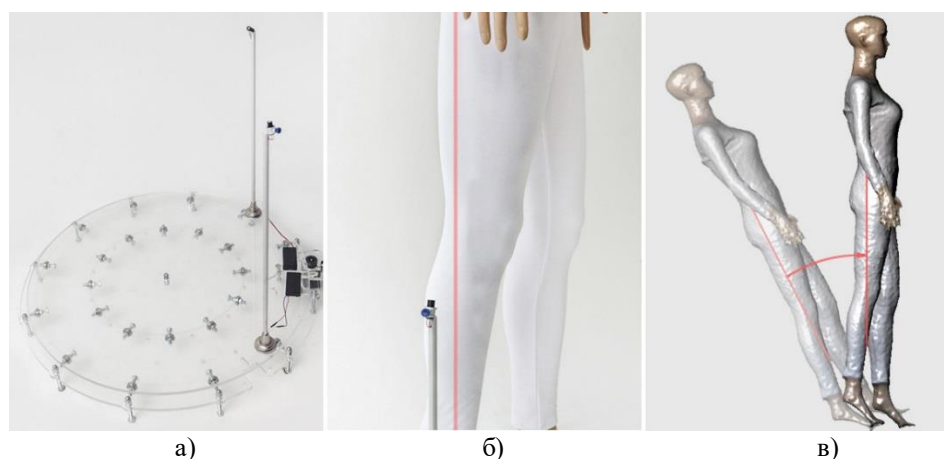


Рис. 2

На рис. 2 представлено приспособление для ориентации 3D-модели относительно горизонтальной плоскости: а – поворотный подиум, оборудованный лазерными излучателями, б – вертикальная полоса, проецируемая излучателем, в – процесс изменения пространственной ориентации 3D модели.

Как видно из рис. 2-а, лазерные излучатели закреплены на поворотной платформе с помощью специальных стоек и вращаются вместе со сканируемым объектом. На рис. 2-б продемонстрирована вертикальная полоса, проецируемая лазером на сканируемый объект. На рис. 2-в проиллюстриро-

ван процесс изменения пространственной ориентации отсканированной 3D-модели на финальном этапе ее создания.

При снятии размерных признаков для построения конструкций плечевой одежды типовой является следующая поза измеряемого человека: стоять без напряжения, не опуская головы, сохраняя привычную для себя осанку, руки должны быть опущены вниз. Подмышечная область является одной из самых сложных областей фигуры человека для снятия размерных признаков по 3D-модели. Так как в этом месте плечо человека имеет тесный контакт с грудной

клеткой, что приводит к эффекту "склеивания" руки с туловищем на 3D-модели (рис. 3-а, б). В результате невозможно однозначно определить местоположения переднего и заднего углов подмышечных впадин на 3D-модели. Для устранения эффекта "склеивания" предложено использовать специальное приспособление, которое представляет собой упругий деформирующийся цилиндр из прозрачного пластика. На рис. 3-в, г продемонстрирован результат использования данного приспособления.

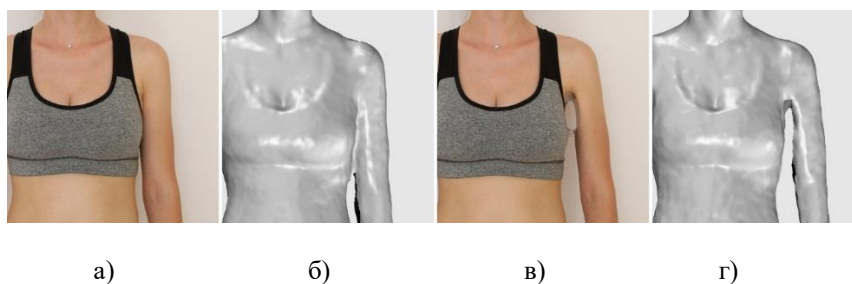


Рис. 3

Обработка полученных при сканировании данных осуществлялась в полуавтоматическом режиме с использованием системы автоматизированного проектирования Rhinoceros 5 [19]. Необходимые антропометрические уровни задаются оператором на 3D-модели в среде Rhinoceros 5.

Для автоматизации процесса измерения размерного признака в среде графического редактора алгоритмов Grasshopper [20] был разработан специализированный модуль, позволяющий на основе ранее заданных антропометрических уровней и компьютерной 3D-модели строить контуры размерных признаков и измерять их длину.

Внешний вид разработанного 3D-сканера представлен на рис. 4.

Для определения точности разработанного 3D-сканера в лабораторных условиях были созданы идеальные условия сканирования. Перемещения объекта относительно 3D-сканера в процессе сканирования, а также его деформация были исключены за счет использования жесткого статического портновского манекена вместо живого человека. Для обеспечения однозначного рас-

положения линий измерений, построенных по 3D-модели и измеренных контактным методом с помощью сантиметровой ленты, на манекене стежками были нанесены контурные линии, соответствующие измеряемым размерным признакам.



Рис. 4

Соблюдая технологию сканирования [21] (отсутствие светоотражающих поверхностей на сканируемом объекте, отсутствие источников инфракрасного света и т.д.), с использованием разработанных модулей было проведено 20 тестовых сканирований манекена. На основе полученных 3D-моделей были произведены измерения обхватов и дуговых размерных признаков портновского манекена: обхват шеи (Т13), обхват груди первый (Т14), обхват груди второй (Т15), обхват груди третий (Т16), обхват талии (Т18), обхват бедер без учета выступа живота (Т20), длина плечевого ската (Т31), расстояние от точки основания шеи сбоку до линии обхвата груди первого спереди (Т34), расстояние от точки основания шеи сбоку до сосковой точки (высота груди) (Т35), расстояние от точки основания шеи сбоку до линии талии спереди (длина талии спереди) (Т36), дуга через высшую точку плечевого сустава (Т38), расстояние от точки основания шеи сзади до уровня заднего угла подмышечной впадины (Т39), длина спины до талии с учетом выступа лопаток (Т40), длина спины до талии сзади до точки основания шеи сбоку (Т43), длина дуги верхней части туловища через точку основания шеи сбоку (Т44), ширина груди (Т45), расстояние между сосковыми точками (Т46), ширина спины (Т47). Контрольные измерения манекена проводились с помощью сантиметровой ленты.

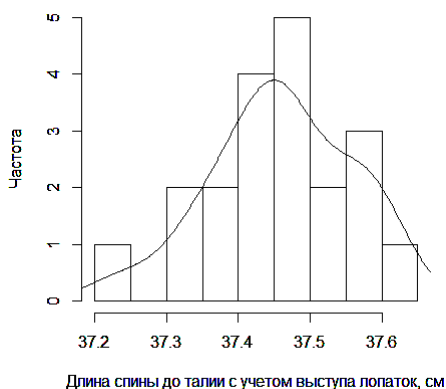


Рис. 5

На рис. 5 приведено распределение значений размерного признака "длина спины до талии с учетом выступа лопаток", изме-

ренных с использованием компьютерных 3D-моделей, полученных в результате повторного сканирования одного и того же манекена.

Для размерного признака "длина спины до талии с учетом выступа лопаток" (рис. 5) распределение значений соответствует нормальному распределению (критерий Шапиро-Уилка [22], $W = 0,96844$, $p\text{-value} = 0,7216$). Для всех измеренных размерных признаков при оценке нормальности распределения $p\text{-value}$ критерия Шапиро-Уилка превышало принятый уровень значимости $\alpha=0,05$. Таким образом, нет оснований для отклонения гипотезы о нормальном распределении измеренных значений размерных признаков.

Ошибка при измерении размерного признака e_i определяется по формуле

$$e_i = \frac{x_{\text{изм}} - x_i}{x_{\text{изм}}}, \quad (1)$$

где $x_{\text{изм}}$ – значение размерного признака, измеренное контактным методом, см; x_i – значение i -го измерения размерного признака на основе 3D-модели.

Анализ экспериментальных данных показал, что ошибка при измерении обхватов и дуговых размерных признаков не превышает 0,6 см, что обеспечивает достаточную точность измерений для конструирования одежды.

ВЫВОДЫ

1. На основе сенсоров Kinect и с использованием поворотного подиума разработан 3D-сканер фигуры человека.

2. Предложено использование в конструкции 3D-сканера лазерных излучателей для последующего упрощения процесса ориентации 3D-модели относительно горизонтальной плоскости в трехмерном пространстве.

3. Предложено использование специального инструмента, представляющего собой упругий деформирующийся цилиндр из прозрачного пластика, для повышения точности снятия размерных признаков "обхват груди первый", "обхват груди второй", "обхват груди третий", "обхват плеча".

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмичев В.Е. Кафедра конструирования швейных изделий ИВГПИУ – основные направления научных исследований и опытно-конструкторских работ // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №4. С. 96...102.
2. Daanen H.A.M., Psikuta A. Automation in Garment Manufacturing. – 2018. P. 237...252.
3. Daanen H.A.M., Ter Haar F.B. 3D whole body scanners revisited // Displays. – V. 34, № 4, 2013. P.270...275.
4. 3DBODY.TECH Conference & Expo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3dbody.tech/>. – Дата доступа: 02.08.2019.
5. Ballester A., Piérola A., Parrilla E., Uriel J., Ruescas A.V., Pérez C., Durá J.V., Alemany S. 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.
6. Molyboga G., Makeev I. Statistical Model for Human Body Measurements // 9th Int. Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies. – Lugano, Switzerland, 2018.
7. Petrak S., Špelić I., Mahnić Naglič M. The Volumetric Analysis of the Human Body as Starting Point for Clothing Pattern Design // 9th Int. Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies. Lugano, Switzerland, 2018.
8. ГОСТ 31396–2009. Классификация типовых фигур женщин по ростам, размерам и полнотным группам для проектирования одежды. – М., 2011.
9. Jun-Ming Lu, Mao-Jiun J.Wang. Automated anthropometric data collection using 3D whole body scanners // Expert Systems with Applications. – V. 35, № 1–2, 2008. P. 407...414.
10. Prime Sense [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.forbes.com/sites/shelisrael/2013/11/25/why-would-apple-buy-primense/#74332a38e690>. – Дата доступа: 20.03.2017.
11. Microsoft Kinect [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.xbox.com/en-us/kinect>. – Дата доступа: 13.05.2017.
12. José-Juan Hernández-López, Ana-Linnet Quintanilla-Olvera, José-Luis López-Ramírez, Francisco-Javier Rangel-Butanda, Mario-Alberto Ibarra-Manzano, Dora-Luz Almanza-Ojedab. Detecting objects using color and depth segmentation with Kinect sensor // Procedia Technology. – V.3, 2012. P.196...204.
13. Microsoft kinect specifications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>. – Дата доступа: 25.10.2017.
14. 3D scanners comparison [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aniwaa.com/comparison/3d-scanners/>. – Дата доступа: 25.10.2017.
15. Yin Chen, Gang Dang, Zhi-Quan Cheng, Kai Xu. Fast capture of personalized avatar using two Kinects // Journal of Manufacturing Systems. – V. 33, №1, 2014. P. 233...240.

16. 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.

17. Mohammed A.Isa, Ismail Lazoglu Design and analysis of a 3D laser scanner // Measurement. – V. 111, 2017. P. 122...133.

18. Кузьмичев В.Е., Ахмедулова Н.И., Юдина Л.П. Конструирование швейных изделий: системное проектирование. – М., 2018. С. 392.

19. Rhinoceros [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rhino3d.com/>. – Дата доступа: 02.08.2019.

20. Grasshopper. Algorithmic modeling for rhino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.grasshopper3d.com/>. – Дата доступа: 02.08.2019.

21. Замотин Н.А., Дягилев А.С. Особенности сканирования фигуры человека с использованием бодисканера // В сб.: Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности. – Витебск, 2018. С. 132...134.

22. Дягилев А.С., Коган А.Г. Методы и средства исследований технологических процессов. – Витебск, 2012.

REFERENCES

1. Kuz'michev V.E. Kafedra konstruirovaniya shveynykh izdeliy IVGPU – osnovnye napravleniya nauchnykh issledovaniy i opytно-konstruktorskiykh rabot // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, №4. S. 96...102.
2. Daanen H.A.M., Psikuta A. Automation in Garment Manufacturing. – 2018. P. 237...252.
3. Daanen H.A.M., Ter Haar F.B. 3D whole body scanners revisited // Displays. – V. 34, № 4, 2013. P.270...275.
4. 3DBODY.TECH Conference & Expo [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.3dbody.tech/>. – Data dostupa: 02.08.2019.
5. Ballester A., Piérola A., Parrilla E., Uriel J., Ruescas A.V., Pérez C., Durá J.V., Alemany S. 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.
6. Molyboga G., Makeev I. Statistical Model for Human Body Measurements // 9th Int. Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies. – Lugano, Switzerland, 2018.
7. Petrak S., Špelić I., Mahnić Naglič M. The Volumetric Analysis of the Human Body as Starting Point for Clothing Pattern Design // 9th Int. Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies. Lugano, Switzerland, 2018.
8. ГОСТ 31396–2009. Klassifikatsiya tipovykh figur zhenshin po rostam, razmeram i polnotnym grupam dlya proektirovaniya odezhdy. – М., 2011.
9. Jun-Ming Lu, Mao-Jiun J.Wang. Automated anthropometric data collection using 3D whole body scan-

ners // Expert Systems with Applications. – V. 35, № 1–2, 2008. P. 407...414.

10. Prime Sense [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.forbes.com/sites/shelisrael/2013/11/25/why-would-apple-buy-primense/#74332a38e690>. – Data dostupa: 20.03.2017.

11. Microsoft Kinect [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.xbox.com/en-us/kinect>. – Data dostupa: 13.05.2017.

12. José-Juan Hernández-Lópeza, Ana-Linnet Quintanilla-Olvera, José-Luis López-Ramírez, Francisco-Javier Rangel-Butanda, Mario-Alberto Ibarra-Manzano, Dora-Luz Almanza-Ojedab. Detecting objects using color and depth segmentation with Kinect sensor // Procedia Technology. – V.3, 2012. P.196...204.

13. Microsoft kinect specifications [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>. – Data dostupa: 25.10.2017.

14. 3D scanners comparison [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.aniwaa.com/comparison/3d-scanners/>. – Data dostupa: 25.10.2017.

15. Yin Chen, Gang Dang, Zhi-Quan Cheng, Kai Xu. Fast capture of personalized avatar using two Kinects // Journal of Manufacturing Systems. – V. 33, №1, 2014. P. 233...240.

16. Maués C.P.R., Casagrande M.V.S., Almeida R.C.C., Almeida M.A.O., Carvalho F.A.R. Three-di-

mensional surface models of the facial soft tissues acquired with a low-cost scanner // International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2018.

17. Mohammed A.Isa, Ismail Lazoglu Design and analysis of a 3D laser scanner // Measurement. – V. 111, 2017. P. 122...133.

18. Kuz'michev V.E., Akhmedulova N.I., Yudina L.P. Konstruirovaniye shveynykh izdeliy: sistemnoe proektirovaniye. – M., 2018. S. 392.

19. Rhinoceros [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.rhino3d.com/>. – Data dostupa: 02.08.2019.

20. Grasshopper. Algorithmic modeling for rhino [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.grasshopper3d.com/>. – Data dostupa: 02.08.2019.

21. Zamotin N.A., Dyagilev A.S. Osobennosti skanirovaniya figury cheloveka s ispol'zovaniem bodi-skanera // V sb.: Innovatsionnyye tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti. – Vitebsk, 2018. S.132...134.

22. Dyagilev A.S., Kogan A.G. Metody i sredstva issledovaniy tekhnologicheskikh protsessov. – Vitebsk, 2012.

Рекомендована кафедрой математики и информационных технологий. Поступила 22.04.20.

УДК 677.057

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ
НА УДЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ В ВАЛКОВЫХ МОДУЛЯХ**

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE FACTORS
ON THE SPECIFIC PRESSURE IN THE VALVE MODULES**

А.В. КРЫЛОВ, Ю.Г. ФОМИН, А.А. ТУВИН, И.Ю. ШАХОВА

A.V. KRYLOV, YU.G. FOMIN, A.A. TUVIN, I.YU. SHAKHOVA

(Ивановский государственный политехнический университет. Текстильный институт)

(Ivanovo State Polytechnical University. Textile Institute.)

E-mail: Alekseykrylov9237@gmail.com

В статье выполнен анализ влияния факторов на удельное давление в жале валов модуля. В результате экспериментальных исследований определены графики этих зависимостей и получена математическая модель.

In this paper, an analysis is made of the influence of factors on the specific pressure in the sting of the module shafts. As a result of experimental studies, graphs of these dependencies are determined and a mathematical model is obtained.

Ключевые слова: валковый модуль, удельное давление, зона контактов валов, математическая модель, виды покрытий валов.

Keywords: roller module, mathematical model, specific pressure, contact area of shafts, types of shaft coatings.

Параметр удельного давления является определяющим для достижения заданного технологического эффекта.

В результате исследований в области зоны контакта валов модулей [1], [2] и с учетом опыта эксплуатации валкового оборудования установлено, что к основным факторам, влияющим на удельное давление, относятся:

- интенсивность нагрузки в жале валов q ;
- деформация покрытия эластичного вала h ;
- соотношение диаметров валов D_1/D_2 ;

- толщина эластичного покрытия t ;
- прогиб рубашки u .

Для качественной оценки влияния факторов эксперименты проводились на валковых машинах (отжим ОТ-180-1 и плюсовка ПД1-180-7) с рабочей шириной 1800 мм при изменении нагрузки в интервале 10...70 Н/мм на обрешиненных валах с твердостью покрытия $HS = 70$ усл. ед. по Шору А.

Результаты исследований, полученные после обработки экспериментальных данных, представлены в виде графиков (рис. 1

– график зависимостей удельного давления на ткань от параметров валковых модулей).

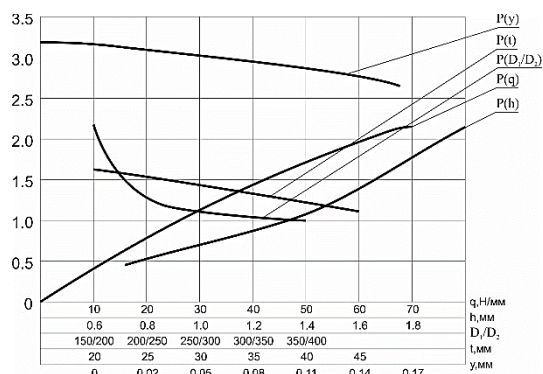


Рис. 1

Значение параметра P_1 в каждом опыте определялось как среднее арифметическое трех измерений.

Из графиков (рис. 1) получаем, что с увеличением интенсивности нагрузки до 70 Н/мм происходит повышение удельного давления до 2 МПа, причем зависимость имеет нелинейный характер. Влияние фактора h оценивалось путем измерения деформации покрытия вала в диапазоне 10...70 Н/мм тензометрическим способом. Результаты исследований зависимости $P_1=f(h)$ подтвердили закономерность увеличения параметра удельного давления на материал P_1 с ростом деформации h покрытия.

В валковых машинах используются валы с различными покрытиями (резина, полиуретан, непротекс, шерстяная бумага) и без покрытий, диаметры которых изменяются в диапазоне 150...400 мм. Эксперименты проводились для пяти сочетаний пар валов с различными диаметрами и постоянной толщиной эластичного покрытия $t = 25$ мм.

В результате исследований установ-

лено, что применение валов малого диаметра (150...250 мм) способствует возрастанию удельного давления на обрабатываемый материал при постоянной интенсивности нагрузки (рис. 1). На основании анализа конструкций валов с эластичными покрытиями определено, что толщина покрытия t колеблется в пределах от 20 до 45 мм. Используя методику измерения радиальной деформации покрытий и определения ширины площадки контакта валов, при заданной интенсивности нагрузки рассчитывался параметр P_1 на шести уровнях изменения фактора t . Следует отметить, что влияние фактора t на удельное давление незначительно и целесообразно для валов использовать покрытия толщиной 20...25 мм.

Наличие прогибов конструкций валов, испытывающих нагрузку от механизма прижима, сопровождается неравномерностью ширины площадки их контакта и удельного давления по длине.

Исследования проводились на валах с диаметрами 250 мм (металлический) и 300 мм (эластичный) с закреплением рубашек по торцам при рабочей ширине 1400 мм и интенсивности нагрузки 60 Н/мм. По результатам исследований зависимости $P_1 = f(y)$ (рис. 1) можно сделать заключение, что с увеличением прогиба вала удельное давление на материал снижается.

Для получения математической модели при проведении исследований использован дробный факторный эксперимент типа 2^{k-1} с общим числом опытов N :

$$N = 2^{k-p}, \quad (1)$$

где k – число факторов; p – количество генерирующих соотношений, принятых при образовании реплики; 2 – число уровней.

Т а б л и ц а 1

Факторы	Уровни варьирования			Интервалы варьирования
	-1	0	+1	
X_1 (q)	10	40	70	30
X_2 (h)	0,7	1,35	2,0	0,65
X_3 (D ₁ /D ₂)	150/200	250/300	350/400	100/100
X_4 (t)	20	32,5	45	12,5
X_5 (y)	0	0,1	0,2	0,1

Уровни и интервалы варьирования факторов определены по результатам предварительных экспериментальных исследований (табл. 1 – уровни и интервалы варьирования факторов).

Обработка экспериментальных данных проводилась по методике Севостьянова А.Г. [3] и включала следующие операции: оценку дисперсий среднего арифметичес-

$$P_1 = 1,637 + 0,163X_1 + 0,155X_2 - 0,118X_3 - 0,04X_4 - 0,125X_5 + 0,0038X_{13} + 0,0006X_{23} . \quad (2)$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии проводилась методом построения доверительного интервала (по критерию Стьюдента).

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительной ошибки Δb_i :

$$P_1 = 1,637 + 0,163X_1 + 0,155X_2 - 0,118X_3 - 0,125X_5 . \quad (4)$$

Адекватность полученной модели проверена с помощью критерия Фишера.

ВЫВОДЫ

1. Параметр технологического удельного давления на текстильный материал в зоне контакта возрастает с увеличением интенсивности нагрузки, твердости покрытия при уменьшении его толщины, прогиба и диаметра валов модуля.

2. Разработана математическая модель основного параметра зависимости, %, от давления при проектировании валковых модулей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крылов А.В., Фомин Ю.Г., Туцкая Т.П., Хосровян Г.А. Фрикционное взаимодействие валов модулей в зоне контакта // Изв. вузов. Технологии текстильной промышленности. – 2017, №5. С. 181...184.
2. Кузнецов Г.К. Исследование и методика проектирования валковых отжимных устройств текстильных машин: Дис.... докт. техн. наук – Л.: ЛИТЛП, 1970.
3. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1980.

кого, проверку однородности дисперсий с помощью критерия Кочрена, определение дисперсии воспроизводимости и коэффициентов уравнения регрессии.

В результате обработки экспериментальных данных получена математическая модель в кодированных значениях факторов [4]:

$$|b_i| > \Delta b_i, \quad (3)$$

где $\Delta b_i = \pm t S_{(b_i)}$; t – табличное значение критерия Стьюдента; $S_{(b_i)}$ – дисперсия коэффициента регрессии.

В результате математическая модель со значимыми коэффициентами принимает вид:

4. Фомин Ю.Г. и др. Определение параметра удельной нагрузки на материал по методике планирования эксперимента // Тез. докл. Межд. науч. техн. конф.: Современные наукоемкие технологии и материалы в текстильной и легкой промышленности (Прогресс-99). – Иваново, 1999. С. 243...245.

REFERENCES

1. Krylov A.V., Fomin Yu.G., Tutskeya T.P., Khosrovyan G.A. Friksionnoe vzaimodeystvie valov moduley v zone kontakta // Izv. vuzov. Tekhnologii tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, №5. S. 181...184.
2. Kuznetsov G.K. Issledovanie i metodika proektirovaniya valkovykh otzhimnykh ustroystv tekstil'nykh mashin: Dis.... dokt. tekhn. nauk – L.: LITLP, 1970.
3. Sevost'yanov A.G. Metody i sredstva issledovaniya mekhaniko-tekhnologicheskikh protsessov tekstil'noy promyshlennosti. – M.: Legkaya industriya, 1980.
4. Fomin Yu.G. i dr. Opredelenie parametra udel'noy nagruzki na material po metodike planirovaniya eksperimenta // Tez. dokl. Mezhd. nauch. tekhn. konf.: Sovremennye naukoemkie tekhnologii i materialy v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti (Progress-99). – Ivanovo, 1999. S. 243...245.

Рекомендована кафедрой ТМО. Поступила 17.04.18.

УДК 677:697.1:65.011

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОТЛА ТЕПЛООВОГО НАСОСА, ОТАПЛИВАЮЩЕГО
АВТОНОМНО ТЕКСТИЛЬНЫЕ ЦЕХА И ПРОИЗВОДСТВА***

**COMPUTER-AIDED POWER CONTROL OF THE ELECTRIC BOILER HEAT PUMP
HEATING AUTONOMOUS TEXTILE WORKSHOPS AND PRODUCTION**

С.В. ФЕДОСОВ, В.Н. ФЕДОСЕЕВ, А.Б. ПЕТРУХИН

S.V. FEDOSOV, V.N. FEDOSEEV, A.B. PETRUKHIN

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: a.petruhin@mail.ru

В статье предложена функционально-структурная схема автоматизированного управления мощностью электрического котла, интегрированного с воздушным тепловым насосом при их совместной работе.

In the article the functional-structural scheme of the automated control of power of the electric boiler integrated with the air heat pump at their joint work is offered.

Ключевые слова: воздушный тепловой насос, электрокотел, теплопотери, регулирование, управление, автоматизация, отопление, технологии.

Keywords: air heat pump, electric boiler, heat loss, regulation, control, automation, heating, technology.

По результатам выполненных на кафедре ОПГХ ИВГПУ исследований [6...12], [14] было установлено, что при эксплуатации комбинированных ВТН в разных климатических условиях, особенно в диапазоне наружных температур до $-30...-40^{\circ}\text{C}$, рекомендуется применять совместный режим работы ВТН в паре с маломощным электрическим нагревателем (электротеном). Если в помещении площадью

$S=100...120 \text{ м}^2$ поставить тепловой насос большой мощности (более $16...18 \text{ кВт}$), то это будет невыгодно по следующим причинам. Он громоздок и будет работать в полную силу примерно 1,5 месяца. В зависимости от сезона (отопительный сезон $7...8$ месяцев), климата и других условий, количество очень холодных дней (в условиях Центрального федерального округа) с температурой $-15...-30^{\circ}\text{C}$ не превышает $20...25\%$ от

* Статья выполнена в рамках проекта «Разработка технологии использования возобновляемой энергии аэротермических рециркуляционных воздушных тепловых насосов со встроенными рекуператорами» по государственному заданию Министерства образования и науки Ивановскому государственному политехническому университету.

длительности отопительного сезона.

Поэтому тепловую мощность ВТН и его стоимость подбирают, учитывая наличие дополнительного электротена и температуру окружающего воздуха. Для некоторых обстоятельств и условий, когда окружающий воздух и климат более комфортный, применяют, в качестве дополнительного теплового помощника, экологоэнергоэффективные схемы, например ветрогенераторы или включают в схему теплового насоса солнечные панели, солнечные коллекторы, солнечные водонагреватели.

Такие возможности под заказ предусматриваются в некоторых конструкциях ВТН. Надо отметить, что применение мало-мощного электротена при совместной работе с воздушным тепловым насосом позволит добиться следующих преимуществ:

1) капитальные затраты, входящие в общую стоимость ВТН небольшой мощности от 3 до 7 кВт, становятся достаточно низкими;

2) эксплуатационные расходы оптимальны в зависимости от режима климата, ночного и дневного электротарифа, особенно для сельской местности и условий эксплуатации данной системы;

3) срок окупаемости системы ВТН с

электрическим котлом с учетом перечисленных льготных условий составляет 2...2,5 г.

Таким образом, если тепловой мощности теплового насоса не хватает, то недостающую мощность добавляет электрический котел (ЭК) [13].

Рассмотрим автоматизированное регулирование мощности электрического котла в системе комбинированного отопления помещения в зависимости от изменения температуры воздуха на улице, в соответствии с рабочей характеристикой воздушного теплового насоса (ВТН), считая что мощность по паспорту составляет $P=7...12$ кВт при $A20^{\circ}C/W50^{\circ}C$, где A – атмосферный воздух, W – вода.

Принимаем следующие исходные данные для расчета: строение $S=120$ м², температура в помещении $+24^{\circ}C$. Теплотери по проекту 2 Вт/м²·°C. Температурный режим в отопительный период от -30 до $+15^{\circ}C$. Температура теплоносителя (воды), нагретая ВТН в буферной емкости (БЁ) и рукавах теплого пола от $+35$ до $+45^{\circ}C$.

Согласно расчетам в ранее опубликованных работах [1], [3], [4] и, используя on-line калькулятор, имеем значения расходных показателей и параметров за отопительный период, приведенные в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

S=100 м ² ; уд. теплотери = 2 Вт/ч·°C; t _{воды} =50°C; мощность теплового насоса = 12кВт/ч; мощность электродвигателя насосов =3 кВт											
Общие параметры		Геотермальный тепловой насос (ГТТН)			Воздушный тепловой насос (ВТН)			Рециркуляционный тепловой насос (РВТН)			
Наружная температура воздуха (улица), °C	Теплотери здания, кВт/ч	СОР	Производительность ГТТН, кВт/ч	Дополнительная мощность, кВт/ч	СОР	Производительность ВТН, кВт/ч	Дополнительная мощность, кВт/ч	СОР	Производительность РВТН, кВт/ч	Дополнительная мощность, кВт/ч	
-30	10,8	2,5	7,5	3,3	1,0	3	7,8	1,87	5,61	5,19	
-25	9,8	2,5	7,5	2,3	1,0	3	6,8	1,89	5,67	4,13	
-20	8,8	2,5	7,5	1,3	1,0	3	5,8	1,91	5,73	3,07	
-15	7,8	2,5	7,5	0,3	1,2	3	4,2	1,93	5,79	2,01	
-10	6,8	2,5	7,5		1,3	3	2,9	1,95	5,85	0,95	
-5	5,8	2,5	7,5		1,6	3	1,8	1,97	5,91		
0	4,8	2,5	7,5		1,7	3		1,99	5,97		
5	3,8	2,5	7,5		1,85	3		2,01	6,03		
10	2,8	2,5	7,5		2,12	3		2,12	6,36		
15	1,8	2,5	7,5	-	2,3	3	-	2,3	6,9	-	
20	0,8	2,5	7,5	-	2,5	3	-	2,5	7,5	-	

Данные табл. 1 позволяют судить о сравнительной эффективности показателей трех видов тепловых насосов в одинаковых

климатических условиях согласно проведенному эксперименту в условиях текстильного производства. Рециркуляцион-

ный воздушный тепловой насос (ВТН) почти в 2...2,5 раза экономит электроэнергию в сравнении с электроотоплением (COP 1,9...2,5).

Для нашего случая функционально - структурная схема автоматизированного управления мощностью электрического котла, интегрированная с ВТН, выглядит следующим образом (рис 1).

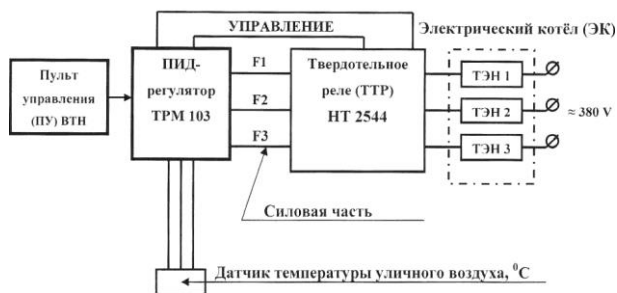


Рис.1

Задача функционально-структурной схемы – поддерживать температуру в помещении. В этом случае используем ПИД (пропорционально-интегрально-дифференцирующий) - регулятор (ТРМ101, рис. 2, ТРМ 103 и др.), задаем ему конкретную уставку. Как вариант имеем ПИД - регулятор с выходом "Т" (ТРМ 101-ТР) или (ТРМ103-ТР) в режиме ШИМ, то есть широтно-импульсная модуляция + ТТР - твердотельное реле. Схема осуществляет плавное регулирование электрической мощности от 0 до 3 кВт. Цена деления 0...1%.

Элементная база схемы управления

ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трех слагаемых, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования Δt), второе – интеграл сигнала рассогласования, третье – производная сигнала рассогласования.

Твердотельное реле (ТТР), служащее для включения и выключения высокоомощностной цепи с помощью низких напряжений, подаваемых на клеммы управления ТТР, содержит датчик, который реагирует на вход (управляющий сигнал) и твердотельную электронику, включающую высокоомощностную цепь.



Рис. 2

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) – это метод преобразования сигнала, при котором изменяется длительность импульса (скважность), а частота остается константой (постоянной).

ШИМ-контроллер – устройство, которое содержит - использует в себе ряд схемотехнических решений для управления силовыми ключами, что необходимо для стабилизации выходных параметров.

Функциональный порядок работы данной комбинированной системы отопления на блок-схеме (рис. 3) выглядит следующим образом:



Рис. 3

I – Тепловой насос работает по своей программе, обеспечивая температуру воды в буферной емкости + 50°C.

II – Электрический котел, интегрированный с ВТН, работает по программе погодозависимого управления и обеспечивает дополнительную мощность для теплового насоса при низких температурах на улице.

III – Термостат, датчик температуры в помещении обеспечивает расход горячей

воды из буферной емкости для поддержания заданной температуры в помещении через отопительный контур и горячую воду для бытовых нужд.

ВЫВОДЫ

Рациональный подход к выбору тепловой мощности ВТН и мощности электротена при их совместной работе дает полезный энергосберегающий эффект на всем диапазоне отопительного периода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Воронов В.А. Автоматизация функционально-структурной схемы теплообеспечения текстильного малоэтажного строения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 2. С.335...337.
2. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Алоян С.М., Зайцева И.А., Виноградова Н.В. Возможный диапазон работы воздушного теплового насоса в отопительный период // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 4. С. 278...281.
3. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Ткачев В.М., Емелин В.А. Термодинамическая эффективность воздушных тепловых насосов, используемых в малоэтажных текстильных строениях // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 5. С. 314...318.
4. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Виноградова Н.В. Количественный анализ конфигурации коэффициента эффективности и тепловой мощности воздушного теплового насоса при отоплении малоэтажных текстильных строений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 5. С. 319...323.
5. Алоян Р.М., Федосеев В.И., Зайцева И.А., Виноградова Н.В., Емелин В.А., Воронов В.А. Сравнительный анализ комбинированных режимов работы ВТН для малоэтажных строений в текстильной отрасли // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 5. С. 324...328.
6. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А., Воронов В.А., Емелин В.А. Анализ энергоэффективности воздушного теплового насоса и электродкотла в условиях текстильного и швейного производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 4. С. 5...12.
7. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б. Экономическая эффективность воздушнотепловых насосов для объектов производственного и непроизводственного назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №1. С.18...21.
8. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А., Воронов В.А., Емелин В.А. Анализ энергоэффективности воздушного теплового насоса

и электродкотла в условиях текстильного и швейного производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 4. С. 5...12.

9. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А., Виноградова И.В., Острякова Ю.Е. Эффективность отопления тепловым насосом автономных текстильных производств в зависимости от уровня термодинамической активности фреонов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 1. С. 179...184.

10. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Виноградова Н.В., Федосеев В.Н. Экологические и энергосберегающие технологии в текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №6. С. 263...266.

11. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Виноградова Н.В., Федосеев В.Н. Функциональная система для теплообмена автономных текстильных производств воздушным тепловым насосом (ВТН) // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 5. С. 195...198.

12. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Федосеев В.Н., Опарина Л.А., Чистякова Ю.А. Организационно-технические решения снижения энергоемкости российской экономики на примере текстильной и строительной отраслей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 4. С.301...304.

13. Воронов В.А., Емелин В.А., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. Климатические условия и факторы, влияющие на производительность воздушного теплового насоса // Сб. науч. тр.: Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. – 2015. С. 241...251.

14. Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Формирование интегрального показателя энергетической эффективности зданий // Изв. вузов. Экономика, финансы и управление производством. – 2011, № 3. С. 92...95.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Vinogradova N.V., Voronov V.A. Avtomatizatsiya funktsional'no-strukturnoy skhemy teploobespecheniya tekstil'nogo maloetazhnogo stroeniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 2. S.335...337.
2. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Aloyan S.M., Zaytseva I.A., Vinogradova N.V. Vozmozhnyy diapazon raboty vozdušnogo teplovogo nasosa v otopitel'nyy period // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 4. S. 278...281.
3. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Vinogradova N.V., Tkachev V.M., Emelin V.A. Termodinamicheskaya effektivnost' vozdushnykh teplovykh nasosov, ispol'zuemykh v maloetazhnykh tekstil'nykh stroeniyakh // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 5. С. 314...318.
4. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Zaytseva I.A., Vinogradova N.V. Kolichestvennyy analiz konfiguratsii koefitsienta effektivnosti i teplovoy moshchnosti vozdušnogo teplovogo nasosa pri otoplenii maloetazhnykh

tekstil'nykh stroeniy // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 5. S. 319...323.

5. Aloyan R.M., Fedoseev V.I., Zaytseva I.A., Vinogradova N.V., Emelin V.A., Voronov V.A. Sravnitel'nyy analiz kombinirovannykh rezhimov raboty VTN dlya maloetazhnykh stroeniy v tekstil'noy otrasli // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 5. S. 324...328.

6. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Zaytseva I.A., Voronov V.A., Emelin V.A. Analiz energoeffektivnosti vozduzhnogo teplovogo nasosa i elektrokotla v usloviyakh tekstil'nogo i shvey-nogo proizvodstva// Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, № 4. S. 5...12.

7. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B. Ekonomicheskaya effektivnost' vozduzhnoteplovykh nasosov dlya ob'ektov proizvodstvennogo i neproizvodstvennogo naznacheniya// Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №1. S. 18...21.

8. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Zaytseva I.A., Voronov V.A., Emelin V.A. Analiz energoeffektivnosti vozduzhnogo teplovogo nasosa i elektrokotla v usloviyakh tekstil'nogo i shvey-nogo proizvodstva// Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, № 4. S. 5...12.

9. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Zaytseva I.A., Vinogradova I.V., Ostryakova Yu.E. Effektivnost' otopleniya teplovym nasosom avtonomnykh tekstil'nykh proizvodstv v zavisimosti ot urovnya termodinamicheskoy aktivnosti freonov// Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 1. S. 179...184.

10. Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Vinogradova N.V., Fedoseev V.N. Ekologicheskie i energosberegayushchie tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti// Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №6. S. 263...266.

11. Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Vinogradova N.V., Fedoseev V.N. Funktsional'naya sistema dlya teplotobmena avtonomnykh tekstil'nykh proizvodstv vozduzhnym teplovym nasosom (VTN)// Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, № 5. S. 195...198.

12. Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Fedoseev V.N., Oparina L.A., Chistyakova Yu.A. Organizatsionno-tekhnicheskie resheniya snizheniya energoemkosti rossiyskoy ekonomiki na primere tekstil'noy i stroitel'noy otrasley// Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 4. S. 301...304.

13. Voronov V.A., Emelin V.A., Fedoseev V.N., Zaytseva I.A. Klimaticheskie usloviya i faktory, vliyayushchie na proizvoditel'nost' vozduzhnogo teplovogo nasosa // Sb. nauch. tr.: Teoriya i praktika tekhnicheskikh, organizatsionno-tekhnologicheskikh i ekonomicheskikh resheniy. – 2015. S. 241...251.

14. Petrukhin A.B., Oparina L.A. Formirovanie integral'nogo pokazatelya energeticheskoy effektivnosti zdaniy// Izv. vuzov. Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom. – 2011, № 3. S. 92...95.

Рекомендована кафедрой организации производства и городского хозяйства. Поступила 19.02.19.

УДК 687.021

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ИНКЛЮЗИВНОЙ АНТРОПОМЕТРИИ

DIGITALIZATION IN INCLUSIVE ANTHROPOMETRY

М.А. ГУСЕВА, В.В. КОСТЫЛЕВА, И.А. ПЕТРОСОВА, Е.Г. АНДРЕЕВА, Е.В. ЛИТВИН, И.Д. ГУСЕВ

M.A. GUSEVA, V.V. KOSTYLEVA, I.A. PETROSOVA, E.G. ANDREEVA, E.V. LITVIN, I.D. GUSEV

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

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

Email: guseva_marina67@mail.ru

В статье проведен анализ возможностей и сравнение метрологических характеристик современного сканирующего оборудования, обеспечивающего построение 3D-моделей фигур и отдельных частей тела, таких как нижние конечности. Выполнено антропометрическое исследование нижних конечностей инвалидов-колясочников в характерной для испытуемых антропометрической позе "сидя". Предложена программа измерений размерных признаков нижних конечностей, использование которой позволит проектировать индивидуальные реабилитационные изделия высокого качества. Разработан способ построения конструкции в виртуальной среде, в котором

внутренние контуры изделия располагают на заданном расстоянии от трехмерной модели конечностей, а затем формируют объемную поверхность, что обеспечивает требуемую степень прилегания реабилитационного мешка к ногам на разных участках.

In the article the analysis of possibilities and comparison of metrological characteristics of the modern scanning equipment providing construction of 3D-models of figures and separate parts of a body, such as the lower extremities is carried out. An anthropometric study of the lower limbs of wheelchair users in the anthropometric sitting posture characteristic of the subjects was performed. The program of measurements of dimensional features of the lower extremities is offered, the use of which will allow to design individual rehabilitation products of high quality. A method of constructing a structure in a virtual environment in which the internal contours of the product are located at a predetermined distance from the three-dimensional model of the limbs and then form a volumetric surface, which provides the required degree of adhesion of the rehabilitation bag to the legs in different areas.

Ключевые слова: цифровизация, антропометрические характеристики, инвалиды, 3D-сканирование.

Keywords: digitalization, anthropometric characteristics, disabled people, 3D scanning.

Приоритетным направлением научно-технологического развития отечественной легкой промышленности стал переход к передовым цифровым производственным технологиям, к формированию единого информационного пространства и использованию систем обработки данных [1]. На российских швейных и обувных предприятиях активно используются системы автоматизированного проектирования, реализующие технологии виртуального конструирования изделий и системы оценки антропометрического соответствия одежды фигуре [2]. Цифровизация антропометрических характеристик позволяет обеспечить полноту и достоверность информации о пространственной форме тела человека [3], необходимой для проектирования одежды и обуви. Особенную актуальность цифровизация антропометрии приобретает для людей с ограниченными физическими возможностями, фигуры которых могут существенно различаться по длине, ширине и обхватам участков тела [4] и характеризоваться высокой вариабельностью анатомо-физиологических особенностей телосложения, что обуславливает неэффективность

использования действующих антропометрических стандартов типовых мужских, женских и детских фигур для проектирования и изготовления подходящей для них одежды [5]. Состоянию инвалидности сопутствуют различные отклонения, ограничение движений и деятельности человека [6], включая диспропорции и деформацию тела. Для удовлетворения потребностей этой группы населения гибкие технологические производства адаптируют для изготовления персонализированных продуктов, таких как модная обувь для диабетических стоп, одежда для инвалидов-колясочников и текстильные компрессионные изделия.

В рамках российских реабилитационных программ инвалидам предоставляется возможность безвозмездного приобретения специальной одежды и ортопедической обуви [7], изготовленных с учетом индивидуальных размерных признаков. Современные швейные и обувные производственные предприятия готовы использовать специальные программные продукты и новейший инструментарий для получения исходной информации о форме тела человека и отдельных частей, таких как нижние конеч-

ности. Например, метод цифровой фотограмметрии успешно применяют для проведения антропометрических измерений людей, передвигающихся на инвалидных колясках, выделяя как статические, так и динамические антропометрические характеристики, которые можно интегрировать в САПР для последующего проектирования одежды [8].

При разработке изделий для инвалидов специалистами отмечается недостаточность динамических антропометрических данных и отсутствие стандартов для методов их измерения. Условием успешной оцифровки является обязательное сохранение субъектом определенной статичной позы на протяжении исследования. Нервная система здорового человека контролирует поддержание заданной позы, в то время как для малоподвижных и обездвиженных людей с инвалидностью контактная антропометрия тела затруднительна, поскольку может стать причиной болевых ощущений, локализованных большей частью в области бедер, коленей, лодыжек, нижней и верхней частей спины [9].

Цифровое исследование фигур людей с ограниченными двигательными возможностями целесообразно проводить в позе "сидя", так как в этом положении тела они находятся большую часть времени. Для такого положения фигуры для людей с неконтролируемыми хаотичными движениями конечностей и для инвалидов-колясочников более точное и быстрое исследование, с наименьшим дискомфортом для потребителя можно провести с помощью трехмерного (3D) сканирования. Технология 3D-сканирования тела человека позволяет оценить пропорции и форму тела, визуализировать фигуру для виртуального анализа [10], получить оцифрованные антропометрические характеристики [11] и передать их в САПР для генерирования лекал изделия с хорошей посадкой на этой фигуре [12].

Следует отметить, что в настоящее время импортные товары занимают значительную часть российского рынка продукции реабилитационной индустрии, среди

которой по востребованности лидируют товары для людей с нарушением мобильности, которые составляют 37% от суммарного объема мирового рынка реабилитационных товаров [13]. Исходя из этого, разработка отечественных реабилитационных товаров, отличающихся высоким качеством и соразмерностью фигуре для людей с ограниченными двигательными возможностями, остается актуальной задачей.

Методика исследования



Рис. 1

В качестве субъектов исследования выбраны инвалиды-колясочники, основной антропометрической позой которых является положение "сидя" (рис. 1 – основная антропометрическая поза инвалида-колясочника). 3D-сканирование исследуемых фигур проводили в характерных для испытуемых антропометрических позах, чтобы максимально исключить травмирующие ситуации в физическом и психоэмоциональном проявлении.

Для проведения антропометрического исследования были выбраны следующие сканирующие устройства:

- 3D-сканер Human Solutions;
- 3D-сканер Kinect;
- 3D-сканер Artec 3D Eva.

С целью выбора сканирующего инструментария, в большей степени подходящего для оцифровки стоп сидящего человека, проведен сравнительный анализ основных характеристик используемых устройств (табл. 1).

Характеристика	3D-сканер		
	Human Solutions	Kinect	Artec 3D Eva
Форматы экспорта	XML, CSV, OBJ, STL	CSV, DXF, XML	CSV, DXF, XML, OBJ, PLY, WRL, STL, AOP, ASCII, PTX, E57, XYZRGB
Время сканирования, с	5-15	0,0002	0,0002
Частота кадров при съемке, кадров/с	-	16	16
3D-разрешение, мм	Менее 1,0	0,5	0,1
Точность, мм	0,1	0,1	0,3
Размеры устройства, м	1 x 2	0,23x0,4	0,26x0,16x0,63
Общий вес, кг	30	0,9	0,85

Исходя из результатов анализа, для оцифровки части нижних конечностей инвалидов-колясочников выбран 3D-сканер Human Solutions, позволяющий получить качественные трехмерные модели ног в качестве выходной информации (рис. 2-а) и по запросу оператора – их антропометрические характеристики (рис. 2-б). Трехмерные модели ног, полученные с помощью

сканеров Kinect (рис. 2-в) и Artec 3D Eva (рис. 2-г), отличаются достаточной реалистичностью и достоверностью, однако антропометрическую информацию (проеctionные, обхватные, дуговые размерные признаки исследуемых участков) можно получить только после экспорта данных в сопряженные графические программы.

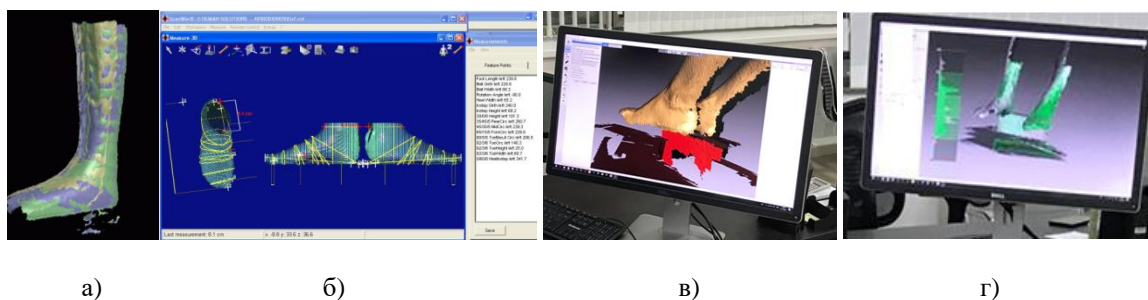


Рис. 2

С помощью выбранного 3D-сканера “Human Solutions” проведено сканирование нижних конечностей (от колена и ниже) у 37 инвалидов-колясочников и получены их виртуальные модели. Поиск рациональной пространственной формы и конструктивного решения проектируемых изделий проводили методом виртуального макетирования. Формообразование проектируемых реабилитационных изделий выполняли в графической среде специализированных программ 3D-САПР, MeshLab, Sketchup, Rhinoceros и CLO 3D.

Результаты исследования

Для снижения амплитуды произвольных фоновых движений ног при гиперкинезах разработаны специальные реабилитационные мешки, которые позволяют пози-

ционировать положение стоп инвалида на подставке для ног маломобильного средства [14], [15]. Проектирование 3D формы и конструктивных решений реабилитационных изделий для ног в инвалидной коляске осуществляли по результатам анализа трехмерных цифровых моделей ног инвалидов-колясочников так, чтобы пространственная конфигурация реабилитационных мешков анатомически соответствовала абрисам ног. Постановку стоп исследуемых потребителей выполняли с учетом условий использования проектируемых реабилитационных изделий, предполагающих надежное фиксирование положения обеих ног, одновременно помещенных внутрь специальных мешков. 3D-модель ног, полученную в результате сканирования, допол-

нительно обрабатывали с применением сглаживания, чтобы избавиться от артефактов и уменьшить количество полигонов (рис. 3 – виртуальное отображение ног инвалида-колясочника).



Рис. 3



Рис. 4

Размеры проектируемого изделия определялись наличием и величиной пространственных зазоров на каждом участке конструкции (на уровнях коленей, голени, щиколоток, стоп). Анализ пространственной формы проводился на начальном, промежуточных и конечном этапе виртуального макетирования по основным продольным и поперечным сечениям (рис. 5-а, б). В зависимости от сезонности, условий использования, анатомических особенностей потребителя и дизайна изделия выполнено проектирование линий его членения. В результате получены 3D-модели:

– типовой пространственной конфигурации проектируемого изделия (рис. 5-в),

С помощью изокривых провели 3D-моделирование изделия путем построения кривых по точкам, степень удаления которых задается с нужным коэффициентом, чтобы контролировать степень прилегания реабилитационного мешка к ногам на разных участках (рис.4). Затем построили параметрическую поверхность изделия с учетом ранее построенных изокривых, чтобы иметь возможность изменять кривые и степень облегания для следующего заказчика. Последующее проектирование параметрической сетки каркаса позволяет задавать такие параметры сетки, как ширина, высота и количество сегментов, толщина ребер (рис.4 – 3D-параметрическое проектирование мешка для ног), что позволяет отправить 3D-модель изделия для печати на 3D-принтер.

– модельных конструкций, содержащих конструктивно-декоративные членения (рис. 5-г), учитывающие индивидуальные особенности формы ног и положения стоп инвалидов, установленные по результатам 3D-сканирования их конечностей.

3D-проектирование реабилитационных изделий проводили на виртуальных моделях и проверяли на натуральных макетах. Для этого на виртуальную модель наносили линии членений в соответствии с техническим эскизом (рис. 5-г). По шаблонам развертки (рис. 5-д) изготовили муляж (рис. 6-а) и выполнили оценку соответствия формы и объема изделия заданным требованиям, а также эргономических и функциональных характеристик реабилитационных мешков.

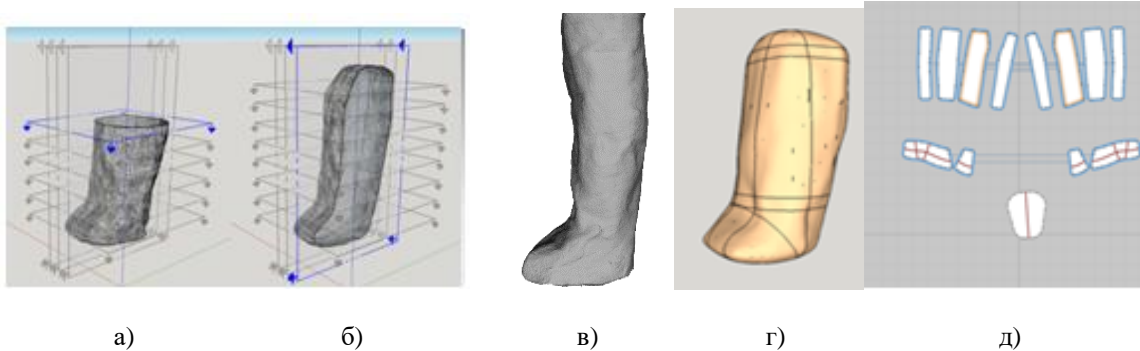


Рис. 5

По результатам натурального макетирования (рис. 6-а) уточнены контуры деталей мешка. Повторная загрузка оцифрованных шаблонов деталей в графическую среду программы CLO 3D позволила выполнить симуляцию пространственной конфигурации изделия (рис. 6-б), уточнить объем с

помощью сетчатых моделей (рис. 6-в) и предложить конструктивное решение (рис. 6-г), обеспечивающее регулирование объема изделия, размер и положение петель (1-а и 1-б на рис.6-г), которыми изделие фиксируется к каркасу инвалидной коляски [16].

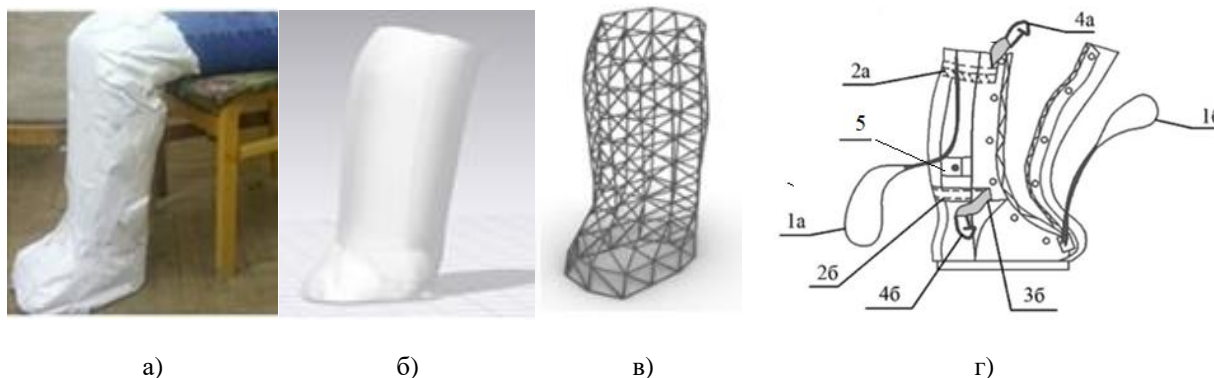


Рис. 6

ВЫВОДЫ

В рамках стратегии производства инновационных товаров реабилитационной направленности разработаны специальные мешки для ног инвалидов-колясочников, отличающиеся рядом преимуществ перед изделиями, представленными на отечественном рынке: 1) изделие компактное и имеет специальные петли-захваты, поэтому инвалид может справиться с его надеванием самостоятельно; 2) изделие имеет специальную подошву-протектор, которая предотвращает скольжение ног при движении инвалидной коляски; 3) изделие имеет индивидуальный каркас, разработанный с помощью 3D-сканирования и 3D-печати, который вставляется внутрь изделия и фикс-

сирует стопы в правильном положении для обеспечения нормального кровообращения.

Использование цифровой антропометрии для анализа фигур людей с ограниченными физическими возможностями позволяет осуществлять инклюзивное проектирование реабилитационных изделий для инвалидов в условиях массового производства отечественной промышленности. Обеспечение высокого уровня антропометрического соответствия одежды для инвалидов так же, как и для здоровых людей, реализовано с помощью методов бесконтактного 3D-сканирования и направлено на увеличение на мировом рынке объема качественной отечественной продукции специального назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа "Цифровая экономика Российской Федерации"/ Утв. Распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

2. Петросова И.А., Шанцева О.А., Андреева Е.Г. Оценка соответствия готовой одежды фигуре потребителя в трехмерной среде // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 5. С. 139...142.

3. Петросова И.А., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Тутова А.А., Гусев И.Д. 3D-проектирование внешней формы и конструкций швейных изделий с высоким антропометрическим соответствием фигуре// Дизайн. Материалы. Технология. – 2018. Т.1, №49. С.114...118.

4. Miji S., Tanaka N. Characteristics and design of clothes for the disabled persons: Figure characteristics of persons paralyzed one side and paralyzed on lower half body// Journal of Textile Engineering. – Vol.52, No.4, 2006. P.139...145.

5. Ayachit S., Thakur M. Functional Clothing for The Differently Aabled// Indian Journal of Public Health Research and Development. – Vol.8, №.4, 2017. P.904.

6. Мельникова Р.А., Лопандина С.К. Исследование зависимости изменений основных параметров конструкции плечевой одежды от степени дефекта в строении двигательного аппарата детей // Швейная промышленность. – 2007, №3. С.45...46.

7. О федеральном перечне реабилитационных мероприятий, технических средств реабилитации и услуг, предоставляемых инвалиду/ Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2005 № 2347-р (ред. от 18.11.2017).

8. Андреева Е.Г., Мокеева Н.С., Глушкова Т.В., Харлова О.Н., Чулкова Э.Н. Реабилитация и профилактика инвалидности: одежда, корректирующие приспособления. – М.: МГУДТ, 2010.

9. Гусев И.Д., Гусева М.А., Андреева Е.Г. Реабилитационные швейные меховые изделия для регуляции произвольных фоновых движений ног у малоподвижных граждан // В сб.: Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2017). Т.1. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2017. С.151...154.

10. Патент на изобретение № 2669688 RU Способ проектирования конструкций одежды на основе совмещения виртуальных образов типовой и индивидуальной фигур / Гусева М.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А., Белгородский В.С.; опубл. 12.10.2018.

11. Гусева М.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Петросова И.А., Гетманцева В.В. Кастомизированная коррекция типового виртуального манекена оболочкой переменной толщины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №2. С. 113...123.

12. Карабанова Н.Ю., Сурженко Е.Я. Преимущества использования трехмерного проектирования при разработке плечевой одежды для инвалидов// Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2014. Т.23, №1. С.53...57.

13. Стратегия развития производства промышленной продукции реабилитационной направленности до 2025 года. Проект. http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project_REAPROM_until_2025.pdf

14. Патент на полезную модель № 166649 RU. Мешок для ног для людей с ограниченными двигательными возможностями/ Гусева М.А., Андреева Е.Г., Клочкова О.В., Гусев И.Д.; опубл. 10.12.2016.

15. Патент на полезную модель № 172655 RU. Мешок для ног с меховой подкладкой для людей с ограниченными двигательными возможностями / Гусева М.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А., Клочкова О.В., Гусев И.Д.; опубл. 18.07.2017.

16. Патент на полезную модель № 185890 RU. Мешок для ног в инвалидную коляску / Гусева М.А., Андреева Е.Г., Клочкова О.В., Гусев И.Д., Кашеев О.В., Лобжанидзе С.К.; опубл. 21. 12.2018.

REFERENCES

1. Programma "Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii"/ Utv. Rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 28 iyulya 2017 g. № 1632-r.

2. Petrosova I.A., Shantseva O.A., Andreeva E.G. Otsenka sootvetstviya gotovoy odezhdy figure potrebitelya v trekhmernoy srede // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 5. S.139...142.

3. Petrosova I.A., Guseva M.A., Andreeva E.G., Tutova A.A., Gusev I.D. 3D-proektirovanie vneshney formy i konstruksiy shveynykh izdeliy s vysokim antropometricheskim sootvetstviem figure// Dizayn. Materialy. Tekhnologiya. – 2018. T.1, №49. S.114...118.

4. Miji S., Tanaka N. Characteristics and design of clothes for the disabled persons: Figure characteristics of persons paralyzed one side and paralyzed on lower half body// Journal of Textile Engineering. – Vol.52, No.4, 2006. P.139...145.

5. Ayachit S., Thakur M. Functional Clothing for The Differently Aabled// Indian Journal of Public Health Research and Development. – Vol.8, №.4, 2017. P.904.

6. Mel'nikova P.A., Lopandina S.K. Issledovanie zavisimosti izmeneniy osnovnykh parametrov konstruksii plechevoy odezhdy ot stepeni defekta v stroenii dvigatel'nogo apparata detey // Shvey'naya promyshlennost'. – 2007, №3. S.45...46.

7. O federal'nom perechne rehabilitatsionnykh meropriyatiy, tekhnicheskikh sredstv rehabilitatsii i uslug, predostavlyаемykh invalidu/ Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 30.12.2005 № 2347-r (red. ot 18.11.2017).

8. Andreeva E.G., Mokeeva N.S., Glushkova T.V., Kharlova O.N., Chulkova E.N. Reabilitatsiya i profilaktika invalidnosti: odezhda, korrektruyushchie prispособleniya. – М.: МГУДТ, 2010.

9. Gusev I.D., Guseva M.A., Andreeva E.G. Reabilitatsionnye shveynye mekhovye izdeliya dlya regul'yatsii neproizvol'nykh fonovykh dvizheniy nog u malopodvizhnykh grazhdan// V sb.: Innovatsionnoe razvitiye legkoy i tekstil'noy promyshlennosti (INTEKS-

2017). Т.1. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2017. S.151...154.

10. Patent na izobretenie № 2669688 RU Sposob proektirovaniya konstruktsiy odezhdy na osnove sovmeshcheniya virtual'nykh obrazov tipovoy i individual'noy figur / Guseva M.A., Andreeva E.G., Petrosova I.A., Belgorodskiy V.S.; opubl. 12.10.2018.

11. Guseva M.A., Andreeva E.G., Belgorodskiy V.S., Petrosova I.A., Getmantseva V.V. Kastomi-zirovannaya korrektsiya tipovogo virtual'nogo manekena obolochkoy peremennoy tolshchiny // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, №2. S. 113...123.

12. Karabanova N.Yu., Surzhenko E.Ya. Preimushchestva ispol'zovaniya trekhmernogo proektirovaniya pri razrabotke plechevoy odezhdy dlya invalidov// Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2014. T.23, №1. S.53...57.

13. Strategiya razvitiya proizvodstva promyshlennoy produktsii reabilitatsionnoy napravlenosti do 2025 goda. Proekt. http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project_REAPROM_until_2025.pdf

14. Patent na poleznuyu model' № 166649 RU. Meshok dlya nog dlya lyudey s ogranichennymi dvigatel'nymi vozmozhnostyami/ Guseva M.A., Andreeva E.G., Klochkova O.V., Gusev I.D.; opubl. 10.12.2016.

15. Patent na poleznuyu model' № 172655 RU. Meshok dlya nog s mekhovoy podkladkoy dlya lyudey s ogranichennymi dvigatel'nymi vozmozhnostyami / Guseva M.A., Andreeva E.G., Petrosova I.A., Klochkova O.V., Gusev I.D.; opubl. 18.07.2017.

16. Patent na poleznuyu model' № 185890 RU. Meshok dlya nog v invalidnuyu kolyasku / Guseva M.A., Andreeva E.G., Klochkova O.V., Gusev I.D., Kashcheev O.V., Lobzhanipdze S.K.; opubl. 21.12.2018.

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий. Поступила 27.12.19.

УДК 621.039.546:621.039.52.034.3

**УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА СТОЧНЫХ ВОД
ОТДЕЛОЧНЫХ ЦЕХОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**WASTE HEAT UTILIZATION
FROM TEXTILE FINISHING WORKSHOPS**

В.В. ЛОЗОВЕЦКИЙ, Е.Г. КОМАРОВ, В.В. ЛЕБЕДЕВ

V.V. LOZOVETSKY, E.G. KOMAROV, V.V. LEBEDEV

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал),
Российский технологический университет – МИРЭА)

(Moscow State Technical University named after N. Bauman (Mytishchi branch),
Russian Technology University – MIREA)

E-mail: lozovetsky@mail.ru; fuzzykom@gmail.com; voval_matr@mail.ru

Предложены технические решения для практического использования остаточного тепла сточных вод отделочных цехов текстильных предприятий с помощью теплонасосной трансформации тепловой энергии в установках, работающих по обратным циклам Ренкина и Лоренца, и конструкции для съема тепла сточных вод в каналах систем водоотведения предприятия, основанные на применении двухтрубных теплообменников, известных как трубки Филда.

Technical solutions are proposed for the practical use of residual heat of wastewater from finishing shops of textile enterprises using heat pump transformation of thermal energy in installations operating on reverse Renkin and Lorentz cycles, and designs for removing waste heat from canals of wastewater systems of an enterprise based on The application of twin-tube heat exchangers, known as Field tubes.

Ключевые слова: сточные воды, теплонасосная трансформация тепла, циклы Ренкина и Лоренца, двухтрубные теплообменники, трубки Филда, утилизация тепла сточных вод, теплофикация.

Keyword: wastewater, heat pumping heat transformation, Renkin and Lorentz cycles, two-tube heat exchangers, Field tubes, wastewater heat recovery, heating.

Текстильное производство характеризуется значительными объемами сточных

вод, которые даже при применении современных водосберегающих технологий мо-

гут достигать 1000 м³/сутки, а удельное потребление воды составляет 200 м³/т выпускаемой продукции и выше. Сточные воды имеют сложный состав (взвешенные вещества: 50...500 мг/л; органический азот: 18...39 мг/л; фосфаты: 0,3...15 мг/л; хлориды: 0,2...0,5 мг/л; красители: 5·10²...10³) и высокую температуру: (50...85)°С [1], [2]. Их сброс в окружающую среду приводит к ее химическому и тепловому загрязнению. Эта теплота имеет значительный тепловой потенциал, может быть утилизирована и рассматривается как дополнительный энергетический ресурс. На предприятии, выпускающем 25 т/сут продукции, образуется 5 тыс. м³/сут сточных вод, охлаждая которые с 55 до 15°С, можно получить в сутки Q = 838 ГДж тепла, покрывая потребность в нем технологических процессов, а при соответствующей их очистке использовать для теплофикации и в бытовых целях.

Утилизации тепла городских стоков с применением тепловых насосов и ее эффективность в целях теплофикации доказана в [3]. Тепловые насосы работают на основе обратных термодинамических циклов трансформации тепловой энергии, преобразуя тепло низкого термодинамического потенциала в высокопотенциальную тепловую энергию [4], [5]. Так как термодинамический потенциал городских стоков (средняя температура не превышает 25°С) значительно ниже по сравнению с рассматриваемым типом сточных вод, то можно ожидать высокой эффективности применения схем теплонасосной теплофикации. Используя полученные в [3] средние коэффициенты преобразования тепловой энергии μ , которые составляют: $\mu = 5$ в пароконденсационном цикле Ренкина на R-142, а в парогазовом цикле Лоренца на CO₂ $\mu = 7$, оценим теплофикационный эффект применения тепловых насосов, работающих по этим циклам применительно к рассматриваемой проблеме. Количество тепла, которое можно при этом получить:

в цикле Ренкина

$$Q_n = Q \frac{\mu}{\mu - 1} = 1047,5 \text{ ГДж/сут}$$

при мощности привода компрессора теплового насоса

$$N = Q \frac{1}{\mu - 1} = 209,5 \text{ ГДж/сут},$$

в цикле Лоренца

$$Q_n = Q \frac{\mu}{\mu - 1} = 977,67 \text{ ГДж/сут}$$

при мощности привода компрессора теплового насоса

$$N = Q \frac{1}{\mu - 1} = 139,67 \text{ ГДж/сут}.$$

Средняя температура получаемого теплоносителя при использовании теплообменника с погруженной в сточные воды системой трубок Филда составит не менее 70°С. Оптимизация его конструктивных решений базируется на схеме охлаждения и связанной с ней схеме теплонасосной теплофикации по пароконденсационному циклу Ренкина, представленных на рис. 1-а.

На рис. 1 показана схема системы теплонасосной утилизации тепла сточных вод – а): 1 – теплообменник на трубках Филда; 2 – контур промежуточных теплоносителей в системе охлаждения сточных вод и теплофикации; 3, 5, 10, 12 – насос; 4, 11 – бак промежуточного теплоносителя системы охлаждения и теплофикации; 6 – испаритель; 7 – компрессор; 8 – конденсатор; 9 – канал; 13 – ресивер; 14 – терморегулирующий клапан; 15, 16 – теплообменники системы теплофикации и горячего водоснабжения; 17, 18 – теплый, охлажденный стоки; б) – подключение трубок Филда к рядным и общим коллекторам: 1 – трубки Филда, устанавливаемые в рядах по ходу стоков в канале; 2 – коллектор отводящий рядный; 3 – коллектор подводящий рядный; 4 – коллектор напорный холодного теплоносителя; 5 – коллектор теплого теплоносителя (отводящий).

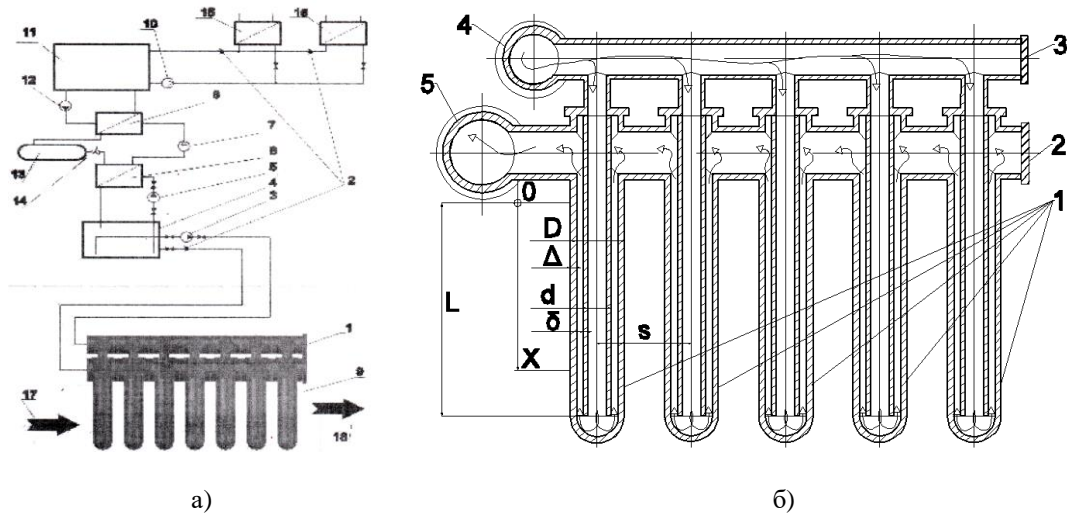


Рис. 1

Охлаждение трубок Филда осуществляется с помощью промежуточного теплоносителя, который насосом 3 направляется из бака промежуточного теплоносителя 4 в коллекторы теплообменника 1 и после прохождения теплообменника возвращается в бак. Поддержание температуры промежуточного теплоносителя в баке обеспечивает система охлаждения, которая отводит тепло, сообщаемое промежуточному теплоносителю в теплообменнике при охлаждении сточных вод, утилизируемое в испарителе теплового насоса и отводимое в его конденсаторе на нужды теплофикации. Отдельные трубки Филда и схема их подключения в групповые коллекторы, которая наиболее рациональна с конструктивной точки зрения с учетом простоты конструкции, монтажа, обслуживания, оптимальной материалоемкости и ряда других факторов, показаны на рис. 1-б.

В представленном варианте возможен регенеративный теплообмен между потоками промежуточного теплоносителя, поступающего в трубки Филда 1 и отводимого из них в рядные коллекторы 2. Каналы теплообменника для его движения сформированы двумя коаксиальными цилиндрическими трубками: внешней и внутренней, причем внешняя трубка снизу имеет заглушку полусферической формы, образуя корпус, напоминающий по форме гильзу. Промежуточный теплоноситель совершает в каналах теплообменника сложное движение: сначала он движется сверху вниз по

внутренней трубке, потом – снизу вверх по кольцевому каналу между наружной поверхностью внутренней трубки и внутренней поверхностью наружной трубки.

В работе [3] предложена обобщенная математическая модель теплообмена в одиночной трубке Филда при условии постоянства температуры сточных вод снаружи гильзы. Предполагая постоянство водяного эквивалента промежуточного теплоносителя в каналах теплообменника, получим формулу для определения значений линейного теплового потока вдоль трубки в виде:

$$q_L(x, L) = K_2 \theta_0 \frac{A_1 r_2 e^{r_2 L + r_1 x} - A_2 r_1 e^{r_1 L + r_2 x}}{r_2 e^{r_2 L} - r_1 e^{r_1 L}}, \quad (1)$$

где $q_L(x, L)$ – функция линейного теплового потока, Вт/м; коэффициенты модели;

$$r_1 = \frac{K_2}{2W} \left(1 + 4 \sqrt{1 + \frac{K_1}{K_2}} \right);$$

$$r_2 = \frac{K_2}{2W} \left(1 - 4 \sqrt{1 + \frac{K_1}{K_2}} \right); A_1 = 1 + \frac{r_1 W}{K_1};$$

$$A_2 = 1 + \frac{r_2 W}{K_1}; \theta_0 = T_{sw} - T_0 - \text{разность температур сточной воды и начальной температуры теплоносителя в сечении } x = 0 \text{ на входе в рабочую часть трубки, } K;$$

T_{sw} – температура сточной воды снаружи гильзы теплообменника, К; T_0 – начальная температура теплоносителя, К; K_1 – линейный коэффициент теплопередачи через стенку цент-

ральной трубы между нисходящим и восходящим потоками, Вт/(м·К); K_2 – линейный коэффициент теплопередачи через стенку гильзы канала между омывающими снаружи канал сточными водами и восходящим потоком тепловоспринимающей среды, Вт/(м·К); C – изобарная теплоемкость промежуточного теплоносителя, Дж/(кг·К); w_1, w_2 – скорость нисходящего и восходящего потока, м/с;

$$W = C\rho w_1 \frac{\pi(d-2\delta)^2}{4} = C\rho w_2 \frac{\pi[(D-2\Delta)^2 - d^2]}{4}$$

– водяной эквивалент промежуточного теплоносителя для нисходящего и восходящего потока соответственно, Вт/К; D, Δ – наружный диаметр и толщина стенки гильзы канала, м; d, δ – наружный диаметр и толщина стенки центральной трубы, м; x, L – текущая координата расчетного сечения и расчетная глубина погружения трубки в канал сточных вод, м, (рис. 2); ρ – плотность промежуточного теплоносителя, кг/м³.

При тех же предположениях получена следующая формула, выражающая зависимость тепловой мощности трубки от глубины погружения и других параметров модели:

$$Q_{\text{тф}}(L) = \frac{2W\theta_o}{1 + \sqrt{1 + 4 \frac{K_1}{K_2} e^{\frac{K_2 L}{w} \sqrt{1 + 4 \frac{K_1}{K_2}}}} + 1}. \quad (2)$$

Тепловая мощность $Q_{\text{тф}}(L)$ отдельной трубки определяется ее длиной, водяным эквивалентом, разностью температур и скоростью теплоносителя, ограниченной допустимыми гидравлическими сопротивлениями, определяющими затраты энергии на прокачку промежуточного теплоносителя, их влияние на эффективность теплоотдачи и водяной эквивалент. Скорости сточных вод между гильзами определяются конструктивно-технологическими ограничениями на плотность компоновки трубок Филда в ряду. Основные факторы математической модели, влияющие на тепловую

мощность, – размеры, в число которых входят длина L , диаметры трубок (D, d) и шаг трубок в ряду S . При большом числе трубок для упрощения конструкции теплообменника предлагается схема группового подключения, при которой группы трубок Филда в каждом ряду подключаются к отдельному коллектору, а коллекторы рядов – к общему коллектору. Это позволяет реализовать блочно-модульную компоновку и при необходимости наращивать или уменьшать теплообменник унифицированными блоками. Канал сточных вод отделочных цехов может представлять дворовый приемник, из которого они направляют на локальные очистные сооружения. Предварительное охлаждение повышает эффективность очистки сточных вод, а также уменьшает температуру их выпуска, снижая тепловое загрязнение водоемов, в которые после очистки поступают стоки. Для двухтрубных теплообменников оптимальна модель теплообменника дискретного типа, в которой определяется количество трубок Филда, исходя из общего теплового баланса и расчетной тепловой мощности единичной трубки:

$$N_{\text{то}} \geq \frac{W_{\text{sw}}(t_1^{\text{sw}} - t_2^{\text{sw}})}{\bar{Q}_{\text{тф}}(\bar{\theta}_o, L)}, \quad N_{\text{то}} = N_{\text{тр1р}} N_{\text{р}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{то}}$, $N_{\text{тр1р}}$, $N_{\text{р}}$ – общее число трубок, число трубок в одном ряду и число рядов трубок соответственно; $W_{\text{sw}} = C_{\text{sw}} \rho_{\text{sw}} \bar{w}_{\text{sw}} S_{\text{cs}}^{\text{swk}} = C_{\text{sw}} \rho_{\text{sw}} q_{\text{sw}}$ – водяной эквивалент сточных вод, Вт/К; C_{sw} – изобарная теплоемкость сточной воды, Дж/(кг·К); ρ_{sw} – плотность сточной воды, кг/м³; \bar{w}_{sw} – средняя по полному сечению канала скорость сточной воды, м/с; q_{sw} – объемный расход сточных вод, м³/с; $S_{\text{cs}}^{\text{swk}} = B_{\text{cs}}^{\text{swk}} H_{\text{cs}}^{\text{swk}}$ – площадь полного сечения канала, м²; $B_{\text{cs}}^{\text{swk}}$, $H_{\text{cs}}^{\text{swk}}$ – ширина и глубина канала, м; t_1^{sw} , t_2^{sw} – начальная и конечная температура сточной воды, К; $\bar{Q}_{\text{тф}}(\bar{\theta}_o, L)$ – мощность одной труб-

ки, Вт; $\bar{\theta}_0$ – температура сточной воды и начальной температуры теплоносителя, К.

Рабочая часть трубки погружена в поток сточных вод, поэтому в расчетах обычно полагают ее равной глубине канала $L \approx H_{cs}^{swk}$. Число труб и рядов – целые числа, их общее число выбирается наименьшим из ряда целых чисел, которые удовлетворяют неравенству и равенству модели (3).

В системе трубок, расположенных в потоке сточных вод, происходит изменение температурного поля теплоносителя в двух измерениях: в направлении течения теплоносителя и по глубине потока, формула (1). Теплообмен в каждом предыдущем ряду трубок влияет на вертикальную стратификацию температурного поля в канале сточных вод. Точность расчетов по зависимости (3) зависит от выбора расчетных параметров. В качестве упрощения, снижающего размерность задачи оптимизации, используем среднюю по сечению температуру сточных вод для расчета тепловой мощности трубок в одном ряду. В этом случае можно принять для расчета по модели (3) среднюю температуру сточной воды между входным и выходным сечением теплообменника. Критерием для определения оптимальных параметров теплообменника принята минимальная материалоемкость, вариативной составляющей функции материалоемкости – суммарная масса материала рабочих частей трубок теплообменника. Основными факторами, влияющими на выбор оптимальных решений, являются размеры. Оптимальное проектирование выполним для теплообменника, охлаждающего 5 тыс. м³/сут сточных вод с 55 до 15°C. Результаты моделирования показали, что наибольшее влияние на материалоемкость оказывают такие конструктивные факторы, как диаметры (наружный и внутренний) трубки Филда (D, d) и относительный шаг трубок в ряду s/D, если не рассматривать фактор скорости. На рис. 2-а представлена зависимость материалоемкости G в тоннах от внутреннего диаметра трубок при разных скоростях промежуточного теплоносителя.

Рис. 2 – зависимость материалоемкости от: а – диаметра трубки; кривые соответ-

ствуют следующим скоростям промежуточного теплоносителя: 1 – 0,5 м/с; 2 – 1,0 м/с; 3 – 1,5 м/с, б – относительного шага трубок в ряду, кривые соответствуют разным скоростям сточной воды: 1 – 0,04 м/с; 2 – 0,4 м/с; 3 – 4 м/с.

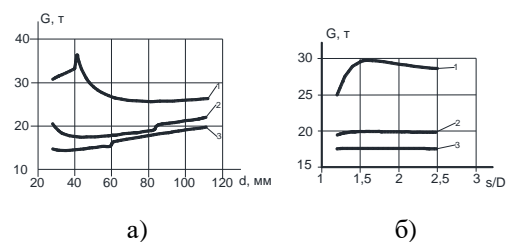


Рис. 2

Скорость сточной воды принята равной 0,04 м/с, исходя из оптимального соотношения поперечного и продольного размеров теплообменника. Внутренний и внешний диаметры связаны между собой равенством расхода промежуточного теплоносителя в центральной трубке и в кольцевом канале. Скорости в каналах отличаются незначительно, и соотношение между диаметрами достаточно жестко детерминировано. Из графиков следует, что оптимальные диаметры центральной трубки составляют от 40 до 80 мм.

На рис. 2-б представлена зависимость материалоемкости G от относительного шага рядной компоновки трубок при разных скоростях потока сточных вод в зазорах между трубками, при постоянной скорости промежуточного теплоносителя 0,5 м/с. Анализ графиков показывает, что оптимальный относительный шаг имеет значение $s/D = 1,2$. Отношение длины рабочей части трубки к ширине канала определяет глубину канала и его высоту теплообменника. Вариативный анализ численных результатов моделирования показал, что оптимальной с точки зрения влияния на соотношения размеров теплообменника будет $H_{cs}^{swk} / B_{cs}^{swk} = 0,5$, что было использовано при уточнении общего количества трубок, количества трубок в ряду и количества рядов трубок в проектируемом теплообменнике, которое было произведено после принятия оптимального количества трубок в одном ряду путем проведения последовательного расчета средней температуры

сточной воды. Расчет проводился по рекуррентным формулам (4), начиная с 1-го ряда, которому соответствует значение $k=1$ и продолжается до тех пор, пока $t_k^{sw} \leq t_2^{sw}$.

Соответствующее этому условию значение k будет определять количество рядов, то есть $N_p = k$.

$$t_k^{sw} = t_{k-1}^{sw} - \frac{N_{\text{тр1р}} \bar{Q}_{\text{тф}}(\bar{\theta}_{\text{ок}}, L)}{W_{sw}}; \quad \bar{\theta}_{\text{ок}} = t_{k-1}^{sw} - T_o; \quad t_0^{sw} = t_1^{sw}. \quad (4)$$

Оптимальные параметры проектируемого теплообменника представлены в табл.1.

Т а б л и ц а 1

№	Параметр	Ед. изм.	Значение
1	Расход сточных вод	м ³ /сут	5000
2	Начальная температура сточной воды t_1^{sw}	°С	55
3	Конечная температура сточных вод t_2^{sw} , не более	°С	15
4	Тепловая мощность теплообменника, не менее	кВт	9900
5	Наружный диаметр гильзы трубки Филда D	мм	90
6	Наружный диаметр центральной трубки d	мм	56
7	Толщина стенки гильзы Δ	мм	5
8	Толщина стенки центральной трубки δ	мм	3
9	Материал стенок		Сталь нерж.
10	Относительный шаг трубок в ряду s/D		1,2
11	Отношение глубины канала к ширине $H_{cs}^{swk} / B_{cs}^{swk}$		0,5
12	Расчетная скорость сточных вод между трубами w_{sw}	м/с	0,04
13	Промежуточный теплоноситель: водный раствор этиленгликоля 19,8%: температура на входе в трубки Филда скорость в центральной трубке скорость в кольцевом канале	°С	10
		м/с	0,5
		м/с	0,4
14	Число трубок в одном ряду		40
15	Число рядов трубок		82
16	Общее число трубок		3280
17	Ширина канала для установки теплообменника B_{cs}^{swk}	мм	4320
18	Глубина канала для установки теплообменника H_{cs}^{swk}	мм	2160
19	Длина канала для установки теплообменника	мм	8856

Оценка максимальных тепловых потерь контура трансформации тепловой энергии от регенеративного теплообмена в отводящем рядном коллекторе первого ряда показывает, что они не превышают 2% от величины полезного теплосъема. Их величина в последующих рядах будет снижаться. Тем не менее, в силу большого количества рядов уровень общих тепловых потерь может быть значительным. Снизить эти потери можно нанесением слоя полимерной теплоизоляции на наружную поверхность центральной трубки в области отводящего рядного коллектора.

ВЫВОДЫ

Результаты работы показывают возможность проектирования теплообменников на трубках Филда для охлаждения сточных вод с оптимальными параметрами.

Технологичная модульная конструкция и внешняя конфигурация теплообменников обеспечивают их производство, обслуживание, трансформацию и утилизацию теплоты сточных вод в целях теплофикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Производство текстильных изделий (промывка, отбеливание, мерсеризация, крашение текстильных волокон, отбеливание, крашение текстильной продукции). Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям – ИТС 39 – 2017. Федеральное Агентство по Техническому Регулированию и Метрологии. – М.: Бюро НДТ, 2017.

2. *Машиников И.В.* Водоснабжение и водоотведение на льноперерабатывающих предприятиях // Российский химический журнал. – 2002. Т. XLVI, №2. С. 82...89.

3. *Лозовецкий В.В., Лебедев В.В., Черкина В.М., Иванчук М.С.* Снижение тепловой нагрузки на окружающую среду с помощью тепловых насосов в системе очистки сточных вод. – Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси, Инженерно-физический журнал. – 2018, том 92, № 2 (март-апрель). С. 504...512.

4. *Соколов Е.Я., Бродянский В.М.* Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1981.

5. *Янтовский Е.И., Левин Л.А.* Промышленные тепловые насосы. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

6. *Хаузен Х.* Теплопередача при противотоке, прямотоке и перекрестном токе. – М.: Энергоиздат, 1981.

volokon, otbelivanie, krashenie tekstil'noy produktsii). Informatsionno-tekhnicheskiiy spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam – ITS 39 – 2017. Federal'noe Agentstvo po Tekhnicheskomu Regulirovaniyu i Metrologii. – М.: Byuro NDT, 2017.

2. *Mashnikov I.V.* Vodosnabzhenie i vodootvedenie na l'noy pererabatyvayushchikh predpriyatiyakh // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. – 2002. T. XLVI, №2. S.82...89.

3. *Lozovetskiy V.V., Lebedev V.V., Cherkina V.M., Ivanchuk M.S.* Snizhenie teplovoy nagruzki na okruzhayushchuyu sredyu s pomoshch'yu teplovykh nasosov v sisteme ochistki stochnykh vod. – Minsk: Institut teplo- i massoobmena imeni A. V. Lykova Natsional'noy akademii nauk Belarusi, Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal. – 2018, tom 92, № 2 (mart-aprel'). S. 504...512.

4. *Sokolov E.Ya., Brodyanskiy V.M.* Energeticheskie osnovy transformatsii tepla i protsessov okhlazhdeniya. – 2-e izd., pererab. – М.: Energoizdat, 1981.

5. *Yantovskiy E.I., Levin L.A.* Promyshlennyye teplovye nasosy. – М.: Energoatomizdat, 1989.

6. *Khauzen Kh.* Teploperedacha pri protivotoke, pryamotoke i perekrestnom toke. – М.: Energoizdat, 1981.

Рекомендована кафедрой автоматизации технологических процессов, оборудования и безопасности производств Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Поступила 27.03.20.

REFERENCES

1. Proizvodstvo tekstil'nykh izdeliy (promyvka, otbelivanie, merserizatsiya, krashenie tekstil'nykh

УДК 697.7

СИСТЕМЫ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ НА БАЗЕ ВОДЯНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

RADIANT HEATING SYSTEMS BASED ON WATER INFRARED EMITTERS FOR TEXTILE INDUSTRY

М.В. БОДРОВ, М.С. МОРОЗОВ, А.А. СМЫКОВ

M.V. BODROV, M.S. MOROZOV, A.A. SMYKOV

(Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)

(Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: tes84@inbox.ru

Внедрение лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей является эффективным и экономически-обоснованным, способствует снижению энергопотребления зданиями и снижению энергоемкости

текстильной промышленности в целом. В статье рассмотрены преимущества данного типа систем отопления на примере крупнообъемных помещений в текстильной промышленности.

The introduction of radiant heating based on water infrared emitters is efficient and economically feasible, helps to reduce the energy consumption of buildings and reduce the energy intensity of the textile industry as a whole. The article discusses the advantages of this type of heating system using the example of large-volume premises in the textile industry.

Ключевые слова: теплофизика, лучистое отопление, водяное отопление, инфракрасное излучение, излучатель, энергоэффективность.

Keywords: thermal physics, radiant heating, water heating, infrared radiation, emitter, energy efficiency.

Отопление крупнообъемных помещений текстильной промышленности (складов, цехов и пр.) в основном осуществляется традиционными системами отопления: конвективными и воздушными [1...5]. В свою очередь, применение таких систем отопления ведет за собой ряд недостатков, таких как: излишняя подвижность воздушных масс, повышенная запыленность, неравномерность нагрева в рабочей зоне помещения, большой градиент температуры воздуха по высоте помещения и т.д. Часть из этих недостатков является критичной, когда мы ведем речь о текстильном производстве, например – высокая запыленность за счет повышенной подвижности воздуха в помещении.

Применение систем лучистого отопления решает ряд вышеописанных проблем. Системы лучистого отопления: не провоцируют излишней подвижности воздуха, в отличие от системы воздушного отопления; позволяют обеспечить более равномерный нагрев рабочей зоны, в отличие от системы конвективного отопления, построенной на базе радиаторов или гладкотрубных регистров; обеспечивают меньший градиент температуры воздуха по высоте помещения, чем любой из видов конвективного или воздушного отопления.

Немаловажным аспектом применения систем отопления на базе инфракрасных излучателей (ИИ) является их высокая энергоэффективность. Проблема высокой энергоёмкости российской промышленности отражена в ряде работ и нормативных актов

[6...8]. Системы лучистого отопления позволяют снизить затраты тепловой энергии на величину до 40 % [9...17], что позволяет говорить о перспективности их применения в качестве мероприятия по повышению энергоэффективности производства.

Снижение потребления теплоты достигается за счет ряда особенностей систем лучистого отопления, таких как: низкая тепловая инерция; снижение трансмиссионных тепловых потерь через покрытие здания, из-за небольшого градиента температуры воздуха по высоте помещения; снижение температуры воздуха рабочей зоны на зоны на величину до 4 °С, по сравнению с нормативными значениями, предусмотренными при проектировании конвективных систем отопления [18], [19], что становится возможным за счет большей плотности потока теплового излучения в помещениях с системой отопления на базе ИИ. Также стоит отметить, что применение таких систем и значительное сокращении затрат теплоты достигается без снижения уровня теплового комфорта.

Самым привлекательным, с точки зрения энергоэффективности, является отопление на базе газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) [20...25]. В данных системах отсутствует промежуточный теплоноситель и теплота в помещение подается напрямую от первичного энергоносителя – природного газа. Однако применение лучистых систем отопления на базе ГИИ строго ограничено, в частности, оно недопустимо в пожароопасных помещениях категории

В, к которым относится большинство крупнообъемных помещений в текстильной промышленности. Также стоит учесть, что подключение газа во многих регионах России связано со значительными финансовыми затратами.

Ввиду вышеописанных особенностей ГИИ стоит рассмотреть другой энергоэффективный вид лучистого отопления – отопление на базе водяных инфракрасных излучателей (ВИИ). В качестве отопительных приборов в данных системах используются излучающие панели (рис. 1) или профили. Стоит также отметить, что наиболее перспективным ВИИ является именно излучающий профиль ввиду меньшей металлоемкости и большей удельной теплоотдачи. Теплоносителем в таких системах является горячая вода с температурой 40...150 °С.

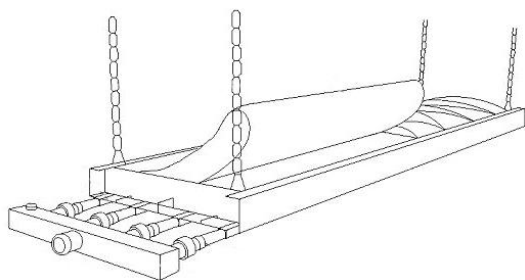


Рис. 1

Принцип работы лучистых систем отопления на базе ВИИ основан на передаче теплоты от теплоносителя к отопительному прибору, который, в свою очередь, отдает в объем обслуживаемого помещения преимущественно посредством электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне. Стоит учесть, что воздух является прозрачной средой для инфракрасного излучения, поэтому его нагрев осуществляется за счет теплопередачи от нагретых (облученных) поверхностей помещения.

Применение лучистых систем отопления на базе ВИИ является эффективным и экономически-обоснованным в крупнообъемных помещениях [11...14], [17].

Для исследования модели лучистой системы отопления на базе ВИИ в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете совместно с

единственной компанией-производителем излучающих профилей в России "Флайг + Хоммель" был открыт Учебно-научно-исследовательский центр "Системы отопления с использованием низкотемпературных инфракрасных излучателей", с состав которого вошла Лаборатория лучистого отопления. Для проведения ряда лабораторных экспериментов была сконструирована экспериментальная установка.

Основной задачей, которая встала перед сотрудниками Лаборатории стало создание полноценной теплофизической картины работы системы на базе ВИИ. В частности, для этого необходимо определить тепло-технические характеристики отопительных приборов, например удельную теплоотдающую способность 1 п.м прибора. Объектом исследований стал излучающий профиль марки Helios 750 (рис. 2).

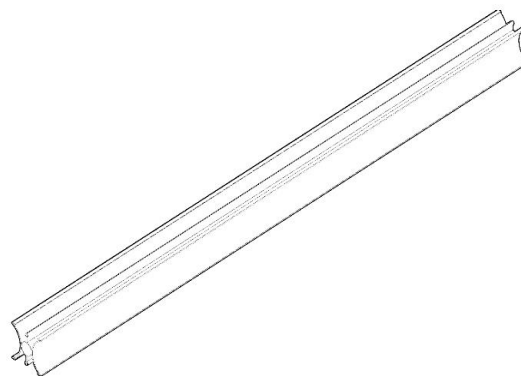


Рис. 2

Основные характеристики ВИИ Helios 750 приведены в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Наименование	Ед. изм.	Характеристика
Высота профиля	мм	170
Ширина профиля	мм	170
Удельная площадь	м ² /п.м	1,3
Удельная емкость	л/п.м	2,6
Удельная масса профиля	кг/п.м	7,1
Удельная масса профиля с водой	кг/п.м	9,2

В результате проведенных экспериментов по определению удельной теплоотдачи ВИИ при различных температурах теплоносителя и окружающей среды были получены: уравнение для определения тепловой

мощности (1) и таблица удельной тепловой мощности Helios 750 при фиксированных значениях ΔT .

$$q_{\text{изл}}^{\text{H750}} = 2,8881 \cdot \Delta T^{1,2423} \quad (1)$$

Т а б л и ц а 2

$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$q_{\text{изл}}, \text{Вт/п.м}$
10	50,5
15	83,5
20	119,4
25	157,5
30	197,6
35	239,3
40	282,4
45	326,9
50	372,7
55	420,0
60	467,4
65	516,3
70	566,0
75	617,0
80	668,2
85	720,5
90	773,5
95	827,2
100	881,6

Обоснование экономической эффективности применения систем лучистого отопления на базе ВИИ можно провести с помощью общепринятой методики [26]. В качестве примера было взято здание склада текстильной продукции, расположенного в городе Нижний Новгород ($t_n = -32^\circ\text{C}$ [27]). Здание имеет в осях размеры 137,5x24 м и 66,5x14 м и один уровень высотой 10,25 м.

Температуру воздуха рабочей зоны $t_{в,р}$, $^\circ\text{C}$ принимаем по нормативной документации. Категория работ по уровню энергозатрат – Пб, следовательно, $t_{в,р} = 17...19^\circ\text{C}$, принимаем $t_{в,р} = 18^\circ\text{C}$. Как уже было сказано выше, при применении лучистого отопления, в рабочей зоне производственных помещений допускается снижение величины $t_{в,р}$ до 4°C по сравнению со значениями, предусмотренными нормативными документами. Для расчета мощности лучистой системы отопления принимаем $t'_{в,р} = 14^\circ\text{C}$.

Требуемая мощность системы отопления в данных условиях была определена как 234330 Вт для конвективной системы отопления и 213814 Вт для лучистой системы отопления.

Затраты, связанные с покупкой тепловой энергии на стадии технико-экономического обоснования, определяются из уравнения:

$$\mathcal{E}_{\text{т.от}} = \frac{0,0864 \cdot \sum Q_{\text{от}} \cdot \text{ГСОП} \cdot C_{\text{т}}}{4,19 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н5х}})}, \text{ руб./год}, \quad (2)$$

где $0,0864 = 86\,400 \cdot 10^{-6}$, где 86 400 – число секунд в сутках; $\sum Q_{\text{от}}$ – суммарная мощность системы отопления, кВт; ГСОП – показатель градус-суток отопительного периода; $C_{\text{т}}$ – стоимость тепловой энергии, руб./Гкал, для г. Нижний Новгород на 2-е полугодие 2019 г. – 2382,42 руб./Гкал (без НДС); $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{н5х}}$ – температура наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92, $^\circ\text{C}$, является расчетной при определении требуемой тепловой мощности системы отопления.

Для наших исходных данных: $\mathcal{E}_{\text{т.от}}^{\text{к}} = 1088324 \text{ руб./год}$, $\mathcal{E}_{\text{т.от}}^{\text{л}} = 886674 \text{ руб./год}$.

Капитальными затратами в данном случае пренебрежем, так как они единовременны и примерно одинаковы для обеих типов систем. Суммарные дисконтированные затраты СДЗ, приведенные к концу расчетного срока (10 лет), определяются по следующей формуле:

$$\text{СДЗ} = \sum_{i=1}^T \mathcal{E}_i \cdot (1 + p/100)^i, \text{ руб.}, \quad (3)$$

где \mathcal{E}_i – суммарные годовые эксплуатационные затраты за i -й год, руб./год; p – норма дисконта, %, она учитывает упущенную выгоду от того, что эти средства вложены в энергосбережение вместо размещения под проценты в банке, в расчетах ее можно принимать на уровне не ниже ставки рефинансирования ЦБ РФ, по состоянию на начало 2020 г. она равна 6,25 %.

В нашем случае $\text{СДЗ}^{\text{к}} = 18906350 \text{ руб.}$, $\text{СДЗ}^{\text{л}} = 16048954 \text{ руб.}$ Даже если не брать в расчет такие экономические преимущества систем отопления на базе ВИИ, как низкая тепловая инерция (играет роль при переходе от дежурного режима к рабочему и

обратно), удобство регулирования, простота монтажа и эксплуатации, из вышесказанного можно сделать вывод, что в нашем случае можно получить преимущество по совокупным дисконтированным затратам за 10 лет в 2,86 млн. руб., или же 15,11 %.

ВЫВОДЫ

1. Применение лучистого отопления для обогрева крупнообъемных помещений является экономически-обоснованным, что было доказано технико-экономическим расчетом.

2. Не все виды ИИ применимы в текстильной промышленности. В качестве отопительных приборов рекомендуется применять ВИИ, в том числе излучающие профили марки Helios 750.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богословский В.И. Отопление и вентиляция. – М.: Легкая индустрия, 1970.

2. Колесникова Т.К. Отопление, вентиляция и сушка на предприятиях службы быта. – М.: Легкая индустрия, 1989.

3. Панин Б.Г. Основы теплотехники, отопление, вентиляция, сушка и охлаждение. – М.: Легкая индустрия, 1980.

4. Сорокин Н.С. Вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха на текстильных предприятиях. – М.: Легкая индустрия, 1974.

5. Учаскин П.В. Вентиляция, кондиционирование воздуха и отопление на предприятиях легкой промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1980.

6. Румянцев Е.В., Федосов С.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Опарина Л.А., Чистякова Ю.А., Котлов В.Г. Эколого-экономические эффекты энергосбережения в производственных зданиях текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019. № 2. С. 149...152.

7. Указ Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 г. № 889 "О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики" // СПС Консультант Плюс.

8. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" // СПС Консультант Плюс.

9. Бодров В.И., Михайлова Л.Ю., Смыков А.А. Температурный режим наружных ограждений поме-

щений с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал. – 2015. № 2 (34). С. 58...64.

10. Бодров В.И., Бодрова В.Ф., Смыков А.А. Исследование теплового режима наружных ограждающих конструкций в промышленных помещениях с системами отопления на базе инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал. – 2018. № 2 (46). С. 23...36.

11. Бодров В.И., Бодров М.В., Смыков А.А. Исследование систем лучистого отопления на базе низкотемпературных инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал. – 2019. № 3 (51). С.52...57.

12. Бодров В.И., Бодров М.В., Смыков А.А. Исследование теплотехнических характеристик низкотемпературных инфракрасных излучателей // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2019. №10 (214). С. 32...36.

13. Jia H., Pang X., Haves P. Experimentally-determined characteristics of radiant systems for office buildings // Applied Energy. – 2018. (221). С. 41...54.

14. Bojić M., Cvetković D., Marjanović V., Blagojević M., Djordjević Z. Performances of low temperature radiant heating systems // Energy and Buildings. – 2013. (61). P. 233...238.

15. Jung N., Paiho S., Shemeikka J., Lahdelma R., Airaksinen M. Energy performance analysis of an office building in three climate zones // Energy and Buildings. – 2018. (158). P. 1023...1035.

16. Imanari T., Omori T., Bogaki K. Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system // Energy and Buildings. – № 2(30), 1999. P.167...175.

17. Kavga A., Karanastasi E., Konstas I., Panidis T. Performance of an infrared heating system in a production greenhouse // IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). – № 18 PART 1(46), 2013. P. 235...240.

18. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: 2001.

19. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий (Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003). – М., 2012.

20. Kurilenko N.I., Zverev D.M., Idrisov A.Z. Comparative analysis of methods of calculating the systems for radiation heating // Gazovaya Promyshlennost. – №5, 2001. P. 58...60.

21. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Maksimov V.I., Mamontov G.Y., Nagornova T.A. Heat transfer under heating of a local region of a large production area by gas infrared radiators // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – № 3(86), 2013. P. 519...524.

22. Kurilenko N.I., Mamontov G.Y., Mikhaylova L.Y. Temperature patterns in the gas infrared radiator heating area // EPJ Web of Conferences. – 2015. (82).

23. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Mamontov G.Y., Mikhailova L.Y. Experimental determination of the temperature in a small neighborhood of the gas infrared sources // EPJ Web of Conferences. – 2015. (82).

24. Maksimov V.I., Nagornova T.A., Kurilenko N.I. Verification of Conjugate Heat Transfer Models in a Closed Volume with Radiative Heat Source // MATEC Web of Conferences. – 2016. (72).

25. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Nee A.E. Mathematical modelling of conjugate heat transfer and fluid flow inside a domain with a radiant heating system // International Journal of Thermal Sciences. – 2018. (131). P. 27...39.

26. Самарин О.Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: АСВ, 2015.

27. ТСН 31-301-96. Строительная климатология для пунктов Нижегородской области. – Н.Новгород, 1997.

REFERENCES

1. Bogoslovskiy V.I. Otoplenie i ventilyatsiya. – М.: Legkaya industriya, 1970.

2. Kolesnikova T.K. Otoplenie, ventilyatsiya i sushka na predpriyatiyakh sluzhby byta. – М.: Legkaya industriya, 1989.

3. Panin B.G. Osnovy teplotekhniki, otoplenie, ventilyatsiya, sushka i okhlazhdenie. – М.: Legkaya industriya, 1980.

4. Sorokin N.S. Ventilyatsiya, otoplenie i konditsionirovanie vozdukha na tekstil'nykh predpriyatiyakh. – М.: Legkaya industriya, 1974.

5. Uchastkin P.V. Ventilyatsiya, konditsionirovanie vozdukha i otoplenie na predpriyatiyakh legkoy promyshlennosti. – М.: Legkaya industriya, 1980.

6. Rumyantsev E.V., Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Oparina L.A., Chistyakova Yu.A., Kotlov V.G. Ekologo-ekonomicheskie efekty energosberezheniya v proizvodstvennykh zdaniyakh tekstil'noy i legkoy promyshlennosti // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019. № 2. S. 149...152.

7. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 4 iyunya 2008 g. № 889 "O nekotorykh merakh po povysheniyu energeticheskoy i ekologicheskoy effektivnosti rossiyskoy ekonomiki" // SPS Konsul'tant Plyus.

8. Federal'nyy zakon ot 23.11.2009 g. № 261-FZ (red. ot 13.07.2015) "Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti, i o vnesenii izmeneniy v otдел'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii" // SPS Konsul'tant Plyus.

9. Bodrov V.I., Mikhaylova L.Yu., Smykov A.A. Temperaturnyy rezhim naruzhnykh ograzhdeniy pomeshcheniy s sistemami otopleniya na baze gazovykh infrakrasnykh izluchateley // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. – 2015. № 2 (34). S. 58...64.

10. Bodrov V.I., Bodrova V.F., Smykov A.A. Issledovanie teplovogo rezhima naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksiy v promyshlennykh pomeshcheniyakh s sistemami otopleniya na baze infrakrasnykh izluchateley // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. – 2018. № 2 (46). S. 23...36.

11. Bodrov V.I., Bodrov M.V., Smykov A.A. Issledovanie sistem luchistogo otopleniya na baze nizkotemperaturnykh infrakrasnykh izluchateley // Pri-volzhskiy nauchnyy zhurnal. – 2019. № 3 (51). S.52...57.

12. Bodrov V.I., Bodrov M.V., Smykov A.A. Issledovanie teplotekhnicheskikh kharakteristik nizkotemperaturnykh infrakrasnykh izluchateley // San-tehnika. Otoplenie. Konditsionirovanie. – 2019. № 10 (214). S. 32...36.

13. Jia H., Pang X., Haves P. Experimentally-determined characteristics of radiant systems for of-fice buildings // Applied Energy. – 2018. (221). S. 41...54.

14. Bojić M., Cvetković D., Marjanović V., Blagojević M., Djordjević Z. Performances of low temperature radiant heating systems // Energy and Buildings. – 2013. (61). P. 233...238.

15. Jung N., Paiho S., Shemeikka J., Lahdelma R., Airaksinen M. Energy performance analysis of an of-fice building in three climate zones // Energy and Buildings. – 2018. (158). P. 1023...1035.

16. Imanari T., Omori T., Bogaki K. Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system // Energy and Buildings. – № 2(30), 1999. P.167...175.

17. Kavga A., Karanastasi E., Konstas I., Panidis T. Performance of an infrared heating system in a production greenhouse // IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). – № 18 PART 1(46), 2013. P. 235...240.

18. SanPiN 2.2.4.548-96. Gigienicheskie trebovaniya k mikroklimatu proizvodstvennykh pomeshcheniy. – М.: 2001.

19. SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy (Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 23-02-2003). – М., 2012.

20. Kurilenko N.I., Zverev D.M., Idrisov A.Z. Comparative analysis of methods of calculating the systems for radiation heating // Gazovaya Promyshlennost. – №5, 2001. P. 58...60.

21. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Maksimov V.I., Mamontov G.Y., Nagornova T.A. Heat transfer under heating of a local region of a large production area by gas infrared radiators // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – № 3(86), 2013. P. 519...524.

22. Kurilenko N.I., Mamontov G.Y., Mikhaylova L.Y. Temperature patterns in the gas infrared radiator heating area // EPJ Web of Conferences. – 2015. (82).

23. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Mamontov G.Y., Mikhailova L.Y. Experimental determination of the temperature in a small neighborhood of the gas infrared sources // EPJ Web of Conferences. – 2015. (82).

24. Maksimov V.I., Nagornova T.A., Kurilenko N.I. Verification of Conjugate Heat Transfer Models in a Closed Volume with Radiative Heat Source // MATEC Web of Conferences. – 2016. (72).

25. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Nee A.E. Mathematical modelling of conjugate heat transfer and fluid flow inside a domain with a radiant heating system // International Journal of Thermal Sciences. – 2018. (131). P. 27...39.

26. Samarin O.D. Voprosy ekonomiki v obespechenii mikroklimata zdaniy. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: ASV, 2015.

27. TSN 31-301-96. Stroitel'naya klimatologiya dlya punktov Nizhegorodskoy oblasti. – N.Novgorod, 1997.

Рекомендована кафедрой отопления и вентиляции. Поступила 02.08.20.

УДК 691-4:692.2

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОАКТИВНОГО ОГРАЖДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF ENERGY ACTIVE FENCING OF PRODUCTION BUILDINGS IN THE TEXTILE INDUSTRY

К.Е. ИМАНАЛИЕВ, У.С. СУЛЕЙМЕНОВ, М.А. КАМБАРОВ, Р.А. РИСТАВЛЕТОВ,
Х.А. АБШЕНОВ, Р.Б. КУДАБАЕВ

K.E. IMANALIEV, U.S. SULEIMENOV, M.A. KAMBAROV, R.A. RISTAVLETOV,
H.A. ABSHENOV, R.B. KUDABAEV

(Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан)

(M.Auezov South-Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan)

Email: medet_2030@mail.ru

Работа посвящена разработке метода, который бы позволил на основе бесконтактного тепловизионного способа контроля состояния конструкции получить числовые фактические характеристики теплотехнического состояния ограждения промышленных зданий. Для определения тепловой защиты энергоэффективных конструкций наружных ограждений производственных зданий проведены экспериментальные исследования. Для проведения был изготовлен фрагмент стенового ограждения, представляющий собой многослойное стеновое ограждение с энергоактивной панелью. Определено, что тепловизионная диагностика наружных ограждений по данной методике позволяет не только устанавливать фактический уровень теплозащиты здания, но и дает возможность выявлять неоднородность в теле ограждающей конструкции. Установлено, что данный метод позволяет избежать контактных методов определения теплотехнических характеристик ограждения.

The work is devoted to the development of a method that would allow, on the basis of a non-contact thermal imaging method of monitoring the state of a structure, to obtain the numerical actual characteristics of the thermal technical state of the enclosure of industrial buildings. To determine the thermal protection of energy-efficient structures of external fences of industrial buildings, experimental studies were carried out; for this, a fragment of a wall fence was made, which is a multilayer wall fence with an energy-active panel. It was determined that thermal imaging di-

agnostics of external fences using this technique allows not only to establish the actual level of thermal protection of a building, but also makes it possible to identify heterogeneity in the body of the enclosing structure. It has been established that this method avoids contact methods for determining the thermal characteristics of the fence.

Ключевые слова: наружные ограждающие конструкции, тепловая защита зданий, энергоэффективное строительство, теплоаккумулирующие материалы.

Keywords: external enclosing structures, thermal protection of buildings, energy-efficient construction, heat storage materials.

Одним из направлений достижения цели программы "Энергосбережение-2020" является энергоэффективное строительство, которое предполагает развитие производства энергосберегающих строительных конструкций и разработку решений, направленных на повышение энергоэффективности производственных зданий.

При этом создание требуемых температурно-влажностных режимов в помещениях, снижение тепловых потерь при отоплении зданий в настоящее время являются важнейшими государственными задачами. При таком подходе первостепенную роль приобретает грамотное проектирование наружных ограждений и степень их соответствия современным требованиям тепловой защиты зданий. Столь пристальное внимание к проектированию эффективных ограждающих конструкций объясняется, с одной стороны, тем важным местом, которое они занимают в структуре здания, а с другой стороны – той ролью, которую они играют в решении проблемы экономии энергоресурсов и повышения уровня тепловой защиты здания.

Одним из перспективных направлений создания энергоэффективных зданий и их конструкций является разработка наружных ограждающих конструкций повышенной тепловой эффективности. Необходимый уровень тепловой защиты таких наружных ограждений устанавливается посредством увеличения термической однородности конструкций, высокоэффективных утеплителей, рационального размещения в массиве ограждения теплоаккумулирующих и теплоизоляционных слоев и оп-

тимизация их слоев. Однако комплексная оценка тепловой эффективности одно- и многослойных наружных стен показала нецелесообразность дальнейшего увеличения толщины ограждения, поскольку при этом возрастает расход тепла на изготовление материалов и изготовление конструкций.

Вместе с тем в практике проектирования энергоэффективных зданий начали широко использовать системы аккумулирования солнечной энергии. Анализ возможности аккумулирования тепловой энергии с помощью различных технических систем указывает на достаточную эффективность регулирования потребления тепловой энергии посредством самих конструкций зданий. В подобной системе утилизируется как прямая, так и рассеянная солнечная радиация, которая для многих районов республики может составлять до 50% суммарного прихода солнечной энергии за время отопительного периода.

Введение новой редакции нормативных документов и переход от санитарно-гигиенических критериев тепловой защиты ограждающих конструкций к экономическим требованиям к тепловой защите зданий значительно возросли. Это потребовало радикальной переоценки материалов, применяемых в наружных ограждениях, и существенного изменения конструктивных решений наружных стен [1...3].

В связи с этим рассмотрим конструктивные варианты обеспечения тепловой защиты и современные энергоэффективные конструкции наружных ограждений производственных зданий.

Цель и задачи. Целью данной работы является разработка методики теплотехнического расчета энергоактивной конструкции с теплоаккумулирующим материалом и получение числовых фактических характеристик наружных ограждающих конструкций с применением тепловизионного метода контроля.

Для определения тепловой защиты энергоэффективных конструкций наружных ограждений проведены экспериментальные исследования. Для проведения был изготовлен фрагмент стенового ограждения, представляющий собой многослойное стеновое ограждение с энергоактивной панелью.

В результате анализа выбранных вариантов, разработки конструктивного решения и методики проведения экспериментов было выбрано конструктивное решение стенового ограждения с энергоактивной панелью, удовлетворяющее задачам совместности его с наружными ограждающими конструкциями.

Методика проведения экспериментов разработана на основе необходимости экспериментального обоснования эффективности применения разработанной энергоактивной конструкции в наружном ограждении зданий и сравнения результатов испытаний по трем конструктивным схемам.

Согласно методике проведения экспериментов на фрагменте стенового ограждения моделировались три варианта энергоактивной панели:

- без теплоотражающего экрана и теплоаккумулирующего материала;
- с теплоотражающим экраном и без теплоаккумулирующего материала;
- с теплоотражающим экраном и теплоаккумулирующей панелью.

Проведение экспериментов основано на тепловизионном контроле поверхности энергоактивной конструкции ограждения согласно ГОСТ 26629–85 [4] и измерений температуры воздуха на входе и выходе из энергоактивной панели.

Метод основан на дистанционном измерении тепловизором полей температур поверхностей фрагмента ограждения со сто-

роны светопрозрачного ограждения и измерений температуры воздушного теплоносителя на входе и выходе из энергоактивной панели, значения которых принимаются за показатели эффективности энергоактивной панели.

При проведении энергетического обследования использован ручной тепловизор FLIR i3, который позволяет определять температуру поверхности бесконтактным методом и визуализировать распределение температур на поверхностях.

Температурные поля поверхностей ограждающих конструкций получены и изучены с дисплея тепловизора в виде цветного изображения, а после корректировки снимка переписаны в память прибора.

Тепловизионному контролю были подвержены наружные и внутренние поверхности ограждающих конструкций. По обзорной термограмме с дисплея тепловизора выявлялись участки с дефектами теплозащитных свойств, которые затем были подвержены детальному теплографированию с внутренней стороны ограждения. Но следует отметить, что целью тепловизионного контроля действительно является обнаружение скрытых дефектов в конструкциях, однако эти дефекты не являются показателями тепловой защиты, нормируемыми СНиП РК 2.04-03–2002 [5].

Вместе с тем в ГОСТ 26629–85 отмечается, что результаты тепловизионного метода контроля ограждающих конструкций не могут являться показателями тепловой защиты, или, вернее, сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции. При этом тепловизор используется как средство оперативного бесконтактного измерения температур, а определение сопротивления теплопередаче осуществляется расчетным путем по данным контактного измерения тепловых потоков в конструкции применением специальных датчиков. Однако использование метода стационарного теплового потока для энергетического обследования ограждающих конструкций зданий в натуральных условиях сопряжено с ограничениями, связанными в основном с длительностью наблюдений и нестабильностью

тепловых потоков во времени, что существенно снижает точность и достоверность получаемых результатов измерений.

В связи с этим для оценки теплотехнического состояния наружных ограждающих конструкций использован метод, который описан выше и отличается некоторым нетрадиционным подходом к методам экспериментального (натурного) определения теплофизических характеристик ограждающих конструкций.

На начальном этапе просматривались тепловые изображения наружной поверхности ограждающей конструкции, сняты предварительные обзорные термограммы и выбраны базовые участки. За базовый участок принят участок ограждающей конструкции, имеющий линейные размеры свыше двух ее толщин и равномерное температурное поле.

Детальному термографированию были подвержены внутренние поверхности базовых участков и участки с нарушенными теплозащитными свойствами.

Обработку результатов термографирования производили с использованием программного комплекса IRSoft, предназначенного для анализа, обработки и архивирования изображений. Функции всестороннего анализа предназначены для профессиональной обработки термограмм.

Метод теплотехнического расчета
Как показывает опыт эксплуатации производственных зданий, оценивать теплотехническое состояние наружных ограждающих конструкций целесообразно на основе фактического контроля состояния конструкций тепловизионным методом.

Тепловизионный метод позволяет регистрировать теплотехническую неоднородность ограждающих конструкций, выявлять теплопроводные включения, участки ограждения, где возможна конденсация влаги, и места утечки тепла. Однако метод позволяет только в комплексе с дополнительными измерениями определять фактическое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания.

Следует отметить, что существующие методы оценки фактических теплотехнических

характеристик наружных ограждений здания основаны на проведении контактных измерений на поверхностях ограждения в дополнение к тепловизионным методам контроля, что требует длительного времени и усложняет задачу.

В связи с этим возникает необходимость в разработке такого метода, который бы позволил на основе бесконтактного тепловизионного способа контроля состояния конструкции получить числовые фактические характеристики теплотехнического состояния ограждения на основе существующих ГОСТ.

При разработке данного метода за основу были взяты базовые положения ГОСТ 26254–84 [6].

В соответствии с [6] приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_0^r определяют по формуле:

$$R_0^r = F / \sum \frac{F_i}{R_{oi}}, \quad (1)$$

где F – общая площадь исследуемой ограждающей конструкции, m^2 ; F_i – площадь термически однородной зоны на исследуемой ограждающей конструкции, m^2 ; R_{oi} – сопротивление теплопередаче термически однородной зоны ограждения, $(m^2 \cdot ^\circ C) / Вт$.

Сопротивление теплопередаче R_{oi} термически однородных зон можно определить по формуле:

$$R_{oi} = t_{int} - t_{ext} / g_i, \quad (2)$$

где t_{int} и t_{ext} – значение температур соответственно внутреннего и наружного воздуха, $^\circ C$; g_i – плотность теплового потока, проходящего через термически однородную зону ограждения, $Вт / m^2$.

При невозможности или сложности установления величины плотности теплового потока g_i можно использовать формулу:

$$R_{oi} = t_{int} - t_{ext} / \alpha_{int} (t_{int} - \tau_{int}), \quad (3)$$

где α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $Вт / (m^2 \cdot ^\circ C)$; τ_{int} – температура

внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С.

Анализируя уравнение (3), можно заключить, что исходя из зафиксированных температур наружного и внутреннего воздуха и установленного коэффициента теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, используя тепловизионную съемку, можно определить сопротивление теплопередаче R_{0i} .

Принимая площадь термически однородной зоны ограждающей конструкции (одинаковый цвет на термограмме) за единицу, то есть $F_i = 1$, уравнение (1) запишем в следующем виде:

$$R_0^r = N / \sum_n^1 \cdot 1 / R_o, \quad (4)$$

$$R_0^r = N(t_{int} - t_{ext}) / \alpha_{int} \left[(t_{int} - \tau_{int(1)}) + (t_{int} + \tau_{int(2)}) + \dots + (t_{int} - \tau_{int(N)}) \right], \quad (6)$$

где $\tau_{int(1)}, \tau_{int(2)}, \dots, \tau_{int(N)}$ – температура внутренней поверхности наружного ограждения, определяемая термографом в каждой точке его термоизображения, °С.

Опишем методику определения приведенного сопротивления теплопередаче наружного ограждения R_0^r .

1. Обследуемая ограждающая конструкция разбивается на участки, удобные для термографирования.

2. Последовательно производится тепловизионная съемка каждого участка.

3. Определяются исходные температуры внутреннего t_{int} и наружного t_{ext} воздуха, коэффициента теплоотдачи внутренней поверхности ограждения α_{int} .

4. Выделив на термограмме исследуемый участок и учитывая разрешение кадра тепловизора, определяют N – количество точек на одном изображении.

5. По термограмме определяются температуры поверхностей ограждения t_{int} по участкам.

6. Для каждого участка по формуле (6) определяется приведенное сопротивление теплопередаче: $R_{0(1)}^r, R_{0(2)}^r, \dots, R_{0(N)}^r$.

где N – количество точек на одном термоизображении; R_o – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, вычисляемое по формуле (3) в каждой точке термоизображения, $(m^2 \cdot °C) / Вт$; 1 – размеры одной точки.

В одной характерной цветовой зоне сопротивление теплопередаче можно определить, выделяя в термоизображении одну точку. В этом случае уравнение (4) будет иметь вид:

$$R_0^r = N / \sum_n^1 \cdot 1 / R_o = R_o. \quad (5)$$

С учетом уравнения (3) выражение (5) можно записать в следующем виде:

7. Как среднее по участкам вычисляется приведенное сопротивление теплопередаче всего наружного ограждения R_0^r по формуле

$$R_0^r = R_{0(1)}^r, R_{0(2)}^r, \dots, R_{0(N)}^r / n, \quad (7)$$

где n – количество участков для термографирования.

ВЫВОДЫ

Предложенная методика может быть использована для решения задач теплотехнического анализа энергоактивной конструкции ограждения производственных зданий текстильной промышленности.

Методика проведения экспериментов разработана на основе необходимости экспериментального обоснования эффективности применения энергоактивных конструкций в наружном ограждении производственных зданий и сравнения результатов испытаний по трем конструктивным схемам.

Определено, что тепловизионная диагностика наружных ограждений по разработанному методу позволяет не только

устанавливать фактический уровень теплозащиты здания, но и дает возможность выявлять неоднородность в теле ограждающей конструкции. Установлено, что данный метод позволяет избежать контактных методов определения теплотехнических характеристик ограждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М., 2004.
2. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М., 2003.
3. СП 23 –101–2004 Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: Госстрой России, 2004.
4. ГОСТ 26629–85. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
5. СНиП РК 2.04-03–2002. Строительная теплотехника. – М.: Госстрой России, 2002.
6. ГОСТ 26254–84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче

ограждающих конструкций. Переиздание. – М.: Изд-во стандартов, 1994.

REFERENCES

1. SP 23-101–2004. Proektirovanie teplovoy zashchity zdaniy. – М., 2004.
2. SNiP 23-02–2003. Teplovaya zashchita zdaniy. – М., 2003.
3. SP 23 –101–2004 Proektirovanie teplovoy zashchity zdaniy. – М.: Gosstroy Rossii, 2004.
4. GOST 26629–85. Metod teplovizionnogo kontrolya kachestva teploizolyatsii ograzhdayushchikh konstruktsiy. – М.: Izd-vo standartov, 1985.
5. SNiP RK 2.04-03–2002. Stroitel'naya teplo-tekhnika. – М.: Gosstroy Rossii, 2002.
6. GOST 26254–84. Zdaniya i sooruzheniya. Metody opredeleniya soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstruktsiy. Pereizdanie. – М.: Izd-vo standartov, 1994.

Рекомендована центром научно-аналитической информации. Поступила 22.01.20.

УДК 687.03

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПРЕССИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ПОЛУМАСКИ НА МЯГКИЕ ТКАНИ ЧЕЛОВЕКА

NUMERICAL SIMULATION OF THE COMPRESSION INFLUENCE OF THE FILTERING HALF MASK ON THE SOFT HUMAN TISSUES

*I.N. TYURIN, A.M. YAKOVLEV, E.G. ANDREEVA,
S.SH. TASHPULATOV, V.S. BELGORODSKIY*

*I.N. TYURIN, A.M. YAKOVLEV, E.G. ANDREEVA,
S.SH. TASHPULATOV, V.S. BELGORODSKY*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, Россия
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),
National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia
Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan)

E-mail: ssht61@mail.ru

Работа посвящена численному моделированию компрессионного воздействия фильтрующей полумаски на мягкие ткани лица человека. Математические модели биологических тканей основаны на комбинировании свойств гиперэластичности и вязкоупругости. По результатам численного моделирования установлено значительное влияние физико-механических свойств фильтрующей полумаски на деформацию мягких тканей при дли-

тельной эксплуатации. Результаты исследования предназначены для разработки моделей фильтрующих полумасок медицинского назначения, обладающих свойствами равномерного распределения давления по поверхности лица человека, а также снижением уровней оказываемого давления.

The work is devoted to numerical simulation of the compression effect of the filtering half mask on the human's face soft tissues. Mathematical models of biological tissues are based on a combination of the properties of hyperelasticity and viscoelasticity. According to the results of numerical modeling, a significant effect of the physico-mechanical properties of the filtering half mask on the deformation of soft tissues during long-term operation was established. The results of the study are intended for the development of models of filtering half masks for medical purposes that have the properties of a uniform distribution of pressure on the surface of a person's face, as well as a decrease in the level of pressure applied.

Ключевые слова: компрессионное воздействие, фильтрующая полумаска, мягкие ткани лица человека, численное моделирование.

Keywords: compression effect, filtering half mask, soft tissues of the human face, numerical modeling.

Главное – человек, и все, что его окружает [1]. Поскольку инфекция коронавируса COVID-19 продолжает распространяться по всему миру, средства индивидуальной защиты органов дыхания стали необходимостью для каждого человека. Медицинский персонал, особенно при работе в "красных зонах", граждане, работающие длительное время в закрытых помещениях, а также государственные служащие, род деятельности которых связан с работой с населением, нуждаются в гораздо большей защите по причине повышенной вирусной нагрузки, превосходящей полученную в местах общественного доступа людей.

Здоровые люди носят респираторы в течение коротких периодов времени, в то время как медицинские работники носят их в течение 10...16 часов, потому что они постоянно находятся в контакте с теми людьми, которые заражены каким-либо заболеванием, которое может быть вызвано вирусом или частицами аэрозоля. Существует вероятность передачи этих частиц от зараженного человека медицинскому работнику, поэтому использование респираторов является элементом комплексного пакета средств защиты и мер, которые мо-

гут ограничивать распространение некоторых респираторных заболеваний. Есть некоторые побочные эффекты ношения респиратора в течение длительного периода времени, при котором на мягкие ткани лица оказывается компрессионное воздействие, в результате чего на лице формируются лицевые раны: язвы, прыщи, волдыри и струпа и т.д.

Компрессионное воздействие, оказываемое респираторами на лицо медицинского работника, отрицательно сказывается на его психофизиологическом, физиологическом, психическом состояниях, окружающей среде его работы. Для нивелирования этого эффекта необходимо исследовать механизм компрессионного воздействия фильтрующей полумаски на лицо человека и разработать методы эргономического проектирования фильтрующих полумасок (ФПМ) [2] с целью использования их медицинским персоналом.

Процесс численного моделирования компрессионного воздействия мягких тканей на лицо человека нуждается в математических моделях, описывающих поведение взаимодействующих материалов: биологических тканей лица человека и пакета материалов фильтрующей полумаски.

Деформации биологических тканей лица человека имеют нелинейный характер. В частности, мышечные ткани демонстрируют ортотропное и вязкоупругое механическое поведение [3]. Очень часто мягкие ткани рассматриваются как гиперэластичные материалы [4]. Основное определяющее уравнение, описывающее механический отклик изотропного гиперэластичного материала, в процессе компрессионного воздействия представляет собой функцию плотности энергии деформации (ФПЭД) эластомерного образца (модель Муни-Ривлина) [4], [5]:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + 1/D_1(J_{el} - 1)^2, \quad (1)$$

где \bar{W} – функция плотности энергии деформации; C_{10} и C_{01} – параметры материала; J_{el} – коэффициент упругого объема; D_1 – это константа, определяющая сжимаемость материала, которая может быть оценена из объемного теста; I_1 и I_2 – первый и второй инварианты.

Первый и второй инварианты могут быть определены как:

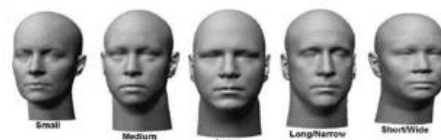
$$I_1 = (\lambda_1)^2 + (\lambda_2)^2 + (\lambda_3)^2, \quad (2)$$

$$I_2 = (\lambda_1\lambda_2)^2 + (\lambda_2\lambda_3)^2 + (\lambda_3\lambda_1)^2. \quad (3)$$

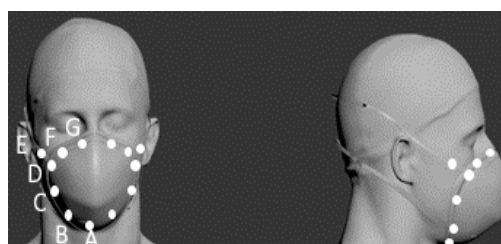
Проведение численного моделирования возможно с использованием программных средств с встроенными решателями дифференциальных уравнений и средствами 3D-моделирования [3], [6]. В результате компьютерного моделирования трехмерных моделей разработана модель маски по стандартам N95 и предлагаемая модель-аналог с использованием LRMF-полиуретана (пеноматериал на основе полиуретана с памятью формы и низкой скоростью восстановления исходной формы).

По итогам проведенного 3D-сканирования получены трехмерные модели для 5 типов форм головы человека. Стоит отметить выбор испытуемых для проведения 3D-сканирования. По итогам массовых антропометрических исследований (3997 человек рабочих специальностей), проведенных Национальным институтом безопасности и гигиены труда США (NIOSH) получены 5

цифровых трехмерных моделей головы: маленькая, средняя, большая, длинная/узкая и короткая/широкая (рис. 1-а) [7]. В связи с этим для получения трехмерных моделей лица человека произведено сканирование 5 испытуемых, имеющих 5 различных форм головы. На рис. 1-б представлена 3D-модель, относящаяся к среднему типу формы головы человека, определенному согласно исследованиям NIOSH.



а)



б)

Рис. 1

Моделирование содержит три вида нагрузок.

1. Сила тяжести в направлении Y.

2. Нагрузки, заданные в виде точек давления, прикладываемые в 13 топографических зонах лица (6 антропометрических точек, исключая точку А, заданы симметрично второй половине лица):

А – маркер: в подбородочной зоне соприкосновения поверхности маски с поверхностью тела;

В – маркер: по краю маски между маркерами А и С;

С – маркер: по краю маски в зоне крепления нижней резинки с ФПМ;

Д – маркер: по краю маски между маркерами С и Е;

Е – маркер: по краю маски в зоне крепления верхней резинки с ФПМ;

Ф – маркер: в области соприкосновения маски с боковой поверхностью носа;

Г – маркер: точка в области скуловой кости.

3. Силы трения. Контактный решатель LS_DYNA используется с входными пара-

метрами, включая коэффициент трения кожи. Коэффициент трения кожи выбран равным 0,25 согласно [8].

Физико-механические свойства биологических тканей, определенные [9], [10], представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Слой	Плотность, г/м ³	Модуль Юнга, МПа	Коэффициент Пуассона
Кожа	1,3	0,65	0,48
Мышцы	1,8	0,80	0,45

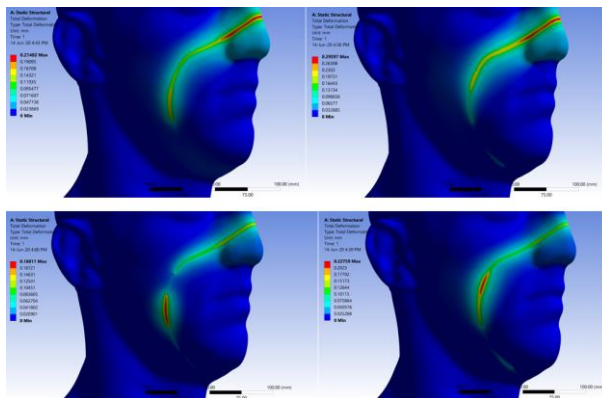


Рис. 2

По результатам проведенного моделирования установлено снижение пиковых значений деформаций на 20...30% (с 0,234 до 0,188 мм при $t=0$ с; с 0,296 до 0,203 мм при $t=18000$ с), а также более равномерное распределение компрессионного давления в передней области лица по сравнению с моделями-аналогами из полиуретанов, традиционно используемых в качестве назальной прокладки во внутренней области респиратора.

Среди преимуществ использования вкладышей из LRMF-полиуретана можно выделить высокую адгезию с поверхностью тела человека, способность к абсорбции и рассеиванию энергии, а также способность принимать форму поверхности контакта маски с лицом человека.

ВЫВОДЫ

Проведено исследование компрессионного давления фильтрующих полумасок с использованием методов численного моделирования (конечно-элементный анализ). Имитационные модели созданы на основе трехмерных моделей фильтрующей полумаски и моделей головы. В качестве объек-

тов сравнительного анализа выступили модель маски N95 и разработанная по стандартам N95 модель-аналог, с использованием вкладышей из LRMF-полиуретана. Нагрузки и граничные условия заданы постоянными для двух моделей. Установлено снижение пиковых значений деформаций на 20...30% в зависимости от длительности приложения нагрузки.

Использование численного моделирования является эффективным методом высокоточного математического моделирования различных физических процессов, в том числе процессов эксплуатации средств индивидуальной защиты органов дыхания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Путин В.В. Послание Федеральному Собранию Российской Федерации // Вестник Российской Федерации. – 2018, № 2 (60). С.11...18.
2. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreev, E.G. Analysis of innovative technologies of thermoregulating textile materials // Fibre Chemistry. – №1 (50), 2018. P. 1...9.
3. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. The finite-element modeling of compression sportswear // In proceedings: AUTEX 2019. Proceedings of the 19th World Textile Conference. – 2019. С. 0366.
4. Mooney M. A Theory of Large Elastic Deformation // Journal of Applied Physics. – Vol.11, 1940. P.583...592.
5. Rivlin. Large Deformation of Isotropic Materials // Phil. Transactions. – Vol.240, 1960. P.459...508.
6. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Van der Pauw method for measuring the electrical conductivity of smart textiles // Fibre Chemistry. –Т. 51, №2, 2019. P. 139...146.
7. Zhuang Z., Benson S., and Viscusi D. Digital 3D headforms with facial features representative of the current US workforce // Ergonomics. – 53(5), 2010. P.661...671.
8. Zhang M.; Mak A. F. In vivo friction properties of human skin, Prosthet. Orthot. Int. – 23, 1999, 135...41.
9. Fung Y.C. Elasticity of Soft Tissues in Simple Elongation // American Journal of Physiology. – Vol.213, 1967, P.1532...1544.

10. Duck F. Physical properties of tissues: a comprehensive reference book. – Academic Press, London, 1991.

REFERENCES

1. Putin V.V. Poslanie Federal'nomu Sobraniyu Rossiyskoy Federatsii // Vestnik Rossiyskoy natsii. – 2018, № 2 (60). S.11...18.

2. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreev, E.G. Analysis of innovative technologies of thermoregulating textile materials // Fibre Chemistry. – №1 (50), 2018. P. 1...9.

3. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. The finite-element modeling of compression sports-wear // In proceedings: AUTEX 2019. Proceedings of the 19th World Textile Conference. – 2019. S. 0366.

4. Mooney M. A Theory of Large Elastic Deformation // Journal of Applied Physics. – Vol.11, 1940. P.583...592.

5. Rivlin. Large Deformation of Isotropic Materials // Phil. Transactions. – Vol.240, 1960. P.459...508.

6. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Van der Pauw method for measuring the electrical conductivity of smart textiles // Fibre Chemistry. –Т. 51, №2, 2019. P. 139...146.

7. Zhuang Z., Benson S., and Viscusi D. Digital 3D headforms with facial features representative of the current US workforce // Ergonomics. – 53(5)? 2010. P.661...671.

8. Zhang M.; Mak A. F. In vivo friction properties of human skin, Prosthet. Orthot. Int. – 23, 1999, 135...41.

9. Fung Y.C. Elasticity of Soft Tissues in Simple Elongation // American Journal of Physiology. – Vol.213, 1967, P.1532...1544.

10. Duck F. Physical properties of tissues: a comprehensive reference book. – Academic Press, London, 1991.

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 23.06.20.

УДК 687.01:677.11

**ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУМОК И РЮКЗАКОВ
С УЧЕТОМ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ**

**DESIGN OF BAGS AND BACKPACKS
TAKING INTO ACCOUNT PROPERTIES OF MATERIALS**

М.Д. ВОЛКОВА, Н.А. СМІРНОВА

M.D. VOLKOVA, N.A. SMIRNOVA

(Костромской государственной университет)

(Kostroma State University)

E-mail; 5volkini5@mail.ru

В статье предложен экологический подход к дизайн-проектированию сумок и рюкзаков с учетом свойств используемых материалов. Приведены результаты исследований свойств льняных тканей и пакетов материалов при изгибе: жесткости, упругости и релаксации усилия. Проведенная апробация изделий подтвердила научно обоснованный подход к конфекционированию материалов.

The article proposes an ecological approach to the design design of bags and backpacks, taking into account the properties of the materials used. The results of studies of the properties of linen fabrics and packages of materials under bending are presented: stiffness, elasticity and stress relaxation. The tested products confirmed a scientifically based approach to the confection of materials.

Ключевые слова: дизайн-проектирование, сумки, рюкзаки, конструкция, льняные ткани, пакеты материалов, жесткость, упругость, релаксация усилия.

Keywords: design engineering, bags, backpacks, construction, linen, packages of materials, stiffness, elasticity, relaxation of effort.

В настоящее время в обществе наблюдается тенденция к экологичному образу жизни [1...3]. Потребитель тщательно подходит к ведению своего быта, внедряет в жизнь методику "ноль отходов" (zero-waste), что, безусловно, улучшает общую

экологическую ситуацию страны. ZERO-WASTE (ноль отходов) – это методология проектирования, включающая в себя пять составляющих: reduce (уменьшить), reuse (использовать повторно), refuse (отказаться от лишнего), recycle (перерабатывать), rot

(компостировать). Компании по изготовлению швейных изделий уже предпринимают различные действия по экологическому совершенствованию своих производств, но пока это не столь заметно, потому что такие глобальные действия требуют времени. Экологический подход включает в себя не только использование безвредных ресурсов и методов производства предметов, но и само обращение с изделиями в эксплуатации. Бережливое использование предполагает присвоение объектам ценности для пользователя как в эстетическом, так и в практическом значениях.

Объектами проектирования и испытаний служили сумки и рюкзаки из льняных тканей. Творческим источником для разработки концепции проекта послужил образ русского бытового предмета – самовара, который был преобразован в векторное изображение, состоящее из простых геометрических форм (рис. 1).

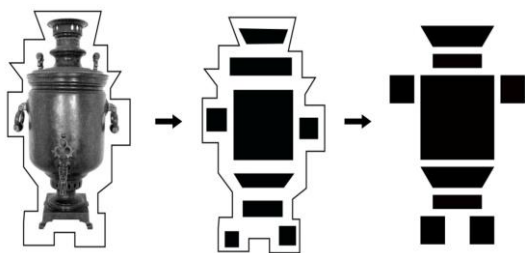


Рис. 1

Простые геометрические формы, составляющие графический объект, явились

основой для конструктивного моделирования сумок и рюкзаков. Спецификой объектов проектирования является способ изготовления изделий, основанный на методологическом принципе "ноль отходов", который заключается в использовании безотходного кроя, отличающегося максимальным использованием межлекальных выпадов. Конструирование изделий из деталей простых геометрических форм позволяет добиться снижения расхода материалов. Такой подход является этичным с точки зрения экологии. Примеры вариантов технических эскизов рюкзаков представлены на рис. 2.

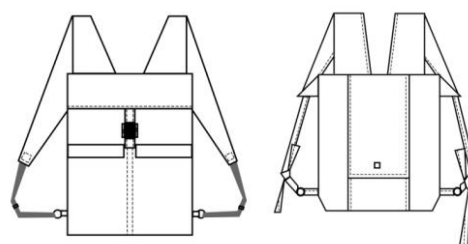


Рис. 2

Одним из основных этапов успешного дизайн-проектирования является конфекционирование материалов. В настоящее время льняные ткани широко используются для изготовления функциональных аксессуаров, например, сумок и рюкзаков.

Объектами испытаний были пакеты материалов с льняными тканями, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Состав пакета материалов	Жестость, гс	Упругость, %	Релаксация усилия, $\Delta P=100(P_1-P_2)/P_1, \%$
Вариант 1: ткань льняная гладкокрашенная с поверхностной плотностью 216 г/м ² , дублированная термоклеевым прокладочным материалом на тканой основе	61	98,9	0
Вариант 2: ткань льняная, брезент с поверхностной плотностью 295 г/м ²	61	77,9	20,0
Вариант 3: ткань льняная, брезент с поверхностной плотностью 295 г/м ² , дублированная термоклеевым прокладочным материалом на тканой основе	61	69,5	0
Вариант 4: ткань льняная, брезент с поверхностной плотностью 400 г/м ² , дублированная термоклеевым прокладочным материалом на тканой основе	61	69,5	0

Вариант 5: пакет из льняной гладкокрашеной ткани и ватина х/б с поверхностной плотностью 450 г/м ²	22	93,2	0
Вариант 6: льняная гладкокрашенная ткань и ватин х/б с поверхностной плотностью 450 г/м ² , соединенные выстигиванием	12	62,6	10,4

Научно обоснованный подход к конфекционированию материалов базировался на оценке характеристики их свойств. В качестве основных предложены три характеристики изгиба, определяемые методом "кольца" по циклу "нагрузка-разгрузка-отдых". Две характеристики стандартные – условная жесткость и условная упругость и новая – релаксация усилия (ΔP), которая позволяет оценить способность пакетов материалов сопротивляться изменению формы. Эти характеристики (табл. 1) определены на автоматизированной системе ОУЖУ [4] по разработанному методу [5]. Чем меньше показатель релаксации усилия (рис. 3), тем стабильнее сохраняется форма изделий при механических воздействиях.

Горизонтальная линия изменения усилия свидетельствует о высокой способности пакета материалов к сохранению

формы. Наклонная линия изменения усилия показывает уменьшение напряжения в исследуемом пакете, что свидетельствует о том, что пакет материалов 6-го варианта обладает меньшей способностью сохранять форму в сравнении с вариантами 1, 3, 4 и 5, о чем свидетельствуют экспериментальные кривые на рис. 3.

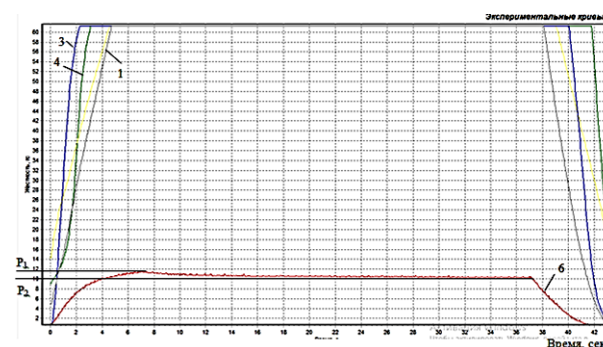


Рис. 3

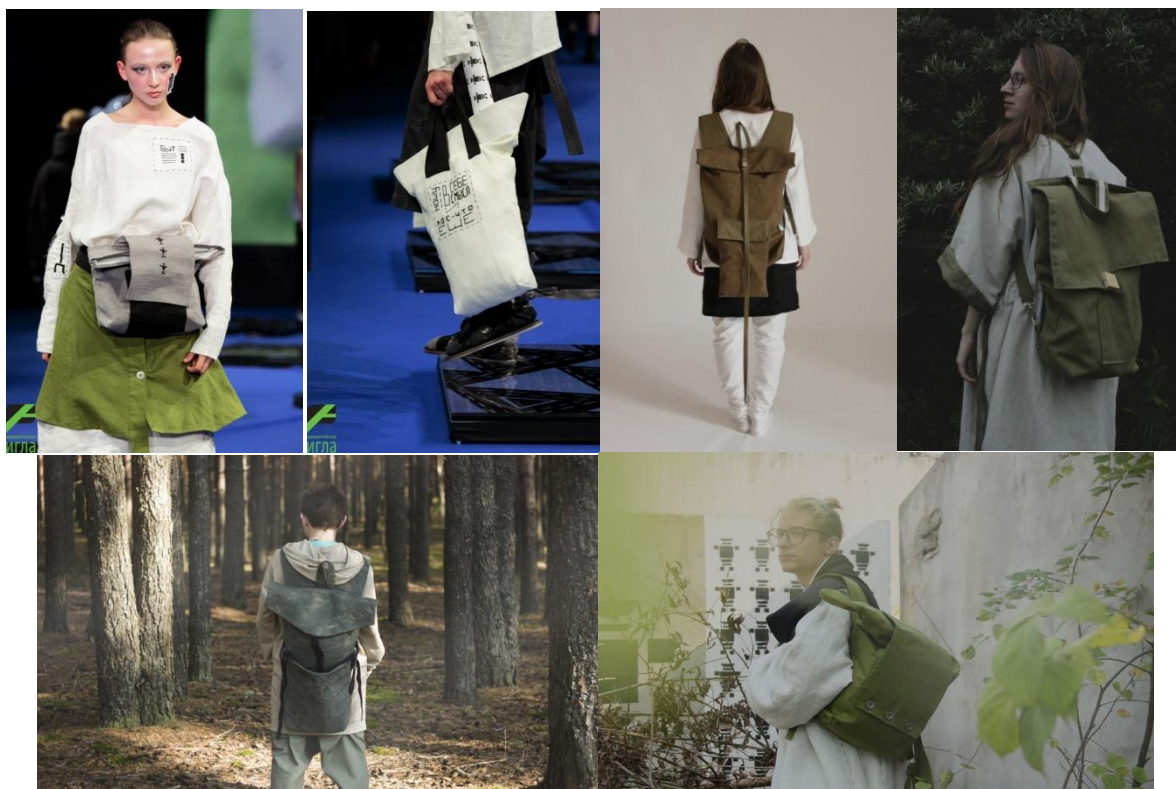


Рис 4

Анализ характеристик изгиба показал, что для изготовления сумок и рюкзаков жестких форм целесообразно использовать пакеты материалов 1,3 и 4-го вариантов, так как они при требуемой жесткости обладают высокими упругими свойствами и способны сопротивляться изгибающим усилиям, не изменяя формы (табл. 1). Пакеты материалов 5-го варианта обладают высокой упругостью и способны сопротивляться изгибающим усилиям (табл. 1), что позволяет рекомендовать их для проектирования изделий мягких форм.

Рюкзаки и сумки реализованы в материале с разными вариантами конфекционирования в соответствии с основополагающими принципами медленной моды [6] и представлены на рис. 4.

Разработанные изделия подверглись эксплуатации, в ходе которой активно использовались в различных погодных условиях, а также подвергались многократным мокрым обработкам (стиркам) и ВТО (рис. 4).

По результатам эксплуатационных испытаний выявлены варианты, дифференцированные по предъявляемым требованиям, которые обусловлены формой изделия [7...10]. Применение дублирования материала позволяет обеспечить жесткость изделий, высокую упругость и стабильность формы, которую характеризует отсутствие падения усилия (табл. 1, варианты 1,3,4). Проектирование изделий мягкой устойчивой формы достигается высокой упругостью и отсутствием падения усилия, что позволяет рекомендовать пакеты материалов 5-го варианта.

Проведенные исследования позволяют получить запланированную форму, заданную эскизом и творческим источником. Использование пакетов материалов с льняными тканями дает возможность реализовать дизайн-проектирование сумок и рюкзаков на основе основополагающих экологических принципов.

ВЫВОДЫ

1. Реализован экологический подход к дизайн-проектированию сумок и рюкзаков из льняных тканей.

2. Представлены основные показатели качества материалов для сумок и рюкзаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Васильева Ж.В.* Влияние процессов глобализации на fashion-индустрию // Культурологический журнал. – 2013, № 2. URL: http://www.cr-journal.ru/rus/journals/216.html&j_id=15

2. *Габдрахманова З.Р.* Роль экологического дизайна в организации условий жизни современного человека (краткий обзор) // Мат. VII Междунар. студенческой электронной научной конференции "Студенческий научный форум 2015". URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/921/10828>.

3. *Сосунова И.А.* Экодизайн в России: социально-технические аспекты и проблемы развития // Вестник международной академии наук (русская секция). – 2015, №1. URL: http://www.heraldrusias.ru/download/articles/13_Sosunova.pdf

4. *Лапшин В.В., Смирнова Н.А.* Автоматизированный измерительный комплекс как реализация концепции цифровизации в легкой промышленности. – Кострома: Изд-во Костромск. гос. ун-та, 2019.

5. Патент на изобретение № 2422822 Российская Федерация, МПК G01N 33/36. Способ определения релаксационных свойств материалов при изгибе / Замышляева В.В., Смирнова Н.А., Лапшин В.В., Козловский Д.А., Хохлова Е.Е. ; заявитель и патентообладатель Костромской государственный технологический университет. – № 2009127130; заявл. 14.07.2009; опубл. 27.06.2011, Бюл. №18.

6. *Волкова М.Д., Смирнова Е.Л., Смирнова Н.А., Иванова О.В.* Проектирование базового гардероба на основе традиций создания русского народного костюма – как способ реализации принципов "медленной" моды в России // Дизайн и технологии. – 2018, № 68 (110). С. 13...18.

7. *Лапшин В.В., Смирнова Н.А., Замышляева В.В., Белгородский В.С., Андреева Е.Г.* Прогнозирование стабильности структуры льняных тканей на базе создания интеллектуальной системы // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2019, №2.

8. *Замышляева В.В., Лапшин В.В., Смирнова Н.А., Еришов В.Н.* Применение информационных технологий для прогнозирования эксплуатационных свойств дублированных пакетов одежды из льняных тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №3. С. 133...138.

9. *Замышляева В.В., Смирнова Н.А., Лапшин В.В.* Разработка классификации экспериментальных методов определения жесткости при изгибе материалов текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2009, №4. С. 19...26.

10. *Замышляева В.В., Смирнова Н.А., Лапшин В.В., Хромеева И.А.* К вопросу определения характеристик изгиба при оценке качества материалов для одежды // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2017. Т. 37. №3. С. 50...54.

REFERENCES

1. Vasil'eva Zh.V. Vliyanie protsessov globalizatsii na fashion-industriyu // Kul'turologicheskiy zhurnal. – 2013, № 2. URL: http://www.cr-journal.ru/rus/journals/216.html&j_id=15
2. Gabdrakhmanova Z.R. Rol' ekologicheskogo dizayna v organizatsii usloviy zhizni sovremennogo cheloveka (kratkiy obzor) // Mat. VII Mezhdunar. studencheskoy elektronnoy nauchnoy konferentsii "Studencheskiy nauchnyy forum 2015". URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/921/10828>.
3. Sosunova I.A. Ekodizayn v Rossii: sotsial'no-tekhnicheskie aspekty i problemy razvitiya // Vestnik mezhdunarodnoy akademii nauk (russkaya sektsiya). – 2015, №1. URL: http://www.heraldrsias.ru/download/articles/13_Sosunova.pdf
4. Lapshin V.V., Smirnova N.A. Avtomatizirovannyi izmeritel'nyy kompleks kak realizatsiya kontseptsii tsifrovizatsii v legkoy promyshlennosti. – Kostroma: Izd-vo Kostromsk. gos. un-ta, 2019.
5. Patent na izobrenenie № 2422822 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G01N 33/36. Sposob opredeleniya relaksatsionnykh svoystv materialov pri izgibe / Zamyshlyayeva V.V., Smirnova N.A., Lapshin V.V., Kozlovskiy D.A., Khokhlova E.E. ; zayavitel' i patentoobladatel' Kostromskoy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet. – № 2009127130; zayavl. 14.07.2009; opubl. 27.06.2011, Byul. №18.
6. Volkova M.D., Smirnova E.L., Smirnova N.A., Ivanova O.V. Proektirovanie bazovogo garderoba na osnove traditsiy sozdaniya russkogo narodnogo kostyuma – kak sposob realizatsii printsipov "medlennoy" mody v Rossii // Dizayn i tekhnologii. – 2018, № 68 (110). S.13...18.
7. Lapshin V.V., Smirnova N.A., Zamyshlyayeva V.V., Belgorodskiy V.S., Andreeva E.G. Prognozirovaniye stabil'nosti struktury l'nyanykh tkaney na baze sozdaniya intellektual'noy sistemy // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2019, №2.
8. Zamyshlyayeva V.V., Lapshin V.V., Smirnova N.A., Ershov V.N. Primeneniye informatsionnykh tekhnologiy dlya prognozirovaniya ekspluatatsionnykh svoystv dublirovannykh paketov odezhdy iz l'nyanykh tkaney // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, №3. S. 133...138.
9. Zamyshlyayeva V.V., Smirnova N.A., Lapshin V.V. Razrabotka klassifikatsii eksperimental'nykh metodov opredeleniya zhestkosti pri izgibe materialov tekstil'noy i legkoy promyshlennosti // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2009, №4. S. 19...26.
10. Zamyshlyayeva V.V., Smirnova N.A., Lapshin V.V., Khromeeva I.A. K voprosu opredeleniya kharakteristik izgiba pri otsenke kachestva materialov dlya odezhdy // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2017. T. 37. №3. S. 50...54.

Рекомендована кафедрой дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров. Поступила 15.03.20.

UDC 646

VIRTUAL SHAPING OF HISTORICAL MEN AND WOMEN CLOTHES*

ВИРТУАЛЬНОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ИСТОРИЧЕСКОЙ МУЖСКОЙ И ЖЕНСКОЙ ОДЕЖДЫ

V.E. KUZMICHEV, A.YU. MOSKVIN, M.V. MOSKVINA

B.E. КУЗЬМИЧЕВ, А.Ю. МОСКВИН, М.В. МОСКВИНА

(Ivanovo State Polytechnical University,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

(Ивановский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

E-mail: wk37@list.ru

The article presents new approach how to apply computer-aided design for transformation 2D historical costume images into 3D digital twins. Three historical costume with different methods of shaping from the XIX century – 1840s men dress suit, 1860s women visiting dress and 1887s women sidesaddle riding habit – were taken as the examples for generating its digital twins. Developed reverse engineering

* The reported study was funded by Ministry of Science and High Education of Russian Federation, project number 05.616.21.0113 (RFMEFI61619X0113).

method which was enriched by new data bases related to costume structure, textile materials properties, and conditions of garment production was applied on the base of computer parametric 3D modeling, automated pattern drafting, and virtual fitting. High accuracy of 3D digital twins of all historical prototypes obtained was proved after comparison its silhouettes with its 2D images.

В статье описан новый подход к использованию САПР для преобразования плоских изображений исторических костюмов в трехмерные цифровые двойники. Три исторических костюма 19 века с различными методами формообразования – мужской костюм 1840 г., женское повседневное платье 1860 г. и женский костюм для верховой езды 1887 г. – были взяты в качестве примеров для генерирования цифровых двойников. Усовершенствованный метод реверсивного инжиниринга в сочетании с новыми базами данных о структуре костюмов, показателях свойств текстильных материалов и условиях изготовления был применен для компьютерного параметрического трехмерного моделирования, автоматического построения чертежей и виртуальной примерки. Высокая точность трехмерных цифровых двойников всех сгенерированных исторических прототипов была подтверждена сравнением их силуэтов с исходными изображениями.

Keywords historical costume, reconstruction, virtual reality, digital twin, textile materials, pattern block.

Ключевые слова: исторический костюм, реконструкция, виртуальная реальность, цифровой двойник, текстильные материалы, чертеж конструкции.

Historical costumes can be transferred into virtual reality (VR) due to development of computer technologies. This new direction will allow to enrich and increase the area of historical costume presentation. A lot of historical costumes were lost and only a paintings, photos and engravings saved its 2D images. Of course, these images contain limited infor-

mation about costume shape, structure, and specific features. For this reason, computer-aided design (CAD) can be considered as a technological basis to obtain digital twin of historical costume (DTHC) and to enrich content of virtual museums. Due to CAD, 3D DTHC can be generated with high accuracy [1], [2].

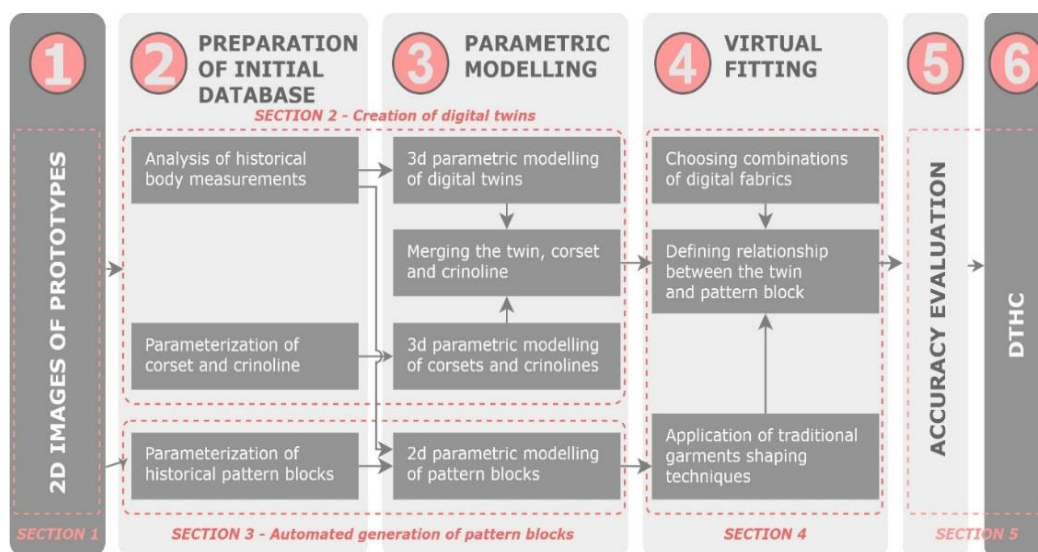


Fig. 1

Aim of research

The aim of this study is to develop an algorithm of the men trousers and women skirts 3D DTHC generating from published 2D images. To obtain DTHC, new algorithm which is joining computer technologies, data bases of human body dimensions, textile materials, and pattern block drafting, have been created. Figure 1 shows the algorithm of DTHC generating from the initial 2D image "body - historical costume".

Fig.1 shown, that the algorithm of 3D DTHC generating includes five steps.

1. Choosing of 2D image of historical costume and its digitization by AutoCAD.

2. Creation of data bases on historical body dimensions, costume construction, and pattern blocks. The content is based on parameterization of 2D and 3D objects by AutoCAD.

3. Parametric modeling of 2D pattern blocks and 3D digital twins (DT) of historical bodies by means of AutoCAD, Clo3D, Autodesk Inventor, and 3DS MAX.

4. Choosing of digital textiles, methods of shaping body twins and virtual garments, and establishing a relationship between them during virtual fitting in Clo3D.

5. Evaluation of adequacy between silhouettes of DTHC and real historical prototype in AutoCAD.

To realize the algorithm, three key technologies were chosen:

1. Parametric 3D modelling.

2. Automated pattern drafting. This technology requires two data bases: first, body sizes, and second, parameters of pattern block.

3. Virtual try-on. Because the physical and mechanical properties of historical materials are unknown, traditional methods of virtual try-on should be modified to evaluate an adequacy between contemporary and historical textile materials. In addition, methods of historical costume shaping should be considered during 3D modelling to get a realistic look of historical materials and clothes.

Objects and methods of research

The costumes of the XIX century were chosen as the objects of reconstruction because many pattern drafting systems and sizing tables were published [3]. Figure 2 shows three chosen historical costumes. Their shapes re-

flect different methods of cutting, shaping and producing.

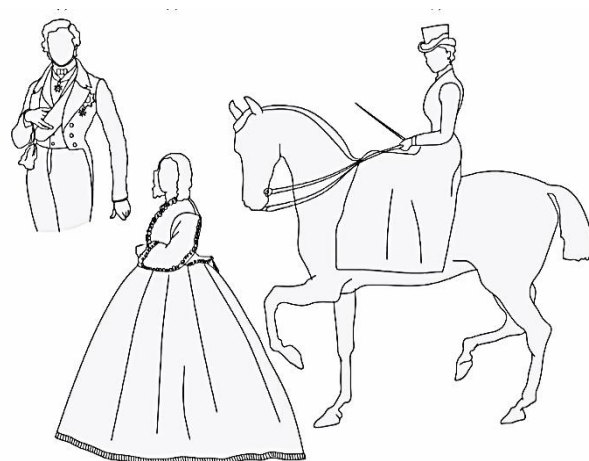


Fig. 2

1. Men full dress suit of Prince Albert of Saxe-Coburg and Gotha (Fig. 2-a) [4]. The suit includes following garments: a dress coat, a vest, a shirt, a pair of trousers, and a pair of undergarment drawers. Shape of men suit copied the body morphology by means of special method of pattern drafting and textile fabrics deformation under heat-moisture treatment. So, this suit is an example of historical costume which is following body morphology.

2. Women visiting dress (Fig. 2-b) [5]. The visiting dress consists of a pair of drawers, a chemise (chemise is a historical type of women's undergarment), a corset (corset is a garment worn to deform the torso into a fashionable shape), a crinoline (crinoline is a stiff petticoat made up of steel, whalebone or cane hoops connected by textile ribbons and designed to support a skirt), a petticoat (petticoat is an undergarment worn under a skirt to soften the edges of crinoline's hoops and achieve the fashionable volume of skirt), a lined skirt, a blouse and a jacket. The bodice has been fitted after torso compression by a corset. A hidden crinoline formed a shape of draped skirt by increasing the dimensions of body. So, the woman's visiting dress is an example of historical costume which was reshaping a body by means of upper and down garments hidden under shell fabrics.

3. Women sidesaddle riding habit (Fig. 2-c) [6]. The riding habit included a jacket, a skirt, a pair of riding-breeches (breeches are a type

of trousers made for riding and worn under a riding skirt) and a blouse. The riding habit is an example of historical costume which shape is produced by draping of fabrics and their ability to follow a morphology of body.

These images do not allow to say exactly which textile fabrics were used, which body measurements and which methods of pattern drafting and garment production were applied to get the final shapes. To answer, next resources about historical costume were used:

- taylor's systems of pattern drafting;
- sizing tables;
- pattern blocks;
- instructions and manuals of garment production;
- historical and contemporary manuals and handbooks about fashionable costume;
- images of historical costumes;
- sidesaddle riding manuals;
- pattern blocks from historical cutting systems.

14 pattern blocks of garments from which each costume consisted were drafted.

Because pattern blocks were designed in accordance with hand-made technologies of garment producing, three new methods to carry out virtual try-on were developed. These methods have special functions that mirrored the historical technologies of costume production:

- 1) duplicating historical shaping under producing of the trousers (Fig. 2, a).
- 2) applying the mechanism of covering a crinoline by historical skirts (Fig. 2, b).
- 3) finding a relationship between the body posture and draping of textile fabrics for sidesaddle riding skirt (Fig. 2, c).

Results and discussion

To form historical costumes, all historical methods were divided into two groups.

In first group, 3D shape of historical garments relies heavily on shrinking and stretching textile fabrics during the ironing. Contemporary software programs have not functions to shrink or elongate the edges of sewing details and to transform an areas locating inside the details from 2D to 3D. Therefore, the results obtaining by hand-made treatment - deformation of textile fabrics by shrinking and stretching several areas - were replaced by spe-

cial means of virtual pattern drafting such as the darts which were oriented as the perpendiculars to the edges of details. The sum of darts was equal to the shrinking and stretching deformations.

In second group, 3D shaping of historical skirts was influenced by crinoline and draping properties of textile fabrics which were located on the crinoline. To copy historical shaping in VR, a number of layers of textiles which covering a crinoline and their draping properties should be known. Digital fabrics can be generated after testing similar real fabrics, for example, by means of KES-F or FAST.

Firstly, the digital fabrics from Clo3D library were chosen as contemporary analogies of historical prototypes with similar fiber content and weight [7]. According to historical books and results of museum collections studying, cotton and wool fabrics were chosen for men full-dress suit; for women visiting dress - silk fabrics for shell skirts, hard cotton fabrics - for lining skirts, and light cotton - for petticoats [8], [9]; for women sidesaddle riding habit - cotton and wool fabrics. Because the women visiting dress has more complex structure, it was taken as example. Figure 3 shows the fabrics chosen for the ensemble of skirt.

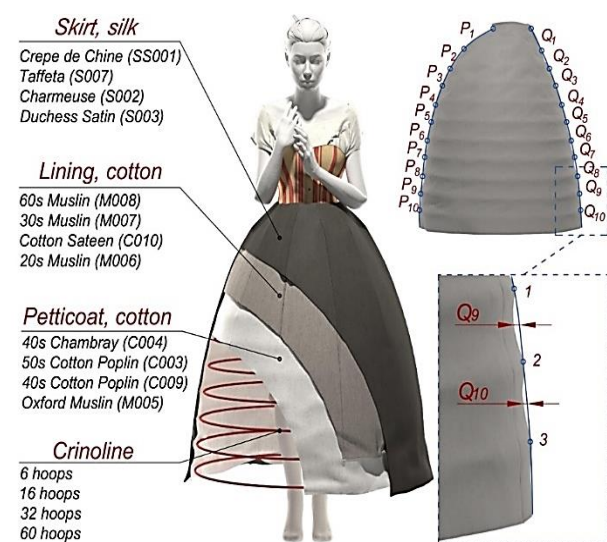


Fig. 3

For skirt of women visiting dress, the identity between real and digital fabrics was evaluated by next criteria: smoothness; an invisibility of hoops contour; an absence of unnecessary folds and creases [10,11]. To evaluate an

applicability and combination of chosen fabrics, four crinolines with 6, 16, 32 and 60 hoops were generated. Secondly, three DTHC were generated from shell skirt, lining, and petticoat (Fig. 3 – the list of Clo3D possible digital fabrics and number of crinoline hoops (a); structure of skirt including a crinoline and three covering layers of textiles (b); parameters of shell fabric buckling (c)):

(1) DT + crinoline + shell skirt (one fabric).

(2) DT + crinoline + petticoat + shell skirt (two fabrics gathered).

(3) DT + crinoline + petticoat + lining + shell skirt (three fabrics gathered).

Thirdly, the inward buckling of shell fabric between two neighboring hoops have been measured for each system obtained as Figure 3

shows. The points where the hoops and shell fabric were contacted were marked as points 1, 2 and 3 and joined as NURBS curve (solid lines). The indicators of deviations have been measured along front Q1-Q10 and back P1-P10 contours separately several times.

So, after testing the fabrics by KES-F, an examination all possible combinations in accordance with established criteria of identity between real and digital fabrics, the system "crinoline with six hoops + shell skirt "Taffeta" (S007) + lining "20s Muslin" (M006) + petticoat "40s Chambray" (C004)" was chosen for generating of DTHC of visiting dress in accordance with its 2D image (Fig. 2, b).

Table 1 shows the properties of chosen digital fabrics in Clo3D for reconstruction of other costumes.

Table 1

Garments	Fabric type and ID	Content	Properties									
			Weight (density) (g/m ²)	Thickness (mm)	Stretch weft stiffness (g/s ²)	Stretch warp stiffness (g/s ²)	Bending weft stiffness (g/mm ² /s ² /grad)	Bending warp stiffness (g/mm ² /s ² /grad)	Buckling ratio weft (0-1)	Buckling ratio warp (0-1)	Buckling stiffness weft (0-1)	Buckling stiffness warp (0-1)
Men full-dress suit												
Drawers	Cotton sateen (C010)	Cotton	136.9	0.27	594694	1600000	742	1601	0.90	0.90	0.20	0.20
Shirt	Cotton poplin (C009)	Cotton	125.8	0.24	1363880	877343	976	1445	0.90	0.90	0.20	0.20
Vest	Cotton gabardine (C003)	Cotton	189.0	0.35	1700000	1700000	2200	4500	0.10	0.10	0.80	0.80
Dress coat and trousers	Coat-weight twill (W002)	Wool	345.0	0.84	368706	489034	29052	1300	0.00	0.00	0.20	0.20
Women visiting dress												
Chemise and drawers	Cotton poplin (C003)	Cotton	105.0	0.21	280769	356091	15120	938	0.90	0.80	0.50	0.50
Corset	D_Cotton	Cotton	189.0	0.45	150000	150000	1700	1700	0.50	0.50	0.30	0.30
Dress	Taffeta (S007)	Silk	66.1	0.15	700000	700000	1406	153	0.01	0.01	0.80	0.80
Lining	Muslin (M006)	Cotton	143.5	0.35	356725	467417	1367	2773	0.90	0.90	0.20	0.20
Petticoat	Chambray (C004)	Cotton	103.1	0.23	378944	486772	750	1078	0.90	0.90	0.30	0.30

Women sidesaddle riding habit												
Corset	D_Cotton	Cotton	189.0	0.45	150000	150000	1700	1700	0.50	0.50	0.30	0.30
Drawers	Cotton poplin (C003)	Cotton	105.0	0.21	280769	356091	15120	938	0.90	0.80	0.50	0.50
Blouse	Cotton poplin (C009)	Cotton	125.8	0.24	1363880	877343	976	1445	0.90	0.90	0.20	0.20
Jacket, skirt and breeches	Coat-weight twill (W002)	Wool	345.0	0.84	368706	489034	29052	1300	0.00	0.00	0.20	0.20



Fig. 4

After finding digital textile fabrics, DTHC were generated with different levels of preparedness as Fig. 4 shows:

1) DTHC of men full-dress suit: DT + drawers, DT + drawers + trousers + shirt, DT +

drawers + trousers + shirt + vest, DT + drawers + trousers + shirt + vest + dress coat;

2) DTHC women visiting dress: DT + crinoline + petticoat + lining + shell skirt;

3) DTHC of sidesaddle riding habit was generated in standing posture and sitting posture.

Fig. 5-a shows three overlapped contours for all generated DTHC: first contour belongs to initial prototype (solid fill), second contour belongs to DTHC obtained by developed method (No.1 dashed lines), and third contour belongs to DTHC obtained by known algorithm realized by CLO3D (No.2, dash-dotted lines).

Fig. 5-b shows the values of deviation between the overlapped contours.

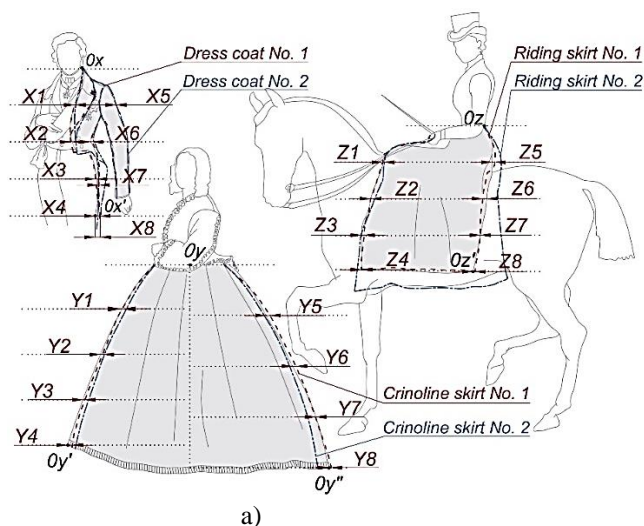
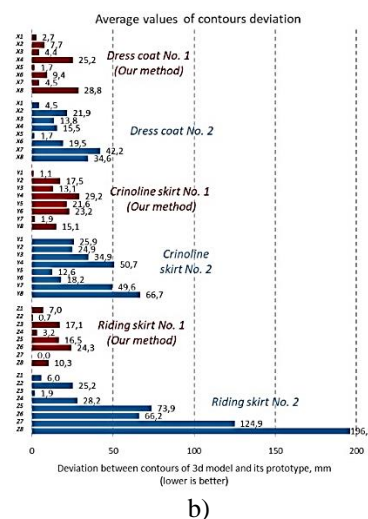


Fig. 5



As shown in Figure 5 (d), developed method provides smaller deviations between 3D DTHC and its historical images then the known method in 1,8 - 6,6 times. The average

values of deviation are (for developed method and known method respectively):

1) for men dress coat - 10,6 (No. 1) and 19,2 (No. 2) mm,

2) for women crinoline skirt - 15.3 (No. 1) and 35.4 (No. 2) mm,

3) for women riding skirt - 9.9 (No. 1) and 65.3 (No. 2) mm.

The higher adequacy of men dress coat No. 1 in comparing with dress coat No. 2 was got due to improvement of virtual try-on by applying new method of virtual shaping which allows to use the darts instead of shrinking and stretching the edges of coat parts. For men dress coat No. 2, values of X_2 and X_6 (-21.9 and 19.5 mm respectively) reflect the absence of heat-moisture shrinkage along front edge, and values X_7 and X_8 (42.2 and 34.6mm respectively) reflects the similar shrinkage in hip area. But for men dress No.1 these deviations X_2 , X_6 , X_7 and X_8 are smaller (-7.7, 9.4, 4.5 and 28.8 mm respectively) due to taking into account the heat-moisture treatment, shrinking and stretching fabrics in new method of virtual shaping.

To get 3D DTHC of women crinoline skirt No. 1, the contemporary analogies of historical fabrics were used which allowed to obtain right location and position of the shell skirt on the crinoline. Known methods of virtual fitting didn't allow to recognize an analogies of historical fabrics and by this reason default fabric from Clo3D library to create the crinoline skirt No. 2 was used. For the both crinoline skirts No. 1 and No. 2, the biggest deviations took place at the bottom of front contour (Y_3 and Y_4 parameters) and back contour (Y_7 and Y_8 parameters). The reason of this effects is the increasing of air gaps between the crinoline and skirts which push digital fabrics to drape and fold in different ways.

For riding skirts No. 1 and 2, the average deviations are 9.9 mm and 65.3 mm respectively.

Thus, developed methods of virtual shaping based on deeply knowledge about historical costume heritage - pattern blocks, technologies of garment production, textile fabrics, costume structure - allow to generate realistic looking digital twins. These methods of step-by step reconstruction of 3D costume from their 2D images in VR will allow to increase a number of historical artifacts in cultural area of many countries.

CONCLUSION

1. The universal approach based on complex application of different types 2D and 3D CAD, new methods and data base were developed for generating digital twins of historical costume presented by 2D images.

2. Three new virtual try-on methods related to "body - historical costume" systems with different ways of shaping - by copying and covering an anthropometrical morphology of human body in static posture, by covering the shape of human body which was deformed by corset and crinoline in static posture, and by covering the deformable shape of body in dynamic posture - were developed.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Magnenat-Thalman N., Volino P.* From early draping to haute couture models: 20 years of research // *The Visual Computer.* – 21(8-10), 2005. P. 506...519.
2. *Kuzmichev V., Moskvina A., Moskvina M., Surgenko E.* Computer reconstruction of 19th century trousers // *International Journal of Clothing Science and Technology.* – 29 (4), 2017. P.594...606. doi:10.1108/IJCST-12-2016-0139
3. *Aldrich W.* History of sizing systems and ready-to-wear garments. In: Ashdown SP (ed) *Sizing in Clothing: Developing Effective Sizing Systems for Ready-to-Wear Clothing.* – Cambridge, Woodhead Publishing, 2007. P. 1...56.
4. Royal Collection Trust. Sir William Ross: Prince Albert. URL: <https://www.rct.uk/collection/420665/prince-albert-1819-1861?language=ru> (data of the request 01.05.2020).
5. *Васильев А.А.* Европейская мода: три века. – М., СЛОВО, 2006.
6. *O'Donoghue P.* *Riding for Ladies.* - London, W. Thacker and Company, 1887.
7. *Moskvina A., Kuzmichev V., Moskvina M.* Digital replicas of historical skirts // *The Journal of The Textile Institute.* – 2019, 110(12), P. 1810...1826. <https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1621042>
8. *Waugh N., Woodward M.* *The cut of women's clothes, 1600-1930.* – New York, Theatre Arts Books, 1968.
9. *Tortora P.G., Johnson I.* *The Fairchild Books dictionary of textiles (8th ed.).* – New York, Fairchild Books, 2013.
10. *Leslie E.* *Miss Leslie's lady's house-book: A manual of domestic economy.* – Philadelphia, H. C. Baird, 1863.
11. *Кузьмичев В.Е.* Кафедра конструирования швейных изделий ИВГПУ – основные направления научных исследований и опытно-конструкторских работ // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2018, №4. С. 96...101.

REFERENCES

1. Magnenat-Thalmann N., Volino P. From early draping to haute couture models: 20 years of research // *The Visual Computer*. – 21(8-10), 2005. P. 506...519.
2. Kuzmichev V., Moskvina A., Moskvina M., Surgenko E. Computer reconstruction of 19th century trousers // *International Journal of Clothing Science and Technology*. – 29 (4), 2017. P.594...606. doi:10.1108/IJCST-12-2016-0139
3. Aldrich W. History of sizing systems and ready-to-wear garments. In: Ashdown SP (ed) *Sizing in Clothing: Developing Effective Sizing Systems for Ready-to-Wear Clothing*. – Cambridge, Woodhead Publishing, 2007. P. 1...56.
4. Royal Collection Trust. Sir William Ross: Prince Albert. URL: <https://www.rct.uk/collection/420665/prince-albert-1819-1861?language=ru> (data of the request 01.05.2020).
5. Vasil'ev A.A. *Evropeyskaya moda: tri veka*. – M., SLOVO, 2006.
6. O'Donoghue P. *Riding for Ladies*. - London, W. Thacker and Company, 1887.
7. Moskvina A., Kuzmichev V., Moskvina M. Digital replicas of historical skirts // *The Journal of The Textile Institute*. – 2019, 110(12), P. 1810...1826. <https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1621042>
8. Waugh N., Woodward M. *The cut of women's clothes, 1600-1930*. – New York, Theatre Arts Books, 1968.
9. Tortora P.G., Johnson I. *The Fairchild Books dictionary of textiles* (8th ed.). – New York, Fairchild Books, 2013.
10. Leslie E. *Miss Leslie's lady's house-book: A manual of domestic economy*. – Philadelphia, H. C. Baird, 1863.
11. Kuz'michev V.E. Kafedra konstruirovaniya shveynykh izdeliy IVGPU – osnovnye napravleniya nauchnykh issledovaniy i opytно-konstruktorskikh rabot // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2018, №4. S. 96...101.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий ИВГПУ. Поступила 07.06.20.

УДК 539.434:677.494

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ
ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ
ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ХИРУРГИЧЕСКОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ***

**MATHEMATICAL MODELING AND QUALITATIVE ANALYSIS
OF DEFORMATION AND RECOVERY PROCESSES
OF POLYMER TEXTILE ELASTOMERS
USED IN SURGICAL IMPLANTOLOGY**

Н.В. ПЕРЕБОРОВА, А.Г. МАКАРОВ, А.А. КОРОБОВЦЕВА, А.А. МАКАРОВА, Е.С. ЧИСТЯКОВА
N.V. PEREBOROVA, A.G. MAKAROV, A.A. KOROBVTSOVA, A.A. MAKAROVA, E.S. CHISTYAKOVA

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: nina1332@yandex.ru; makvin@mail.ru; anastasiaquish@yahoo.com; sjc426@mail.ru

В статье описываются методы математического моделирования и качественного анализа деформационных и восстановительных процессов полимерных текстильных эластомеров, применяемых в хирургической имплантологии. Математическое моделирование и проведение дальнейшего качественного анализа указанных материалов позволяют оценить функциональные и эксплуатационные свойства хирургических имплантатов, что является важным при их проектировании и организации производства.

The article describes the methods of mathematical modeling and qualitative analysis of the deformation and recovery processes of polymer textile elastomers used in surgical implantology. Mathematical modeling and further qualitative analysis of these materials allows one to assess the functional and operational properties of surgical implants, which is important in their design and organization of production.

Ключевые слова: текстильные эластомеры, деформационные процессы, восстановительные процессы, функциональные свойства, эксплуатационные свойства, математическое моделирование, качественный анализ.

Keywords: textile elastomers, deformation processes, recovery processes, functional properties, performance properties, mathematical modeling, qualitative analysis.

* Работа финансировалась в рамках выполнения базовой части государственного задания Минобрнауки РФ, Проект № FSEZ-2020-0001.

Исходными данными для построения математической модели ползучести эластомеров хирургического назначения является эксперимент. С помощью приборов-релаксометров деформации исследуются образцы имеющихся эластомеров. К закрепленным в приборе образцам (как правило, базовой длины 10 см) прикладывается напряжение величины σ , МПа. Далее в определенные периоды времени снимаются показания изменяющейся деформации ε , %. По данным проведенного эксперимента в логарифмической шкале приведенного времени строится "семейство" кривых ползучести, то есть "семейство" кривых зависимости деформации ε от логарифма приведенного времени для разных уровней постоянного напряжения σ .

Далее указанное "семейство" кривых ползучести на основе формулы

$$D(\sigma, t) = \varepsilon(t) / \sigma \quad (1)$$

перестраивается в "семейство" кривых податливости $D_{\sigma t} = D(\sigma, t)$.

Затем на основе принципа силовременной аналогии производится моделирование вязкоупругой ползучести (изменение во времени деформации ε , зависящей от напряжения σ) – "семейство" кривых податливости $D(\sigma, t) = \varepsilon(t) / \sigma$ (σ – напряжение, ε – деформация, t – время), построенное по логарифмической шкале приведенного времени $\ln(t/t_1)$ (t_1 – некоторое фиксированное значение "базового" времени), путем параллельных сдвигов вдоль логарифмическо-временной шкалы накладывается на некоторую "обобщенную" кривую податливости, задаваемую нормированной функцией $\varphi(\ln(t/t_1))$, в качестве которой обычно выбирают одну из функций [1...4].

- интеграл вероятностей (ИВ):

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{1}{a_n} \ln \frac{t}{\tau} - \frac{z^2}{2}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (2)$$

которая является интегральной функцией нормального распределения,

- нормированный арктангенс логарифма (НАЛ):

$$\varphi = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{b_n} \ln \frac{t}{\tau} \right), \quad (3)$$

которая является интегральной функцией распределения вероятностного закона Коши,

- гиперболический тангенс (ГТ):

$$\varphi = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{th} \left(\frac{A_n}{2} \ln \frac{t}{\tau} \right) \right), \quad (4)$$

- функцию Кольрауша (ФК):

$$\varphi = 1 - e^{-\left(t/\tau\right)^{k_n}} \quad (5)$$

и некоторые другие (здесь a_n , b_n , A_n , k_n – структурные коэффициенты, характеризующие интенсивность процесса ползучести).

При этом аппроксимация податливости $D_{\sigma t} = D(\sigma, t)$ с помощью какой-нибудь нормированной функции запаздывания $\varphi_{\sigma t} = \varphi(\sigma, t)$ типа (2) ... (5) будет иметь следующий вид:

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_{\infty} - D_0) \varphi_{\sigma t}, \quad (6)$$

где D_0 – начальная упругая податливость, D_{∞} – предельно-равновесная податливость.

При этом, если в качестве функции запаздывания $\varphi_{\sigma t}$ выбрать интеграл вероятностей ИВ, то формула (6) примет вид:

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_{\infty} - D_0) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{1}{a_n \sigma} \ln \frac{t}{\tau} - \frac{z^2}{2}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (7)$$

В случае выбора других функций запаздывания получаем [5...8]:

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_{\infty} - D_0) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{b_{n\sigma}} \ln \frac{t}{\tau} \right) \right) \quad (8)$$

для функции НАЛ,

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_\infty - D_0) \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{th} \left(\frac{A_{n\sigma} \ln \frac{t}{\tau_\sigma}}{2} \right) \right) \quad (9)$$

для функции ГТ и

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_\infty - D_0) \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau_\sigma}\right)^{k_{n\sigma}}} \right) \quad (10)$$

для функции ФК.

В формулах (7) ... (10): τ_σ – время запаздывания, зависящее от напряжения σ ; константы $a_{n\sigma}$, $b_{n\sigma}$, $A_{n\sigma}$, $k_{n\sigma}$ – характеризуют интенсивность процесса ползучести и зависят от свойств исследуемого полимерного эластомера; индекс n указывает на то, что выбрана нормальная логарифмическая шкала приведенного времени.

Несомненным достоинством моделей (7)...(10) является то, что они содержат наименьшее возможное число параметров, имеющих определенный физический смысл:

- $D_0 = \lim_{t \rightarrow 0} (\varepsilon(\sigma, t)/\sigma)$ – начальная упругая податливость, характеризующая квазимгновенное значение податливости, то есть ее значение в начале процесса ползучести;

- $D_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} (\varepsilon(\sigma, t)/\sigma)$ – предельно-равновесная податливость, характеризующая квазиравновесное значение податливости, то есть ее значение в конце процесса ползучести;

- структурные параметры $a_{n\sigma}$, $b_{n\sigma}$, $A_{n\sigma}$, $k_{n\sigma}$ характеризуют скорость (интенсивность) процесса ползучести;

- время запаздывания (ползучести) $\tau_\sigma = \tau(\sigma)$ характеризует время прохождения половины процесса ползучести при заданном значении напряжения σ .

Учитывая, что податливость определяется формулой (6), получаем простейшие выражения для прогнозирования деформации [9...12]:

$$\varepsilon(\sigma, t) = D_0 \sigma + (D_\infty - D_0) \sigma \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{1}{a_{n\sigma}} \ln \frac{t}{\tau_\sigma} - \frac{z^2}{2}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (11)$$

для функции ИВ,

$$\varepsilon(\sigma, t) = D_0 \sigma + (D_\infty - D_0) \sigma \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{b_{n\sigma}} \ln \frac{t}{\tau_\sigma} \right) \right) \quad (12)$$

для функции НАЛ,

$$\varepsilon(\sigma, t) = D_0 \sigma + (D_\infty - D_0) \sigma \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{th} \left(\frac{A_{n\sigma} \ln \left(\frac{t}{\tau_\sigma} \right)}{2} \right) \right) \quad (13)$$

для функции ГТ и

$$\varepsilon(\sigma, t) = D_0 \sigma + (D_\infty - D_0) \sigma \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau_\sigma}\right)^{k_{n\sigma}}} \right) \quad (14)$$

для функции ФК.

Формулы (11)...(14) являются простейшими и не учитывают наследственного характера процесса ползучести, поэтому ими можно пользоваться только для контроля получаемых характеристик ползучести.

Для прогнозирования сложных деформационных и восстановительных процессов с изменяющимся во времени значением приложенного напряжения σ следует пользоваться определяющим интегральным со-

отношением Больцмана-Вольтерра, которое имеет следующий вид [13...17]:

$$\varepsilon_t = D_0 \sigma_t + (D_\infty - D_0) \int_0^t \sigma_\theta \varphi'_{\sigma; t-\theta} d\theta, \quad (15)$$

где t – время; ε_t – деформация; σ_t – напряжение; D_0 – начальная податливость; D_∞ – предельно-равновесная податливость; $\varphi'_{\sigma t}$ – ядро запаздывания (ползучести), соответствующее одной из нормированных функций (2)...(5), либо аналогичных [18...22].

На основе численного решения интегрального уравнения (15) осуществляется прогнозирование деформационных и восстановительных процессов текстильных эластомеров. Полученные в ходе деформационного или восстановительного процесса численные характеристики изменяющейся деформации текстильных эластомеров могут быть использованы для проведения качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств этих материалов [23...28].

Таким образом:

1. Для описания деформационных и восстановительных процессов текстильных эластомеров предложены четыре варианта математических моделей.

2. Разработаны методы численного прогнозирования деформационных и восстановительных процессов текстильных эластомеров с учетом предложенных вариантов математических моделей.

3. Предложены варианты проведения качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств текстильных эластомеров.

Л И Т Е Р А Т У Р А

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., Переборова Н.В., Демидов А.В., Вагнер В.И. Спектральный анализ релаксационных

свойств полимерных нитей аморфно-кристаллического строения // Химические волокна. – 2013, № 5. С. 44...47.

4. Головина В.В., Рымкевич П.П., Макаров А.Г., Романова А.А. Прогнозирование деформационных и релаксационных процессов в одноосноориентированных полимерных материалах // Химические волокна. – 2013, № 6. С. 33...40.

5. 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. – Vol. 52, Is. 12, 2013. P.1829...1847.

6. Makarov A.G., Slutsker G.Y., Drobotun N.V. Creep and fracture kinetics of polymers // Technical Physics. – Vol. 60, № 2, 2015. P. 240...245.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. 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.

REFERENCES

1. Makarov A.G. Kontrol' parametrov nelineynonasledstvennykh yader relaksatsii i zapazdyvaniya sinteticheskikh nitey // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy 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// Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2002, № 2. S. 13...17.

3. Makarov A.G., Pereborova N.V., Demidov A.V., Vagner V.I. Spektral'nyy analiz relaksatsionnykh svoystv polimernykh nitey amorfno-kristallicheskogo stroeniya // Khimicheskie volokna. – 2013, № 5. S.44...47.

4. Golovina V.V., Rymkevich P.P., Makarov A.G., Romanova A.A. Prognozirovaniye deformatsionnykh i relaksatsionnykh protsessov v odnoosnoorientirovannykh polimernykh materialakh // Khimicheskie volokna. – 2013, № 6. S. 33...40.

5. 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. – Vol. 52, Is. 12, 2013. P.1829...1847.

6. Makarov A.G., Slutsker G.Y., Drobotun N.V. Creep and fracture kinetics of polymers // Technical Physics. – Vol. 60, № 2, 2015. P. 240...245.

7. 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.

8. Makarov A.G., Demidov A.V., Pereborova N.V., Egorova M.A. Matematicheskoye modelirovaniye i kompyuternoye prognozirovaniye deformatsionnykh protsessov polimernykh parashyutnykh strop // Khimicheskie volokna. – 2015, № 6. S. 60...67.

9. 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.
10. 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 // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2015, № 5. S. 48...58.
11. Makarov A.G., Demidov A.V., Pereborova N.V., Egorova M.A. Modelirovanie i raschetnoe prognozirovanie relaksatsionnykh i deformatsionnykh svoystv polimernykh parashyutnykh strop // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2015, № 6. S.194...205.
12. 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.
13. 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.
14. Demidov A.V., Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A. Prognozirovanie deformatsionno-relaksatsionnykh protsessov poliamidnykh tkaney, primenyaemykh dlya izgotovleniya kupolov parashyutov // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2017, № 1. S. 250...258.
15. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A., Egorov I.M. Kachestvennyy analiz deformatsionno-relaksatsionnykh svoystv aramidnykh shnurov gornospasatel'nogo naznacheniya // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2017, № 2. S. 309...313.
16. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova M.A., Egorov I.M. Matematicheskoe modelirovanie deformatsionno-relaksatsionnykh protsessov polimernykh materialov v usloviyakh peremennoy temperatury // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2017, № 4. S. 287...292.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. Pereborova N.V., Makarov A.G., Vasil'eva E.K., Shvankin A.M., Egorov I.M. Matematicheskoe modelirovanie i komp'yuternoe prognozirovanie vyazko-uprugoy polzuchesti geotekstil'nykh netkanykh materialov // *Khimicheskie volokna*. – 2018, № 6. S. 3...6.
26. 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.
27. 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 // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2018, № 2. S. 251...255.
28. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Kozlov A.A., Konovalov A.S. Metody modelirovaniya i sravnitel'nogo analiza usadki i deformatsionno-vosstanovitel'nykh svoystv aramidnykh tekstil'nykh materialov // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2018, № 3. S. 253...257.

Рекомендована кафедрой интеллектуальных систем и защиты информации. Поступила 04.02.20.

АНИЗОТРОПИЯ ОДИНОЧНЫХ И СКРУЧЕННЫХ В ДВА И БОЛЕЕ СЛОЖЕНИЯ НИТЕЙ

ANISOTROPY OF THE STRINGS SINGLE AND BRAIDED IN TWO AND MORE ADDITIONS

В.П. ЩЕРБАКОВ, Н.С. СКУЛАНОВА, Т.И. ПОЛЯКОВА, С.Л. ХАЛЕЗОВ

V.P. SCHERBAKOV, N.S. SKULANOVA, T.I. POLJAKOVA, S.L. KHALEZOV

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

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

E-mail: victor.scherbackow2012@yandex.ru

Изложен новый подход к проектированию нитей, основанный на методах усреднения, матричных и тензорных преобразованиях теорий анизотропного тела. Рассмотрено напряженно-деформированное состояние скрученной в несколько сложений нити, обусловленное механическими свойствами, геометрией индивидуальных волокон и одиночных нитей. Определены предел прочности и модуль упругости нити при вычисленных элементах матрицы внутренней жесткости нити. Для вычисления модуля упругости одиночной нити в составе скрученной нити, определяющего ее прочность, получены все необходимые постоянные жесткости нити.

The condition of the string braided in some additions caused by mechanical properties, geometry of individual fibres and single strings is considered is intense - deformed. Methods of averaging, matrix and тензорные transformations of theories of an anisotropic body are used. Strength of a string and the module of elasticity of a string are determined at the calculated elements of a matrix of internal rigidity of a string. For calculation of the module of elasticity of a single string in structure of the braided string, determining its(her) durability, all necessary constants of rigidity of a string are received.

Ключевые слова: нить, анизотропия, модуль упругости, жесткость, кручение, предел прочности, матрица внутренней жесткости.

Keywords: string, anisotropy, module of elasticity, rigidity, torsion, strength, matrix of internal rigidity.

Наряду с теориями J.W.S. Hearle [1], В.П. Щербакова [2], [3] расчет прочности одиночных и скрученных в несколько сложений нитей, обусловленной свойствами и геометрией индивидуальных волокон, возможен другой подход к проектированию, основанный на методах усреднения, матричных и тензорных преобразованиях теорий анизотропного тела.

В соответствии с методами анализа J.W.S. Hearle отношение предела прочности нити σ_{y*} к пределу прочности волокна σ_{f*} равно отношению модуля упругости нити E_y к модулю упругости волокна E_f и представляет собой безразмерную функцию $\tilde{\sigma}_y(\beta, \nu_f, \nu_y)$:

$$\frac{\sigma_{y^*}}{\sigma_{f^*}} = \frac{E_y}{E_f} = \frac{2\cos^2\beta}{(1+2\nu_f)(1-\cos^2\beta)} \left\{ \begin{array}{l} (1+\nu_y) \left[\ln\cos\beta + \frac{2(1+\nu_f)}{1+2\nu_f} (1-\cos\beta)^{2\nu_f+1} \right] - \\ - \frac{\nu_y}{2} \left[\frac{3(1+2\nu_f)}{2\nu_f-1} - \frac{4(1+\nu_f)}{2\nu_f-1} (\cos\beta)^{2\nu_f-1} - \frac{1}{\cos^2\beta} \right] \end{array} \right\}. \quad (1)$$

Здесь β – угол кручения, ν_f – коэффициент Пуассона волокна, ν_y – коэффициент Пуассона нити. Если принять коэффициент Пуассона нити $\nu_y=0,5$ и равный ему коэффициент Пуассона волокна, то формула (1), определяющая прочность нити, преобразуется к виду:

$$\frac{\sigma_{y^*}}{\sigma_{f^*}} = \frac{E_y}{E_f} = \frac{1}{4} + \frac{9}{4} \cos^2\beta + \frac{3\cos^2\beta}{1-\cos^2\beta} \ln\cos\beta. \quad (2)$$

В простейшем случае, не учитывающем ни изменения диаметра нити, ни действия поперечных сил, предел прочности нити определяется формулой

$$\sigma_{y^*} = \sigma_{f^*} \cos^2\beta. \quad (3)$$

Если свойства образца, вырезанного из материала, не зависят от его ориентации, то

$$\sigma_{11} = C_{1111}\varepsilon_{11} + C_{1112}\varepsilon_{12} + C_{1113}\varepsilon_{13} + C_{1121}\varepsilon_{21} + C_{1122}\varepsilon_{22} + C_{1123}\varepsilon_{23} + C_{1131}\varepsilon_{31} + C_{1132}\varepsilon_{32} + C_{1133}\varepsilon_{33},$$

Число независимых констант на самом деле будет меньше 81. Из симметрии тензоров σ_{ij} и ε_{ij} следует, что тензор модулей упругости C_{ijkl} не меняется при перестановке индексов i и j , k и ℓ . В результате оказывается, что из 81 компоненты тензора четвертого ранга в трехмерном пространстве различными остаются только 36 компонент. Это константы, связывающие 6 различных компонент σ_{ij} с шестью различ-

ными компонентами ε_{kl} . Их удобно расположить в виде матрицы 6×6 . Пронумеруем компоненты тензора напряжений и тензора деформаций, заменяя индексы в следующем порядке:
тензорные индексы: 11 22 33 12,21 13,31 23,32
матричные индексы: 1 2 3 4 5 6.
Перепишем тензоры напряжений и деформаций:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}; \quad i, j, k, l = 1, 2, 3. \quad (4)$$

Здесь C_{ijkl} – константы упругости материала, число которых равно 81. В развернутом виде уравнения выглядят следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \sigma_1 & \sigma_4 & \sigma_5 \\ \sigma_4 & \sigma_2 & \sigma_6 \\ \sigma_5 & \sigma_6 & \sigma_3 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \varepsilon_1 & \frac{1}{2}\varepsilon_4 & \frac{1}{2}\varepsilon_5 \\ \frac{1}{2}\varepsilon_4 & \varepsilon_2 & \frac{1}{2}\varepsilon_6 \\ \frac{1}{2}\varepsilon_5 & \frac{1}{2}\varepsilon_6 & \varepsilon_3 \end{bmatrix}.$$

В новых обозначениях уравнения записываются в виде:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= C_{11}\varepsilon_1 + C_{12}\varepsilon_2 + C_{13}\varepsilon_3 + C_{14}\varepsilon_4 + C_{15}\varepsilon_5 + C_{16}\varepsilon_6; \\ &\dots\dots\dots \\ \sigma_4 &= C_{41}\varepsilon_1 + C_{42}\varepsilon_2 + C_{43}\varepsilon_3 + C_{44}\varepsilon_4 + C_{45}\varepsilon_5 + C_{46}\varepsilon_6.\end{aligned}$$

Постоянные жесткости нити C_{ij} обусловлены свойствами волокон и расположением их в нити. Геометрическую модель нити можно представить в форме прямых полых круговых цилиндров радиуса r , в которых волокна расположены по винтовым линиям с постоянным шагом h [1...3]. Шаг винтовой линии h не зависит от текущего радиуса нити r . Угол подъема винтовой линии, то есть угол между касательной к винтовой линии и образующей цилиндра, равен ϑ . Определение предела прочности нити σ_{y*} предполагает знание модуля упругости нити E_y , если известны элементы матрицы внутренней жесткости нити $[C_{ij}]$.

Учитывая структуру нитей, а также принимая во внимание условия их формирования, нити можно с достаточным приближением к реальности рассматривать как тело, через каждую точку которого проходит ось упругой симметрии – ось вращения. Типичным элементом объема будет шестигранная призма, окружающая одно центральное волокно. Нить обладает гексагональной симметрией, в каждой точке нити имеется одно главное направление и бесконечное множество главных направлений в плоскости, нормальной к первому. Такое тело называется трансверсально-изотропным или монокристаллическим. В нем через все точки проходят параллельные плоскости упругой симметрии, в которых все направления являются упруго-эквивалентными (плоскости изотропии). Зависимости между напряжениями и деформациями выражаются с помощью пяти упругих модулей. Если ось x_1 направить вдоль оси нити, то соотношения упругости для нити как трансверсально-изотропного тела запишутся в виде:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{23} & C_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{22} - C_{23}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

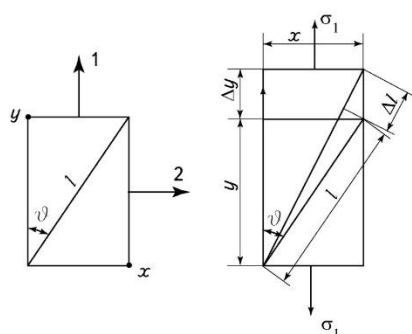


Рис. 1

Для определения постоянной жесткости C_{11} рассматриваем деформирование нити в направлении 1 под действием напряжения σ_1 (рис. 1 – к определению C_{11}). Составляем уравнения совместности деформаций:

$(l_f + \Delta l_f)^2 = (y + \Delta y)^2 + x^2$. Здесь значения x , y без индексов относятся к нити в целом. Преобразуем уравнение к виду

$$\left(1 + \frac{\Delta l_f}{l_f}\right)^2 = \left(1 + \frac{\Delta y}{y}\right)^2 \left(\frac{y}{l_f}\right)^2 + \left(\frac{x}{l_f}\right)^2.$$

Деформация волокна равна $\varepsilon_f = \frac{\Delta l_f}{l_f}$,

деформация нити в продольном направлении – $\varepsilon_1 = \frac{\Delta y}{y}$. Можно написать

$$(1 + \varepsilon_f)^2 = (1 + \varepsilon_1)^2 \cos^2 \theta + \sin^2 \theta.$$

Пренебрегая квадратами деформаций, получим:

$$\varepsilon_f = \varepsilon_1 \cos^2 \vartheta. \quad (6)$$

Эта формула написана для отдельного волокна, ориентированного под углом ϑ относительно оси x_1 нити. Угол ориентации отдельного волокна ϑ , равный углу подъема винтовой линии, изменяется вдоль радиуса, достигая на поверхности нити ради-

$$C_{22} = E_f \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right), \quad C_{12} = E_f \nu \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right). \quad (8)$$

В последней формуле ν – коэффициент Пуассона нити. Упругий модуль $C_{23} = 0$, а постоянная C_{66} не является независимой и равна $C_{66} = \frac{1}{2}(C_{22} - C_{23})$. Для трансверсально-изотропного тела действительно соотношение $\nu = \frac{C_{12}}{C_{22} - C_{23}}$, и это соответствует найденным упругим постоянным.

Если известны элементы матрицы внутренней жесткости нити $[C_{ij}]$, то можно найти модуль упругости нити, который обозначим через E_1 . Для этого рассмотрим одноосное растяжение нити вдоль оси x_1 . Уравнения равновесия в нашем случае принимают вид:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= C_{11} \varepsilon_1 + C_{12} \varepsilon_2 + C_{12} \varepsilon_2, \\ 0 &= C_{12} \varepsilon_1 + C_{22} \varepsilon_2, \\ 0 &= C_{12} \varepsilon_1 + C_{22} \varepsilon_2. \end{aligned} \quad (9)$$

Так как модуль упругости нити представляет собой коэффициент пропорциональности между напряжением σ_1 и деформацией ε_1 , то формула для определения модуля упругости нити принимает вид:

$$E_1 = E_f \left(C_{11} - \frac{2C_{12}^2}{C_{22}} \right),$$

или

уса R величины β . Определив модуль упругости нити [1...3], находим:

$$C_{11} = E_f \cos^2 \beta. \quad (7)$$

Схема определения остальных компонент матрицы жесткости $[C_{ij}]$ остается той же. Вывод формул подробно приведен в [2]. Здесь же запишем основные соотношения C_{ij} :

$$E_1 = E_f \left[\cos^2 \beta - 2\nu^2 \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) \right]. \quad (10)$$

Отношение предела прочности нити к пределу прочности волокна равно отношению модуля упругости нити к модулю упругости волокна и составляет:

$$\frac{\sigma_1^*}{\sigma_f^*} = \frac{E_1}{E_f} = \left[\cos^2 \beta - 2\nu^2 \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) \right]. \quad (11)$$

Отсюда находим предел прочности нити:

$$\sigma_1^* = \sigma_f^* \left[\cos^2 \beta - 2\nu^2 \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) \right]. \quad (12)$$

При переходе от напряжений к нагрузкам (прочности нити) напомним особенности внутренних сил в нити и пряже. Рассматривая напряжение как внутреннюю силу, приложенную к волокну, а не к нити со свободным пространством между волокнами, отметим, что определять напряжение в нити и пряже как отношение силы к площади поперечного сечения пряжи (нити) $\pi d^2/4$ нельзя, так как нагрузку воспринимают только волокна, а в эту формулу площади входят и воздушные пустоты в нити. Нужно учесть лишь площадь волокон, попадающих в поперечное сечение нити, при-

нимая во внимание и расположение волокон под углом к оси нити, и различную ориентацию волокон в радиальном направлении. Предпочтительно использовать удельное напряжение как силу, отнесенную к массе единицы длины. Единицей удельного напряжения является Н/текс. Связь между обычным напряжением σ и удельным σ_s выражается формулой $\sigma = \sigma_s / \nu_y$ (ν_y – удельный объем нити, то есть величина, обратная плотности). Принимая за единицу плотности 1 г/см³, единицу напряжения получаем равной 1 ГПа: удельное напряжение 1 Н/текс = плотность (г/см³) × напряжение 1 ГПа.

Изложенная здесь теория позволяет рассмотреть напряженно-деформированное состояние таких сложных структур, как скрученные между собой в два и более сложений одиночные нити.

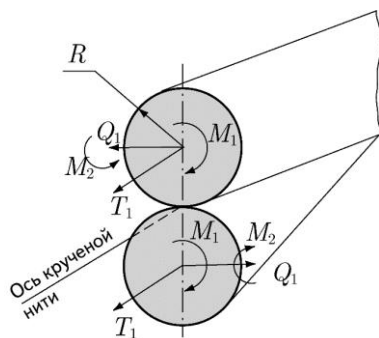


Рис. 2

Скрученная нить представляет собой две одинаковые, вписанные одна в другую винтовые линии, радиус осевой линии каждой из которых равен радиусу поперечного сечения нити (рис. 2 – к равновесию крученой нити). Сечение каждой из двух нитей представляет собой круг радиусом R , а осевая линия нити – винтовую линию с углом подъема α и радиусом, равным радиусу поперечного сечения крученой нити, то есть тоже R . Кривизна винтовой линии является постоянной и равна $\kappa_3 = \sin^2 \alpha / R$, кручение – $\kappa_1 = \sin \alpha \cos \alpha / R$. У винтовой линии главная нормаль ν пересекает ось нити под прямым углом и совпадает с ее радиусом. Возьмем на поверхности одной нити точку. Вследствие свойств винтовой линии нор-

маль ν в этой точке является одновременно нормалью к поверхности второй изогнутой по винтовой линии нити. Ось крученой нити является прямой линией контакта нитей. Построим на этой оси вспомогательный цилиндр радиусом R . На поверхности этого цилиндра будут расположены винтовые осевые упругие линии одиночных нитей. Рассмотрим, как преобразуется матрица коэффициентов $[C_{ij}]$ при переходе к другим осям координат, связанным с осью крученой нити.

Введем ортогональную систему координат, связанную с осевой линией упругой линии. Три вектора: касательная τ , главная нормаль ν и бинормаль β , образуют естественный трехгранник винтовой линии. Главная нормаль к винтовой линии во всех ее точках совпадает с нормалью к цилиндру. В некоторой точке на упругой линии зададим цилиндрическую систему координат (e_x, e_r, e_ϕ) . Расположим оси таким образом, чтобы ось ν естественного трехгранника совпала с осью e_r , направленной к центру нити, а ось e_x направим вдоль оси нити. Цилиндрические оси образуют правую тройку векторов, повернутых относительно оси ν , совпадающей с направлением оси e_r , на угол α . Выражения, позволяющие переходить от одного ортогонального базиса к другому, имеют вид:

$$e_x = e_\tau \cos \alpha + e_\beta \sin \alpha, \quad e_r = e_\nu, \quad e_\phi = -e_\tau \sin \alpha + e_\beta \cos \alpha.$$

Соответствующая матрица перехода запишется в виде:

$$l_{ij} = \begin{matrix} e_x \\ e_r \\ e_\phi \end{matrix} \begin{bmatrix} e_\tau & e_\nu & e_\beta \\ \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix}.$$

Матрица коэффициентов жесткости C_{ij} при переходе от упругой линии одиночной нити к крученой нити преобразуется по формуле $C_{ij}^* = C_{ik} g_{ij} g_{lk}$. Коэффициенты g_{ij} (i – номер строки, j – номер столбца) имеют значения, приведенные в табл. 1.

i \ j	1	2	3	4	5	6
1	$\cos^2 \alpha$	0	$\sin^2 \alpha$	0	$2 \sin \alpha \cos \alpha$	0
2	0	1	0	0	0	0
3	$\sin^2 \alpha$	0	$\cos^2 \alpha$	0	$-2 \sin \alpha \cos \alpha$	0
4	0	0	0	$\cos \alpha$	0	$\sin \alpha$
5	$-\sin \alpha \cos \alpha$	0	$\sin \alpha \cos \alpha$	0	$\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$	0
6	0	0	0	$-\sin \alpha$	0	$\cos \alpha$

В результате преобразования матрицы $[C_{ij}]$ коэффициентов жесткости одиночной нити, ориентированной под углом α относительно оси x_1 скрученной нити, получим элементы матрицы $[C_{ij}]$ внутренней жесткости упругой винтовой линии. Для вычисления модуля упругости E_1^α следует определить все необходимые постоянные жесткости нити. Уравнения равновесия при одноосном растяжении крученой нити в данном случае имеют вид, аналогичный системе (9):

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= C_{11}^\alpha \varepsilon_1 + C_{12}^\alpha \varepsilon_2 + C_{13}^\alpha \varepsilon_3, \\ 0 &= C_{12}^\alpha \varepsilon_1 + C_{22}^\alpha \varepsilon_2 + C_{23}^\alpha \varepsilon_3, \\ 0 &= C_{13}^\alpha \varepsilon_1 + C_{23}^\alpha \varepsilon_2 + C_{33}^\alpha \varepsilon_3.\end{aligned}$$

Теперь формула для определения модуля упругости одиночной нити в составе скрученной нити принимает вид:

$$E_1^\alpha = C_{11}^\alpha \frac{(C_{12}^\alpha)^2 C_{33}^\alpha + (C_{13}^\alpha)^2 C_{22}^\alpha - 2C_{12}^\alpha C_{13}^\alpha C_{23}^\alpha}{C_{22}^\alpha C_{33}^\alpha - (C_{23}^\alpha)^2}. \quad (13)$$

В соответствии с формулой (13) и табл. 1 коэффициентов g_{ij} запишем:

$$\begin{aligned}C_{11}^\alpha &= C_{11} \cos^4 \alpha + C_{13} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + C_{31} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + C_{33} \sin^4 \alpha + 4C_{55} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha = \\ &= E_f \left[\cos^2 \beta \cos^4 \alpha + 2\nu \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + \right. \\ &\quad \left. + \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) \sin^4 \alpha - 4 \left(\cos^2 \beta + \frac{2 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \right], \\ C_{22}^\alpha &= C_{22} = E_f \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right), \\ C_{33}^\alpha &= C_{11} \sin^4 \alpha + C_{13} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + C_{31} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + C_{33} \cos^4 \alpha + \\ &+ C_{55} 4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha = E_f \cos^2 \beta \sin^4 \alpha + 2E_f \nu \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + \\ &+ E_f \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) \cos^4 \alpha + 4E_f \left(-\cos^2 \beta - \frac{2 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha. \\ C_{12}^\alpha &= C_{12} \cos^2 \alpha + C_{32} \sin^2 \alpha = E_f \nu \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right),\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{13}^{\alpha} &= C_{11} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + C_{13} \cos^4 \alpha + C_{31} \sin^4 \alpha + C_{33} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + \\
&+ C_{55} (-4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha) = E_f \cos^2 \beta \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + \\
&+ E_f \nu \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) (\sin^4 \alpha + \cos^4 \alpha) + \\
&+ E_f \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha - 4 E_f \left(-\cos^2 \beta - \frac{2 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha, \\
C_{23}^{\alpha} &= C_{21} \sin^2 \alpha + C_{23} \cos^2 \alpha = E_f \nu \left(1 + \cos^2 \beta + \frac{4 \ln \cos \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta} \right).
\end{aligned}$$

Итак, модуль E_1^{α} найден, и в соответствии с написанным в начале статьи планом решения можно проводить расчеты на прочность и жесткость скрученной нити, причем изложенная теория не ограничивает ни число сложений, ни расположение компонентов относительно оси крученой нити.

Рассмотрим пример. Одинокная вискозно-шерстяная пряжа линейной плотности 110 текс с круткой $K_0 = 350 \text{ м}^{-1}$ скручивается в два сложения; вторичная крутка

$K_k = 200 \text{ м}^{-1}$. Модули упругости волокон равны: $E_{f \text{ виск}} = 1,237 \cdot 10^5 \text{ сН/мм}^2$, $E_{f \text{ шерст}} = 4,767 \cdot 10^4 \text{ сН/мм}^2$. Доля вискозного компонента по массе составляет $\alpha_{\text{вискоза}} = 0,35$, шерстяного – $\alpha_{\text{шерсть}} = 0,65$. Пересчитаем вклад каждого вида волокна по их числу [5]: $\beta_{\text{mf виск}} = 0,363$, $\beta_{\text{mf шерст}} = 0,637$. Получим средний модуль упругости, определяющийся достаточно точно по правилу смесей:

$$E_f = E_{f \text{ виск}} \beta_{\text{mf виск}} + E_{f \text{ шерст}} \beta_{\text{mf шерст}} = 7,526 \cdot 10^4.$$

Углы кручения:

$$\begin{aligned}
\beta &= \arctg(2\pi R K_0) = 0,507 \text{ рад}, \\
\alpha &= \arctg(2\pi R K_k) = 0,307 \text{ рад}.
\end{aligned}$$

Коэффициенты жесткости C_{ij} :

$$\begin{aligned}
C_{11} &= 5,753 \cdot 10^4; \quad C_{22} = 1,584 \cdot 10^3; \\
C_{12} &= 791,897.
\end{aligned}$$

Элементы матрицы C_{ij}^{α} внутренней жесткости упругой винтовой линии:

$$\begin{aligned}
C_{11}^{\alpha} &= 5,032 \cdot 10^4; \quad C_{12}^{\alpha} = 791,897; \\
C_{13}^{\alpha} &= 2,888 \cdot 10^3; \quad C_{22}^{\alpha} = 1,584 \cdot 10^3;
\end{aligned}$$

$$C_{23}^{\alpha} = 791,897; \quad C_{33}^{\alpha} = 4,602 \cdot 10^3.$$

Окончательно, в соответствии с формулой (13), получаем значение модуля упругости одинокной нити в составе скрученной нити: $E_1^{\alpha} = 4,845 \cdot 10^4 \text{ сН/мм}^2$.

Соотношение (1) определяет предел прочности нити:

$$\sigma_y^* = \sigma_f^* \frac{E_y}{E_f}. \quad (14)$$

Как уже было отмечено в начале статьи, отношение модулей упругости нити и волокна представляет собой безразмерную функцию (1):

$$\tilde{\sigma}_y(\beta, \nu_f, \nu_y) = \frac{2\cos^2\beta}{(1+2\nu_f)(1-\cos^2\beta)} \left\{ \begin{array}{l} (1+\nu_y) \left[\operatorname{Incos}\beta + \frac{2(1+\nu_f)}{1+2\nu_f} (1-(\cos\beta)^{2\nu_f+1}) \right] - \\ - \frac{\nu_y}{2} \left[\frac{3(1+2\nu_f)}{2\nu_f-1} - \frac{4(1+\nu_f)}{2\nu_f-1} (\cos\beta)^{2\nu_f-1} - \frac{1}{\cos^2\beta} \right] \end{array} \right\}.$$

В нашем примере численное значение $\tilde{\sigma}_y(\beta, \nu_f, \nu_y) = 0,68$. Учтем расположение одиночной нити в составе скрученной, умножив $\tilde{\sigma}_y(\beta, \nu_f, \nu_y)$ на $\cos^2\alpha$. Оконча-

тельно получим 0,62. Если рассматривать нить как анизотропный материал, чему и посвящена настоящая статья, то отношение модулей скрученной нити и волокна равно

$$\frac{E_1^\alpha}{E_f} = \frac{1}{E_f} \left[C_{11}^\alpha - \frac{(C_{12}^\alpha)^2 C_{33}^\alpha + (C_{13}^\alpha)^2 C_{22}^\alpha - 2C_{12}^\alpha C_{13}^\alpha C_{23}^\alpha}{C_{22}^\alpha C_{33}^\alpha - (C_{23}^\alpha)^2} \right] = 0,64.$$

Результаты обоих подходов, как видно из приведенных решений, хорошо согласуются между собой. Данная модель нити как анизотропного тела не приводит к значительному различию или улучшению результатов по сравнению с другими теориями. Тем не менее, она иллюстрирует важную и полезную методологию рассмотрения сложных структур нитей. Как уже отмечалось, изложенная теория не ограничивает ни число сложений, ни расположение компонентов относительно оси крученой нити.

ВЫВОДЫ

1. Реализован новый подход к проектированию как одиночных, так и скрученных в любое число сложений нитей, основанный на методах усреднения, матричных и тензорных преобразованиях теорий анизотропного тела.

2. Определены предел прочности и модуль упругости нити при вычисленных элементах матрицы внутренней жесткости нити.

3. Для вычисления модуля упругости одиночной нити в составе скрученной, определяющего ее прочность, получены все необходимые постоянные жесткости нити.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hearle J.W.S., Grosberg P., Backer S. Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics. – New York, 1969.
2. Щербаков В.П. Прикладная и структурная механика волоконистых материалов. – М.: "Тисо Принт", 2013.
3. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов. – М.: МГТУ имени А.Н. Косыгина, 2008.
4. Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А. Сопротивление жестких полимерных материалов. – Рига: "Зинатне", 1972.
5. Механическая технология текстильных материалов/Севостьянов А.Г., Осмин Н.А., Щербаков В.П. и др. – М.: Легпромбытиздат, 1989.

REFERENCES

1. Hearle J.W.S., Grosberg P., Backer S. Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics. – New York, 1969.
2. Shcherbakov V.P. Prikladnaya i strukturnaya mekhanika voloknistykh materialov. – М.: "Tiso Print", 2013.
3. Shcherbakov V.P., Skulanova N.S. Osnovy teorii deformirovaniya i prochnosti tekstil'nykh materialov. – М.: MGТУ imeni A.N. Kosygina, 2008.
4. Malmeyster A.K., Tamuzh V.P., Teters G.A. Soпротивlenie zhestkikh polimernykh materialov. – Riga: "Zinatne", 1972.
5. Mekhanicheskaya tekhnologiya tekstil'nykh materialov/Sevost'yanov A.G., Os'min N.A., Shcherbakov V.P. i dr. – М.: Legprombytizdat, 1989.

Рекомендована кафедрой текстильных технологий РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 15.12.20.

УДК 687.174

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЖИЛЕТА С ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИМ МАТЕРИАЛОМ**

**EXPERIMENTAL STUDY
OF A VEST WITH HEAT-ACCUMULATED FLUIDING MATERIAL**

Д.Н. СОРОКИНА

D.N. SOROKINA

(Донской государственной технической университет)

(Don State Technical University)

E-mail: naukauni@mail.ru

Для обеспечения комфортного состояния тела человека во время выполнения производственной деятельности разработан жилет с теплоаккумулирующим материалом (ТАМ). Теплоаккумулирующий материал поглощает избыток тепла от тела человека во время активной физической деятельности и отдает тепло обратно в состоянии покоя, тем самым обеспечивается комфортное самочувствие человека. Эффективность использования жилета с теплоаккумулирующим материалом доказана результатами экспериментальных исследований. При использовании жилета с теплоаккумулирующим материалом общее время комфортного состояния человека при переменной физической деятельности в среднем продлевается на 95 минут в зависимости от условий среды.

To ensure a comfortable state of the human body during production activities, a vest with a heat-accumulating material (TAM) has been developed. Heat storage material absorbs excess heat from the human body during vigorous physical activity and gives off heat back at rest, thereby ensuring a comfortable well-being of a person. The effectiveness of using a vest with heat-accumulating material has been proven by the results of experimental studies. When using a vest with a heat-accumulating material, the total time of a person's comfortable state with variable physical activity, on average, is extended by 95 minutes, depending on environmental conditions.

Ключевые слова: защитная одежда, безопасность труда, здоровье человека, теплоаккумулирующие материалы.

Keywords: protective clothing, safety of work, human health, heat storage materials.

В последние десятилетия идет активное освоение и развитие топливно-энергетических и природных ресурсов северных территорий и Арктики. Данные районы относятся к экстремальным территориям, на которых круглогодично природные условия резко осложняют производственную деятельность человека [1]. Зачастую работники вынуждены длительно находиться на открытой местности при низких температурах окружающей среды и при этом выполнять производственные функции. Использование только теплозащитной одежды не всегда позволяет поддерживать гомеостаз человека в комфортном состоянии. Возникает потребность в дополнительных источниках обогрева.

В процессе трудовой деятельности человека его физическая активность может изменяться и соответственно изменяется уровень теплопродукции (в покое 58 Вт/м^2 , при движении до 440 Вт/м^2). Средневзвешенная температура кожи в состоянии покоя составляет 23°C при физической нагрузке может достигать 37°C . При перегреве происходит активное потоотделение, которое может приводить к интенсивному охлаждению в состоянии покоя [2, 3]. Таким образом, в одной и той же одежде можно как замерзнуть, при длительном пребывании на холоде, так и перегреться за счет избытка тепла во время физической активности. Возникла необходимость разработать способ поддержания комфортного состояния тела человека с учетом интенсивности его физической активности.

Опираясь на физиологические особенности терморегуляции и поддержания теплового баланса человека, был разработан жилет с теплоаккумулирующим материалом (ТАМ), позволяющий в течение определенного времени сохранять комфортное состояние человека в условиях переменной активности. В жилете имеются внутренние карманы для размещения в них съемных элементов с теплоаккумулирующим материалом с температурой фазового перехода в термофизиологическом диапазоне температур тела человека ($27...35^\circ\text{C}$) [4].

Для исследования эффективности жилета были проведены экспериментальные

исследования на открытой местности при различных климатических условиях. При определении теплоизоляции комплекта теплозащитной одежды основными документами были приняты: ГОСТ Р 12.4.185–99 "Средства индивидуальной защиты от пониженных температур. Методы определения теплоизоляции комплекта", МУК 4.3.1894–04 "Методы контроля. Физические факторы. Физиолого-гигиеническая оценка одежды для защиты работающих от холода", МР № 11-0/279–09 "Методические рекомендации по расчету теплоизоляции комплекта индивидуальных средств защиты работающих от охлаждения и времени допустимого пребывания на холоде" [5...7].

Опираясь на нормативные документы и учитывая опыт других исследователей, в качестве основных исследуемых параметров являлись температурные характеристики тела человека. Известно, что рецепторы кожи очень чувствительны к скачкам температуры. Во многих экспериментах и реальных ситуациях температура поверхности кожи является базовой [8...17].

Данные температуры снимались с помощью температурных датчиков на участках: грудь, живот, спина, поясница, лоб. Погрешность измерений $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Также велись наблюдения за потоотделением и теплоощущениями человека. Оценка теплоощущений проводилась следующим образом: 1 - "холодно", 2 - "прохладно", 3 - "слегка прохладно", 4 - "комфорт", 5 - "слегка тепло", 6 - "тепло", 7 - "жарко". Влажность кожи и одежды оценивалась по шкале от 1 до 6 соответственно: "очень сухая", "нормальная сухая", "грудь и спина немного влажные", "грудь и спина влажные", "влажное тело", "влажное тело, одежда прилипает к коже".

Моделировалась следующая ситуация: ходьба испытателя по наклонной местности (угол 5°) со скоростью $6,4 \text{ км/ч}$ (тепловой поток 300 Вт/м^2), затем – состояние покоя (тепловой поток 70 Вт/м^2). Задача натурных испытаний состояла в определении сохранения теплового комфорта тела человека с помощью теплоаккумулирующего материала в защитной одежде. В экс-

перименте принимал участие мужчина с физическими параметрами: масса $m = 80$ кг, рост 176 см, возраст 27 лет [5]. Испытатель был одет в теплозащитную одежду (куртка и полукombineзон) с теплоизоляцией $0,744 \text{ Вт} \cdot \text{°C}/\text{м}^2$. Толщина пакета на участке туловища $\delta = 0,04$ м. Пакет материалов комплекта составляет: ткань верха с поверхностной плотностью $230 \text{ г}/\text{м}^2$ (80% хлопка, 20% полиэфир), подкладка с поверхностной плотностью $210 \text{ г}/\text{м}^2$ (57% хлопок, 43% полиэстер), утепляющая прокладка – перо-пуховая смесь (80% пуха, 20% пера). В качестве теплоаккумулирующего материала использовался октадекан ($\text{C}_{18}\text{H}_{38}$). Толщина элемента с теплоаккумулирующим материалом $0,005$ м. Предварительно костюм и жилет с теплоаккумулирующим материалом выдержаны в свободном состоянии в течение 24 ч при температуре воздуха $20 \pm 2 \text{°C}$ и его относительной влажности 30...60%. Эксперимент проводился при температурах воздуха: $0 \pm 1 \text{°C}$, $-10 \pm 1 \text{°C}$ и $-20 \pm 1 \text{°C}$ и скорости движения ветра $0,15 \text{ м}/\text{с}$ [18...26].

Проведение эксперимента осуществлялось по схеме [5]:

1) Человек одет в комплект "комнатной" одежды и находится 30 минут в помещении при температуре воздуха $22 \pm 2 \text{°C}$ и движении воздуха не более $0,1 \text{ м}/\text{с}$.

2) Снимаются показатели начальной температуры тела у испытуемого.

3) На поверхности тела устанавливаются температурные датчики.

4) Испытатель надевает комплект одежды, который состоит из хлопчатобумажного белья, жилета с ТАМ, свитера, полукombineзона и куртки, головного убора, рукавиц, обуви.

5) Испытатель выходит на открытую местность и совершает действия в соответствии с моделируемой ситуацией.

6) С поверхности тела испытуемого снимаются данные температуры кожи и проводится опрос о теплоощущениях человека с периодичностью 2 мин. В случае жалоб испытуемого на охлаждение испытание прекращается.

7) Прекращение испытаний.

8) Оформление результатов испытания.

9) Проведение повторного эксперимента в той же последовательности после "отдыха" испытуемого в течение часа одетым в "комнатную" одежду в помещении с температурой воздуха $22 \pm 2 \text{°C}$.

Проведенные натурные испытания теплозащитной одежды с элементами с теплоаккумулирующим материалом показали, что при использовании жилета с элементами с теплоаккумулирующим материалом общее время комфортного состояния человека при переменной физической деятельности в среднем продлевается на 95 мин в зависимости от условий среды: температуры воздуха и скорости ветра. Во время физической нагрузки испытуемый оценивает свои теплоощущения как "тепло" и "жарко". После прекращения физической активности до состояния "стоя" в течение всего периода до окончания эксперимента испытуемый оценивает свои теплоощущения как "слегка тепло" и "комфорт". Влажность кожи оценена испытуемым как "грудь и спина влажные". Также результатами экспериментальных исследований доказана эффективность длительного использования (например, в течение рабочей смены) жилета с теплоаккумулирующим материалом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлева Н.Л. Разработка метода проектирования бельевого костюма специального назначения для создания комфортного пододежного микроклимата: Дис...канд. техн. наук. – М., 2015.

2. Джаннаинова В.М. и др. Проектирование рациональной конструкции спецодежды, предназначенной для жарких климатических условий // *Science and world*. – 2013. С. 48.

3. Elbel S. et al. Development of Microclimate Cooling Systems for Increased Thermal Comfort of Individuals. – 2012.

4. Lopez R.M. et al. Thermoregulatory influence of a cooling vest on hyperthermic athletes // *Journal of athletic training*. – V. 43, №1, 2008. P. 55.

5. Wittmersl L., Hodgdon J. Use of encapsulated phase change material (epcm) as a cooling agent in microclimate cooling garments // *Environmental Ergonomics VIII* – San Diego, USA, 1998. P. 231...235.

6. Mokhtari Yazdi M., Sheikhzadeh M. Personal cooling garments: a review // *The Journal of The Textile Institute*. –V. 105, №. 12, 2014. P. 1231...1250.

7. Рус С.Ф. Ventilated shirt : пат. 5105478 США. – 1992.

8. Kuchofuku: [Электронный ресурс] / kuchofuku-products. - Режим доступа: <http://www.kuchofuku-products.com> (Дата обращения 25.10.2016)

9. Mawashi: [Электронный ресурс] / mawashi. - Режим доступа: <http://www.mawashi.net> (Дата обращения 25.10.2016)

10. Flouris A.D., Cheung S.S. Design and control optimization of microclimate liquid cooling systems underneath protective clothing // *Annals of biomedical engineering*. – V.34, №. 3, 2006. P. 359...372.

11. Veskimo: [Электронный ресурс] / veskimo. - Режим доступа: <http://www.veskimo.com> (Дата обращения 25.10.2016)

12. Sinosail: [Электронный ресурс] / sinosail. - Режим доступа: <http://sinosail.en.ec21.com> (Дата обращения 25.10.2016)

13. Derion T., Pozos R.S. A review of microclimate cooling systems in the chemical, biological, radiological environment. – Naval health research center San Diego CA, 1993. – №. NHRC-93-23.

14. Coolbit: [Электронный ресурс] / coolbit. - Режим доступа: <http://coolbit.com.ua> (Дата обращения 25.10.2016)

15. Arcticheat: [Электронный ресурс] / arcticheatusa. - Режим доступа: <http://www.arcticheatusa.com> (Дата обращения 25.10.2016)

16. Revit: [Электронный ресурс] / revit. - Режим доступа: <http://www.revit.nl> (Дата обращения 25.10.2016)

17. Kenny G.P. et al. Ice cooling vest on tolerance for exercise under uncompensable heat stress // *Journal of occupational and environmental hygiene*. – V.8, № 8, 2011. P. 484...491.

18. Sports: [Электронный ресурс] / sports. - Режим доступа: <http://www.sports.ru> (Дата обращения 25.10.2016)

19. Stacoolvest: [Электронный ресурс] / stacoolvest. Режим доступа: <http://www.stacoolvest.com> (Дата обращения 25.10.2016)

20. Smolander J. et al. Effectiveness of a light-weight ice-vest for body cooling while wearing fire fighter's protective clothing in the heat // *International journal of occupational safety and ergonomics*. – V.10, №2, 2004. P. 111...117.

21. Dees: [Электронный ресурс] / dees. - Режим доступа: <http://www.dees.ru> (Дата обращения 25.10.2016)

22. Colvin D.P., Bryant Y.G. Protective clothing containing encapsulated phase change materials // *ASME Heat Transfer Div Publ HTD*. – V.362, 1998. P.123...132.

23. Gao C., Kuklane K., Holmér I. Cooling vests with phase change materials: the effects of melting temperature on heat strain alleviation in an extremely hot environment // *European journal of applied physiology*. – V.111, № 6, 2011. P. 1207...1216.

24. Лебедева Е.О., Сорокина Д.Н., Смирнова Н.В. Выбор теплоаккумулирующего материала для применения в теплозащитной одежде // *Текстильная промышленность*. – 2011, №7. С. 37...39.

25. Techniche: [Электронный ресурс] / techniche. - Режим доступа: <http://www.techniche-intl.com> (Дата обращения 25.10.2016)

26. Сорокина Д.Н. Разработка и исследование специальной теплозащитной одежды с теплоаккумулирующим материалом: Дис...канд. техн. наук. – Шахты, 2012.

REFERENCES

1. Zhuravleva N.L. Razrabotka metoda proektirovaniya bel'evogo kostyuma spetsial'nogo naznacheniya dlya sozdaniya komfortnogo pododezhnogo mikroklimata: Dis...kand. tekhn. nauk. – M., 2015.

2. Dzhanpaizova V.M. i dr. Proektirovanie ratsional'noy konstruksii spetsodezhdy, prednaznachennoy dlya zharkikh klimaticheskikh usloviy // *Science and world*. – 2013. S. 48.

3. Elbel S. et al. Development of Microclimate Cooling Systems for Increased Thermal Comfort of Individuals. – 2012.

4. Lopez R.M. et al. Thermoregulatory influence of a cooling vest on hyperthermic athletes // *Journal of athletic training*. – V. 43, №1, 2008. P. 55.

5. Wittmersl L., Hodgdon J. Use of encapsulated phase change material (epcm) as a cooling agent in microclimate cooling garments // *Environmental Ergonomics VIII – San Diego, USA, 1998*. P. 231...235.

6. Mokhtari Yazdi M., Sheikhzadeh M. Personal cooling garments: a review // *The Journal of The Textile Institute*. –V. 105, №. 12, 2014. P. 1231...1250.

7. Рyc C.F. Ventilated shirt : pat. 5105478 SShA. – 1992.

8. Kuchofuku: [Elektronnyy resurs] / kuchofu-kuchofuku-products. - Rezhim dostupa: <http://www.kuchofuku-products.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

9. Mawashi: [Elektronnyy resurs] / mawashi. - Rezhim dostupa: <http://www.mawashi.net> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

10. Flouris A.D., Cheung S.S. Design and control optimization of microclimate liquid cooling systems underneath protective clothing // *Annals of biomedical engineering*. – V.34, №. 3, 2006. P. 359...372.

11. Veskimo: [Elektronnyy resurs] / veskimo. - Rezhim dostupa: <http://www.veskimo.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

12. Sinosail: [Elektronnyy resurs] / sinosail. - Rezhim dostupa: <http://sinosail.en.ec21.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

13. Derion T., Pozos R.S. A review of microclimate cooling systems in the chemical, biological, radiological environment. – Naval health research center San Diego CA, 1993. – №. NHRC-93-23.

14. Coolbit: [Elektronnyy resurs] / coolbit. - Rezhim dostupa: <http://coolbit.com.ua> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

15. Arcticheat: [Elektronnyy resurs] / arcticheatusa. - Rezhim dostupa: <http://www.arcticheatusa.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

16. Revit: [Elektronnyy resurs] / revit. - Rezhim dostupa: <http://www.revit.nl> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

17. Kenny G.P. et al. Ice cooling vest on tolerance for exercise under uncompensable heat stress // Journal of occupational and environmental hygiene. – V.8, № 8, 2011. P. 484...491.

18. Sports: [Elektronnyy resurs] / sports. - Rezhim dostupa: <http://www.sports.ru> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

19. Stacoolvest: [Elektronnyy resurs] / stacoolvest. Rezhim dostupa: <http://www.stacoolvest.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

20. Smolander J. et al. Effectiveness of a light-weight icevest for body cooling while wearing fire fighter's protective clothing in the heat // International journal of occupational safety and ergonomics. – V.10, №2, 2004. P. 111...117.

21. Dees: [Elektronnyy resurs] / dees. - Rezhim dostupa: <http://www.dees.ru> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

22. Colvin D.P., Bryant Y.G. Protective clothing containing encapsulated phase change materials // ASME Heat Transfer Div Publ HTD. – V.362, 1998. P.123...132.

23. Gao C., Kuklane K., Holmér I. Cooling vests with phase change materials: the effects of melting temperature on heat strain alleviation in an extremely hot environment // European journal of applied physiology. – V.111, № 6, 2011. P. 1207...1216.

24. Lebedeva E.O., Sorokina D.N., Smirnova N.V. Vybór teploakkumuliruyushchego materiala dlya primeneniya v teplozashchitnoy odezhde // Tekstil'naya promyshlennost'. – 2011, №7. S. 37...39.

25. Techniche: [Elektronnyy resurs] / techniche. - Rezhim dostupa: <http://www.techniche-intl.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

26. Sorokina D.N. Razrabotka i issledovanie spetsial'noy teplozashchitnoy odezhdy s teploakkumuliruyushchim materialom: Dis...kand. tekhn. nauk. – Shakhty, 2012.

Рекомендована Научно-техническим советом.
Поступила 29.05.18.

УДК 342.5, 35.088.6, 371.38

ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СЛУЖАЩИХ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕНИТЕНЦИАРНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

PROBLEMS OF IMPLEMENTATION OF THE COMPETENCE APPROACH IN THE PREPARATION OF STATE EMPLOYEES FOR THE ORGANIZATION OF TEXTILE MANUFACTURES IN THE TERRITORY OF PENITENTIARIES OF THE RUSSIAN FEDERATION

Д.И. КУЗЬМИН, И.И. САВЕЛЬЕВ, Е.А. ЛАЧИНА

D.I. KUZMIN, I.I. SAVELEV, E.A. LACHINA

**(Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Владимирский филиал),
Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых)**

**(Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Vladimir branch),
Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs)**

E-mail: sii-33@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы влияния вызовов, стоящих перед современной текстильной промышленностью на компетенции государственных служащих пенитенциарной системы Российской Федерации. В основе анализа лежат три тезиса: 1) труд осужденных способствует их адаптации после освобождения; 2) текстильная промышленность будет испытывать давление инноваций, с одной стороны, и нехватки ресурсной базы – с

другой; 3) компетенции государственных служащих, обеспечивающих управление текстильными предприятиями на территории учреждений уголовно-исполнительной системы, напрямую обуславливают их эффективность и стратегическую жизнеспособность как на глобальном, так и на местных рынках.

The article discusses the impact of the challenges facing the modern textile industry on the competence of civil servants of the penitentiary system of the Russian Federation. The analysis is based on three theses: 1) the labor of convicts contributes to their adaptation after release; 2) the textile industry will be under pressure from innovation on the one hand and lack of a resource base on the other; 3) the competence of civil servants who manage textile enterprises in the territory of the penitentiary system institutions directly determine their effectiveness and strategic viability in both global and local markets.

Ключевые слова: компетенции, государственные служащие, пенитенциарная система, текстильная промышленность, Российская Федерация.

Keywords: competences, civil servants, penitentiary system, textile industry, Russian Federation.

Экономика Российской Федерации в значительной степени была подвергнута массивной смене парадигмы централизованного планирования к полноценным механизмам рыночной экономики. При этом, если западный опыт свидетельствует об эндогенном характере подобных преобразований, в России инициатором реформ выступило государство, стремясь побороть рост внутренних противоречий. К настоящему времени государственное доминирование в праве собственности со значительной скоростью трансформировалось в иные виды, в первую очередь, частную.

С другой стороны, учреждения уголовно-исполнительной системы столкнулись с ограничениями институционализации подобных изменений [1], если частный сектор на заре реформ получил одномоментный толчок к росту, то государственные производства пенитенциарной системы не смогли модернизировать технологические процессы и создать трансрегиональные производственные сети.

Чтобы осужденные, отбывшие свое наказание в местах лишения свободы, могли эффективно вернуться в оставленные на время общественные отношения, им необходимо обрести адекватные социаль-

ные и трудовые навыки. При этом соответствующие механизмы, практически реализуемые Федеральной службой исполнения наказаний [2], должны, в том числе концентрироваться на просоциальном поведении, способствующем повышению понимания осужденными своих собственных действий.

Теория социального обучения фокусирует внимание на социальном контексте взаимодействия осужденных друг с другом, создавая четыре компонента обсервационного обучения.

1. Внимание – требуется создание условий для качественного наблюдения с отслеживанием существенных особенностей моделируемого поведения.

2. Сохранение – кодирование информации в отделе мозга, отвечающего за долговременную память с целью последующего воспроизведения смоделированного поведения.

3. Воспроизведение – наблюдатель должен получить физические особенности смоделированного поведения.

4. Мотивация – положительное подкрепление смоделированного поведения наблюдателем.

Широкомасштабное распространение цифровых технологий (таких, как автоматизация проектирования, автоматизация производства, механизмы планирования ресурсов) ставит именно текстильную отрасль в приоритет при рассмотрении вопроса социальной адаптации осужденных в местах лишения свободы через труд. Следовательно, в этом исследовании сделана попытка объяснить, какие отраслевые вызовы будут влиять на качественные показатели подготовки государственных служащих пенитенциарной системы. Особое внимание уделяется вопросам глобализации производственных систем и перспективам одновременной локализации инструментов для обеспечения технологической модернизации.

Текстильная промышленность находится под большим давлением инноваций [6]. Хотя это по своей природе рискованно и дорого, бездействие не менее опасно из-за острой конкуренции со стороны стран с низким уровнем заработной платы. Инновации в основном сосредоточены на уровне компаний – многие из которых являются малыми – поэтому важны координация и сотрудничество. Многие фирмы в текстильной и швейной промышленности занимаются аутсорсингом исследований и разработок, поэтому инновационный процесс часто фрагментирован. Кроме того, многие фирмы не имеют специализированного потенциала для инноваций, поэтому для него характерны специальные, а не постоянные инициативы. Кроме того, из-за затрат времени и средств, необходимых для защиты интеллектуальной собственности, текстильные малые предприятия, как правило, скрытны и гибки, а не используют подход открытых инноваций. Чаще всего инновационные идеи не запатентованы, малые предприятия предпочитают защищать рынки с помощью скорости и качества доставки и создания систем и репутации в своих нишах.

У текстильной отрасли есть возможность в новых бизнес-моделях установить более тесные отношения между заказчиком и поставщиком. Это варьируется от поставки индивидуально подобранных това-

ров до клиентов, которые сами настраивают продукцию под свои нужды. Ряд техно-инфраструктурных разработок будет способствовать развитию этих рынков для текстильного сектора. Например, "сканирующие магазины", в которых клиенты могут точно измерить свое тело на предмет индивидуальной подгонки одежды, поддержат рынок для массовой индивидуализации, в то время как все более и более компактные, доступные и удобные в использовании устройства для резки и печати позволят большему числу клиентов адаптировать предметы после покупки. Технологии могут быть заимствованы из других секторов, например, медицинские методы сканирования и измерения тела.

Торговые организации могли бы стимулировать текстильные фирмы к использованию этих возможностей, повышая осведомленность общественности, устраняя пробелы в навыках и поддерживая сотрудничество между текстильными фирмами и поставщиками технологий.

Умный текстиль предоставляет много возможностей для текстильных фирм в новых областях (например, строительство, здравоохранение) [5].

Компании должны разрабатывать технологии и продумывать разумные стратегии для работы с патентами, национальными правилами и финансовыми органами. Им также следует начать работать с другими секторами и широко искать возможности в новых областях применения. Они должны использовать возможности для информирования и обучения работников и клиентов. Многие фирмы выиграют от накопления опыта в техническом маркетинге (то есть сообщая о ценности продуктов; повышая безопасность; публикуя статьи в журналах международного сектора; производя видеоматериалы о технических характеристиках и применяемых стандартах).

В то время как сектор ожидает дальнейшего развития в области умного текстиля в ближайшие годы, многие сферы применения могут быть использованы с существующими технологическими возможностями. Тем не менее, новые производственные

процессы, материалы и использование программного обеспечения часто требуют существенной адаптации [4].

Сервисное обслуживание может быть определено как транзакция, в которой стоимость обеспечивается за счет сочетания продуктов и услуг и когда удовлетворение потребностей клиентов достигается за счет продажи функции продукта, а не продукта как такового, и увеличения сервисной составляющей предложения. Некоторые такие услуги уже хорошо зарекомендовали себя в текстильной промышленности. Например, вместо покупки полотенец и постельного белья отели могут платить ежемесячную плату за предоставляемые полотенца и простыни. Помимо постоянной ответственности за управление техническим обслуживанием и амортизацией, поставщик может предлагать пакеты, включающие другие услуги, такие как уборка, глажка, складывание и т.д. Хотя существует некоторый скептицизм по поводу того, в какой степени эта модель может быть более расширена, особенно в основных направлениях. В качестве отправной точки фирмы могут взять на себя нишевые рынки, опираясь на устоявшийся бизнес на потребительские рынки аренды свадебной и костюмированной одежды, а также на рынки деловых услуг, таких как медицинская одежда и средства индивидуальной защиты.

Компании, рассматривающие такой шаг, должны использовать преимущества онлайн- и офлайн-рынков, особенно платформ, которые становятся все более важным инструментом для онлайн-транзакций. Бизнес для бизнеса и бизнес для потребителей и даже потребитель для потребителей (одноранговые транзакции, как видно из так называемой "экономики совместного использования") также должны быть рассмотрены [3].

Ресурсы, включая сырье, воду и энергию, имеют основополагающее значение для всех отраслей обрабатывающей промышленности и являются ключевым аспектом будущего производства, особенно с учетом большой зависимости, которую компании имеют в отношении импорта из третьих стран.

По мере того как формируются замкнутые циклы материалов, а также ввиду специализации и малого масштаба большинства участников сектора, партнерские отношения и платформы должны быть отмечены как крайне важные для работы с ресурсами.

Они рассматривались как обеспечивающие многоуровневую интеграцию, необходимую для большинства текстильных малых предприятий, чтобы перейти к круговой модели производства и потребления. Это не может быть достигнуто каждым самостоятельно, поэтому должно происходить увеличение местных источников сырья. Возобновляемость может быть увеличена за счет разработки и использования биоматериалов и возможности вторичной переработки за счет сокращения смешивания и разработки новых материалов, предпочтительно возобновляемых, которые облегчают переработку.

Управляющая роль, которая все еще доминирует в государственной администрации, извлекла ее основные черты из военной организации. У каждого сотрудника есть вышестоящий руководитель, а управление основано на формальных полномочиях, то есть авторитет управляющего вытекает из самого факта, что его должность относится к руководящему звену.

Такое лидерство все менее и менее принимается в современном обществе. Управленческая роль зависит от развития общества в направлении усиления влияния работников на условия труда. Управляющий не становится одиноким в традиционных задачах руководства и распределения работы. Основная задача – все чаще инициировать и стимулировать сотрудников, использовать и координировать знания, идеи и интересы в рамках рабочей группы.

Обучение управляющих, как и все обучение персонала, должно быть направлено на повышение эффективности. Орган, который инвестирует ресурсы в подготовку управленческих кадров, облегчает его адаптацию к новым условиям и тем самым повышает его способность быть эффективным. Хорошо образованные управляющие

расширяют возможности власти по адаптации операций к намерениям государственных органов и требованиям социального развития. Хорошо обученным управляющим легче работать с персоналом в новых условиях, которые подразумевают требования к личному развитию, удовлетворенности работой и способностям к сотрудничеству.

Преыдушие попытки найти оптимальный метод обучения были заменены более глубоким пониманием необходимости альтернативных методов, которые учитывают требования, предъявляемые к образованию. Они также должны включать ценности, преобладающие в обществе и во власти. Развитие образования в новых областях требует значительных кадровых и финансовых ресурсов. Важной задачей для отдельных органов власти является упорядочение подготовки государственных служащих, например, в отношении планирования, организации и методов работы. Это требует среди прочего проведения квалифицированной научно-исследовательской работы в области обучения персонала. Такая научно-исследовательская работа должна быть направлена не только на разработку и тестирование новых методов обучения и оценки эффективности, но и, что не менее важно, на разработку методов анализа очень сложных целей бизнеса.

Однако в то же время очевидно, что подготовка государственных кадров также сталкивается с совершенно иными проблемами, чем те, которые возникают в государственной системе образования. Каждая новая реформа должна быть интегрирована в сложную сеть организаций и систем регулирования.

1. Закон РФ "Об учреждениях и органах, исполняющих уголовные наказания в виде лишения свободы" от 21.07.1993 № 5473-1.

2. Указ Президента РФ от 13.10.2004 № 1314 "Вопросы Федеральной службы исполнения наказаний".

3. Алиева В.В., Генералова А.В. Обзор легкой промышленности России: отечественный опыт поддержки отраслевых предприятий // Экономические исследования. – 2018, №1. С. 4...11

4. Валиев Г.Н., Ахунбабаев О.А., Мирзахонов М. Новые структуры тканей из натурального шелка // Вестник науки и образования. – 2018, №12 (48). С.47...50.

5. Маханова Г.М., Бакирова Л.Ш., Муратбай А.Ж. Изготовление одежды, используя материалы с солнечными батареями // European science. – 2019, №1 (43). С. 72...77.

6. Хворостяная А.С. Стратегические аспекты управления интеллектуальной собственностью в индустрии моды // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2018, №4 (36). С. 546...559.

R E F E R E N C E S

1. Zakon RF "Ob uchrezhdeniyakh i organakh, ispolnyayushchikh ugovnyye nakazaniya v vide lisheniya svobody" ot 21.07.1993 № 5473-1.

2. Ukaz Prezidenta RF ot 13.10.2004 № 1314 "Voprosy Federal'noy sluzhby ispolneniya nakazaniy".

3. Alieva V.V., Generalova A.V. Obzor legkoy promyshlennosti Rossii: otechestvennyy opyt podderzhki otraslevykh predpriyatiy // Ekonomicheskie issledovaniya. – 2018, №1. S. 4...11

4. Valiev G.N., Akhunbabaev O.A., Mirzakhonov M. Novye struktury tkaney iz natural'nogo shelka // Vestnik nauki i obrazovaniya. – 2018, №12 (48). S.47...50.

5. Makhanova G.M., Bakirova L.Sh., Muratbay A.Zh. Izgotovlenie odezhdy, ispol'zuya materialy s solnechnymi batareyami // European science. – 2019, №1 (43). S. 72...77.

6. Khvorostyanaya A.S. Strategicheskie aspekty upravleniya intellektual'noy sobstvennost'yu v industrii mody // MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie). – 2018, №4 (36). S. 546...559.

Рекомендована кафедрой менеджмента и маркетинга ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Поступила 18.10.19.

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация производства

<i>Кантор О.Г., Кузнецова Ю.А.</i> Анализ ресурсного потенциала текстильной и швейной промышленности на основе производственных функций	5
<i>Якушев А.Ж., Филин С.А.</i> Экономическая оценка эффекта реализации инновационных проектов с реальными опционами при увеличении капитала знаний и предметных областей в текстильном производстве	11
<i>Ванкевич Е.В., Алексеева Е.А., Коробова Е.Н., Дягилев А.С.</i> Влияние управления человеческими ресурсами организации на эффективность ее деятельности: теоретические подходы и эмпирические оценки (на примере предприятий текстильной промышленности Республики Беларусь)	19
<i>Петрухин А.Б., Дмитриев Ю.А., Омаров М.М., Минин Д.Л.</i> Инвестиционный потенциал и прогноз развития отраслей легкой и текстильной промышленности Российской Федерации	26
<i>Жамбровский В.М., Савельев И.И., Лачин А.А., Лачина Е.А., Пузанова О.А.</i> Перспективы развития промышленных кластеров в России	31

Материаловедение

<i>Угрюмов С.А.</i> Метод получения и свойства древесно-стружечных плит на основе комбинированного наполнителя с использованием отходов льняного очеса	36
<i>Жерносек С.В., Ольшанский В.И.</i> Модификация структуры композиционных текстильных материалов в условиях воздействия СВЧ-излучения	41
<i>Осмоловская Н.А., Кузина А.Н., Кротова И.В.</i> Совершенствование экспресс-метода определения цвета полиамидных волокон	44
<i>Зиятдинова Д.Р., Фаткуллина Р.Р., Абуталипова Л.Н., Матвеева В.Ю.</i> Исследование влияния органических растворителей на изменение разрывной нагрузки тканого полотна с полимерным покрытием ..	48
<i>Бесишапошников В.И., Климова Н.А., Бесишапошников Н.В., Ковалева Н.Е.</i> Влияние эксплуатационных факторов на паропроницаемость мембранных тканей и пакетов одежды	51
<i>Сусоева И.В., Титунин А.А., Вахнина Т.Н., Грунин Ю.Б., Нармания Б.Е.</i> Анализ влияния структуры композита из целлюлозосодержащих отходов на его эксплуатационные показатели	55
<i>Шмитько Е.И., Румянцева В.Е., Белькова Н.А.</i> Разработка возможностей повышения качества полов для зданий текстильной промышленности	62
<i>Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю.</i> Выбор статистических моделей и анализ сводных характеристик выборки для показателей качества саморегулируемых нетканых теплоизоляционных материалов	67
<i>Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова В.В.</i> Влияние потока плазмы на повышение физико-механических свойств технических материалов	74
<i>Сагитова Г.Ф., Туребекова Г.З., Исаев Г.И., Абилаймкызы Л., Сихимбаева М.Т., Алтамысова А.Б.</i> Пути повышения прочности связи системы "резина - капроновый текстильный корд"	81
<i>Сагитова Г.Ф., Джанпаизова В.М., Арипбаева А.Е., Абилаймкызы Л., Сихимбаева М.Т., Конысбеков С.М.</i> Исследование влияния коротких обрезиненных кордных волокон на свойства резины для подрельсовых прокладок	87

Первичная обработка. Сырье

<i>Пашин Е.Л.</i> Импортзамещающая технология получения котонизированного льна для хлопчатобумажных производств	94
---	----

Прядение

<i>Севостьянов П.А., Самойлова Т.А.</i> О взаимосвязи между неровнотой одномерных волокнистых продуктов по линейной плотности и доле компонентов	100
--	-----

Ткачество

<i>Индербиева Т.А., Хусаинов Р.З., Терентьев В.И.</i> Исследование взаимодействия дисков тканеформирующего механизма с нитями утка	104
<i>Рудовский П.Н., Палочкин С.В., Нуриев М.Н.</i> Устранение скрытой вытяжки бескруточной ровницы при ее наматывании	107
<i>Степанов С.Г., Джанпаизова В.М., Мырхалыков Ж.У., Кенжибаева Г.С., Туракулов Б.С.</i> Расчет параметров строения технической ткани для производства термопластичных композиционных материалов по сокращенной технологии	113

Отделка

<i>Азанова А.А., Абуталипова Л.Н., Тихонова Н.В., Хисамиева Л.Г., Миннебаева Р.Г., Изшин Я.В.</i> Особенности плазменной обработки льняного волокна	119
<i>Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Морыганов А.П., Кузнецов О.Ю., Королев С.В.</i> Ресурсосберегающие технологии получения текстильных материалов и изделий с пролонгированными антиинфекционными свойствами	122
<i>Одинцова О.И., Румянцев Е.В., Козлова О.В., Румянцева В.Е., Полушин Е.Г., Русакова А.Н.</i> Полимерно-клеевые композиции с мембранными свойствами для дублирования волокнистых материалов ..	127

Трикотажное производство

<i>Копарева Е.М., Титов С.Н., Чагина Л.Л., Смирнова Н.А.</i> Расчетный метод определения деформации растяжения текстильных полотен	135
--	-----

Швейное производство

<i>Замотин Н.А., Дягилев А.С.</i> Разработка 3D-сканера для сканирования фигуры человека	139
--	-----

Текстильные машины и агрегаты

<i>Крылов А.В., Фомин Ю.Г., Тувин А.А., Шахова И.Ю.</i> Исследование влияния факторов на удельное давление в валковых модулях	147
---	-----

Автоматизация и информационные технологии

<i>Федосов С.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б.</i> Система автоматизированного управления мощностью электрического котла теплового насоса, отапливающего автономно текстильные цеха и производства	150
<i>Гусева М.А., Костылева В.В., Петросова И.А., Андреева Е.Г., Литвин Е.В., Гусев И.Д.</i> Цифровизация в инклюзивной антропометрии	154

Экологическая и производственная безопасность. Промтеплоэнергетика

<i>Лозовецкий В.В., Комаров Е.Г., Лебедев В.В.</i> Утилизация тепла сточных вод отделочных цехов текстильных предприятий	162
<i>Бодров М.В., Морозов М.С., Смыков А.А.</i> Системы лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей для текстильной промышленности	168
<i>Иманалиев К.Е., Сулейменов У.С., Камбаров М.А., Риставлетов Р.А., Абшенов Х.А., Кудабаяев Р.Б.</i> Разработка методики оценки эффективности энергоактивного ограждения производственных зданий текстильной промышленности	174
<i>Тюрин И.Н., Яковлев А.М., Андреева Е.Г., Таипулатов С.Ш., Белгородский В.С.</i> Численное моделирование компрессионного воздействия фильтрующей полумаски на мягкие ткани человека	179

Техническая эстетика и дизайн

<i>Волкова М.Д., Смирнова Н.А.</i> Дизайн-проектирование сумок и рюкзаков с учетом свойств материалов	184
<i>Кузьмичев В.Е., Москвин А.Ю., Москвина М.В.</i> Виртуальное формообразование исторической мужской и женской одежды	188

Механика нити и полотен

<i>Переборова Н.В., Макаров А.Г., Коробовцева А.А., Макарова А.А., Чистякова Е.С.</i> Математическое моделирование и качественный анализ деформационных и восстановительных процессов полимерных текстильных эластомеров, применяемых в хирургической имплантологии	196
<i>Щербаков В.П., Скуланова Н.С., Полякова Т.И., Халезов С.Л.</i> Анизотропия одиночных и скрученных в два и более сложения нитей	202

Обмен опытом, критика и библиография, краткие сообщения

<i>Сорокина Д.Н.</i> Экспериментальное исследование жилета с теплоаккумулирующим материалом	210
<i>Кузьмин Д.И., Савельев И.И., Лачина Е.А.</i> Проблемы реализации компетентностного подхода при подготовке государственных служащих для организации текстильных производств на территории пенитенциарных учреждений Российской Федерации	214

CONTENTS

Economics and Production Planning

<i>Kantor O.G., Kuznetsova Yu.A.</i> Analysis of Resource Potential in Textile and Sewing Industry Based on Production Functions	5
<i>Yakushev A.Zh., Filin S.A.</i> Economic Assessment of the Effect of Implementing Innovative Projects with Real Options while Increasing the Capital Knowledge and Subject Areas in the Textile Industry	11
<i>Vankevich E.V., Alekseyeva E.A., Korobova E.N., Dyagilev A.S.</i> The Impact of the Organization's Human Resources Management on the Efficiency of its Activities: Theoretical Approaches and Empirical Evaluations (on the Example of the Textile Industry Enterprises of the Republic of Belarus)	19
<i>Petrukhin A.B., Dmitriev Yu.A., Omarov M.M., Minin D.L.</i> Investment Potential and Forecast of Development of Branches of Light and Textile Industry of the Russian Federation	26
<i>Zhambrovskij V.M., Savelev I.I., Lachin A.A., Lachina E.A., Puzanova O.A.</i> Prospects of Development of Industrial Clusters in Russia	31

Materials

<i>Ugryumov S.A.</i> A Method of Obtaining and Properties of Wood-Particle Boards on the Basis of the Combination of the Filler with the Use of Flax Waste	36
<i>Zhernosek S.V., Olshanskiy V.I.</i> Modification of the Structure of Composite Textile Materials under the Influence of Microwave Radiation	41
<i>Osmolovskaya N.A., Kuzina A.N., Krotova I.V.</i> Improvement of the Express Method of Determining of Polyamide Fiber Color	44
<i>Ziyatdinova D.R., Fatkullina R.R., Abutalipova L.N., Matveeva V.Yu.</i> Study of the Effect of Organic Solvents to Change the Breaking Load of the Woven Fabric with Polymer Coating	48
<i>Besshaposhnikova V.I., Klimova N.A., Besshaposhnikova N.V., Kovaleva N.E.</i> The Influence of Operational Factors on the Water Vapor Permeability Membrane Fabrics and Clothing Packs	51
<i>Susoeva I.V., Titunin A.A., Vahnina T.N., Grunin Yu.B., Narmania B.E.</i> Analysis of the Influence of the Composite Structure of Cellulose-Containing Waste on its Performance Indicators	55
<i>Shmitko E.I., Rumyantseva V.E., Belkova N.A.</i> Developing Opportunities for Improving the Quality of the Sexes for Textile Buildings	62
<i>Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu.</i> Selection of Statistical Models and Analysis of Summary Characteristics for Quality Indicators of Self-Regulating Nonwoven Thermal Insulation Materials	67
<i>Gainutdinov R.F., Khammatova V.V.</i> Effect of Plasma Flow on Improving the Physical and Mechanical Properties of Technical Materials	74
<i>Sagitova G.F., Turebekova G.Z., Issayev G.I., Abilhaimkyzy L., Sikhimbayeva M.T., Alpamysova A.B.</i> Ways to Increase the Bond Strength of the System "Rubber-Nylon Textile Cord"	81
<i>Sagitova G.F., Janpaizova V.M., Aripbaeva A.E., Abilhaimkyzy L., Sikhimbayeva M.T., Konysbekov S.M.</i> Investigation of the Effect of Short Rubber Cord Fibers on the Properties of Rubber for Under-Rail Gaskets	87

Preliminary Treatment. Raw Materials

<i>Pashin E.L.</i> Import-Substituting Technology for Production of Cotonized Flax for Cotton Production	94
--	----

Spinning

<i>Sevostyanov P.A., Samoylova T.A.</i> On the Relationship between Unevenness of One-Dimensional Fiber Products and Mixtures of Components	100
---	-----

Weaving

<i>Inderbieva T.A., Khusainov R.Z., Terentyev V.I.</i> To Study the Interaction of Disks Fabric-Forming Mechanism with the Weft Threads	104
<i>Rudovsky P.N., Palochkin S.V., Nuriev M.N.</i> Elimination of Latent Stretching of Untwisted Roving during Winding	107
<i>Stepanov S.G., Janpaizova V.M., Myrkhalykov Zh.U., Kenzhibaeva G.S., Turakulov B.S.</i> Calculation of Technical Fabric Structure Parameters for the Production of Thermoplastic Composite Materials by Abbreviated Technology	113

Finishing

<i>Azanova A.A., Abutalipova L.N., Tikhonova N.V., Khisamieva L.G., Minnebaeva R.G., Ivshin Y.V.</i> Features of Linen Fiber Plasma Treatment	119
<i>Dymnikova N.S., Erohina E.V., Moryganov A.P., Kuznetsov O.Yu., Korolev S.V.</i> Resource-Saving Technologies of Obtaining Textile Materials and Products with Prolonged Anti-Infect-Zional Properties	122
<i>Odintcova O.I., Rummyantsev E.V., Kozlova O.V., Rummyantseva V.E., Polushin E.G., Rusakova A.N.</i> Polymer Adhesive Compositions with Membrane Properties for Duplicating Fibrous Materials	127

Knitting

<i>Kopareva E.M., Titov S.N., Chagina L.L., Smirnova N.A.</i> Calculation Method for Determining Tensile Strain of Textile Webs	135
---	-----

Sewing

<i>Zamotin N.A., Dyagilev A.S.</i> Development of a 3D-Scanner for Scanning a Human Figure	139
--	-----

Textile Machines and Aggregates

<i>Krylov A.V., Fomin Yu.G., Tuvin A.A., Shakhova I.Yu.</i> Investigation of the Influence of the Factors on the Specific Pressure in the Valve Modules	147
---	-----

Automation and Information Technologies

<i>Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Petruhin A.B.</i> Computer-Aided Power Control of the Electric Boiler Heat Pump Heating Autonomous Textile Workshops and Production	150
<i>Guseva M.A., Kostyleva V.V., Petrosova I.A., Andreeva E.G., Litvin E.V., Gusev I.D.</i> Digitalization in Inclusive Anthropometry	155

Ecological and Industrial Safety. Heat Engineering

<i>Lozovetsky V.V., Komarov E.G., Lebedev V.V.</i> Waste Heat Utilization from Textile Finishing Workshops	162
<i>Bodrov M.V., Morozov M.S., Smykov A.A.</i> Radiant Heating Systems Based on Water Infrared Emitters for Textile Industry	168
<i>Imanaliev K.E., Suleimenov U.S., Kambarov M.A., Ristavletov R.A., Abshenov H.A., Kudabaev R.B.</i> Development of a Methodology for Assessing the Efficiency of Energy Active Fencing of Production Buildings in the Textile Industry	174
<i>Tyurin I.N., Yakovlev A.M., Andreeva E.G., Tashpulatov S.Sh., Belgorodsky V.S.</i> Numerical Simulation of the Compression Influence of the Filtering Half Mask on the Soft Human Tissues	179

Technical Aesthetics and Design

<i>Volkova M.D., Smirnova N.A.</i> Design of Bags and Backpacks Taking into Account Properties of Materials ...	184
<i>Kuzmichev V.E., Moskvina A.Yu., Moskvina M.V.</i> Virtual Shaping of Historical Men and Women Clothes .	188

Mechanics of Threads and Fabrics

<i>Pereborova N.V., Makarov A.G., Korobovtseva A.A., Makarova A.A., Chistyakova E.S.</i> Mathematical Modeling and Qualitative Analysis of Deformation and Recovery Processes of Polymer Textile Elastomers Used in Surgical Implantology	196
<i>Shcherbakov V.P., Skulanova N.S., Poljakova T.I., Khalezov S.L.</i> Anisotropy of the Strings Single and Braided in Two and More Additions	202

Experience Exchange, Criticism and Bibliography. Short Items

<i>Sorokina D.N.</i> Experimental Study of a Vest with Heat-Accumulated Fluiding Material	210
<i>Kuzmin D.I., Savelev I.I., Lachina E.A.</i> Problems of Implementation of the Competence Approach in the Preparation of State Employees for the Organization of Textile Manufactures in the Territory of Penitentiaries of the Russian Federation	214

Внимание авторов!

Редакция принимает статьи и сопроводительные документы к ним, направленные только обычными письмами в адрес редакции журнала "Известия вузов. Технология текстильной промышленности": 153000, г. Иваново, Шереметевский просп., 21, к. ГШ.352. Редакция журнала, ответственному секретарю.

Статьи и документы к ним должны быть оформлены согласно Правилам для авторов, которые публикуются в конце номера журнала.

Корреспонденция, направленная заказными письмами, не рассматривается.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Каждая статья, поступающая в редакцию, проходит внешнее рецензирование. Рецензенты журнала – ведущие ученые и практики в области текстильной промышленности.

В связи с вышесказанным для ускорения публикации статей редакция просит авторов, направляющих статьи в журнал "Технология текстильной промышленности" серии "Известия вузов", руководствоваться следующими правилами.

1. Редакция принимает только статьи, содержащие оригинальный материал, соответствующий профилю журнала, нигде не опубликованные и не переданные в редакции других изданий. В статье должно быть представлено четкое изложение полученных автором результатов без повторения данных в тексте статьи, таблицах и рисунках.

2. Статьи, написанные от руки, оформленные небрежно и не имеющие необходимых сопроводительных документов (см. п. 7), не рассматриваются.

Вопрос об опубликовании статьи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала и ее решение является окончательным.

3. В редакцию представляются два экземпляра статьи. Объем статей с учетом таблиц не должен превышать 6 страниц текста, который располагается на одной стороне листа писчей бумаги белого цвета формата А4 (210×297 мм). Размер шрифта основного текста 12. Поля могут быть произвольными, но не менее 15 мм. Текст необходимо печатать через два интервала. К бумажному варианту статьи должен быть приложен идентичный вариант на электронном носителе. Текстовый редактор Word (формат *.doc, *.rtf), редактор формул Microsoft Equation, графический редактор Adobe Photoshop (формат *.psd, *.bmp, *.jpg).

4. Получить информацию по оформлению статей и списка литературы к ним можно на сайте журнала.

5. Чертежи, графики, структурные формулы выполнять по правилам ГОСТа "Единая система конструкторской документации" чисто и четко в двух экземплярах (формата не более 13х18 см с учетом последующего полиграфического уменьшения в 2...2,5 раза), надписи и обозначения должны быть четкими и понятными. На обороте рисунка указывать его номер и название; "верх" и "низ" рисунка. Название рисунка и все обозначения должны вноситься в текст статьи. Фотографии (тоновые рисунки) принимаются только на глянцевой бумаге (без глянцеваания) формата не менее 9х12 см (с учетом последующего уменьшения). Не принимаются рисунки, выполненные от руки, небрежно, карандашом или шариковой ручкой.

Все рисунки помещать в конце статьи на отдельных листах (не вставляя их в текст) и сопровождать описью с указанием их номеров и названий. Количество рисунков в статье не должно превышать четырех.

6. В начале статьи (над ее названием) проставлять индекс Универсальной десятичной классификации (УДК). Под заголовком указать инициалы, фамилии авторов и полное название института (организации), в котором работают авторы, адрес электронной почты (E-mail). Далее следует расположить аннотацию на русском языке, отражающую основное содержание статьи, не более 10 строк, а после нее – основной текст статьи. Если в статье есть таблицы, то их заголовки следует вносить в текст. Статья должна заканчиваться конкретными выводами.

7. К статье прилагать следующие документы:

а) сопроводительное письмо с перечнем всех документов, направляемых в редакцию, с указанием организации, где проведена описываемая работа, а также места работы, должности, ученой степени и ученого звания, фамилии, имени и отчества автора (авторов), точного домашнего адреса и адреса для переписки, номеров служебного и домашнего телефонов, E-mail;

б) заверенную выписку из протокола заседания кафедры, рассмотревшего направляемую статью. В выписке должны содержаться рекомендации кафедры к публикации в журнале, а также полное (без сокращений) наименование кафедры. К статье должны быть приложены документы, подтверждающие возможность ее открытого опубликования;

в) аннотации статей на русском и английском языках; ключевые слова к статье;

г) пристатейный библиографический список литературы, который должен быть оформлен: 1) на русском языке, 2) русскоязычный список в романском алфавите (латинице), 3) на английском языке;

д) название статьи, фамилию и инициалы автора (авторов), место работы и должность на английском языке.

8. Плата с аспирантов дневной формы обучения, выступающих единым автором работы, за публикацию статьи не взимается.

9. С целью ускорения публикаций статей переписку, связанную с исправлениями материалов, желательно осуществлять по электронной почте: E-mail: ttp@ivgpru.com.

* * *

Редакция обращает внимание авторов на необходимость соблюдения изложенных правил, что ускоряет прохождение статьи в производство, сокращает время ее напечатания и способствует уменьшению ошибок и опечаток.

Статьи, отклоненные от публикации, не возвращаются.

Авторский гонорар не выплачивается.

РЕДАКЦИЯ