

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

№ 1 (391)
2021

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.п.с.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 01.02.2021. Подписано в печать 26.02.2021. Формат 60x84 1/8. Бум. кн.-журн. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 22,32; Усл. кр.-отт. 22,57. Заказ 3937.

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

**№ 1 (391)
2021**

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://tp.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. KORNILOVA (*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 01.02.2021.
Signed for printing on 26.02.2021. Format 60×84 1/8. Book/journal paper. Offset printing. 22.32 conventional sheets.
22.57 conventional. Order 3937.

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 338.27

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_5

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

**INTEGRAL ASSESSMENT OF THE ECONOMIC POTENTIAL
OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

С.М. СТЕПАНОВА, Л.В. ГОЛОЩАПОВА, С.Н. СПЕРАНСКИЙ, Н.Е. ПАХОТИН

S.M. STEPANOVA, L.V. GOLOSHCHAPOVA, S.N. SPERANSKIY, N.E. PAKHOTIN

**(Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова (Ивановский филиал),
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov (Ivanovo branch),
Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: stepanova.swet@yandex.ru; goloschapova.LV@rea.ru; spira1971@mail.ru; 89106837228@mail.ru

В работе предложена параметрическая модель экономического потенциала промышленного предприятия с учетом следующих составляющих: финансовой, фондовой, кадровой, материальной, информационной, инновационной, энергетической. На примере текстильного предприятия ООО "Веста" была проведена оценка экономического потенциала с использованием разработанных комплексного и интегральных показателей. По результатам оценки сделаны выводы по эффективности использования как отдельных составляющих экономического потенциала, так и экономического потенциала в целом.

The paper proposes a parametric model of the economic potential of an industrial enterprise, taking into account the following components: financial, stock, personnel, material, information, innovation, energy. On the example of the textile enterprise LLC "Vesta" the assessment of economic potential with the use of the developed complex and integrated indicators was carried out. According to the results of the evaluation, conclusions are drawn on the effectiveness of the use of both individual components of the economic potential and the economic potential as a whole.

Ключевые слова: экономический потенциал, промышленное предприятие, ресурсные составляющие экономического потенциала, комплексный показатель, структурный анализ.

Keywords: economic potential, industrial enterprise, resource components of economic potential, complex indicator, structural analysis.

В настоящее время в условиях быстроизменяющейся внешней среды все более актуализируется необходимость разработки такого инструментария оценки экономического потенциала, который позволит оперативно определять внутренние возможности и выявлять проблемы предприятия в целях повышения эффективности его деятельности. Это особенно важно для высоко конкурентного рынка производства и реализации швейных изделий в Ивановской области.

Понятно, что анализ экономического потенциала (ЭП) предприятия должен носить комплексный характер, позволяющий дать не только обобщающую оценку эффективности его использования, но и сформировать достоверную информационную базу для прогнозирования и принятия управленческих решений с целью повышения устойчивости организации. Известно, что ЭП любого предприятия определяется объемом и качеством имеющихся у него ресурсов: численностью занятых и их профессиональными способностями; основными производственными и непроизводственными фондами; оборотными фондами; материальными запасами; финансовыми и нематериальными ресурсами; инновационными и другими возможностями [1]. В сумме это образует совокупную хозяйственную способность предприятия, которая по сравнению с аналогичными параметрами другого предприятия отражает уровень его экономической устойчивости. Для интегральной оценки ЭП предлагается использовать уточненные формулы основных показателей финансового анализа, позволяющие оценивать движение, текущее состояние и эффективность использования каждой из составляющих экономического потенциала предприятия: фондовой, финансовой, материальной, кадровой, информационной, инновационной и энергетической.

Фондовая составляющая ЭП формируется как результат использования всех ресурсов, и ее оценка характеризует эффективность финансово-хозяйственной деятельности предприятия [2]. Анализ финансовой составляющей ЭП позволяет выби-

рать основные направления активизации деятельности предприятия, а также выработать необходимую стратегию поведения, направленную на минимизацию потерь и финансового риска от вложений в данное предприятие. Материальная составляющая ЭП особенно важна, поскольку текстильные и швейные предприятия относятся к категории материалоемких производств. Кадровая составляющая ЭП, как одна из наиболее важных в условиях дефицита профессиональных работников, характеризуется количественным и качественным составом сотрудников, а также их способностью к перспективному развитию в соответствии с целями и задачами предприятия [3]. Эффективность принимаемых управленческих решений непосредственно зависит от полноты, качества используемой информации на любом уровне. В связи с этим необходимость оценки информационной составляющей ЭП не вызывает сомнений. В современных условиях успешная деятельность предприятий невозможна без инноваций. Рыночные условия развития экономики постоянно выдвигают требования не только количественных, но и качественных преобразований. Эти преобразования можно осуществлять, используя самую передовую технику, технологию, непрерывно развивая научно-исследовательскую базу в целях обеспечения высокого качества нововведений, что оценивается инновационной составляющей ЭП [4]. В последнее время в России резко увеличивается доля затрат на топливо и энергию в себестоимости промышленной продукции, поэтому без учета энергетической составляющей оценка ЭП будет недостаточна корректна и объективна.

Количественная оценка ЭП с использованием предлагаемой системы показателей проводилась на текстильном предприятии ООО "Веста", основным видом деятельности которого является производство и реализация швейных изделий. Результаты расчета показателей, оценивающих ЭП, представлены в табл. 1. Расчет средних показателей проводился с использованием формулы средней геометрической.

Т а б л и ц а 1

Составляющие ЭП	Код	Наименование показателя	Значения			
			2015 г.	2016 г.	2017 г.	
Фондовая	FoD	Показатели движения				
	FoD1	коэффициент обновления ОС	0,094	0,125	0,164	
	FoD2	коэффициент выбытия ОС	0,066	0,068	0,086	
	FoD3	коэффициент прироста ОС	0,032	0,062	0,085	
	Средние показатели			0,059	0,081	0,107
	FoS	Показатели текущего состояния				
	FoS1	коэффициент износа ОС	0,064	0,127	0,191	
	FoS2	коэффициент использования парка наличного оборудования	0,4	0,4	0,4	
	FoS3	коэффициент использования парка установленного оборудования	0,7	0,6	0,6	
	FoS4	коэффициент использования сданного в эксплуатацию оборудования	0,6	0,67	0,67	
	FoS5	коэффициент загрузки оборудования	0,97	0,97	0,97	
	FoS6	коэффициент экстенсивного использования оборудования	0,56	0,99	0,99	
	FoS7	коэффициент интенсивного использования оборудования	0,87	0,87	0,87	
	FoS8	коэффициент интегрального использования оборудования	0,49	0,86	0,86	
	Средние показатели			0,473	0,60	0,621
	FoE	Показатели эффективности использования				
	FoE1	фондоотдача	1,13	3,62	6,67	
	FoE2	рентабельность внеоборотных активов	0,063	0,059	0,056	
	Средние показатели			0,267	0,462	0,611
	Финансовая	FeD	Показатели движения			
FeD1		коэффициент оборачиваемости оборотных активов	0,61	1,73	2,51	
FeD2		коэффициент оборачиваемости собственного капитала	69,26	59,77	49,75	
Средние показатели			6,500	10,169	11,175	
FeS		Показатели текущего состояния				
FeS1		коэффициент текущей ликвидности	6,82	4,04	3,62	
FeS2		коэффициент срочной ликвидности	1,78	1,49	2,29	
FeS3		коэффициент абсолютной ликвидности	0,061	0,036	0,045	
FeS4		коэффициент финансовой независимости	0,01	0,019	0,036	
Средние показатели			0,293	0,253	0,340	
FeE		Показатели эффективности использования				
FeE1		рентабельность собственного капитала	3,95	1,52	0,59	
FeE2		рентабельность активов по чистой прибыли	0,02	0,19	0,015	
Средние показатели			0,281	0,537	0,094	
Материальная	MD	Показатели движения				
	MD1	коэффициент неравномерности поставок	33,44	33,53	33,85	
	MD2	коэффициент оборачиваемости материальных средств	0,94	2,85	6,83	
	Средние показатели			5,607	9,776	15,205
	MS	Показатели текущего состояния				
	MS1	коэффициент обеспеченности материальными ресурсами фактически	0,86	0,77	0,92	
	MS2	коэффициент обеспеченности материальными ресурсами по плану	0,89	0,92	0,96	
	MS3	материалоемкость продукции	0,79	0,29	0,198	
	Средние показатели			0,846	0,590	0,560
	ME	Показатели эффективности использования				
ME	рентабельность продукции	0,05	0,02	0,01		

Кадровая	HD	Показатели движения			
	HD1	коэффициент оборота по приему	0,5	0,75	0,5
	HD2	коэффициент оборота по увольнению	0,25	0,25	0,5
	HD3	коэффициент текучести кадров	0,25	0,25	0,5
	HD4	коэффициент постоянства кадров	1,75	1,75	1,75
	Средние показатели		0,484	0,535	0,684
	HS	Показатели текущего состояния			
	HS1	удельный вес руководителей в общей численности работающих	0,14	0,28	0,36
	HS2	удельный вес специалистов в общей численности работающих	0,28	0,14	0,21
	HS3	удельный вес работников в общей численности работающих	0,64	0,57	0,43
	HS4	удельный вес сотрудников с высшим образованием в общей численности работающих	0,43	0,43	0,43
	HS5	удельный вес сотрудников с профессиональным образованием в общей численности работающих	0,57	0,57	0,57
	Средние показатели		0,361	0,353	0,380
	HE	Показатели эффективности использования			
HE	рентабельность персонала	2,296	2,187	1,071	
Информационная	IfD	Показатели движения			
	IfD1	скорость отклика на запрашиваемую информацию	0,8	0,82	0,9
	IfD2	скорость обмена информацией между подразделениями	0,7	0,76	0,88
	Средние показатели		0,748	0,789	0,890
	IfS	Показатели текущего состояния			
	IfS1	доступность к информационным ресурсам	0,74	0,76	0,84
	IfS2	своевременность информации	0,78	0,84	0,9
	Средние показатели		0,760	0,799	0,869
	IfE	Показатели эффективности использования			
	IfE	эффективность принятых решений от полученной (во время или не во время) информации	0,8	0,82	0,92
Инновационная	InS	Показатели текущего состояния			
	InS1	доля затрат на инновационные разработки в себестоимости продукции	0,021	0,02	0,015
	InS2	доля новой продукции в общем объеме товарооборота	0,15	0,1	0,14
	Средние показатели		0,056	0,045	0,046
	InE	Показатели эффективности использования			
	InE	эффективность инновационных разработок	2,49	0,89	0,58
Энергетическая	ES	Показатели текущего состояния			
	ES	доля затрат на электроэнергию в себестоимости	0,07	0,05	0,045
	EE	Показатели эффективности использования			
	EE	эффективность использования электроэнергии	0,75	0,36	0,17

Оценку ЭП предприятия предлагаем проводить с использованием комплексного показателя, характеризующего как в целом величину как ЭП, а также интегральных показателей, оценивающих отдельные ресурсные составляющие. Комплексный показатель ЭП рассчитывается по формуле:

$$КП = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \bar{I}_j}, \quad (1)$$

где \bar{I}_j – интегральный показатель j-х ресурсных составляющих.

Аналогично (по формуле средней геометрической) проводился расчет интегральных показателей, характеризующих отдельные ресурсные составляющие ЭП. Результаты расчета представлены в табл. 2 (показатели оценки ЭП ООО "Веста").

Таблица 2

Год	Интегральные показатели ресурсных составляющих							КП ЭП
	фондовая	финансовая	материальная	кадровая	информационная	инновационная	энергетическая	
2015	0,195	0,812	0,619	0,738	0,769	0,373	0,229	0,465
2016	0,282	1,114	0,487	0,745	0,803	0,200	0,134	0,423
2017	0,343	0,710	0,440	0,653	0,893	0,163	0,087	0,366

Анализ полученных данных показал, что уровень экономического потенциала снижается в основном за счет резкого ухудшения инновационной, энергетической и материальной составляющих. Фондовая и информационная составляющие имеют позитивную тенденцию роста. В 2017 г. произошло резкое снижение финансовой, материальной, инновационной и энергетической составляющих. Данная ситуация стала свидетельством нерационального исполь-

зования ресурсных составляющих ЭП. Предлагаемая параметрическая модель позволяет оценивать ЭП не только по его ресурсным составляющим, но и по показателям движения, состояния и эффективности его использования. Результаты расчетов интегральных показателей оценки составляющих ЭП представлены в табл. 3 (интегральные показатели оценки движения, состояния и эффективности использования ЭП).

Таблица 3

Год	Движение составляющих ЭП (I_1)	Текущее состояние составляющих ЭП (I_2)	Эффективность использования составляющих ЭП (I_3)
2010	0,948	0,385	0,537
2011	1,277	0,233	0,367
2012	1,614	0,260	0,247

Как видно, наиболее проблемным является движение ЭП, что негативно влияет на эффективность его использования.

ВЫВОДЫ

1. Разработана система показателей оценки экономического потенциала предприятия по отдельным ресурсным составляющим, позволяющая оценивать движение, состояние и эффективность использования ЭП. Предложена методика расчета интегральных показателей оценки составляющих ЭП, позволяющая выявить наиболее проблемные виды ресурсов, требующих первоочередного воздействия.

2. Применение разработанного комплексного и интегральных показателей оценки ЭП позволяет проводить как вертикальный (структурный), так и горизонтальный (временной) анализ уровня ЭП предприятия. Причем структурный анализ возможен как по ресурсным составляющим, так и по отдельным группам показателей

движения, состояния и эффективности использования ЭП.

3. Предлагаемый ресурсный подход комплексной оценки будет способствовать формированию достоверной информационной базы для принятия эффективных управленческих решений по развитию экономического потенциала промышленного предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанова С.М., Рогожина Н.Н. Управление экономическим потенциалом текстильного предприятия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 3. С. 7...12.
2. Степанова С.М., Ковалевский А.В. Параметрическая модель ресурсного портфеля организации // В сб.: Актуальные проблемы и тенденции развития экономики организаций в России: К 15-летию кафедры аудита и контроллинга МГУДТ. – М.: МГУДТ, 2016. С. 250...255.
3. Степанова С.М. Стратегическое управление социально-трудовым потоком Ивановского текстильно-швейного комплекса // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 6. С.5...9.

4. Уткин А.И., Степанова С.М. Влияние факторов инвестирования на динамику объема инвестиций в основной капитал предприятий Ивановской области в 2010-2016 гг. // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. – 2017, № 4. С. 126...137.

REFERENCES

1. Stepanova S.M., Rogozhina N.N. Upravlenie ekonomicheskimi potentsialom tekstil'nogo predpriyatiya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2011, № 3. S. 7...12.
2. Stepanova S.M., Kovalevskiy A.V. Parametricheskaya model' resursnogo portfelya organizatsii // V sb.: Aktual'nye problemy i tendentsii razvitiya ekonomiki organizatsiy v Rossii: K 15-letiyu kafedry audita i

kontrollinga MGUDT. – М.: MGUDT, 2016. S.250...255.

3. Stepanova S.M. Strategicheskoe upravlenie sotsial'no-trudovym potokom Ivanovskogo tekstil'no-shveyynogo kompleksa // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2011, № 6. S.5...9.

4. Utkin A.I., Stepanova S.M. Vliyanie faktorov investirovaniya na dinamiku ob"ema investitsiy v osnovnoy kapital predpriyatiy Ivanovskoy oblasti v 2010-2016 gg. // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Ekonomika. – 2017, № 4. S. 126...137.

Рекомендована кафедрой экономики и прикладной информатики РЭУ имени Г.В. Плеханова (Ивановский филиал). Поступила 19.11.18.

УДК 338.512(045)
DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_10

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ШВЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

THE MAIN FACTORS OF EFFICIENCY OF DESIGNING BUSINESS PROCESSES IN THE GARMENT INDUSTRY

В.В. ЗЕМСКОВ, В.И. ПРАСОЛОВ

V.V. ZEMSKOV, V.I. PRASOLOV

(Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации)

(Financial University under the Government of the Russian Federation)

E- mail: VVZemskov@fa.ru; VIPrasolov@fa.ru

В статье рассмотрена одна из главных проблем для любого хозяйствующего субъекта – правильная организация системы управления рисками на основе риск-ориентированного подхода на предприятиях текстильной промышленности. Авторы обосновали вывод, что проектирование риск-ориентированного подхода осуществляется на основе интеграции системы управления рисками с ключевыми бизнес-процессами швейного производства, такими как процессы раскроя, вырубki, нанесения вышивки и, конечно, с учетом использования функций планирования, внутреннего контроля и инструментов риск-анализа.

The article deals with one of the main problems for any business entity – the correct organization of risk management system based on the risk-based approach in the textile industry. The authors justified the conclusion that the design of risk-based approach is based on the integration of risk management system with key business processes of garment production, such as cutting, cutting, embroidery, and

of course, taking into account the use of planning functions, internal control and risk analysis tools.

Ключевые слова: бизнес-процессы, проектирование бизнес-процессов, риск-ориентированный подход, производственная деятельность, устойчивое развитие.

Keywords: business processes, business process design, risk-based approach, production activities, sustainable development.

В условиях действия негативных факторов как в виде рисков глобализации национальных экономик, так и внутренних – низкое качество организации бизнес-процессов, влияющих на эффективность хозяйственного процесса в швейном производстве, задача достижения устойчивого развития текстильной промышленности России на длительную перспективу становится проблематичной.

Следует отметить, что бизнес-процессы присутствуют во всех сферах хозяйственной деятельности любого хозяйствующего субъекта. Так, Дж.Харингтон под процессом понимает "...последовательность взаимосвязанных работ, имеющих своей целью потребление входов процесса и их преобразование в выходы, требующиеся внутренним или внешним потребителям, сопровождаемая созданием добавленной стоимости" [3]. Как видим из приведенного определения, основной сутью бизнес-процесса является получение добавленной стоимости, которую можно получить за счет снижения издержек производства, повышения производительности труда и, конечно, за счет рациональной организации бизнес-процессов.

Как показывает опыт высокоразвитых стран, основным драйвером роста, влияющим на эффективное и результативное ведение хозяйственной деятельности, выступает рациональная организация бизнес-процессов, соответствующая установленным целям на основании внедрения риск-ориентированного подхода. Воздействие рациональной организации бизнес-процессов на эффективность хозяйственной деятельности швейного производства состоит из следующих аспектов:

- эффективное использование потенциала конкурентного преимущества текстильной промышленности;

- снижение непроизводительных потерь при использовании жизненного цикла продукции;

- повышение ликвидности предприятий текстильной промышленности и, как следствие, повышение финансовой устойчивости этих предприятий.

В целях достижения этих аспектов для менеджмента предприятий текстильной промышленности возникает актуальная задача проектирования бизнес-процессов на основе интеграции системы управления рисками с ключевыми бизнес-процессами. В рамках данной статьи авторы под проектированием бизнес-процессов понимают рациональную организацию технологии производства, сочетающую в себе стратегию достижения целей на основе грамотной расстановки рабочей силы, размещения производственного оборудования в соответствии с производственным циклом и минимизации непроизводительных потерь.

В процессе осуществления хозяйственной деятельности предприятий текстильной промышленности периодически могут возникать различные рискованные ситуации, которые существенно влияют на формирование добавленной стоимости. Возникает неуправляемая вариация, к индикаторам оценки которой следует отнести изменчивость структуры во времени. Как показывает практика, основными риск-факторами вариаций признаются неточности, погрешности и иные ошибки, имеющие место в работе структурного подразделения швейного предприятия. В связи с этим возникают отклонения от планируемых результатов бизнес-процессов, что может быть

следствием специфики финансово-хозяйственной деятельности организации в целом и влияния внешних факторов.

На рис.1 приведен алгоритм проектирования бизнес-процесса "Вышивание" с указанием необходимых действий для поддержания непрерывности текстильного произ-

водства. В частности, входом для данного бизнес-процесса является шифр 38, означающий получение делюжек в процессе выполнения бизнес-процесса "Вырубка", выходом – бизнес-процесс 50 "Заготовительный процесс для формирования комплектующих деталей".

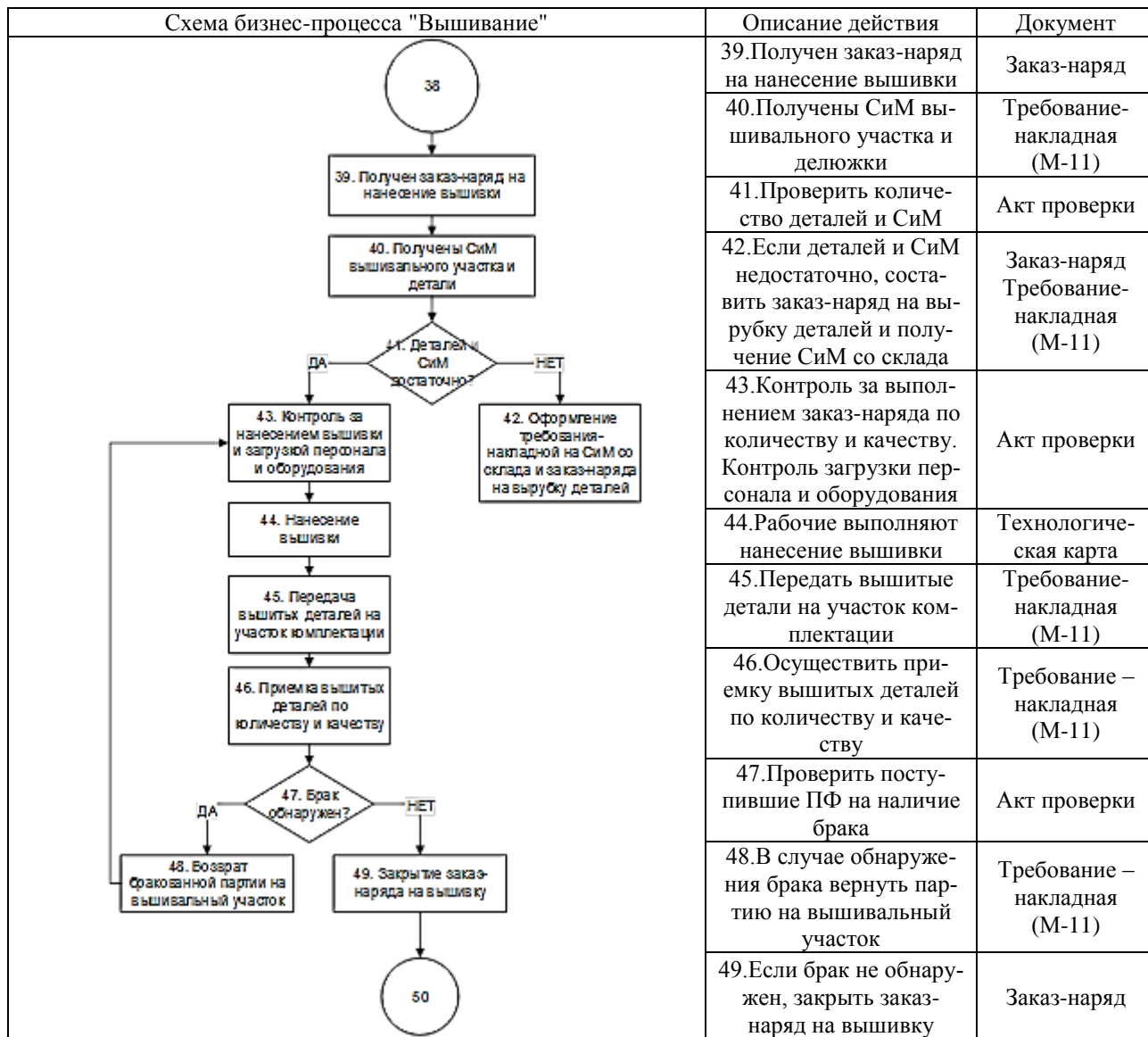


Рис. 1

Требования по сокращению сроков изготовления швейной продукции влекут за собой необходимость совершенствования подготовки производства, представляющей комплекс взаимосвязанных экономических, конструкторско-технологических, инженерно-расчетных, дизайнерских, организационных работ и управленческих решений,

обеспечивающих полный производственный цикл, включающий и проектирование, и производство, и реализацию нового товара с высокой рентабельностью. Решение всех производственных задач полностью зависит от согласованности и эффективности деятельности подразделений и сотрудников предприятия.

При пошиве изделий, как правило, применяют нормативно-техническую документацию и государственные стандарты: ГОСТ 12807–67 "Изделия швейные, стежки, строчки и швы". ГОСТ Р 55306–2012 "Технология швейного производства. Термины и определения". ГОСТ 20521–75 "Технология швейного производства. Термины и определения". Технические условия на изготовление модели разрабатываются на основе действующей нормативно-технической документации, включающей следующие государственные стандарты: ГОСТ 15467–70 "Качество продукции. Термины". ГОСТ 17341–71 "Качество продукции. Основные понятия управления. Термины и

определения". ГОСТ 23948 "Изделия швейные. Правила приемки".

Следует заметить, что в данном виде деятельности качество оборудования и количество выполняемых на нем операций тесно связаны с качеством пошива и, следовательно, оказывают существенное влияние на количество заказов. При этом существенное влияние на эффективность швейного производства оказывают различные риски. Рассмотрим наиболее актуальные, на взгляд авторов, риски швейного производства (рис. 2 – основные риски швейного производства).



Рис. 2

Более подробно риски рассмотрены в статье Н.Н. Масюк и Е.В. Чебыкина [1].

В рассматриваемой модели каждый бизнес-процесс обладает присущим только ему набором рисков. Для обобщения всего производственного цикла на первом этапе обобщение и анализ рисков проводится для каждого бизнес-процесса отдельно. На втором этапе с помощью SWOT-анализа проводится описание процесса и определяются его основные риски (угрозы). Для более детального анализа могут проводиться исследования рисков подпроцессов или отдельных операций. Наиболее целесообразно в этих целях использовать риск-ориентированный подход, состоящий из идентификации факторов риска, описание риска, по-

иска вариантов снижения возможных последствий для бизнес-процессов.

В рамках риск-ориентированного подхода планируются и осуществляются следующие виды работ:

- выявление риска и составление перечня рисков с учетом влияния на процесс;
- рейтингование процессов по степени их рискованности;
- выделение наиболее рискованных процессов и разработка превентивных мер снижения возможных последствий.

Для формирования матрицы рисков выявляют все факторы, влияющие на реализацию процессов, и подробно их описывают. В матрице отражается название процесса, его владелец, факторы его рисков и степень

влияния на достижение плановых целей. Следующим шагом необходимо оценить вероятность наступления каждого выявленного и описанного риска. Как правило, данная процедура выполняется императивным путем, методом опроса или мозгового штурма владельцев и исполнителей процессов с непременным учетом опыта работы в данном направлении, данных аналогичных производств и здравого смысла аналитика. Вероятность оценивается, как правило, по 3-бальной шкале: высокая, средняя, низкая.

Рейтингование процессов по степени их рискованности проводится на основе разработанного для каждого процесса перечня рисков. Таким образом, все процессы выстраиваются в последовательность от уровня рисков и негативных последствий их реализации.

Основные риски, связанные с эффективностью бизнес-процессов, требуют внимания к следующим факторам производственной деятельности.

Во-первых, это квалификация персонала, занятого в швейном производстве. От уровня профессиональной подготовки во многом зависит и раскрой, и пошив изделия. Применение цифровых технологий при массовом раскрое, вышивке и пошиве значительно снижают риски брака.

Во-вторых, это технологические факторы, связанные с качеством оборудования, его изношенностью, периодичностью выхода из строя. Бесспорно, важным фактором в системе управления швейным производством является оценка эффективности риск-менеджмента производственной системы организации.

В-третьих, нельзя забывать о внешних факторах и прежде всего потребителе швейной продукции, его запросах на современную качественную одежду и своевременную оплату полученного товара. Хорошо известно высокое социальное значение текстильной промышленности, вырабатывающей необходимые для личного пользования различные виды товаров, вследствие чего формируется один из важнейших компонентов материального благосостояния людей.

В завершении мы должны упомянуть о социальном факторе, который прямым образом сказывается на эффективности швейного производства. Ухудшение жизненного уровня населения приводит к снижению покупательной способности, что ведет к затовариванию складов и снижению товарооборота.

Возрастающие потребности в сокращении сроков изготовления швейной продукции требуют повышения качества подготовки производства, представляющее взаимодействие дизайнерских, конструкторско-технологических, инженерно-расчетных, экономических, организационных работ и управленческих решений. Принятая комплексность позволяет обеспечить своевременное и качественное внедрение нового продукта в производство и доведение его до потребителя с запланированной рентабельностью, что является важным показателем риск-ориентированного подхода. От согласованного взаимодействия сотрудников структурных подразделений во многом зависит своевременность и качество выполненных работ, следовательно, эффективность деятельности предприятия.

В настоящее время наибольшая эффективность производства достигается при переходе от функциональной к процессно-ориентированной модели управления, при которой вся деятельность предприятия представляется как совокупность бизнес-процессов и управление предприятием сводится к управлению его бизнес-процессами. Анализ бизнес-процессов лежит в основе любого исследования, направленного на их оптимизацию [4].

В Ы В О Д Ы

В качестве вывода можем констатировать, что риск-ориентированная модель анализа и оптимизации бизнес-процессов в швейном производстве позволяет наиболее полно выявлять существенные факторы риска и вырабатывать мероприятия по снижению негативных последствий реализации рискованных ситуаций, препятствующих достижению целей организации. В этих це-

лях необходимо внедрить риск-ориентированный подход управления рисками в общую систему управления предприятием с учетом специфики его бизнес-процессов и подпроцессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Масюк Н.Н., Чебыкин Е.В. Анализ и классификация рисков текстильного предприятия с целью построения рискового профиля // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.– 2007, № 1. С.23...28.

2. Ловкова Е.С., Аничкина О.А., Илюхина С.С. Развитие малого предпринимательства в текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 3. С.73...76.

3. Харингтон Дж. Совершенство управления процессами. – М.: Стандарты и качество, 2007.

4. Зарипова Р.Х., Алексеенко И.В. Моделирование бизнес-процесса подготовки швейного производства на малых предприятиях // Фундаментальные исследования. – 2017, № 10-3. С. 575...580; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41878> (дата обращения: 18.09.2019).

5. Авдийский В.И., Капустина Н.В., Филимонова Н.М. Оценка эффективности управления рисками производственных процессов в целях повышения экономической безопасности предприятий текстильной

промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 5. С.73...76.

REFERENCES

1. Masyuk N.N., Chebykin E.V. Analiz i klassifikatsiya riskov tekstil'nogo predpriyatiya s tsel'yu postroeniya riskovogo profilya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.– 2007, № 1. S.23...28.

2. Lovkova E.S., Anichkina O.A., Ilyukhina S.S. Razvitie malogo predprinimatel'stva v tekstil'noy promyshlennosti // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 3. S.73...76.

3. Kharrington Dzh. Sovershenstvo upravleniya protsessami. – М.: Standarty i kachestvo, 2007.

4. Zaripova R.Kh., Alekseenko I.V. Modelirovaniye biznes-protssesa podgotovki shvey'nogo proizvodstva na mal'khn predpriyatiyakh // Fundamental'nye issledovaniya. – 2017, № 10-3. S. 575...580; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41878> (data obrashcheniya: 18.09.2019).

5. Avdiyskiy V.I., Kapustina N.V., Filimonova N.M. Otsenka effektivnosti upravleniya riskami proizvodstvennykh protsessov v tselyakh povysheniya ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatiy tekstil'noy promyshlennosti // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, № 5. S.73...76.

Рекомендована кафедрой анализа рисков и экономической безопасности. Поступила 14.01.20.

УДК 338

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_15

"ЦИФРОВИЗАЦИЯ" ТЕКСТИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ЭКОНОМИКИ

"DIGITALIZATION" OF THE TEXTILE INDUSTRY OF ECONOMY

Ю.А. ДМИТРИЕВ, А.Б. ПЕТРУХИН, К.В. ХАРТАНОВИЧ, М.С. ЧИСТЯКОВ

YU.A.DMITRIEV, A.B. PETRUKHIN, K.V. KHARTANOVICH, M.S. CHISTYAKOV

**(Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Ивановский государственный политехнический университет,
Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации (Владимирский филиал),
Владимирский филиал Финансового университета при Правительстве Российской Федерации)**

**(Vladimir State University named after Alexander and Nikolai Stoletovs,
Ivanovo State Polytechnical University,
Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Vladimir branch),
Financial University under the Government of the Russian Federation (Vladimir branch))**

E-mail: m77-nb@bk.ru; ttp@ivgpu.com; kohart@yandex.ru; shreyamax@mail.ru

В статье рассматриваются инновационные аспекты сущности базовых понятий современных динамических процессов в экономике в целом и в ее текстильной отрасли, в частности. Показаны взгляды как ряда ученых-эко-

номистов, так и органов государственной власти на сложные проблемы становления цифровой экономики. Рассмотрены разные позиции по вопросу ее плюсов и минусов. Представлена позиция авторов на сам феномен "цифровой экономики" и в теоретическом отношении, и в практическом разрезе современной рыночной экономики. Раскрыты объективные условия становления четвертого технологического уклада. Отмечена важность эффективного опережающего цифрового рывка в российской экономической жизни.

The article discusses the innovative aspects of the essence of the basic concepts of modern dynamic processes in the economy as a whole and in its textile industry in particular. Shown are the views of both a number of academic economists and public authorities on the complex problems of the digital economy. Different positions on its pluses and minuses are considered. The authors' position on the phenomenon of the "digital economy" is presented both in theoretical terms and in practical terms of the modern market economy. The objective conditions for the formation of the fourth technological structure are disclosed. The importance of an effective leading digital breakthrough in Russian economic life is noted.

Ключевые слова: экономика, легкая промышленность, текстильная промышленность, цифровая экономика, цифровизация, электронное правительство.

Keywords: economy, light industry, textile industry, digital economy, digitalization, electronic government.

XXI век ворвался в жизнь человечества принципиальными качественными экономическими инновациями. Идет бурное становление новых социально-экономических и политических отношений как в России, так и в глобальном мире. Ускоренные темпы научно-технологических процессов стали мировой реальностью.

Многочисленные вызовы нашего времени нуждаются в научном осмыслении. Наука должна "прокладывать" путь практике хозяйственной жизни общества. Она призвана показывать ей перспективы, указывать, как к ним более эффективно двигаться.

Важнейшим вызовом современности является переход всех субъектов экономических рыночных отношений (государство, предприниматели, домашние хозяйства) с "аналоговой" на "цифровую" технологию производства экономического продукта. Это основной тренд глобальной экономической динамики.

Российская хозяйственная система не только не должна отставать от вектора мирового развития, она должна его опережать. По мнению Президента нашего государства, нужен опережающий экономический рывок, связанный с цифровизацией всех сторон жизни общества – начиная от бытовых, кончая глобальными.

Экономически рывок просто необходим в условиях усиливающейся глобальной конкуренции. Мы должны его сделать, чтобы не остаться на "мировых задворках".

Экономическая теория призвана помочь социуму осмыслить динамику вхождения в новые условия научно-технического прогресса. На сегодняшний день цифровизация экономических отношений протекает более активно на практическом уровне. Наука, особенно содержание учебной литературы, отстает от требований времени.

В лучшем случае встречается описание происходящих процессов. Очень мало аналитики и прогнозов.

На сегодняшний день активным драйвером является государство. Особенно на федеральном уровне.

Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин в ежегодном послании Федеральному Собранию РФ весной 2018 года акцентировал внимание российского общества на том, что "...ближайшие годы будут решающими для будущего страны. Сегодняшние решения определяют судьбу России на десятилетия вперед. Скорость технологических измерений нарастает стремительно. И тот, кто использует эту технологическую волну, вырвется далеко вперед. Изменения в мире носят цивилизационный характер. И масштаб этого вызова требует от нас такого же сильного ответа. Мы готовы дать такой ответ" [1], [2].

Актуальность настоящего исследования определена научной и практической необходимостью анализа перспектив развития цифровой экономики. Вольное экономическое общество России определяет три основных направления развития нашей экономики.

1. Новая индустриализация (четвертой технологической революции).
2. Цифровая экономика.
3. Политика импортозамещения.

В процессе дискуссии в ВЭО, состоявшейся в 2017 г., на тему "Технологические компоненты новой экономики" вице-президент ВЭО, член-корреспондент РАН, д.э.н., профессор Д.Е. Сорокин вспоминал, что каких только прилагательных к основному понятию – "ЭКОНОМИКА" – за последние десятилетия не использовали в политическом и экономическом лексиконе.

Дмитрий Евгеньевич вспоминал, что еще в 2001 г. был выдвинут лозунг перехода на "инновационную экономику" в 2007-2010 гг. "Потом мы сформулировали приоритет модернизации экономики. Сейчас мы сформулировали приоритет цифровой экономики..., хотя переход на цифровую экономику каждый по-разному понимает, но не исключено, что именно тот сдвиг в производительных силах..., который, может быть, изменит систему всех социально-экономических отношений" [2, с.251...252].

Президент ВЭО России, директор Института нового индустриального развития им. С.Ю. Витте, первый вице-президент Союза промышленников и предпринимателей Сергей Дмитриевич Бодрунов поставил ряд принципиальных вопросов:

"Какую экономику мы цифровизируем? Сырьевую экономику? Или какую экономику мы собираемся ставить на цифру? Не будет ли способствовать наша цифровизация ускорению развития по сырьевому вектору? Надо ли начинать нам цифровизацию сейчас, когда нет новой экономической модели и нет четких ориентиров в экономике, что же мы хотим получить вообще в целом?... При смене приоритетов мы рискуем потерять то, что есть, а нового не приобрести" [2, с.241...242].

Член Президиума ВЭО России, первый заместитель председателя Комитета Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации по экономической политике, председатель временной комиссии Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации по мониторингу экономического развития, д.э.н., профессор Сергей Вячеславович Калашников отметил, что будущее цифровой экономики – это глобальная идея. Он утверждал, что "...мы в своем непонимании того, что будет завтра, непонимании того, что мы находимся на кардинальном переломе, не одиноки. Абсолютное большинство стран, даже наиболее активно финансирующих различные современные информационные технологические производства, экономически, то есть в экономической теории не осмыслило эти процессы. И мы тут на равных находимся с ними, и мы не глупее других..." [2, с.243...244].

"Цифровая" экономика – это инструмент, технология, средство достижения главной экономической цели – обеспечение роста благосостояния граждан. Другого смысла быть не может.

Как известно, основными вопросами экономики являются – что, как и для кого производить? "Цифровая" экономика отвечает на вопрос КАК производить. Очевидно, что это технология производства. Точнее, четвертый технологический способ

производства в истории мировой экономики.

Таким образом, "цифровая" экономика – это часть экономических отношений, строящихся на основе Интернета, сотовой связи, информационно-коммуникационных технологиях. Доктор экономических наук, член-корреспондент РАН Владимир Иванов обобщает: "Цифровая экономика – это виртуальная среда, дополняющая нашу реальность" [4].

Цифровая экономика динамично развивается. Активно внедряются новые формы организации производства и потребления экономических благ, связанных с применением информационно-коммуникационных технологий. Однако новые технологии имеют как позитивы, так и негативы.

В нашей стране основным драйвером внедрения цифровых технологий является государство. Деятельность всех структур власти и управления на всех территориальных уровнях уже в значительной степени оцифрована. Так, например, на федеральном (Электронное правительство с порталом Государственных услуг), на региональном и муниципальном (все структурные подразделения имеют свои странички в Интернете).

Инструментом совершенствования государственного управления стала система электронного правительства. "Под электронным правительством понимается новая форма организации деятельности органов государственной власти, обеспечивающая за счет широкого применения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) качественно новый уровень оперативности и удобства получения гражданами и организациями государственных услуг и информации о результатах деятельности государственных органов" [3, с.77].

Указом Президента РФ была утверждена "Стратегия развития информационного общества РФ на 2017-2030 годы". В данном документе фигурирует следующее определение: "Цифровая экономика – это хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка

больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг" [4].

Таким образом, цифровая экономика – это деятельность социума в условиях компьютерной технологической революции. Все участники рыночных отношений уже вовлечены в новую технологическую данность. Так, государство имеет Электронное правительство, порталы, сайты в Интернете, предприниматели активно внедряют IT-технологии в процесс производства и сбыта экономического продукта, домашние хозяйства не мыслят существования без множества гаджетов, электронной коммерции, финансовых операций, различных коммуникаций через Интернет.

Из всех перечисленных цифровых инноваций самым основным является предпринимательский сектор, так как он является базой рыночной экономики, основным производителем экономического продукта. И поскольку наша страна находится на стадии индустриального развития, то промышленность – основа ВВП.

Рассмотрим проблемы цифровизации промышленности на примере текстильной ее отрасли.

Текстильную промышленность сегодня надо рассматривать как экономический мультипликатор. Она является совокупностью межрегиональных, межотраслевых, отраслевых и международных комплексов производства и сбыта экономического продукта, который востребован на любых рынках. Потребительский рынок нуждается в тканях, одежде, обуви, галантерейных изделиях, головных уборах, предметах бытового назначения и т.д. Практически все отрасли промышленности не обходятся без текстильных изделий.

Современное серийное производство основано на конвейерной технологии, которому необходимы транспортные ленты. Если в прошлом веке за конвейером стояли сотни людей, то цифровая экономика заме-

нила их на автоматы и роботы, управляемые компьютерными программами.

Производство тканей и изделий из них тоже значительно оцифровалось. Однако без человека производство все равно не обойдется.

Цифровизация предъявила повышенные требования к управленческому и производственному персоналу текстильных предприятий. Поэтому подготовка, переподготовка, повышение квалификации кадров текстильной промышленности должны стать основным приоритетом отраслевого менеджмента.

Производственному менеджменту нужно активнее осваивать цифровые технологии переработки ресурсов. Сегодня многие предприятия отрасли нуждаются в квалифицированных производственниках, соответствующих требованиям времени.

Текстильная отрасль сегодня нуждается в значительной модернизации основных фондов. Необходимы большие инвестиции в инновационное производственное оборудование.

Важным аспектом цифровизации текстильной промышленности является активизация научно-исследовательских работ. Нужно научное сопровождение всех процессов внедрения информационных технологий в текстильное производство.

Научно-практическое сотрудничество касается не только самого процесса текстильного производства. Оно необходимо на всех этапах рыночной деятельности текстильных предприятий.

Начать надо с этапа определения ресурсной базы. Известны затруднения с природными ресурсами. Так, например, сокращаются посевные площади льна и падает урожайность.

Испытывает ресурсные трудности хлопчатобумажное производство. К тому же обострилась внутренняя и внешняя (особенно китайский текстиль) конкуренция на рынке изделий из хлопка.

Аналогичные проблемы наблюдаются и в шерстяной подотрасли текстильной промышленности. Опять же ресурсы, технологии, кадры, основные фонды. По ресурсам – уменьшилось поголовье скота, ухудши-

лось качество шерсти, не хватает кадров и т.д.

Шелковое производство испытывает те же трудности. Упало качество шелка. Необходимо технологическое перевооружение.

Таким образом, ученым соответствующих областей знаний необходимо обратить внимание на ресурсы текстильной промышленности, особенно в условиях импортозамещения. Нужно привлечь всех аграриев.

В условиях цифровой экономики необходимы научные разработки в целях создания искусственных ресурсов для текстильной промышленности, так как натуральных материалов все равно не хватит. Причем их свойства и качество необходимо приближать к натуральным.

Химической промышленности надо поработать над качеством и количеством красителей для текстильных изделий. Сегодня наблюдается определенная зависимость от их импорта.

Маркетологам нужно активнее работать по сбыту текстильной продукции. Есть уже интересные маркетинговые ходы ивановских маркетологов на владимирском потребительском рынке.

Так, открыт большой торговый центр ивановского текстиля, который пользуется большой популярностью у владимирцев. Практически во всех профильных магазинах представлена ивановская продукция. Организована бесплатная постоянная автобусная доставка населения в Иваново на ивановские мануфактуры.

Таким образом, наблюдаются определенные цифровые сдвиги. Однако много еще нерешенных проблем. Есть надежда на их решение при государственной поддержке отечественной текстильной промышленности.

Правительством Российской Федерации утверждена Программа "Цифровая экономика Российской Федерации". Распоряжение Правительства РФ от 28 июля 2017 года № 1632-р.

Президент Российской Федерации В.В. Путин выразил уверенность в успехе процесса цифровизации экономики. Он заявил, что в реализации Программы "...будем опи-

раться на российские компании, научные, исследовательские и инжиниринговые центры страны. Это вопрос национальной безопасности и технологической независимости России, в полном смысле этого слова – нашего будущего" [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Основное содержание послания Президента РФ Владимира Путина Федеральному собранию. – М.: Российская газета, 1 марта 2018 г.
2. Беседы об экономике. Научно-популярное издание. – М.: ВЭО России, 2017.
3. *Плахина М.А., Кузнецова И.А.* Нормативно-правовая база электронного правительства Российской Федерации. // Ученые записки. – № 4 (20). Том 1.
4. Указ Президента РФ от 09.05.2017 г. № 203 "О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы" // Собрание законодательства РФ. – 2017, № 20. Ст. 2901.
5. Послание Президента РФ В.В. Путина Федеральному Собранию РФ от 1 декабря 2016 г. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/53379>.

REFERENCES

1. Osnovnoe sodержanie poslaniya Prezidenta RF Vladimira Putina Federal'nomu sobraniyu. – M.: Rossiyskaya gazeta, 1 marta 2018 g.
2. Besedy ob ekonomike. Nauchno-populyarnoe izdanie. – M.: VEO Rossii, 2017.
3. Plakhina M.A., Kuznetsova I.A. Normativno-pravovaya baza elektronnoho pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii. // Uchenye zapiski. – № 4 (20). Tom 1.
4. Ukaz Prezidenta RF ot 09.05.2017 g. № 203 "O Strategii razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossiyskoy Federatsii na 2017-2030 gody" // Sobranie zakonodatel'stva RF. – 2017, № 20. St. 2901.
5. Poslanie Prezidenta RF V.V. Putina Federal'nomu Sobraniyu RF ot 1 dekabrya 2016 g. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/53379>.

Рекомендована кафедрой менеджмента и маркетинга ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Поступила 14.01.20.

УДК 677.075:339.9

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_21

**ОСОБЕННОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ И КОДИРОВАНИЯ
ТРИКОТАЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ТАМОЖЕННЫХ ЦЕЛЕЙ**

**FEATURES OF CLASSIFICATION AND CODING
OF KNITTED GOODS FOR CUSTOMS PURPOSES**

О.Н. ЗУЕВА, Г.Г. ЧЕРЕНЦОВА, Е.В. РАГОЗИННИКОВА, Н.М. БЕЛЯЕВ

O.N. ZUEVA, G.G. CHERENTSOVA, E.V. RAGOZINNIKOVA, N.M. BELYAEV

(Уральский государственный экономический университет)

(Ural State University of Economics)

E-mail: zuevaon@mail.ru; g.cherencova@yandex.ru; 9122802976@mail.ru

В статье рассмотрены проблемы классификации и кодирования трикотажных изделий на примере чулочно-носочных товаров. Выявлены основные классификационные признаки, представлены результаты идентификационной экспертизы. Даны рекомендации по улучшению таможенного контроля трикотажных изделий.

The article deals with the problems of classification and coding of knitwear by the example of hosiery. The main classification features are revealed; the results of the identification expertise are presented. Recommendations are given for improving the customs control of knitted goods.

Ключевые слова: чулочно-носочные изделия, классификация, идентификация, классификационные признаки, таможенный контроль, экспертиза.

Keywords: hosiery, classification, identification, classification characteristics, customs control, examination.

В настоящее время таможенные органы сталкиваются с проблемами классификации и кодирования товаров, а именно отнесения товаров к той или иной группе ТН ВЭД Евразийского экономического союза (далее – ТН ВЭД ЕАЭС). От правильной классификации товаров зависит установле-

ние их стоимости и обоснованное начисление и взимание таможенных платежей. Такая проблема возникает с чулочно-носочными и верхними трикотажными изделиями. Чулочно-носочные изделия относятся к товарам первой необходимости, спрос на которые существует постоянно. Импорт в

Россию чулочно-носочных изделий за период – март 2016-2017 гг. составил 400 млн. дол. США, что в общей структуре трикотажных товаров составляет 13,9%. В структуре импорта по странам на первом месте Китай (36%), на втором месте Бангладеш (13%) [6].

Одним из способов усиления таможенного контроля за товарами, перемещаемыми через таможенную границу, является таможенная экспертиза, а также конкретизация терминологии и описания отдельных видов товаров.

При проведении таможенных экспертиз практически всегда возникает необходимость определения волокнистого состава материала, то есть видов и количественных соотношений текстильных волокон, использованных для выработки данного материала [2].

Признаками классификации текстильных товаров являются особенности строения, происхождение материалов или способ выработки, химический состав, а иногда и область их использования.

В ходе исследования была проведена идентификационная экспертиза чулочно-носочных изделий (колготок женских), перемещаемых через таможенную границу Евразийского экономического союза, в целях определения волокнистого состава, количественных параметров материала (линейной плотности) и подтверждения правильности заявления кода товара по ТН

ВЭД ЕАЭС. Чулочно-носочные изделия из эластичных нитей нашли большее применение и использование, чем изделия из капроновых нитей. По сравнению с капроновыми нитями эластичные капроновые нити не имеют нежелательного блеска стекловидного характера [1].

В настоящее время успешно применяется ряд методов распознавания волокон: органолептические, в том числе определения вида волокна по характерным признакам при горении, микроскопические, химические. Горение волокна и оценивание характеристик пламени и выделяющихся дымов являются классическим методом идентификации класса волокон, например, целлюлозного, белкового, синтетического и т.д. [4].

Для выявления отдельных классификационных признаков используются также гравиметрический метод и инфракрасная спектроскопия.

Исследования показателей чулочно-носочных изделий были проведены на базе Экспертно-криминалистической службы – филиала Центрального экспертно-криминалистического таможенного управления Екатеринбург и Единого лабораторного комплекса Уральского государственного экономического университета.

Сравнительный анализ волокнистого состава и линейной плотности исследуемых образцов представлен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Образец	Волокнистый состав				Линейная плотность	
	по маркировке		по результатам исследования		по маркировке	по результатам исследования
	вид волокна	удельный вес, %	вид волокна	удельный вес, %		
Колготки женские «SISI be free»	полиамид	88	полиамид	84	40 den	40 den
	эластан	12	эластан	16	44 dtex	42 dtex
Колготки женские «Pierre Cardin winter-lana»	шерсть	42	акрил	79	250 den	279 den
	акрил	38	полиамид	15	275 dtex	310 dtex
	полиамид эластан	12	эластан	6		
Колготки женские «Pierre Cardin»	хлопок	54	хлопок	78	250 den	270 den
	полиамид	38	полиамид	16	275 dtex	298 dtex
	эластан	12	эластан	6		

Таким образом, при сопоставлении информации, указанной на маркировке исследуемых образцов, и результатов исследования можно сделать вывод о недостоверности

данных маркировки. Таким образом, при сопоставлении информации, указанной на маркировке исследуемых образцов, и результатов исследования можно сделать вывод о недостоверности

сти сведений, нанесенных на упаковку и заявленных таможенным органам, в отношении волокнистого состава и линейной плотности образцов.

На основании выявленных в ходе исследований классификационных признаков образцы женских колготок, выработанных на круглочулочных автоматах с определенным волокнистым составом и линейной плотностью, можно отнести к товарной позиции - 6115 Колготы, чулки, гольфы, носки и подследники и прочие чулочно-носочные изделия, включая компрессионные чулочно-носочные изделия с распределенным давлением, трикотажные машинного или ручного вязания [5].

В ходе таможенного контроля также возникают вопросы, связанные с идентификацией и дальнейшей классификацией таких трикотажных изделий, как колготы, легинсы (чулочно-носочные изделия) и брюки (верхние изделия). Следует учитывать специфичность терминов, используемых в ТН ВЭД и нормативных документах.

Рассмотрим отличительные черты между этими товарами.

Колготки – чулочно-носочное изделие, покрывающее нижнюю часть туловища и ноги, каждую в отдельности, включая стопы [3].

Легинсы – чулочно-носочное изделие для женщин и девочек, покрывающее нижнюю часть туловища и ноги, каждую в отдельности, до стоп, колен или части голени [3].

Брюки – швейная или трикотажная верхняя поясная одежда, покрывающая нижнюю часть туловища и ноги, каждую в отдельности, полностью или частично [3].

Все изделия существенно отличаются друг от друга, но есть и схожие свойства:

- размер, параметрами для определения размера колготок, легинсов, рост, вес и объем бедер. Размеры обозначаются: S (small) – маленький. M (middle) – средний. L (large) – большой, XL (extra large) – очень большой. Также по мировым стандартам приняты размеры от 1 до 6.

Колготки и легинсы схожи по следующим признакам: по растяжимости: конструктивно – плотно облегают нижнюю

часть туловища и ноги; в основном носят в сочетании с другим предметом одежды (платьем, юбкой или даже брюками из джинсовой ткани).

Различия между колготками и легинсами:

- материал, используемый для их изготовления (при изготовлении колготок используют комплексные и текстурированные полиамидные нити в сочетании с эластановыми нитями, что позволяет добиться повышения качества тонких колготок (с маленьким показателем линейной плотности)); линейная плотность: колготки несколько тоньше, чем легинсы, их линейная плотность варьируется в пределах от 6...15 den (супертонкие) до 60...300 den (плотные с хлопком, шерстью и микрофиброй). Легинсы производятся из более плотного материала, плотность от 150 до 350den; по конструкции – длина ножки у легинсов меньше, чем у колготок. Колготки закрывают ногу от кончиков пальцев до пояса, легинсы обычно заканчиваются на лодыжках и, как правило, не охватывают низ ног. Легинсы могут быть разной длины, до лодыжки или колена.

Рассмотрим отличительные особенности брюк из трикотажного материала: брюки не имеют линейной плотности: при изготовлении брюк могут быть использованы как ткань, так и трикотаж; степень облегания достаточно высокая: по волокнистому составу они могут быть как из натуральных, так и из синтетических и искусственных волокон; конструктивно – плотно облегают ногу, могут иметь застёжки-молнии, карманы, другие дополнительные элементы кроя и отделки изделия.

Таким образом, при отнесении таможенными органами изделий к колготкам, легинсам (чулочно-носочным изделиям) или к брюкам (верхним изделиям) следует учитывать следующие признаки: степень облегания (у легинсов она выше); наличие такого показателя, как линейная плотность. У брюк данный показатель отсутствует, но они более плотные по сравнению с легинсами; растяжимость (у легинсов она больше); размерная характеристика (у легинсов при указании размера используются

цифровые и буквенные обозначения, для определения размера учитывается рост и вес, у брюк – рост и объем бедер); наличие декоративных элементов и фурнитуры (у легинсов может быть только декоративная отстрочка, у брюк могут быть дополнительные декоративные элементы, такие как карманы, молнии, стразы, вышивка и т.д.); брюки всегда имеют застежку-молнию (кнопки или пуговицы), на легинсах такой застежки нет; пояс это главное отличие брюк от легинсов. Пояс у брюк жесткий, держит форму, рассчитан под ремень, врезной, не растягивается. Пояс у легинсов простой, эластичный, легко тянется до нужных размеров, чаще всего с высокой талией; боковые швы у легинсов отсутствуют полностью, у брюк традиционные простроченные швы.

В результате проведенного анализа и для упрощения определения кода ТН ВЭД таможенными органами можно предложить более полное определение для чулочно-носочных изделий.

Легинсы – эластичное чулочно-носочное изделие женское или для детей, плотно облегающего фасона, отличающиеся отсутствием декоративных элементов (карманов и застежек), без носочно-пяточной части и выполнены из более плотных материалов.

Брюки – швейная или трикотажная поясная одежда, покрывающая нижнюю часть туловища и ноги, каждую в отдельности. Обязательное наличие застежки-молнии, жесткого пояса, держащего форму, рассчитанный под ремень, с боковыми простроченными швами. ‘

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что причинами возникновения проблем при классификации трикотажных товаров являются неполное или недостоверное описание товаров в предъявляемых при осуществлении таможенных операций документах; незнание классификационных признаков, по которым чулочно-носочные товары должны быть отнесены к определенной группе в соответствии с ТН ВЭД ЕАЭС; в ряде случаев, необходимость проведения таможенной экспертизы.

2. Для улучшения таможенного контроля исследуемой группы товаров необходимо совершенствование нормативной базы; принятие предварительных решений по классификации товаров; усиление взаимодействия с экспертно-криминалистическими службами в части идентификации и классификации товаров; улучшением обеспечения таможенных органов и участников ВЭД информационно-справочными материалами по классификации товаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мкоян Р.С. Качественные показатели образцов чулочно-носочных изделий после отделочных операций [Электронный ресурс] // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №1. Режим доступа: http://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2016/04/36_1_24.pdf свободный

2. Рагозинникова Е.В., Черенцова Г.Г. Особенности идентификации текстильных товаров для таможенных целей // Сб. ст. IV Международной конференции в области товароведения и экспертизы товаров: Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров: (2 декабря 2015 года) / редкол.: (отв. ред.) [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т., ЗАО «Университетская книга», Курск, 2015. 302 с., - Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24801486>

3. Изделия швейные и трикотажные. Термины и определения [Электронный ресурс]: ГОСТ Р 54393-2011 - Режим доступа: http://standartgost.ru/g/ГОСТ_54393-2011

4. Материалы текстильные. Определение состава. Идентификация волокон. [Электронный ресурс]: ГОСТ Р 56561-2015/ISO/TR 11827:2012 - Режим доступа: <http://gost.donses.ru/cgi-bin/ecat/ecat.cgi?b=0&i=60671&c2=3&pr=1>

5. Альфа-софт. Все для декларантов и участников ВЭД: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.alta.ru/taksa-online/>

6. Экспорт и импорт России по товарам и странам [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://ru-stat.eom/date-M201603-201703/RU/import/world/1_161

REFERENCES

1. Mkoyan P.S. Kachestvennyye pokazateli obraztsov chulochno-nosochnykh izdeliy posle otdelochnykh operatsiy [Elektronnyy resurs] // Izv.vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №1. Rezhim dostupa: http://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2016/04/36_1_24.pdf svobodnyy

2. Ragozinnikova E.V., Cherentsova G.G. Osobennosti identifikatsii tekstil'nykh tovarov dlya tamozhennykh tseley // Sb. st. IV Mezhdunarodnoy konferentsii v

oblasti tovarovedeniya i ekspertizy tovarov: Problemy identifikatsii, kachestva i konkurentosposobnosti potrebitel'skikh tovarov: (2 dekabrya 2015 goda) / redkol.: (otv. red.) [i dr.]; Yugo-Zap. gos. un-t., ZAO «Universitetskaya kniga», Kursk, 2015. 302 s., - Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24801486>

3. Izdeliya shveynye i trikotazhnye. Terminy i opredeleniya [Elektronnyy resurs]: GOST R 54393-2011- Rezhim dostupa: <http://standartgost.ru/g/roct/54393-2011>

4. Materialy tekstil'nye. Opredelenie sostava. Identifikatsiya volokon. [Elektronnyy resurs]: GOST R 56561-2015/ISO/TR 11827:2012 - Rezhim dostupa:

<http://gost.donses.ru/cgi-bin/ecat/ecat.cgi?b=0&i=60671&c2=:3&pr=1>

5. Al'fa-soft. Vse dlya deklarantov i uchastnikov VED: [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.alta.ru/taksa-online/>

6. Eksport i import Rossii po tovaram i stranam [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <http://ru-stat.com/date-M201603-201703/RU/import/world/161>

Рекомендована кафедрой товароведения и экспертизы. Поступила 29.05.18.

УДК 677.529

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_25

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ НЕТКАНЫХ ИГЛОПРОБИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

FORECASTING THE AIR PERMEABILITY OF NONWAVE PLAINSHIP MATERIALS

A.B. ДЕДОВ, Н.В. ЧЕРНОУСОВА

A.V. DEDOV, N.V. CHERNOUSOVA

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

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

E-mail: dedovs55@rambler.ru

Исследованы условия применения линейного закона д'Арси для прогнозирования скорости фильтрации воздуха в полотна различной толщины, поверхностной и объемной плотности. Использование линейного закона определяется поверхностной плотностью полотен и толщиной полотен. Определены граничные условия применения линейного закона.

The conditions of application of the linear d'Arcy law for predicting the rate of air filtration in canvases of various thickness, surface and bulk density are investigated. The use of linear law is determined by the surface density of the canvases and the thickness of the canvases. The boundary conditions for the application of the linear law are determined.

Ключевые слова: нетканое полотно, воздухопроницаемость, пористость.

Keywords: nonwoven fabric, air permeability, porosity.

Прогнозирование воздухопроницаемости полотен при варьировании перепада давления обеспечивает линейный закон д'Арси,

предложенный для оценки влияния напора на скорость фильтрации воды в зерновых слоях [1]. Модель для прогнозирования

скорости фильтрации воздуха в нетканых полотнах имеет вид:

$$w = K \frac{\Delta P}{\eta d}, \quad (1)$$

где w – скорость фильтрации воздуха, м/с; K – коэффициент проницаемости, м²; ΔP – перепад давления воздуха, Па; d – толщина полотна, м; η – вязкость воздуха, равная $1,8 \cdot 10^{-5}$ Па·с.

В качестве объектов исследования использовали нетканые иглопробивные полотна, изготовленные из полиэфирного волокна линейной плотности 0,33 текс.

Структурные характеристики полотен представлены в табл. 1 (структурные параметры нетканых полотен и характеристики процесса фильтрации воздуха в полотнах и многослойных материалах, где F – поверхностная плотность полотна и многослойных материалов; ρ – объемная плотность полотна; d – толщина полотна; ΔP_K – критический перепад давления воздуха, больше которого экспериментальные значения скорости фильтрации воздуха отклоняются от линейной зависимости w – ΔP ; K – коэффициент проницаемости полотен и многослойных материалов при фильтрации воздуха; Re – число Рейнольдца).

Т а б л и ц а 1

F , кг/м ²	ρ , кг/м ³	$d \cdot 10^3$, м	ΔP_K , Па	$K \cdot 10^{10}$, м ²	Re
0,503	113,8	4,4	50	7,9	32,5
0,497	128,8	3,9	70	5,6	44,6
0,463	149,9	3,1	90	3,7	82,8
0,242	121,1	2,0	45	6,5	54,0
0,484	121,1	4,0	120	6,3	120,0
0,726	121,1	6,0	—*	5,4	—
0,968	121,1	8,0	—*	5,8	—
0,415	118,6	3,5	75	5,8	70,0
0,830	118,6	7,0	—*	6,3	—
1,245	118,6	10,5	—*	6,8	—
1,660	118,6	14,0	—*	6,6	—

П р и м е ч а н и е. * – линейная зависимость w – ΔP выполняется до максимального перепада давления, равного в условиях эксперимента 160 Па.

Скорость фильтрации воздуха определяли по ГОСТ 12.088–77 на приборе FF-

12/А (Венгрия) при перепаде давления воздуха до 160 Па с шагом изменения – 20 Па.

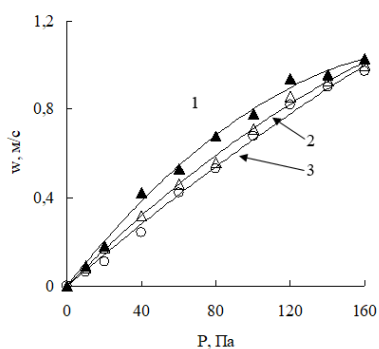


Рис. 1

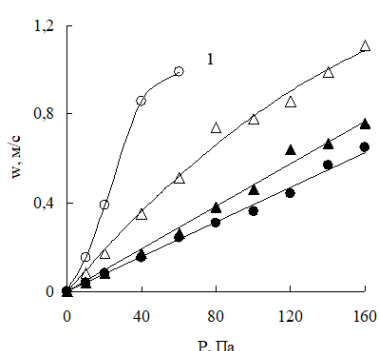


Рис. 2

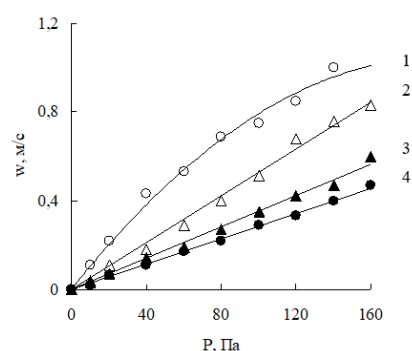


Рис. 3

Из зависимостей w – ΔP для многослойных материалов (рис. 2 и 3) следует, что применение линейного закона д'Арси зави-

сит от поверхностной плотности. Для полотен поверхностной плотности больше 0,700 кг/м² или толщиной более 6 мм зависимо-

сти $w-\Delta P$ имеют линейный вид до предельного в условиях эксперимента перепада давления, равного 160 Па. Для полотен и многослойных материалов поверхностной плотности менее $0,700 \text{ кг/м}^2$ линейный вид зависимостей $w-\Delta P$ сохраняется до критического перепада давления, больше которого экспериментальные показатели скорости фильтрации отклоняются от линейной зависимости (рис. 1...3: рис. 1 – зависимости скорости фильтрации от перепада давления для полотен поверхностной плотности от 0,463 до 0,503 кг/м^2 и объемной плотности 113,8 (1), 128,8 (2) и 149,9 (3) кг/м^3 , и для полотен постоянной объемной плотности, но отличающихся толщиной и поверхностной плотностью, что достигали сложением образцов полотен между собой (табл. 1, рис. 2 – зависимости скорости фильтрации от перепада давления для полотен объемной плотности 121 кг/м^3 , но различной поверхностной плотности 0,242 (1), 0,484 (2) 0,726 (3) 0,968 (4) кг/м^2) и рис. 3 – зависимости скорости фильтрации от перепада давления для полотен объемной плотности 118,6 кг/м^3 и поверхностной плотности 0,415 (1), 0,830 (2), 1,245 (3) и 1,670 (4) кг/м^2).). Показатели критического перепада давления воздуха для полотен и многослойных материалов представлены в табл. 1.

Для полотен поверхностной плотности 0,463...0,503 кг/м^2 критический перепад давления зависит от объемной плотности, возрастание которой приводит к увеличению критического перепада давления (табл. 1, рис.1).

Для определения режима течения воздуха в порах полотна и многослойных материалов использовали подход, связанный с расчетом числа Рейнольдса (Re) из выражения [2]:

$$Re = \frac{\rho_B w_K d_B}{\eta}, \quad (2)$$

где w_K – критическая скорость фильтрации, м/с, при которой экспериментальные показатели отклоняются от линейных зависимостей $w-\Delta P$ (рис.1...3); d_B – диаметр полиэфирных волокон линейной плотности 0,33 текс, равный $2 \cdot 10^{-5}$ м; ρ – плотность воз-

духа в порах полотен при критическом перепаде давления, кг/м^3 , которую рассчитывали из выражения:

$$\rho_B = \frac{1,2 \Delta P_K}{\varepsilon}, \quad (3)$$

где ΔP_K – критический перепад давления, Па; $1,2 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха при атмосферном давлении; ε – коэффициент пористости нетканого полотна, отн.ед.

Рассчитанные значения Re представлены в табл. 1.

Согласно [3...6] переход от ламинарного к турбулентному режиму течения соответствует условию $Re > 2300$. Полученные значения Re (табл. 1) показывают, что при $P > \Delta P_K$ или $w > w_K$ ламинарный режим течения воздуха в порах полотен и многослойных материалов сохраняется, что ограничивает объяснение отклонения экспериментальных результатов от линейной зависимости $w-\Delta P$ изменением режима течения воздуха. Кроме того, изменение режима течения не объясняет линейные зависимости $w-\Delta P$ многослойных материалов, полученных сложением между собой полотен, для которых при $P > \Delta P_K$ наблюдается отклонение экспериментальных результатов от линейной зависимости $w-\Delta P$ (рис. 2 – зависимости 3,4 и рис. 3 – зависимости 2...4).

ВЫВОДЫ

1. Применение линейного закона д'Арси зависит от поверхностной плотности нетканых иглопробивных материалов и при поверхностной плотности более $0,700 \text{ кг/м}^2$ не зависит от объемной плотности и толщины полотен.

2. При поверхностной плотности менее $0,700 \text{ кг/м}^2$ линейный закон д'Арси применяется до определенного перепада давления, который зависит от толщины, объемной и поверхностной плотности и устанавливается экспериментально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейдеггер А.Э. Физика течения жидкостей через пористые среды. – Ижевск, 2008.

2. Lawrence C.A., Lia P. Relation of Structure, Properties and Performance of Fibrous Media for Gas Filtration // Chem. Eng. Technol. – V.29, №8, 2006. P.957...967.

3. Rawal A. An cross-plane permeability model for needle-punched nonwoven structures// J. of the Textile Institute. – V.46, №6, 2006. P.527...532.

4. Дедов А.В. Применение нелинейного закона Дарси для прогнозирования фильтрации воздуха в иглопробивных нетканых материалах // Пласт. массы. – 2013, №1. С.42...44.

5. Дедов А.В. Оценка воздухопроницаемости иглопробивных материалов // Хим. волокна. – 2006, №3. С. 31...33.

6. Дедов А.В. Влияние пористой структуры нетканых иглопробивных материалов на их проницаемость // Материаловедение. – 2012, №3. С. 33...36.

REFERENCES

1. Sheydegger A.E. Fizika techeniya zhidkostey cherez poristye sredy. – Izhevsk, 2008.

2. Lawrence C.A., Lia P. Relation of Structure, Properties and Performance of Fibrous Media for Gas Filtration // Chem. Eng. Technol. – V.29, №8, 2006. P.957...967.

3. Rawal A. An cross-plane permeability model for needle-punched nonwoven structures// J. of the Textile Institute. – V.46, №6, 2006. P.527...532.

4. Dedov A.V. Primenenie nelineynogo zakona Darsi dlya prognozirovaniya fil'tratsii vozdukha v igloprobivnykh netkanykh materialakh // Plast. massy. – 2013, №1. S.42...44.

5. Dedov A.V. Otsenka vozdukhopronitsaemosti igloprobivnykh materialov // Khim. volokna. – 2006, №3. S. 31...33.

6. Dedov A.V. Vliyanie poristoy struktury netkanykh igloprobivnykh materialov na ikh pronitsaemost' // Materialovedenie. – 2012, №3. S. 33...36.

Рекомендована кафедрой химии и технологии полимерных материалов и нанокomпозитов. Поступила 03.02.20.

УДК 677.017

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_28

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОГНЕСТОЙКИХ ТКАНЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ПОСТАВЩИКОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

CORPARATIVE ASSESSMENT OF FIRE-RESISTANT FABRICS QUALITY FROM DIFFERENT SUPPLIRRS OF AND GAS COMPLEX

Ю.С. ШУСТОВ, Н.П. ЛЕБЕДЕВА

YU.S. SHUSTOV, N.P. LEBEDEVA

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

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

E-mail: 6145263@mail.ru

Проведен анализ тканей, применяемых для изготовления одежды для нефтегазового комплекса. Рассмотрены структурные, механические, масло- и нефтеотталкивающие свойства.

Analysis performed for fabrics using for wear production for oil and gas complex. Structural, mechanical, oil and oil repellent characteristics were reviewed.

Ключевые слова: ткани, показатели физико-механических свойств, устойчивость окраски.

Keywords: fabrics, physical and mechanical characteristics, coloring sustainability.

Рабочая одежда создана и предназначена для формирования работникам комфортных условий труда. Это важное условие при выполнении производственных заданий. Потому качественная униформа призвана защищать сотрудника от воздействия вредных факторов. Нефтеперерабатывающая отрасль является одной из экономически наиболее значимых составляющих топливно-энергетического комплекса любого государства. Поэтому для обеспечения защиты персонала нефтеперерабатывающих заводов необходимы: тщательный

анализ условий труда, производственной среды и технологического процесса, системное исследование и выявление комплекса опасных производственных факторов, воздействующих на персонал, работающий в нефтеперерабатывающей отрасли.

В качестве объектов исследования были выбраны четыре образца тканей отечественного и импортного производства, разного волокнистого состава и переплетения (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Название ткани	Frall Strong 260A RS	Flame Fort 200A RS	REF.930 VALEN-T YELLOW HV	MEGATEC 300N HI-VIS
Образец	1	2	3	4
Производитель	ООО "Чайковская текстильная компания"	ООО "Чайковская текстильная компания"	"LENARD", Испания	"Concordia Textiles NV", Бельгия
Массовая доля волокон, %	95 Хлопок +5 ПА + антистатическая нить	100 Арамид + антистатическая нить	52 Хлопок +22 Мод-акрил+19 Вискоза+6 Параарамид+1 Антистатическая нить	55 ПЭ + 45 Хлопок + антистатическая нить
Переплетение	Комбинированное	Саржа ломаная	Атлас 5/2	Саржа 2/2
Вид отделки	ТоНМВО	ТоНМВО	Огнестойкая нефтемасловодоотталкивающая	Hydrofoil-Flame Retardant
Ширина, см	150,0	150,0	165,0	157,0
Поверхностная плотность, г/м ²	265,0	190,0	295,0	312,0
Число нитей на 10 см:				
- основа	390	260	484	394
- уток	190	212	263	208

НМВО – нефтемасловодоотталкивающая отделка препятствует проникновению воды, нефтепродуктов тяжелой фракции, не снижая паропроницаемости материала; То – огнезащитная пропитка. Благодаря огнезащитной пропитке ткань не плавится, не поддерживает горение при воздействии открытого огня и высоких температур, не тлеет после пребывания в пламени в течение 30 секунд.

Анализ полученных данных показывает, что ткани импортного производства имеют более высокую поверхностную плотность и плотность по основе и утку.

Приведенные материалы, используемые для изготовления специальной одежды, должны обладать высокой прочностью, стойкостью к истиранию и раздиру. В табл. 2 приведены данные, с указанием нормативных документов согласно ГОСТ [1], [2].

Т а б л и ц а 2

Номер образца		1	2	3	4
Разрывная нагрузка, Н	основа	1000	1230	1420	1380
	уток	650	1100	800	600
Раздирающая нагрузка, Н	основа	45	145	66	34
	уток	50	135	70	27
Стойкость к истиранию, циклы		4800	10000	4100	6680

Из табл. 2 видно, что наибольшей износостойкостью обладает ткань Flame Fort 200A RS производства ООО "Чайковская текстильная компания", также эта ткань обладает высокой разрывной и раздирающей нагрузкой. Это связано с тем, что ткань состоит из 100% арамида. На втором месте ткань MEGATEC 300N HI-VIS производ-

ства Бельгии, состоящая из 55% ПЭ + 45% хлопка.

Важным показателем, характеризующим рассматриваемые материалы, является их способность к противостоянию маслу- и нефтеотталкиванию, а также время остаточного горения и тления в первоначальном материале и после 10 стирок. (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Номер образца	1	2	3	4
Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	98	172	31	34
Водоотталкивание, усл. ед.:				
- первоначально	100	100	90	90
- после 10 стирок	90	90	70	80
Маслоотталкивание, балл:				
- первоначально	5	5	5	5
- после 10 стирок	5	5	5	0
Нефтеотталкивание, балл				
- первоначально	5	5	5	5
- после 10 стирок	5	5	5	4
Время остаточного горения, с:				
- первоначально	0	0	0	0
- после 10 стирок	0	0	0	0
Время остаточного тления, с:				
- первоначально	0	0	0	0
- после 10 стирок	0	0	0	0

Исходя из полученных данных, видно, что воздухопроницаемость и водоотталкивание высокие у тканей образцов 1 и 2.

В процессе эксплуатации рабочей одеж-

ды важно оценить устойчивость окраски рассматриваемых материалов к стиркам, поту, дистиллированной воде (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Наименование образца	1	2	3	4
Устойчивость окраски к стиркам	4/4	4/4	4/4	4/4
Устойчивость окраски к поту	4/4	4/4	4/4	4/4
Устойчивость окраски к дис. воде	4/4	4/4	4/3	4/3
Устойчивость окраски к трению:				
- сухое			4	4
- мокрое	-	-	3	3

Устойчивость окраски к стиркам и поту достаточно высокая у всех материалов.

В табл. 5 приведены значения антистатических свойств и содержания свободного формальдегида.

Т а б л и ц а 5

Наименование образца	1	2	3	4
Антистатические свойства, Ом	$1,2 \cdot 10^4$	$9,9 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^7$	$7,9 \cdot 10^{10}$
Содержание свободного формальдегида, мкг/г	69,7	16,7	9,1	117,4

Наибольшим содержанием свободного формальдегида обладает ткань 4, а наименьшей – ткань 3.

На основании полученных результатов можно констатировать, что наилучшими показателями в комплексе обладают ткани Frall Strong 260A RS, Flame Fort 200A RS производства ООО "Чайковская текстильная компания".

ЛИТЕРАТУРА

1. Костомаров С.А., Шустов Ю.С., Курденкова А.В., Валуев В.С., Бызова Е.В. Разработка алгоритма оценки качества тканей специального назначения для защиты от кислот и щелочей // Дизайн и технологии. – 2017, №61. С. 57...63.

2. Давыдов А.Ф., Шустов Ю.С., Курденкова А.В., Белкина С.Б. Техническая экспертиза продукции текстильной и легкой промышленности. – М.: ФОРУМ-Инфра-М, 2014.

3. Абрамов А.В., Родичева М.В., Ветрова Т.Н., Шустов Ю.С. Экспериментальный комплекс для оценки эксплуатационной эффективности пакетов материалов современной теплозащитной одежды // Дизайн и технологии. – 2019, №70. С. 65...71.

4. Лебедева Н.П., Шустов Ю.С. Зависимость устойчивости текстильных материалов к раздирающей нагрузке от вида заключительной отделки // Междунар. научн. конф., посвященная 110-летию А.Г. Севостьянова. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020.

5. Ганичева Г.А., Рыскулова Б.Р. Исследование физико-механических свойств материалов спецодежды для операторов по нефтедобыче // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №4. С.49...52.

6. Хамматова В.В., Разумеев К.Э. Исследование стойкости тканей специального назначения после

воздействия кислоты и нефти // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №3. С.45...47.

REFERENCES

1. Kostomarov S.A., Shustov Yu.S., Kurdenkova A.V., Valuev V.S., Byzova E.V. Razrabotka algoritma otsenki kachestva tkaney spetsial'nogo naznacheniya dlya zashchity ot kislot i shchelochey // Dizayn i tekhnologii. – 2017, №61. S. 57...63.

2. Davydov A.F., Shustov Yu.S., Kurdenkova A.V., Belkina S.B. Tekhnicheskaya ekspertiza produktsii tekstil'noy i legkoy promyshlennosti. – M.: FORUM-Infra-M, 2014.

3. Abramov A.V., Rodicheva M.V., Vetrova T.N., Shustov Yu.S. Eksperimental'nyy kompleks dlya otsenki ekspluatatsionnoy effektivnosti paketov materialov sovremennoy teplozashchitnoy odezhdyy // Dizayn i tekhnologii. – 2019, №70. S. 65...71.

4. Lebedeva N.P., Shustov Yu.S. Zavisimost' ustoychivosti tekstil'nykh materialov k razdirayushchey nagruzke ot vida zaklyuchitel'noy otdelki // Mezhdunar. nauchn. konf., posvyashchennaya 110-letnemu yubileyu A.G. Sevost'yanova. – M.: RGU im. A.N. Kosygina, 2020.

5. Ganicheva G.A., Ryskulova B.R. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv materialov spetsodezhdy dlya operatorov po neftedobyche // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №4. S.49...52.

6. Khammatova V.V., Razumeev K.E. Issledovanie stoykosti tkaney spetsial'nogo naznacheniya posle vozdeystviya kisloty i nefti // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, №3. S.45...47.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы. Поступила 01.04.20.

**УСТАНОВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ВЫПОЛНЯЕМЫХ ФУНКЦИЙ
ГЕОТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В СТРОИТЕЛЬНОМ ОБЪЕКТЕ
С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ НА НЕГО**

**ESTABLISHING THE RELATIONSHIP BETWEEN THE FUNCTIONS PERFORMED
GEOTEXTILE MATERIAL IN A CONSTRUCTION
OBJECT WITH TECHNOLOGICAL INFLUENCES ON IT**

М.А. ЛЫСОВА, Н.А. ГРУЗИНЦЕВА, Т.В. МОСКВИТИНА, Б.Н. ГУСЕВ

M.A. LYSOVA, N.A. GRUZINTSEVA, T.V. MOSKVITINA, B.N. GUSEV

**(Ивановский государственный химико-технологический университет,
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Ivanovo State of Chemistry and Technology University,
Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: lysova7@yandex.ru; mtsm@ivgpu.com

В статье с применением экспертных методов осуществляется установление взаимосвязи между выполняемыми функциями геосинтетического нетканого полотна, применяемого в нижних слоях дорожной одежды, и технологическими воздействиями, оказываемыми на него. Данная операция является ключевой при осуществлении процесса проектирования качества инновационных геосинтетических нетканых полотен с учетом существующих нормативных требований при строительстве автомобильных дорог.

The article uses expert methods to establish the relationship between the functions performed by geosynthetic non-woven fabric used in the lower layers of the roadway, and the technological effects exerted on it. This operation is a key part of the design process for the quality of innovative geosynthetic nonwovens taking into account existing regulatory requirements in construction.

Ключевые слова: геосинтетические материалы, показатели качества, экспертные методы.

Keywords: geosynthetic materials, quality indicators, expert methods.

Проектирование необходимого уровня качества (как совокупности эксплуатационных свойств) инновационной геосинтетической продукции, предназначенной для применения ее в конкретном строительном объекте, требует, в первую очередь, выявления всех возможных технологических воздействий на данную продукцию для обеспечения предусмотренными соответствующими нормативными документами базовых значений показателей качества, а также уровня ее долговечности [1...3]. Особенно эти требования относятся к строительным объектам, которые активно под-

вергаются производственной эксплуатации, а именно к автомобильным дорогам.

Технологические процессы строительства автомобильных дорог [4], [5] предусматривают использование в дорожной одежде нетканых (например, при разделении прослоек и в качестве дренажа) и тканых (например, при армировании грунтовых оснований) геотекстильных полотен. Ввиду того, что они выполняют неодинаковые функции в дорожной одежде, по этой причине будут подвергаться различным технологическим воздействиям.

В качестве объекта исследования выбрано геосинтетическое нетканое полотно (ГПТ-НТ) [5] марки "Геоманит ДТ 5с 300" с поверхностной плотностью 300 г/м², произведенное ООО "Нипромтекс" (г. Железногорск, Курская область) из полиэфирного волокна и предназначенное для строительства автомобильных дорог в основании дорожной одежды и дополнительных ее слоях.

Для решения выявленной проблемы использовали метод экспертных оценок [6], который основан на декомпозиции задачи и представлении ее в виде иерархической структуры, что позволяет включить в иерархию все решения и знания по решаемой проблеме, а также последующей обработке данных.

При определении необходимого количества экспертов использовали рекомендации [7], где число экспертов m (в случае, если оно заведомо меньше 30 человек) зависит от дисперсии возможных значений выборочной средней μ^2 и дисперсии генеральной совокупности σ^2 и определяется выражением:

$$m = \frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1. \quad (1)$$

В [7] приводятся рекомендуемые численные значения количества экспертов в составе рабочей группы, полученные из выражений (1) для ряда типовых значений отношения $\frac{\mu^2}{\sigma^2}$, обозначающего уровень значимости принимаемого решения. Поскольку в методе анализа иерархий для выражения уровня значимости используется отношение согласованности (ОС), значение

которого допустимо до 0,15, то получаем, что наиболее приемлемое количество экспертов в составе группы должно быть восемь человек.

В результате было выбрано и опрошено восемь экспертов из числа специалистов в области дорожного строительства, работающих на кафедре автомобильных дорог ИВГПУ.

При применении метода анализа иерархий на первом этапе исследуемая проблема представлена в виде иерархической структуры (рис. 1).

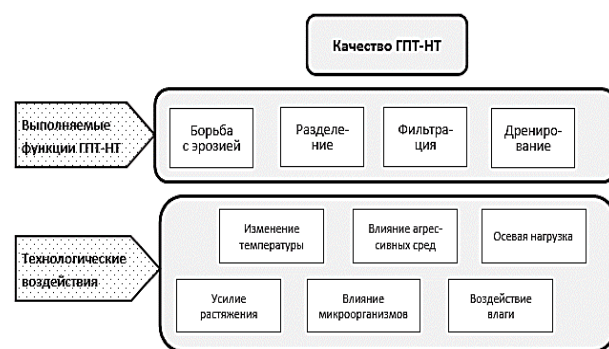


Рис. 1

Нулевой (верхний) уровень отражает общую цель исследования по проектированию качества ГПТ-НТ на основе выполняемых им функций. На первом уровне расположены функции геосинтетического материала, на втором – возможные технологические воздействия на него в дорожной одежде.

Вариантам в иерархическом представлении проблемы исследования соответствуют функции геотекстильного материала, а альтернативам – технологические воздействия. Функции и технологические воздействия (табл. 1) были выделены с использованием нормативной литературы [4], [5].

Т а б л и ц а 1

Функции	Технологические воздействия
Разделение Борьба с эрозией Фильтрация Дренажное	Воздействие влаги Изменение температуры Влияние микроорганизмов Влияние агрессивных сред Осевая нагрузка Усилие растяжения

На втором этапе метода анализа иерархий проводили установление приоритетов вариантов (функции) и альтернатив (технологические воздействия). С этой целью было составлено пять матриц парных сравнений (в табл. 2 представлен пример одной из матрицы парных сравнений для функции

"разделение"), в которых эксперты отмечали свои суждения о значимости одной альтернативы по сравнению с другой или одного варианта по сравнению с другим по отношению к их влиянию на общую для них характеристику.

Т а б л и ц а 2

Функция "разделение"	Воздействие влаги	Изменение температуры	Влияние микроорганизмов	Влияние агрессивных сред	Осевая нагрузка	Усилие растяжения
Воздействие влаги						
Изменение температуры						
Влияние микроорганизмов						
Влияние агрессивных сред						
Осевая нагрузка						
Усилие растяжения						

В каждой из таблиц эксперты заполняли только клетки над главной диагональю. Так как варианты и альтернативы сравниваются на уровне качественных характеристик, то

для оценки вариантов по этим критериям необходимо прибегнуть к какому-нибудь способу квантификации, например, к балльным оценкам в соответствии с табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Оценка	Смысл оценки
1	Одинаковая значимость
3	Слабое преобладание
5	Существенное преобладание
7	Очевидное или очень сильное преобладание
9	Абсолютное доминирование
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения
Обратные величины	Если эксперт отдает предпочтение второму критерию, то он пользуется обратными величинами

Сравнивая набор альтернатив (вариантов) друг с другом, получаем следующую матрицу суждений:

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \frac{1}{a_{13}} & \frac{1}{a_{23}} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \frac{1}{a_{3n}} & \dots & 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где a_{ij} – оценка, выставленная экспертом согласно табл. 3 при заполнении матрицы парных сравнений, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$.

С целью выявления относительной ценности каждого элемента вычисляем среднее геометрическое для каждой строки матрицы суждений:

$$\omega_i = \sqrt[n]{a_{i1} a_{i2} \dots a_{in}}. \quad (3)$$

Далее проводим нормализацию полученных чисел:

$$q_{2i}^k = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \quad i = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, n},$$

где k – номер матрицы; i – номер строки матрицы; (цифра 2 обозначает уровень матрицы в иерархической структуре).

А затем вычисляем приоритеты каждого варианта по формуле:

$$q_j = \sum_{i=1}^n q_{2j}^i q_{1i}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Метод анализа иерархий дает возможность осуществить оценку степени согласованности мнений экспертов. Для этого вычисляется оценка степени отклонения от согласованности. Когда такие отклонения превышают установленные пределы тем, кто проводит решение задачи, необходимо их пересмотреть. С этой целью определяют индекс согласованности и отношение согласованности. Индекс согласованности (ИС) в каждой матрице и для всей иерархии может быть выражен следующим способом:

- определяется сумма каждого j -го столбца матрицы суждений:

$$s_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad j = \overline{1, n};$$

- полученный результат (6) умножается на j -ю компоненту нормализованного вектора приоритетов q_2 , то есть сумму суждений первого столбца на первую компоненту, сумму суждений второго столбца – на вторую и т.д.:

$$p_j = s_j q_{2j}, \quad j = \overline{1, n};$$

- сумма чисел p_j отражает пропорциональность предпочтений, чем ближе эта величина к n (числу объектов и видов действия в матрице парных сравнений), тем более согласованы суждения:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n p_j;$$

- в итоге индекс согласованности (ИС) определяется по формуле:

$$\omega_1 = \sqrt[6]{1 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 3 \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5}} = 0,918; \dots \omega_6 = \sqrt[6]{5 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 1} = 3,093; \sum_{i=1}^6 \omega_i = 8,763.$$

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}. \quad (5)$$

Для определения того, насколько точно индекс согласованности ИС отражает согласованность суждений, его необходимо сравнить со случайным индексом (СИ) согласованности, который соответствует матрице со случайными суждениями, выбранными из шкалы, представленной в табл. 3, при условии равной вероятности выбора любого из приведенных чисел.

Для матрицы суждений шестого порядка значение индекса согласованности составляет 1,24 [7].

Отношение индекса согласованности ИС к среднему значению случайного индекса согласованности СИ называется отношением согласованности (ОС):

$$ОС = \frac{ИС}{СИ}. \quad (6)$$

Значение ОС меньше или равное 0,15 считается приемлемым, однако допустимо и значение до 0,2.

Используя свойство матриц парного сравнения

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n},$$

для табл. 2 получаем следующую матрицу парных сравнений:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 5 & 3 & 1/5 & 1/5 \\ 1 & 1 & 5 & 3 & 1/5 & 1/5 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/7 & 1/7 \\ 1/3 & 1/3 & 3 & 1 & 1/5 & 1/5 \\ 5 & 5 & 7 & 5 & 1 & 1 \\ 5 & 5 & 7 & 5 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

В дальнейшем вычисляем числа $\omega_i, i = \overline{1, 6}$ по формуле (3) и их сумму:

По формуле (4) проводим нормализа-

цию полученных чисел:

$$q_{21}^1 = 0,105; q_{22}^1 = 0,105; q_{23}^1 = 0,029; q_{24}^1 = 0,056; q_{25}^1 = 0,353; q_{26}^1 = 0,353.$$

Аналогичные вычисления проводим для

остальных таблиц вариантов и альтернатив (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Технологические воздействия	Разделение	Борьба с эрозией	Фильтрация	Дренаживание	Приоритет
	0,276	0,319	0,243	0,162	
Воздействие влаги	0,105	0,271	0,329	0,475	0,272
Изменение температуры	0,105	0,067	0,037	0,099	0,075
Влияние микроорганизмов	0,029	0,271	0,180	0,099	0,154
Влияние агрессивных сред	0,058	0,033	0,339	0,099	0,124
Осевая нагрузка	0,353	0,271	0,073	0,206	0,335
Усилие растяжения	0,353	0,087	0,042	0,021	0,139

В дальнейшем проводим вычисления для матриц парных сравнений, сформированных суждениями остальных экспертов, и по формуле (5) вычисляем приоритеты каждого технологического воздействия (табл. 4). Вычислив, среднее геометрическое приоритетов каждого из экспертов, в итоге получили ранги технологических воздействий, представленные в последней графе табл. 4.

По формулам (5) и (6) вычислим отношение согласованности мнений экспертов на примере матрицы (7). Имеем:

$$p = (1,31; 1,31; 0,81; 0,96; 0,97; 0,97);$$

$$\lambda_{\max} = 6,34;$$

$$ИС = \frac{6,34 - 6}{5} = 0,068;$$

$$ОС = \frac{0,068}{1,24} = 0,05.$$

Значение $ОС < 0,15$ свидетельствует о согласованности мнений экспертов.

ВЫВОДЫ

С использованием экспертного метода анализа иерархий установлена взаимосвязь между выполняемыми функциями геосин-

тетического нетканого полотна, используемого в нижних слоях дорожной одежды, и технологическими воздействиями на него. Показано, что приоритетным воздействием является осевая нагрузка на полотно, а менее подверженным фактором – изменение температуры.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р ИСО 10006–2005. Система менеджмента качества. Руководство по менеджменту качества при проектировании.
- Грузинцева Н.А., Лысова М.А., Москвитина Т.В., Гусев Б.Н. Обеспечение требуемого уровня качества геотекстильных материалов для дорожного строительства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №2. С. 19...22.
- Федосов С.В., Грузинцева Н.А., Лысова М.А., Гусев Б.Н. Установление приоритетности между показателями надежности геотекстильных материалов для дорожного строительства // Изв. вузов. Строительство. – 2016, №3. С. 57...62.
- ОДМ 218.5.005–2010. Отраслевой дорожный методический документ. Классификация, термины, определения геосинтетических материалов применительно к дорожному хозяйству.
- ОДМ 218.2.046–2014. Рекомендации по выбору и контролю качества геосинтетических материалов, применяемых в дорожном строительстве.
- Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.

7. Постников В.М. Анализ подходов к формированию экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений // Наука и образование. – 2012, № 5. С. 333...346 / [Электронный ресурс]: <http://technomag.edu.ru/doc/360720.htm>

REFERENCES

1. GOST R ISO 10006–2005. Sistema menedzhmenta kachestva. Rukovodstvo po menedzhmentu kachestva pri proektirovanii.

2. Gruzintseva N.A., Lysova M.A., Moskvitina T.V., Gusev B.N. Obespechenie trebuемого urovnya kachestva geotekstil'nykh materialov dlya dorozhnogo stroitel'stva // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015, №2. S. 19...22.

3. Fedosov S.V., Gruzintseva N.A., Lysova M.A., Gusev B.N. Ustanovlenie prioritetnosti mezhdu pokazatelyami nadezhnosti geotekstil'nykh materialov dlya dorozhnogo stroitel'stva // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2016, №3. S. 57...62.

4. ODM 218.5.005–2010. Otrasleyvoy dorozhnyy metodicheskiy dokument. Klassifikatsiya, terminy, opredeleniya geosinteticheskikh materialov primenitel'no k dorozhnomu khozyaystvu.

5. ODM 218.2.046–2014. Rekomendatsii po vyboru i kontrolyu kachestva geosinteticheskikh materialov, primenyaemykh v dorozhnom stroitel'stve.

6. Saati T. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy. – M.: Radio i svyaz', 1993.

7. Postnikov V.M. Analiz podkhodov k formirovaniyu ekspertnoy gruppy, orientirovannoy na podgotovku i prinyatie resheniy // Nauka i obrazovanie. – 2012, № 5. S. 333...346 / [Elektronnyy resurs]: <http://technomag.edu.ru/doc/360720.htm>

Рекомендована кафедрой материаловедения и товароведения, метрологии и стандартизации ИВГПУ. Поступила 20.10.20.

УДК 620.1:667.1

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_37

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗГИБА ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ИСПЫТАНИЙ

THEORETICAL JUSTIFICATION FOR DETERMINING THE BENDING CHARACTERISTICS OF TEXTILE FABRICS UNDER DYNAMIC TEST CONDITIONS

В.В. ЛАПШИН, Н.А. СМЕРНОВА, В.В. ЗАМЫШЛЯЕВА

V.V. LAPSHIN, N.A. SMIRNOVA, V.V. ZAMYSHLAEVA

(Костромской государственной университет)

(Kostroma State University)

E-mail: vlv1000@mail.ru

В статье приведено теоретическое обоснование определения характеристик текстильных полотен при восстановлении после изгиба, полученных на автоматизированной системе, реализующей динамический характер испытаний. Предложено рассчитывать характеристики изгиба по экспериментальной кривой свободных затухающих колебаний консольно закрепленной пробы после изгиба.

The article provides a theoretical justification for determining the characteristics of textile fabrics during recovery after bending, obtained on an automated system that implements the dynamic nature of tests. It is proposed to calculate the bending characteristics from the experimental curve of free damped vibrations of a cantilevered sample after bending.

Ключевые слова: текстильные полотна, характеристики изгиба, динамические условия испытаний.

Keywords: textile fabrics, bending characteristics, dynamic test conditions.

Отсутствие стандартных методов определения характеристик изгиба текстильных полотен в динамических условиях испытаний затрудняет обоснованный выбор материалов и не позволяет прогнозировать поведение изделий в условиях эксплуатации. Стандартный метод (ГОСТ 10550–93) определения характеристик изгиба реализует статический характер испытаний.

Для получения полной картины о деформационных процессах, происходящих в ткани при изгибе, необходимо изучить процесс восстановления ткани после изгиба и обосновать характеристики. В процессе совершения человеком различных видов движений материалы одежды изгибаются, и от того, насколько быстро и в какой степени восстановится форма деталей, зависит формоустойчивость изделия.

Известный метод вынужденных резонансных изгибных колебаний консольно закрепленной пробы позволяет определить характеристики изгиба материалов в динамическом режиме [1]. Однако недостатками резонансных испытаний является трудность определения амплитудно-частотной характеристики (используется микроскоп), что вносит субъективную составляющую в процесс измерений, отсутствие автоматизированной записи и обработки результатов экспериментов (графики АЧХ строятся вручную), что снижает информативность и достоверность полученных результатов.

В результате использования разработанной автоматизированной системы реализован запатентованный авторами метод [2], который моделирует реальный процесс деформирования материалов при эксплуатации, так как позволяет оценить кинетику распрямления пробы после изгиба и возможность графической записи экспериментальной кривой свободных затухающих изгибных колебаний материалов (рис.1).

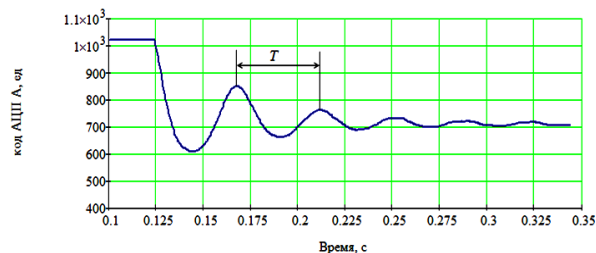


Рис. 1

Для теоретического обоснования определения характеристик жесткости и упругости при изгибе текстильных полотен в динамических условиях испытаний использовано общеизвестное уравнение свободных колебаний консольно закрепленного стержня без учета потерь на диссипацию:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + c^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0, \quad (1)$$

где x – координата стержня; y – прогиб в сечении x ; c – скорость распространения по стержню волны деформации.

Общее решение уравнения:

$$y(x, t) = \varphi(x) \sin(\omega t + \alpha), \quad (2)$$

где $\varphi(x)$ – функция, описывающая форму колебаний; ω – круговая собственная частота колебаний; α – начальная фаза.

Функция $\varphi(x)$ в общем случае представляет собой сумму тригонометрических и гиперболических косинуса и синуса с коэффициентами, определяемыми из краевых условий. Величины частот собственных колебаний также определяются краевыми условиями.

Круговая частота собственных поперечных колебаний консольно закрепленных проб выражается общей формулой:

$$\omega = \frac{\lambda^2}{\ell^2} \sqrt{\frac{E_n J}{m}}, \quad (3)$$

где ℓ – длина незакрепленной части пробы материала, м; λ – коэффициент для первой собственной частоты ($\lambda = 1,875$); E_n – модуль упругости на изгиб МПа; J – момент инерции поперечного сечения материала, m^4 , $J = bh^3/12$; b – ширина пробы, м; h – толщина пробы, м; m – масса погонного метра материала, кг/м, $m = \rho bh$; ρ – плотность материала кг/м³.

Используя соотношение (4) собственной частоты f , Гц, и круговой ω :

$$f = \frac{\omega}{2\pi}, \quad (4)$$

получаем уравнение первой собственной частоты поперечных колебаний консольно закрепленных проб:

$$f = 0,161 \frac{h}{\ell^2} \sqrt{\frac{E_n}{\rho}}, \quad (5)$$

где $\sqrt{\frac{E_n}{\rho}} = c$ – характеристика материала,

определяемая скоростью распространения упругих колебаний; ℓ – длина пробы, м.

Важной характеристикой упругости при изгибе является модуль упругости, определяемый при свободных колебаниях консольно закрепленных проб, который рас-

считывается по формуле, полученной из уравнения (5):

$$E_n = \frac{\ell^4 \rho}{0,161^2 h^2} f^2, \quad (6)$$

где собственная частота $f = 1/T$ свободных колебаний вычисляется через период (T , с) затухающих колебаний консольно закрепленной пробы.

Период T определяется по экспериментальной кривой свободных затухающих колебаний (рис.1).

Фактором, влияющим на величину диссипации, является площадь колеблющейся пробы. Площадь пробы 150 мм², что обеспечивает минимальное влияние сопротивления воздуха. Рабочие размеры пробы 10x15 мм, что согласуется с ранее проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями [3].

Другой характеристикой изгиба материала является жесткость, определяемая формулой

$$D_n = E_n J. \quad (7)$$

Варьируя характеристиками изгиба, изменяющимися в довольно широких пределах для одной ассортиментной группы (табл.1), осуществляется рациональный выбор костюмных тканей в соответствии с эскизом изделия.

Т а б л и ц а 1

Характеристики изгиба	Ткани								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Модуль упругости E_n , МПа	1,24	1,6	1,14	2,12	3,78	2,67	1,89	1,87	3,69
Жесткость $D_n \cdot 10^{-5}$ Н·м ²	1,04	1,34	0,95	3,44	5,99	3,06	2,85	1,92	5,91
Ткань 1 – камвольная, мелкоузорчатого переплетения, $M_s=269$ г/м ² , $T_o=35,5$, $T_y=43$, $P_o=380$, $P_y=268$									
Ткань 2 – камвольная, мелкоузорчатого переплетения, $M_s=226$ г/м ² , $T_o=34,5$, $T_y=39$, $P_o=314$, $P_y=268$									
Ткань 3 – камвольная, мелкоузорчатого переплетения, $M_s=245$ г/м ² , $T_o=44,5$, $T_y=47,5$, $P_o=256$, $P_y=244$									
Ткань 4 – льняная, мелкоузорчатого переплетения, $M_s = 269$ г/м ² , $T_o = 99,5$, $T_y=58,5$, $P_o=161$, $P_y=172$									
Ткань 5 – льняная, полотняного переплетения, $M_s = 292$ г/м ² , $T_o = 104$, $T_y = 118,5$, $P_o = 141$, $P_y = 100$									
Ткань 6 – льняная, полотняного переплетения, $M_s = 227$ г/м ² , $T_o = 62$, $T_y = 103$, $P_o = 165$, $P_y = 119$									
Ткань 7 – льняная, мелкоузорчатого переплетения, $M_s = 220$ г/м ² , $T_o = 100$, $T_y = 130$, $P_o=130$, $P_y=112$									
Ткань 8 – льняная, полотняного переплетения, $M_s = 180$ г/м ² , $T_o = 56$, $T_y = 56$, $P_o = 180$, $P_y = 135$									
Ткань 9 – льняная, полотняного переплетения, $M_s = 280$ г/м ² , $T_o = 103$, $T_y = 103$, $P_o = 150$, $P_y = 120$									

Возможность реализации динамического характера испытаний на изгиб костюмных тканей позволяет обоснованно

подойти к выбору конструктивного решения швейного изделия, комфортного в эксплуатации.

ВЫВОДЫ

1. Теоретически обоснованы характеристики жесткости и модуля упругости при изгибе текстильных полотен в динамических условиях испытаний.

2. Показана возможность выбора тканей по экспериментальным результатам характеристик изгиба для изделий костюмной группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белокуров В.Н., Бочаров В.Г., Лапшин В.В. Определение показателей деформации льняных тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №4. С. 9...10.

2. Лапшин В.В., Смирнова Н.А. Автоматизированный измерительный комплекс как реализация концепции цифровизации в легкой промышленности. – Кострома: Изд-во Костром. гос. ун-та, 2019.

3. Жихарев А.П. Теоретические основы и экспериментальные методы исследования для оценки качества материалов при силовых, температурных и

влажностных воздействиях. – М.: ИИЦ МГУДТ, 2003.

REFERENCES

1. Belokurov V.N., Bocharov V.G., Lapshin V.V. Opredelenie pokazateley deformatsii l'nyanykh tkaney // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2007, №4. S. 9...10.

2. Lapshin V.V., Smirnova N.A. Avtomatizirovannyy izmeritel'nyy kompleks kak realizatsiya kontseptsii tsifrovizatsii v legkoy promyshlennosti. – Kostroma: Izd-vo Kostrom. gos. un-ta, 2019.

3. Zhikharev A.P. Teoreticheskie osnovy i eksperimental'nye metody issledovaniya dlya otsenki kachestva materialov pri silovykh, temperaturnykh i vlazhnostnykh vozdeystviyakh. – M.: IITs MGUDT, 2003.

Рекомендована кафедрой дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров. Поступила 20.11.20.

УДК 677.017

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_40

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ ПРЕДНАПРЯЖЕННОГО АРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТА

USE OF TEXTILE PRODUCTS AS A PRE-STRESSED COMPOSITE REINFORCEMENT

Н.О. КОПАНИЦА, А.М. УСТИНОВ, А.С. ПЛЯСКИН

N.O. KOPANITSA, A.M. USTINOV, A.S. PLYASKIN

(Томский государственный архитектурно-строительный университет)

(Tomsk State University of Architecture and Building)

E-mail: artemustinov@bk.ru

В работе предложен новый метод формования композитных материалов на основе продуктов текстильного производства – углеродных однонаправленных лент и матрицы – эпоксидного связующего. Разработан стенд для предварительного напряжения углеродных лент. Описан процесс заправки, смачивания и натяжки ленты. Представлены результаты микроскопии преднапряженной углеродной ленты и композита. Выявлены особенности формования монослоя углеродного армирования в композите. Установлено, что на поверхности образцов композита наблюдаются разные картины пересечения углеродных волокон в зависимости от преднапряжения.

The paper proposes a new method for forming composite materials based on textile products - carbon unidirectional tapes and a matrix - an epoxy binder. A stand for prestressing carbon strips has been developed. The process of reserving, wetting and stretching the tape is described. The results of microscopy of a prestressed carbon ribbon and a composite are presented. The features of forming a monolayer of carbon reinforcement in a composite are revealed. It was found that on the surface of the composite samples, different patterns of intersection of carbon fibers are observed depending on the prestress.

Ключевые слова: углеродная лента, преднапряжение, монослой, композит.

Keywords: carbon tape, prestressing, monolayer, composite.

Композитные материалы на основе эпоксидного связующего с армированием в виде углеродных однонаправленных лент широко применяются в несущих элементах машин, механизмов и конструкций. Их прочностные и деформационные характеристики зависят как от характеристик самих материалов, так и структуры сформированного композита.

Для армирования композита используют продукты текстильного производства: однонаправленные углеродные ленты и двунаправленные ткани с разной поверхностной плотностью, которые широко представлены на рынке. Лента представляет собой особый вид ткани полотняного плетения, где нити основы – углеродные пряжи шириной около 4...5 мм и нити утка – клеящие термонити, установленные с шагом 10 мм. Нити основы, огибая жесткие нити утка, образуют изгибы, что создает изысканный визуальный вид углеродной ленты. В качестве матрицы композита применено эпоксидное связующее, которое выполняет роль клея.

Традиционный метод формования композита с монослоем углеродного армирования заключается в предварительном смачивании ленты с двух сторон в связующем, укладке на подготовленное основание и раскатке валиком для удаления излишков клея и воздуха. При таком методе армирования композита углеродная лента сохраняет свою форму плетения на всех этапах до набора прочности эпоксидного связующего.

Используемый при производстве углеродной ленты тип плетения – полотняный, изгибает пряжи углеволокна в виде волн, что снижает прочностные и жесткостные характеристики готового композита [1].

Поэтому изучение особенностей создания композитов на монослое углеродного армирования является актуальной задачей.

Цель работы заключалась в разработке технологии предварительного натяжения углеродной ленты с последующим созданием композита.

Необходимо было отработать закрепление углеродной ленты на стенде, смачивание углеродной ленты связующим, равномерное натяжение без значительных перекосов, поддержание уровня преднапряжения во время набора прочности связующего.

В качестве армирования композита применена углеродная лента CarbonWrap® Tape 530/150. Инновационный продукт, разработанный специально для усиления ребристых плит перекрытия, тавровых балок мостовых пролетов с малой шириной ребра, балочных элементов рамных конструкций, ферм и малогабаритных конструкций. С гарантийным сроком хранения 3 года со дня изготовления.

Матрица композита – эпоксидное двухкомпонентное связующее CarbonWrap® Resin 530+. Эпоксидное двухкомпонентное связующее для пропитки систем внешнего армирования CarbonWrap® с повышенной поверхностной плотностью углеродного наполнителя.

Высокие прочностные свойства углеродных волокон создают трудности при преднапряжении углеродной ленты. Применяемые в практике испытаний на маши-

нах клиновидные захваты с плоскими губками вызывают разрушение ленты в зоне сжатия.

Т а б л и ц а 1

Наименование	Значение
Направление волокон	0°
Поверхностная плотность	530 ± 15 г/м ²
Тип нити основы	Углеродная нить 12К /24К
Тип нити утка	Клеевая термонить
Плотность нитей основы, нитей на 10 см ²	64 ± 1 / 32 ± 1
Плотность нитей утка, нитей на 10 см	10 ± 1
Прочность на растяжение волокна	не менее 4,9 ГПа
Модуль упругости при растяжении волокна	не менее 245 ГПа
Удлинение на разрыв волокна	1,8%

Возможность ленты вытягиваться по диагонали, большая ширина и гладкость волокон не позволили применить стандартное решение захватов для узких, жестких ремней спортивной, военной продукции, которое используют при испытаниях на растяжение.

Для решения возникшей проблемы был разработан специальный стенд для углеродных лент большой ширины.

Захват состоит из вала – стального цилиндра, двух фланцев – крестообразные пластины, установленные по основаниям цилиндра, на которые прикладывается нагрузка.

Вместо жесткого крепления вала в системе нагружения применяется шарнирное крепление пассивного вала, кроме вращения вокруг продольной оси. Активный вал имеет возможность вращения вокруг продольной оси вала, необходимого для преднапряжения, а также в вертикальной плоскости, перпендикулярной углеродной пряжи. Такое крепление позволяет компенсировать диагональный перекося ленты, допущенный при запасовке.

Неравномерное натяжение нитей основы – углеродных прядей ленты, возникающее в следствие низкой точности закрепления концов ленты при ручной запасовке, можно компенсировать использованием прокладок из вспененной резины, устанавливаемых по ширине ленты.

Нагрузочная система с домкратами и датчиками давления сложна по конструкции и в изготовлении, а также нестабильна

при работе, так как значительно снижает нагрузку на лист углекомпозиата при выдержке образца до затвердевания связующего, о чем написано в выводе статьи [2].

Для поддержания заданного уровня преднапряжения углеродной ленты в процессе формования и набора прочности применена рычажная система, на которую прикладывалась нагрузка от массы гирь. Применение такой нагрузки не меняет значение преднапряжения при деформации (релаксации, расправлении нитей, проскальзывании на опоре или затяжки) ленты.

Преднапряжение углеродной ленты

Конец углеродной ленты укладывался по образующей вала и приклеивался самоклеящейся лентой, после чего обматывался вокруг захвата с послойной укладкой подложек по ширине ленты. Приложенная к захватам нагрузка затягивала ленту вокруг захвата, что предотвращало проскальзывание углеродной ленты. Обмотка образца позволяла избежать местного разрушения, поскольку растягивающая сила воспринималась трением поверхности соседних слоев ленты и вала.

Намотка 2-3 слоев ленты на вал достаточна для удержания трением ленты, что позволяло точно регулировать деформации растяжения.

Устанавливались межслойные прокладки из вспененной резины, которые деформацией сжатия перераспределяли напряжения между прядями, уравнивая их. Побочный эффект применения прокладки проявляется в продольном смещении пря-

дей друг относительно друга и, как следствие, изгибом термонитей утка.

Испытания различных вариантов анкеровки конца ленты показали, что он не нуждается в силовом защемлении на валу – достаточно приклеить край широкой самоклеящейся лентой. Вал при таком креплении ленты можно выполнить с высокой точностью.

Смачивание связующим углеродной ленты

В выводах работы [2] отмечено, что полученные результаты измерения преднапряжения углеродной ленты в процессе заливки бетона в опалубку показывают значительные потери напряжения. Причина данного явления кроется в смачивании углеродной ленты, находящейся под нагрузкой. Проведенные предварительные эксперименты на отдельных углеродных прядях показали, что несущая способность сухих прядей в два раза выше, чем смоченных в эпоксидном связующем, без значительного их удлинения.

Предположительно в несмоченной связующим углеродной пряди за счет продольных сил трения волокон происходит перераспределение нагрузок между волокнами, а при смачивании уменьшается трение между волокнами, что приводит к разрыву натянутых волокон и к выпрямлению ослабленных.

При плетении лент происходит переплетение углеродных волокон вокруг друг друга в углеродных прядях (рис. 1 – снимки с микроскопа углеродной ленты: а) между термонитями утка, б) около термонити утка) и изгибание вокруг нитей утка.

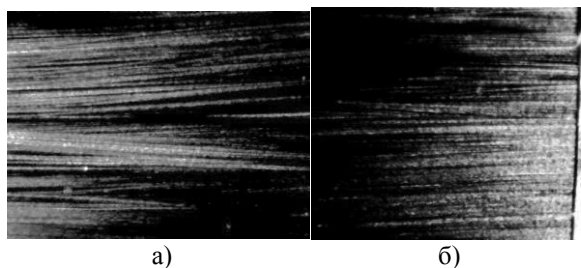


Рис. 1

Традиционный метод формования композита не позволял расправить углеродные волокна, а мог только больше запутать во-

локна между собой при прокатывании валиком (рис. 2 – снимки с микроскопа углекомпозита без преднапряжения: а) между термонитями утка, б) около термонити утка).

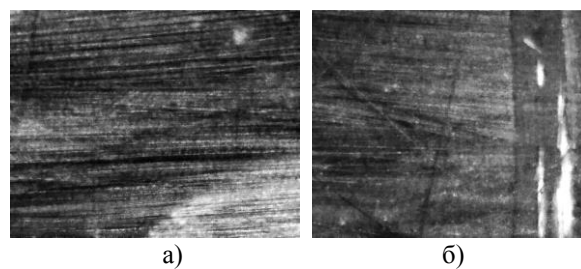


Рис. 2

На снимках видно, что углеродное волокно изгибается в двух плоскостях. Толщина ленты без натяжения около 1,5 мм, при натяжении 0,4 мм. Шаг нитей утка 10 мм. Наклон нитей основы к продольной оси ленты составил около 9°. Исходя из этого прочность композита снижается на 1,2%. Снижение модуля упругости при таком искривлении возможно оценить только при испытаниях композита.

Формование композита с предварительным напряжением углеродной ленты позволило расправить углеродные волокна в пряди (рис. 3 – снимки с микроскопа углекомпозита с преднапряжением: а) между термонитями утка, б) около термонити утка), а также выпрямить саму прядь при этом согнув нити утка – термонить.

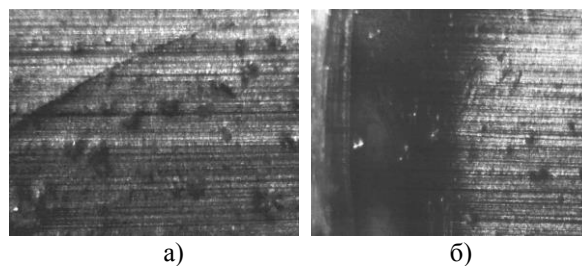


Рис. 3

Уровень преднапряжений составлял 205,54 МПа, приведенный к толщине композита в 0,6 мм, а общие продольные деформации 0,198%.

Распрявление углеродных прядей – добиться при значениях преднапряжения, потому как визуально пряди распрявляются уже при 100 МПа.

Деформации композита при разгрузке, определенные методом корреляции цифровых изображений

После набора прочности эпоксидного связующего производилась разгрузка в шесть этапов с регистрацией стереоскопических изображений рабочего участка углекомпозита. На зону регистрации для определения деформированного состояния нанесено спекл-изображение.

На нулевом этапе картина абсолютных деформаций по оси вдоль нити основы на шести этапах снижения преднапряжения (рис. 4) составлена из случайных значений и показывает значение погрешности измерений оптического цифрового комплекса VIC-3D [3]. Данная картина является опорной для последующего вычисления деформаций.

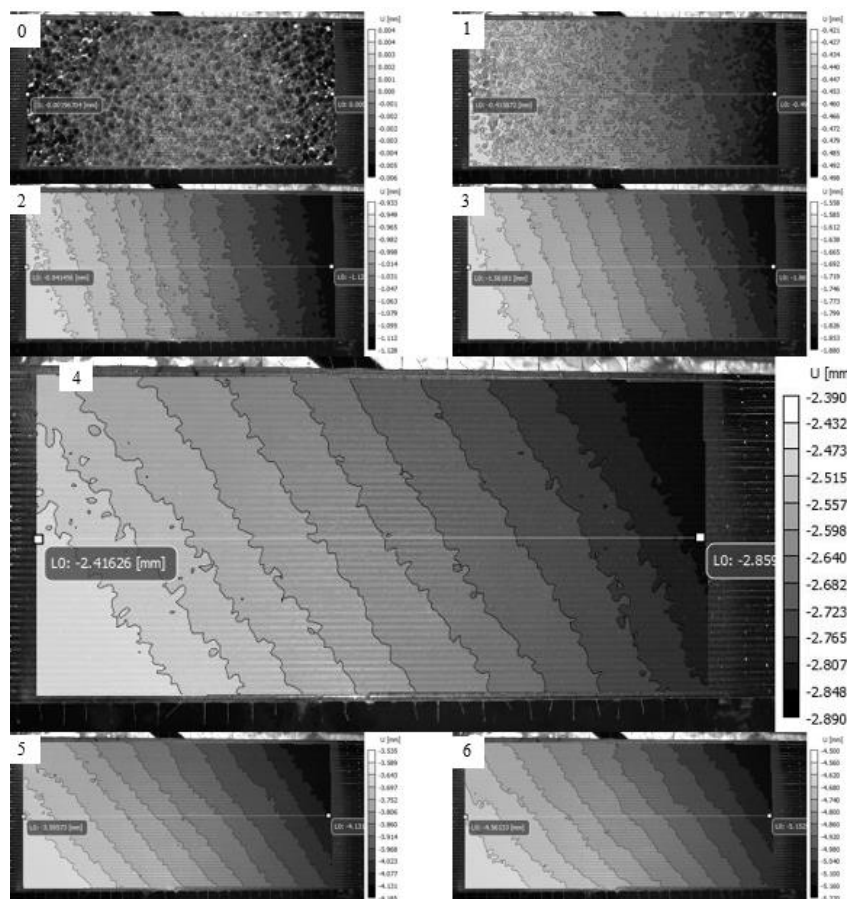


Рис. 4

На первом этапе снижения напряжения в композите они составили 171 МПа, а на картине деформаций проявляются изополя с различными значениями смещений от 0,42 до 0,49 мм (рис.4, линия L0-L0). На этом этапе большое значение вносит погрешность измерения комплекса, выражающаяся в смешивании светлых изополей.

На втором этапе при значении напряжений 137 МПа изополя приняли форму полос, границы которой имеют сильно изогнутые формы и островки в соседних изополях. Изополя наклонены на 77° к про-

дольной оси пряди. Неравномерности преднапряжения углеродных прядей составляют 0,018 мм между крайними прядями ленты при общих деформациях ленты 1,03 мм.

На третьем этапе напряжения составили 103 МПа. Границы изополей избавились от большей части островков в соседних изополях. Наклон изополей составил 73°. Неравномерности преднапряжения крайних прядей составляют 0,044 мм при общих деформациях ленты 1,71 мм.

На полученных картинах абсолютных деформаций четвертого этапа наблюдается наклон 62° к продольной оси пряжи изополей, что следует из-за неравномерности преднапряжения углеродных прядей, которая составляет 0,191 мм между крайними прядями ленты при общих деформациях ленты 4,84 мм. Форма границ изополей не изменилась. Напряжения составили 48 МПа.

На пятом и шестом этапах качественного изменения изополей не произошло, только увеличился их наклон до 55° . Напряжения предпоследнего этапа составили 17 МПа.

ВЫВОДЫ

При использовании предложенной технологии формования композита с преднапряжением монослоя армирования из углеродной ленты неравномерность деформаций крайних прядей не превышает 4,5% от общих, что является удовлетворительным для использования в виде усиливающего элемента на строительных конструкциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устинов А.М., Клопотов А.А., Потехаев А.И., Абзаев Ю.А., Плевков В.С. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев углепластика при осевом растяжении методом корреляции цифровых изображений // Изв. Алтайского государственного университета. – 2018, №1 (99). С.58...63. DOI 10.14258/izvasu(2018)1-10.

2. Инь Шен, Шаохуэй Лу и Фанюань Ли. Экспериментальное исследование плоских бетонных плит, предварительно напряженных полимерными листами, армированными углеродным волокном // Hindawi Publishing Corporation. Достижения в области материаловедения и инженерии. – Том 2015. Статья ID 792320. С. 11.

3. Федоров В.С., Устинов А.М. и др. Исследование напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя в образце из стали методом корреляции цифровых изображений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №6. С. 288...294.

REFERENCES

1. Ustinov A.M., Klopotov A.A., Potekhaev A.I., Abzaev Yu.A., Plevkov V.S. Eksperimental'noe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya poverkhnostnykh sloev ugleplastika pri osevom rastyazhenii metodom korrelyatsii tsifrovyykh izobrazheniy // Izv. Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2018, №1 (99). S.58...63. DOI 10.14258/izvasu(2018)1-10.

2. In' Shen, Shaokhuey Lu i Fanyuan' Li. Eksperimental'noe issledovanie ploskikh betonnykh plit, predvaritel'no napryazhennykh polimernymi listami, armirovannymi uglerodnym voloknom // Hindawi Publishing Corporation. Dostizheniya v oblasti materialovedeniya i inzhenerii. – Tom 2015. Stat'ya ID 792320. S. 11.

3. Fedorov V.S., Ustinov A.M. i dr. Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya poverkhnostnogo sloya v obraztse iz stali metodom korrelyatsii tsifrovyykh izobrazheniy // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №6. S. 288...294.

Рекомендована кафедрой металлических и деревянных конструкций. Поступила 10.02.21.

УДК 677.212

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_46

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ХЛОПКА-СЫРЦА
В БАРАБАННОЙ СУШИЛКЕ**

**DETERMINING OF THE HEAT-MOISTURE STATE OF RAW COTTON
IN A DRUM DRYER**

А.З. МАМАТОВ, Х.Н. ПАРДАЕВ, Ж.Ш. МАРДОНОВ, А.Ф. ПЛЕХАНОВ

A.Z. MAMATOV, X.N. PARDAEV, J.SH. MARDONOV, A.F. PLEKHANOV

(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан,
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan,
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: maz54@mail.ru; hanimkul@bk.ru; jahongir.mardonov.93@bk.ru; plekhanov-af@rguk.ru

В статье рассматривается задача определения тепловлажностного состояния хлопка-сырца при сушке в барабанных сушилках. Предложена математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений параболического типа относительно температуры и влажности хлопка-сырца. Построено приближенное решение по методу Галеркина рассматриваемой задачи, проведен сравнительный анализ численных результатов с экспериментальными данными. Показано, что предлагаемая математическая модель и ее приближенное решение адекватно описывают процесс сушки хлопка-сырца.

In the article was discussed the problem of determining the warm-wet state of raw cotton during drying in drum dryers. A mathematical model is proposed in the form of a system of differential equations of parabolic type with respect to temperature and humidity of raw cotton. An approximate solution is constructed by the Galerkin method of the problem under consideration, a comparative analysis of numerical results with experimental data was carried out. It has been shown that the proposed mathematical model and its approximate solution adequately describe the drying process of raw cotton.

Ключевые слова: математическая модель, метод, сушилка, хлопок-сырец.

Keywords: mathematical model, method, dryer, raw cotton.

К основным недостаткам существующей технологии сушки хлопка-сырца, приводящим к ухудшению качества волокна, относятся неравномерность сушки и перегрев, пересушка волокнистой массы. В результате этого волокно становится хрупким и ломким, ухудшаются его структурные и механические свойства. При этом актуальной научной задачей становится определение роли методов теоретического изучения тепловлажностного состояния хлопка-сырца при его сушке в барабанных сушилках [1...3].

В научной литературе нет достаточной информации о законе изменений тепловлажностных характеристик состояния хлопка-сырца и его компонентов в процессе технологической сушки. Поэтому задача изучения этих показателей с помощью математических моделей является актуальной с точки зрения управления технологическими параметрами в процессе технологической переработки и подготовке хлопка-сырца к процессу джинирования.

Рассмотрим математическую модель решения задачи сушки хлопка-сырца в прямоугольной барабанной сушилке. Предположим, что происходит конвективный теплообмен между хлопком-сырцом и воздухом. Тогда для определения температуры и влажности хлопка-сырца при его сушке составим начально-краевую задачу параболического типа [4] в виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - v \frac{\partial T}{\partial x} - \alpha_{11}(T - T_B) + \alpha_{12} \frac{\partial W}{\partial \tau}, \\ \frac{\partial W}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + a_m \delta \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - v \frac{\partial W}{\partial x}. \end{cases} \quad (1)$$

с начальными граничными условиями:

$$T(x,0)=T_0(x), \quad W(x,0)=W_0(x),$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial x} \Big|_{x=0} &= 0, \quad \frac{\partial W}{\partial x} \Big|_{x=1} = 0, \\ -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} &= 0, \quad \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=1} = 0, \\ a &= \frac{\lambda}{c\rho}, \quad a_m = \frac{100\lambda_m}{c_m\rho}, \\ \alpha_{11} &= \frac{\alpha}{c\rho}, \quad \alpha_{12} = \frac{\varepsilon r_{21}}{100c}, \end{aligned}$$

где T , T_B – соответственно температура хлопка-сырца и сушильного агента (воздуха); W – влажность хлопка-сырца; c , λ , ρ , v , – соответственно теплоемкость, теплопроводность, плотность и скорость движения хлопка-сырца; α – объемный коэффициент теплообмена между хлопком-сырцом и воздухом; ε – коэффициент фазового превращения; r_{21} – теплота парообразования; τ – время сушки; ℓ – длина барабана.

Для решения данной задачи воспользуемся методом Галеркина для приближенного решения краевых задач для дифференциального уравнения. Введем два набора базисных функций и обозначим их через $\{\varphi_i\}$, $\{\psi_i\}$. От элементов базисных функций потребуем, чтобы они обладали второй производной по пространственным переменным.

Определим приближенные решения системы в виде [5]:

$$\begin{aligned} T &= \sum_{k=1}^N c_k(\tau) \phi_k(x), \\ U &= \sum_{ki=1}^N d_k(\tau) \psi_k(x), \end{aligned} \quad (2)$$

где коэффициенты $c_k(\tau)$, $d_k(\tau)$, определяемые из системы:

$$\int_0^{\ell} \frac{\partial T}{\partial \tau} \phi_i(x) dx = a \int_0^{\ell} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \phi_i(x) dx - \vartheta \int_0^{\ell} \frac{\partial T}{\partial x} \phi_i(x) dx -$$

$$- \alpha_{11} \int_0^{\ell} (T - T_B) \phi_i(x) dx + \alpha_{12} \int_0^{\ell} \frac{\partial W}{\partial \tau} \phi_i(x) dx,$$

$$\int_0^{\ell} \frac{\partial W}{\partial \tau} \psi_i(x) dx = a_m \int_0^{\ell} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \psi_i(x) dx + a_m \delta \int_0^{\ell} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \psi_i(x) dx - \vartheta \int_0^{\ell} \frac{\partial W}{\partial x} \psi_i(x) dx.$$

Используя формулу интегрирования по частям и учитывая граничные условия, получим следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^N \alpha_{ik} c'_k + \sum_{k=1}^N \beta_{ik} c_k + \sum_{k=1}^N \gamma_{ik} d_k = \bar{f}_{1i}, \\ \sum_{k=1}^N \bar{\alpha}_{ik} d'_k + \sum_{k=1}^N \bar{\beta}_{ik} c_k + \sum_{k=1}^N \bar{\gamma}_{ik} d_k = \bar{f}_{2i} \end{cases} \quad (3)$$

с начальными условиями

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^N \alpha_{ik} c_k(0) = \int_0^{\ell} T_0(x) \phi_k(x) dx, \\ \sum_{k=1}^N \bar{\alpha}_{ik} d_k(0) = \int_0^{\ell} U_0(x) \psi_k(x) dx, \end{cases} \quad (4)$$

где $\alpha_{ik} = \int_0^{\ell} \phi_i(x) \phi_k(x) dx$, $\bar{\alpha}_{ik} = \int_0^{\ell} \psi_i(x) \psi_k(x) dx$.

Системы (3) и (4) напишем векторном виде:

$$\begin{cases} Q_n \frac{dC_n(\tau)}{d\tau} + P_n C_n(\tau) + G_n D_n(\tau) = F_{1n}(\tau), \\ \tilde{Q}_n \frac{dD_n(\tau)}{d\tau} + \tilde{P}_n D_n(\tau) + \tilde{G}_n C_n(\tau) = F_{2n}(\tau), \\ Q_n C_n(0) = F_{10}, \\ \tilde{Q}_n D_n(0) = F_{20}, \end{cases} \quad (5)$$

где $Q_n = (\alpha_{ik})$, $P_n = (\beta_{ik})$, $G_n = (\gamma_{ik})$, $\tilde{Q}_n = (\bar{\alpha}_{ik})$, $\tilde{P}_n = (\bar{\beta}_{ik})$ и $\tilde{G}_n = (\bar{\gamma}_{ik})$ – квадратные матрицы размером $(N \times N)$; $C_n(\tau) = (c_1(\tau), c_2(\tau), \dots, c_n(\tau))^T$; $D_n(\tau) = (d_1(\tau), d_2(\tau), \dots, d_n(\tau))^T$ – искомые векторы; $F_{1n}(\tau) = (f_{11}(\tau), f_{12}(\tau), \dots, f_{1n}(\tau))^T$, $F_{2n}(\tau) = (f_{21}(\tau), f_{22}(\tau), \dots, f_{2n}(\tau))^T$ – за-

данные векторы; $F_{10}(\tau) = (f_{01}(\tau), f_{02}(\tau), \dots, f_{0n}(\tau))^T$ – элементы векторов и $F_{20}(\tau) = (\tilde{f}_{01}(\tau), \tilde{f}_{02}(\tau), \dots, \tilde{f}_{0n}(\tau))^T$ – определяются из правой части уравнений системы (4).

Как известно из теории обыкновенных дифференциальных уравнений, при невырожденности и положительной определенности матрицы, составленных из коэффициентов системы, задача (5) имеет единственное решение.

Для численного решения задачи (5) используем метод разностных схем по временной переменной, и, строя неявные разностные схемы на отрезке $[0; 1]$, получим систему алгебраических уравнений, которая решена методом Гаусса. Найденные значения $C_n^1(\tau)$, $D_n^1(\tau)$ подставляем в (2), находим температуру и влажность хлопка-сырца в процессе сушки.

Расчеты решения предложенного метода определения температуры и влажности хлопка-сырца проводились при следующих значениях параметров: $\lambda = 0,09$ Вт/м·К; $C = 1700$ ж/(кг·°C); $\rho = 40$ кг/м³; $W_n = 14,3\%$; $T_n = 10^\circ$; $T_B = 100^\circ$; 200° ; $\varepsilon = 0,8$; $r_{21} = 2082000$ ж/кг; $v = 1,5$ м/с; $\alpha = 124$ Вт/(м³·°C).

Для сравнения расчетных и экспериментальных данных воспользуемся результатами экспериментальных исследований, которые проводились в барабанных сушилках типа 2СБ-10. При проведении испытаний объектом переработки служил хлопок-сырец машинного сбора, 2-4 промышленных сортов с исходной влажностью 14,3% [3].

Расчетные изменения влажности хлопка-сырца по длине барабана приведены в табл. 1. Расчетные изменения температуры хлопка-сырца по длине барабана приведены в табл. 2.

Таблица 1

Длина барабана	Влажность хлопка-сырца при $W_H=14,3\%$, $T_B=100^\circ\text{C}$	Влажность хлопка-сырца при $W_H=14,3\%$, $T_B=200^\circ\text{C}$
0	14,3	14,3
2	14,11	13,72
4	13,95	12,55
6	13,68	11,71
8	13,31	11,32
10	13,02 (13,37 – экспериментальный)	10,98 (11,49 – экспериментальный)

Таблица 2

Длина барабана	Температура хлопка-сырца при $W_H=14,3\%$, $T_B=100^\circ\text{C}$	Температура хлопка-сырца при $W_H=14,3\%$, $T_B=200^\circ\text{C}$
0	10	10
2	14,8	21,4
4	23,7	35,7
6	27,9	47,1
8	32,1	53,3
10	36,8 (35 – экспериментальный)	58,1 (56 – экспериментальный)

ВЫВОДЫ

Сравнение экспериментальных данных изменения влажности и температуры хлопка-сырца в барабанной сушилке 2СБ-10 и результаты расчетов по приближенному решению показывают, что погрешность расчетов составляет не более 5%. Это позволяет использовать рассмотренный алгоритм для вычисления температуры и влагосодержания хлопка-сырца в процессе сушки в прямоточных барабанных сушилках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Parpiev A.P., Kayumov A.H., Pardayev H. Effect of temperature of steady heating components of cottonseed at drying process// European science review. –V. 7-8, 2016. P.205...207.
2. Parpiyev A.P., Kayumov A.H. Axmatov N. Definition of area of soft temperature drying condition // European science review. – V.7-8, 2016. p.208...211.
3. Parpiyev A.P., Kayumov A.H. Analytical review of the applied temperature in the process of drying raw cotton // Scientific and Technical Journal of Fer PI. – V.1, 2017. P.29...34.

4. Лыков А.В. Тепломассообмен. – М.: Энергия, 1978.

5. Михлин С.Г. Численная реализация вариационных методов. – М.: Наука, 1966.

REFERENCES

1. Parpiev A.P., Kayumov A.H., Pardayev H. Effect of temperature of steady heating components of cottonseed at drying process// European science review. –V. 7-8, 2016. P.205...207.
2. Parpiyev A.P., Kayumov A.H. Axmatov N. Definition of area of soft temperature drying condition // European science review. – V.7-8, 2016. p.208...211.
3. Parpiyev A.P., Kayumov A.H. Analytical review of the applied temperature in the process of drying raw cotton // Scientific and Technical Journal of Fer PI. – V.1, 2017. P.29...34.
4. Lykov A.V. Teplomassoobmen. – М.: Energiya, 1978.
5. Mikhlin S.G. Chislennaya realizatsiya variatsionnykh metodov. – М.: Nauka, 1966

Рекомендована кафедрой текстильных технологий РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 07.06.20.

УДК 677.024:519.876.5
DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_50

**ОЦЕНКА БУТСТРЕП-МЕТОДА ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**EVALUATION OF THE BOOTSTRAP METHOD FOR PROCESSING RESULTS
OF TECHNOLOGICAL MEASUREMENTS**

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

Выполнено сравнение результатов оценивания коэффициента парной корреляции методами, основанными на нормальной и асимптотической теории статистики, и бутстреп-методами. Сравнение выполнено методами статистического моделирования с высокой надежностью получаемых выводов, которая обеспечивается большими объемами повторных испытаний. Исследование проведено на примере коэффициента парной корреляции для выборочных данных в широком диапазоне размеров выборки для нормальных и равномерно распределенных случайных величин.

The results of evaluating the pair correlation coefficient using methods based on normal and asymptotic statistical theory and bootstrap methods are compared. The comparison was performed using statistical modeling methods with high reliability of the obtained conclusions, which is provided by large volumes of repeated tests. The study is based on the example of the pair correlation coefficient for sample data in a wide range of sample sizes for normal and uniformly distributed random variables.

Ключевые слова: текстильные материалы, показатели качества, выборка, бутстреп, точность оценки, надежность оценки.

Keywords: textile materials, quality indicators, sampling, bootstrap, accuracy of evaluation, reliability of evaluation.

Измерения и обработка данных при оценке качественных показателей текстильных материалов и изделий, как правило, ввиду больших трудо- и временных

затрат вынуждены обходиться выборками малого объема [1]. Бутстреп (bootstrap)-методы (БМ) уже сорок лет привлекают заманчивой перспективой извлечь большой

объем информации из выборочных данных при малом их объеме n [2], [3]. Результат достигается за счет многократного использования выборочных данных в повторных выборках. Повторные выборки с возвратом данных отбираются из исходной выборки случайным образом. Общее количество повторных выборок одинакового объема и отличающихся друг от друга хотя бы одним элементом равно n^n . Даже для выборок умеренного объема это количество может быть огромным и позволяет надеяться на получение не только точечных, но и интервальных оценок целевых показателей. С позиций теории информации интерпретация эффективности БМ такова: классические статистические методы, основанные на нормальной, асимптотической или робастной теории (АН - оценки), не позволяют извлечь "всю" информацию, содержащуюся в исходной выборке. БМ позволяют это сделать, и поэтому можно обойтись выборками меньшего объема. К сожалению, теоретические исследования, посвященные изучению информационно-статистических свойств БМ - оценок, не дают однозначного ответа на вопрос об их преимуществах. Литература на тему БМ, в основном, сводится к описанию разных вариаций БМ и алгоритмов их реализации. Вместе с тем о популярности БМ говорит включение инструментария для реализации БМ в распространенные программные пакеты.

Наибольший интерес представляет задача о зависимости точности БМ-оценки целевого показателя от объема выборки и сравнения этой оценки с АН - оценкой. Рассмотрим эту задачу на примере исследования корреляционных показателей. В качестве такого целевого показателя возьмем коэффициент парной корреляции между двумя нормально распределенными случайными величинами. Коэффициент корреляции является одним из наиболее часто оцениваемых показателей во многих исследованиях регрессий и корреляций при контроле и управлении технологическими процессами и изучении свойств текстильных материалов. Поэтому результаты оценивания представляют общий интерес. Процедура получения как точечной, так и интер-

вальной оценок коэффициента парной корреляции для нормально распределенных случайных величин известна [4], [5]. Распределение точечной выборочной оценки коэффициента корреляции с ростом объема выборки весьма медленно сходится к нормальному распределению. Поэтому при умеренных объемах выборки (до 100 пар значений) для применения нормальной теории и получения интервальных оценок используют так называемое преобразование Фишера оценки коэффициента корреляции [6], [7]. Именно этот общепризнанный подход реализован в функции `corr` системы Matlab. БМ-оценки коэффициента корреляции получим методом компьютерного статистического моделирования [8...10].

В качестве источника данных – парной выборки – используем простейшую линейную корреляционную модель $Y = X + Z$. Здесь X и Z , а соответственно, и Y – нормально распределенные случайные величины. Если X и Z не коррелированы, то коэффициент парной корреляции между X и Y равен

$$R = 1 / \sqrt{1 + S_z^2 / S_x^2},$$

где S_x и S_z – среднеквадратические отклонения (СКО) X и Z . При имитации выборки выберем значения СКО $S_x = 1$ и $S_z = \sqrt{3}$. Тем самым задаем определенный коэффициент корреляции между X и Y , равный $R = 0,5$.

Реализуем "классическую" АН - оценку коэффициента корреляции средствами Matlab с помощью следующих строк

```
>> n = 10000; x = normrnd(0, 1, n, 1); z =
= normrnd(0, sqrt(3), n, 1); y = x + z;
>> [r, p, rlo, rup] = corrcoef(x, y);
```

При точном значении коэффициента корреляции 0,5 его точечная оценка по парной выборке объемом $n = 10000$ пар значений X и Y оказалась равной $r = 0,5078$, и интервальная оценка ($rlo = 0,4931$; $rup = 0,5222$). Как видим, при больших объемах выборки n точность оценки весьма высока с высокой надежностью 0,95. Для выборок малого объема $n = 5$ вычисленные тем же методом точечная и интервальная АН-оценки являются абсолютно неприемле-

мыми. Например, одна выборка дает точечную оценку $r = +0,1744$ и интервальную оценку ($r_{lo} = -0,8366$; $r_{up} = +0,9158$), вторая выборка $r = +0,8603$ и ($r_{lo} = -0,0911$; $r_{up} = +0,9907$), а третья выборка $r = -0,0066$ и ($r_{lo} = -0,8837$; $r_{up} = 0,8808$), что лишний раз доказывает непригодность методов асимптотической или нормальной теории для оценки коэффициента корреляции при малых выборках.

Рассмотрим возможности БМ для решения той же задачи точечной и интервальной оценки коэффициента корреляции для разных объемов парной выборки. Число бутстреп-выборок, генерируемых на основе исходной парной выборки, обозначено nb . Это число в эксперименте принималось равным $nb = 500$. Для получения оценок использованы следующие команды Matlab:

```
>> n = 10000; x = normrnd(0, 1, n, 1); z = normrnd(0, sqrt(3), n, 1); y = x + z;
```

```
>> nb = 500; [bootstat, bootsam] = bootstrap(nb, @corr, y, x);
```

```
>> rb = mean(bootstat); [rblo, rbup] = bootci(nb, @corr, y, x);
```

и далее повторение для $nb = 100; 25; 10; 5$.

Результаты модельного эксперимента приведены в табл. 1 (сравнение оценок парного коэффициента корреляции нормальным/асимптотическим методом и бутстреп-методом). В 1-й строке приведен объем модельной парной выборки n . Во 2-й строке – точечная АН-оценка. В 3-й и 4-й строках приведены нижняя и верхняя границы интервальной АН-оценки коэффициента корреляции. В 5-й, 6-й и 7-й строках – точечная и интервальная БМ-оценки. В предпоследних строках таблицы приведены длины оцененных доверительных интервалов для доверительной вероятности 0,95, равные $D = r_{up} - r_{lo}$ и $Db = rb_{up} - rb_{lo}$, а в последней строке – их отношение $Ebc = Db / Dc$.

Т а б л и ц а 1

1	n	10000	100	25	10	5
2	r	0,5078	0,4455	0,4518	0,5109	0,4459
3	r _{lo}	0,4931	0,2730	0,0689	-0,1750	-0,7193
4	r _{up}	0,5222	0,5903	0,7186	0,8629	0,9532
5	rb	0,4900	0,5008	0,5728	0,5502	0,4872
6	rb _{lo}	0,4722	0,3255	0,1933	-0,0910	-1,0000
7	rb _{up}	0,5027	0,6420	0,7785	0,8878	1,0000
8	D	0,0291	0,3173	0,6497	1,0379	1,6725
9	Db	0,0305	0,3165	0,5852	0,9788	2,0000
10	Ebc	1,0481	0,9975	0,9007	0,9431	1,1958

На рис. 1 ($r = 0,4789$; $r_{lo} = -0,6985$; $r_{up} = 0,9569$; $rb = 0,4815$; $rb_{lo} = -1$; $rb_{up} = +1$. Объем выборки $n = 5$) и рис. 2 ($r = 0,6819$; $r_{lo} = 0,0915$; $r_{up} = 0,9176$; $rb = 0,6719$; $rb_{lo} = -0,2226$; $rb_{up} = 0,9327$. Объем выборки $n=10$) показаны примеры гистограмм значений точечной оценки коэффициента корреляции rb для R, полученной БМ-методом для

$n = 5$ и $n = 10$, построенные по $nb = 500$ бутстреп-выборкам. Видно, что БМ-оценки так же, как и АН-оценки коэффициента корреляции, имеют существенно асимметричные распределения с настолько широким диапазоном значений, что это делает оценки неприемлемыми.

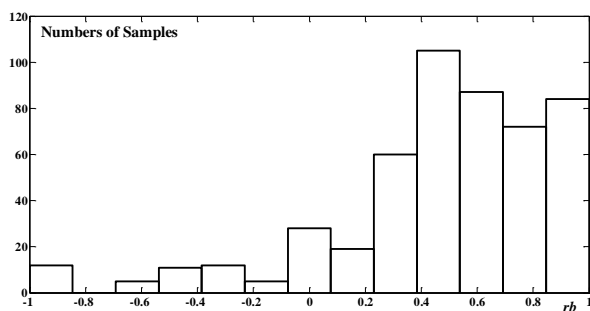


Рис. 1

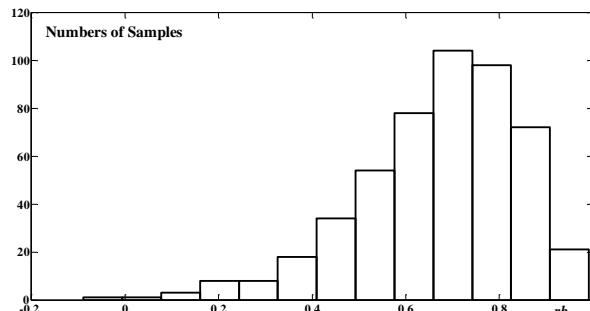


Рис. 2

Сравним полученные результаты АН и БМ-оценивания парного коэффициента корреляции. Оба подхода дают близкие точечные оценки и практически одинаковую точность (длины доверительных интервалов), хорошие при очень больших выборках, удовлетворительные при выборках среднего объема и неприемлемые для малых выборок $n = 10$ и 5 . Значения критерия Ebc наглядно показывают, что в широком диапазоне объемов выборок точность оценки коэффициента корреляции сравниваемыми методами практически одинакова.

Чтобы убедиться в робастности этого вывода, эксперимент был повторен с равномерно распределенными случайными величинами X и Z : $X \sim \text{Uniform}(-1; 1)$; $Z \sim \text{Uniform}(-\sqrt{3}; \sqrt{3})$. В табл. 2 для разных объемов парных выборок приведено по четыре

повторных значения показателя Ebc , вычисленные на разных множествах случайных чисел. Из данных таблицы следует, что на всем исследованном диапазоне объемов выборок от $n = 5$ до $n = 10000$ длина доверительных интервалов для оценки коэффициента корреляции, полученной с применением формул асимптотической теории оценивания, практически такая же, как и оценка, полученная с применением БМ. Заметим, что при малых объемах выборки $n = 5$ оба класса методов оценивания дают одинаково большой диапазон разброса длины доверительного интервала, то есть точность оценивания недопустимо мала и ненадежна, каков бы ни был метод, и как бы ни были распределены исследуемые случайные величины.

Т а б л и ц а 2

n	5	10	25	100	10000
Ebc	2,3310	1,1346	1,0929	1,0810	1,0116
	0,5821	1,0214	1,1466	0,8966	0,8914
	1,1272	1,1478	0,8198	0,9408	0,9030
	1,1337	0,8452	0,9903	0,9748	0,9412

Следовательно, по крайней мере, в данной задаче затраты на более сложную и длительную компьютерную обработку выборочных данных при использовании БМ оказываются неоправданными повышением точности и достоверности результатов.

ВЫВОДЫ

Бутстреп-методы дают приемлемые оценки измеряемого показателя на выборках среднего (> 30) и большого объема. При этом их точность сопоставима с точностью оценок, получаемых на основе нормальной или асимптотической теории статистики, то есть бутстреп-методы, будучи более трудоемкими, не дают выигрыша в точности и надежности оценивания. Для малых выборок нормальные и бутстреп-методы дают одинаково неточные результаты с низкой надежностью.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Anatolyev S.A. Robustness of residual-base bootstrap to composition of serially correlated errors // Journ. Statistical Computation and Simulation. – Vol. 79, №.3. P.315...320.

3. Орлов А.И. Прикладная статистика. – М.: Изд-во "Экзамен", 2004.

4. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. ISBN 5-9221-0707-0

5. Севостьянов П.А., Ордов К.В. Основы анализа и моделирования данных в технике и экономике. – М.: "Тисо Принт", 2015.

6. Севостьянов П.А. Математические методы обработки данных. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2004. ISBN 5-8196-0056-9

7. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1971.

8. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Монахов В.И., Тихомирова М.Л., Забродин Д.А. Современные информационные технологии в исследованиях и оптимизации процессов рыхления и очистки экологических волокнистых материалов // Сб. научн. тр. Междунар. научн.-технич. симпозиума: Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления Международного Косыгинского Форума: Современные задачи инженерных наук: Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления: сборник научных трудов (29-30 октября 2019 г.). – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2019. Часть 2. С. 88...93.

9. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Монахов В.В. Моделирование удлинения основной нити в ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 2. С. 199...202.

10. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Монахов В.В., Воробьев И.Н. Планирование экспериментов и обработка данных моделирования процессов старения полимерных материалов // Сб. мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018). Часть 2. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2018. С. 246...249.

REFERENCES

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

2. Anatolyev S.A. Robustness of residual-base bootstrap to composition of serially correlated errors // Journ. Statistical Computation and Simulation. – Vol.79, №3. P.315...320.

3. Orlov A.I. Prikladnaya statistika. – М.: Izd-vo "Ekzamen", 2004.

4. Kobzar' A.I. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov. – М.: Fizmatlit, 2006. ISBN 5-9221-0707-0

5. Sevost'yanov P.A., Ordov K.V. Osnovy analiza i modelirovaniya dannykh v tekhnike i ekonomike. – М.: "Tiso Print", 2015.

6. Sevost'yanov P.A. Matematicheskie metody obrabotki dannykh. – М.: MGTU im. A.N. Kosygina, 2004. ISBN 5-8196-0056-9

7. Mitropol'skiy A.K. Tekhnika statisticheskikh vychisleniy. – 2-e izd., pererab. i dop. – М.: Nauka, 1971.

8. Sevost'yanov P.A., Samoylova T.A., Monakhov V.I., Tikhomirova M.L., Zabrodin D.A. Sovremennye informatsionnye tekhnologii v issledovaniyakh i optimizatsii protsessov rykhleniya i ochistki ekologicheskikh voloknistykh materialov // Sb. nauchn. tr. Mezhdunar. nauchn.-tekhnich. simpoziuma: Sovremennye inzhenernye problemy v proizvodstve tovarov narodnogo potrebleniya Mezhdunarodnogo Kosygin'skogo Foruma: Sovremennye zadachi inzhenernykh nauk: Sovremennye inzhenernye problemy v proizvodstve tovarov narodnogo potrebleniya: sbornik nauchnykh trudov (29-30 oktyabrya 2019 g.). – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2019. Chast' 2. S. 88...93.

9. Sevost'yanov P.A., Samoylova T.A., Monakhov V.V. Modelirovaniye udlineniya osnovnoy niti v tkani // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, № 2. S. 199...202.

10. Sevost'yanov P.A., Samoylova T.A., Monakhov V.V., Vorob'ev I.N. Planirovaniye eksperimentov i obrabotka dannykh modelirovaniya protsessov stareniya polimernykh materialov // Sb. mat. Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.: Dizayn, tekhnologii i innovatsii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti (INNOVATsII-2018). Chast' 2. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2018. S. 246...249.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления. Поступила 14.09.20.

УДК 677.054.39

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_55

СИМУЛЯЦИЯ НАТЯЖЕНИЯ НИТЕЙ ОСНОВЫ ПРИ ТКАЧЕСТВЕ

THE SIMULATION OF TENSION OF THE WARP THREADS IN THE WEAVING PROCESS

Е.В. ГОЛУБЕВ, В.В. РОМАНОВ

E.V. GOLUBEV, V.V. ROMANOV

(Костромской государственной университет)

(Kostroma State University)

E-mail: evg-golub@mail.ru; wwr52@rambler.ru

В статье представлена методика компьютерного моделирования натяжения нитей основы на ткацком станке в процессе тканеобразования. В ходе исследования была решена система дифференциальных уравнений с использованием численных методов. Дается сравнение экспериментально полученных данных и результатов в виде графиков изменения натяжения основы и колебаний скала станка. Показано соответствие экспериментальных и теоретических результатов.

The article presents the method of computer modeling of the tension of the warp threads on a loom in the process of tissue formation. During the study, a system of differential equations was solved using numerical methods. A comparison is made of the experimentally obtained data and results in the form of graphs of changes in the base tension and oscillations of the machine rock. The correspondence of experimental and theoretical results is shown.

Ключевые слова: ткацкий станок, натяжение основы, компьютерное моделирование, зверообразование, численный метод, перемещение скала, прибор.

Keywords: weaving machine, a warp tension, computer simulation, shedding, numerical method.

Натяжение основы – это параметр, который следует тщательно контролировать, так как с его помощью можно избежать чрезмерных пиковых значений натяжения,

которые приводят к неудовлетворительным результатам зверообразования. Определить эффект комбинации факторов, таких как станок, материал основы, ткачество обыч-

ными способами достаточно трудоемко, неэкономично и иногда даже невозможно. Во избежание этого станок и силы натяжения основы могут быть математически смоделированы [1].

В ходе исследовательской работы был использован ткацкий станок со скоростью вращения главного вала 240 об/мин (4 уточ./с), 6 ремизных валов, симметричная геометрия зева, зев закрывается при 355° , непрерывный отвод ткани и периодический отпуск основы. Характеристики ткани, использованной в моделировании натяжения, были следующие: саржа (2/2), ширина 170 см, 20 уточин/см (50 текс/к), 20 основных нитей/см (2x55 текс/к).

Для моделирования натяжения основы в процессе ткачества была разработана математическая модель системы основа/ткань ткацкого станка (рис. 1 – схема ткацкого станка). На этом рисунке: L_{10} и L_1 – начальная и конечная длина участка основы между опушкой ткани и ремизками; L_{20} и L_2 – между ремизным прибором и скалом; L_{30} и L_3 – между скалом и навоем; L_{w0} и L_w – начальная и конечная длина участка основы, контактирующего со скалом. Известно, что длины участков L_2 , L_3 и L_w , а также их начальные длины можно вычислить из геометрии моделируемого станка; α – угол между скалом и вертикальной осью; β_1 – угол между участком основы L_2 и горизонтальной осью; y – перемещение ремизок; r – радиус скала; R – радиус навоя.

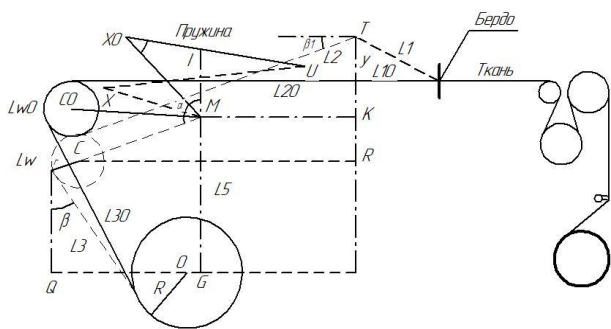


Рис. 1

В процессах зевобразования, отпуска основы и отвода ткани натяжение основы изменяется. В определении уравнения натяжения основы осуществим допущения, обусловленные механическими свойствами

нитей и модулем упругости растянутых нитей. Допустим, что упругие свойства нитей следуют закону Гука, то есть изменение натяжения линейно зависит от удлинения [2].

Для расчета натяжения основы из геометрии станка и траектории нитей основы от навоя до зоны приборя было определено полное удлинение нитей. Для получения уравнения скорости зевобразования уравнение перемещения было продифференцировано по времени t [3]:

$$T = T_0 + E_y \frac{d\ell}{\ell_0}, \quad (1)$$

$$T = T_0 + dT, \quad (2)$$

$$dT = E_y \frac{dL}{\ell_0}, \quad (3)$$

где T – натяжение основы в момент времени $t=t_0+dt$, T_0 – начальное натяжение основы в момент t_0 и dT – натяжение основы, обусловленное удлинением dL за время dt . Величины L и dL могут быть определены из уравнений и геометрии ткацкого станка. E_y – модуль упругости нитей определяется наклоном кривой сила-удлинение и может быть получен из уравнения (5). В данной работе было получено значение модуля упругости нити около 130 сН/текс:

$$E_y = \frac{T_f - T_i}{c(\ell_f - \ell_i) / \ell_i}, \quad (4)$$

где T_f и T_i – соответственно конечное и начальное натяжения нитей; ℓ_f и ℓ_i – конечная и начальная длина нитей; c – количество нитей.

Чтобы рассчитать натяжение основы, вычисляем изменения длин участков основы.

L_t (общая длина основы) и ее отклонения получаем из уравнений:

$$L_t = L_1 + L_2 + L_3 + L_w + L_{let} - L_{tu}, \quad (5)$$

$$dL_t = dL_1 + dL_2 + dL_3 + dL_w + dL_{let} + dL_{tu}, \quad (6)$$

где L_{let} – количество (длина) нитей, отпущенных с навоя. L_2 , L_3 , L_w , L_{let} , L_{tu} могут быть определены из геометрии и документации на станок.

Чтобы вычислить натяжение основы в каждой зоне заправки, должны быть определены длины участков основы и их изменения. Определим уравнения для L1, L2, L3 и Lw также, как и для их изменений. Часть изменения натяжения основы происходит в связи с зевобразованием и прибором, что вызывает циклическое изменение длин участков основы [4].

Для определения длины участка основы между ремизками и опушкой ткани рассматриваются два отдельных состояния.

1) Длина участка основы в процессе прибора резко изменяется, что, следовательно, ведет к внезапному изменению натяжения основы. Длины L1 и L10 быстро изменяются в процессе прибора. Когда опушка ткани выталкивается вперед, расстояние между ремизками и опушкой:

$$L10 = d + cfd, \quad (7)$$

где cfd – перемещение опушки ткани в результате прибора; d=160 мм – расстояние

между ремизками и опушкой ткани до прибора. Длина основы между ремизками и опушкой ткани, то есть L1 и ее изменения, dL1, в результате прибора вычисляются из уравнений:

$$L1 = \sqrt{(160 + cfd)^2 + y^2}, \quad (8)$$

$$dL1 = \frac{(160 + cfd)d(cfd) + ydy}{L1}. \quad (9)$$

2) В отсутствии прибора смещение опушки ткани равно нулю. Таким образом, участок основы между ремизками и опушкой, а также его изменения можно получить из уравнения:

$$L1 = \sqrt{L10^2 + y^2}, \quad (10)$$

$$dL1 = \frac{ydy}{L1}. \quad (11)$$

Также необходимо определить L2, L3, Lw и их изменения:

$$L2 = \sqrt{(y + MS + MC \sin \alpha)^2 + (MK + MC \cos \alpha)^2 - r^2}, \quad (12)$$

$$dL2 = \frac{(y + MS + MC \sin \alpha)(dy + MC \cos \alpha d\alpha) + (MK + MC \cos \alpha) \cdot (-MC \sin \alpha d\alpha)}{L2}, \quad (13)$$

$$L3 = \frac{E - (R - r) \cos \beta 2}{\sin \beta 2}, \quad (14)$$

$$dL3 = \frac{(R - r - E \cos \beta 2)d\beta 2 + \sin \beta 2 dE}{\sin^2 \beta 2}, \quad (15)$$

$$Lw = r \left(\frac{\pi}{2} - \beta 1 + \beta 2 \right), \quad (16)$$

$$dLw = r(d\beta 2 - d\beta 1). \quad (17)$$

Меру удлинения участка основы, огибающего скало под натяжением, можно определить:

$$dLw_e = \frac{T2 - T3}{btE} \cdot \frac{r}{\mu}, \quad (18)$$

$$dLw_e = \frac{T2(1 - e^{-\mu\phi})}{E_y} \cdot \frac{r}{\mu}, \quad (19)$$

где μ – коэффициент трения между нитями основы и скалом.

Известно, что $\mu \neq 0$, натяжение основы в различных частях не одинаково:

$$dT2 = E_y \frac{dL1 + dL2}{L1 + L2}. \quad (20)$$

Натяжение основы в зонах L2 и L1 полагается равным T2, а его изменения не являются чистым удлинением. В связи с этим важно найти чистое удлинение L1+L2, то есть dLe.

$$dT2 = E_y \frac{dLe}{L1 + L2}, \quad (21)$$

$$dLe = dLt - dLe3 - dLwe, \quad (22)$$

$$dLe = L3 \frac{dT3}{E_y} \quad (23)$$

Поскольку T3 < T2:

$$T3 = T2 e^{-\mu\phi},$$

$$dT3 = e^{-\mu\phi} dT2 - \mu e^{-\mu\phi} T2 d\phi = e^{-\mu\phi} dT2 - \mu T3 d\phi, \quad (24)$$

$$dLe3 = L3 \frac{(e^{-\mu\phi} dT2 - \mu T3 \cdot d\phi)}{E_y}, \quad (25)$$

$$dLe = dLt - L3 \frac{(e^{-\mu\phi} dT2 - \mu T3 \cdot d\phi)}{E_y} - \frac{(T2 - T3)r}{E_y \mu}. \quad (26)$$

Подставляя dLe в уравнение (21):

$$dT2 = \frac{E_y}{L1 + L2} \left[dLt - L3 \frac{(e^{-\mu\phi} dT2 - \mu T3 \cdot d\phi)}{E_y} - \frac{(T2 - T3)r}{E_y \mu} \right], \quad (27)$$

$$dT2 = \frac{E_y dLt + (L3 \mu d\phi - (L1 + L2)(e^{-\mu\phi} - 1)r / \mu) T3}{L1 + L2 + L3 e^{-\mu\phi}}. \quad (28)$$

Угол поворота скала α должен быть определен из динамических уравнений системы [5].

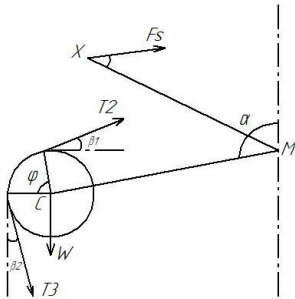


Рис. 2

Для вычисления α на рис.2 изображена система сил, действующих на скало.

Угловое ускорение скала $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$ можно получить из уравнения:

$$\tau = \sum M_M = I_b \frac{d^2\alpha}{dt^2}, \quad (29)$$

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = \frac{\sum M_M}{I_b}, \quad (30)$$

где τ – крутящий момент, равный $\sum M_M$. Разложив его на составляющие, получим:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = \frac{(T2 \sin(\alpha - \beta1) + T3 \cos(\beta2 - \alpha) + W \cos \alpha) MC - (T2 - T3)r - F_s M X \sin \psi}{I_b}, \quad (31)$$

где T2 и T3 – натяжение основы в зонах L2 и L3 соответственно; W – масса скала; MC – длина рычага, соединяющего скало с осью M; MX – длина рычага, связанного с пружиной; F_s – сила упругости пружины; I_b – момент инерции скала относительно оси M.

$$I_b = \frac{\ell}{2} \rho \pi L_m (r_0^4 - r_1^4) + 2 \frac{\ell}{2} \rho \pi L_1 r_1^4 + M_b MO^2, \quad (32)$$

где r_0 и r_1 – наружный и внутренний радиусы главного вала скала; L_m – длина главного вала скала; r_1 и L_1 – радиус и длина боковых стержней; M_b – масса скала.

В результате, чтобы решить уравнения натяжения, угловой скорости и углового ускорения, необходимо проинтегрировать их численно, используя метод Рунге-Кутты [6]. Если предположить отпуск основы и

отвод ткани непрерывными, уравнения (8) и (9) примут вид:

$$L_t = L1 + L2 + L3 + Lw, \quad (33)$$

$$dL_t = dL1 + dL2 + dL3 + dLw. \quad (34)$$

Расчетные изменения натяжения основы сопоставили с результатами измерений. Измерение натяжения выполнялось с помощью тензометра. Датчиком служила латунная U-образная пружина с закрепленными тензорезисторами. Данные захватывались с выхода тензоусилителя и обрабатывались цифровым процессором. За оборот главного вала записывалось 512 значений натяжения. Расчетное перемещение скала с течением времени изображено на рис. 3.

Измерение колебаний скала было проведено с использованием лазерного преобразователя перемещений совместно с датчиком приближения, который использо-

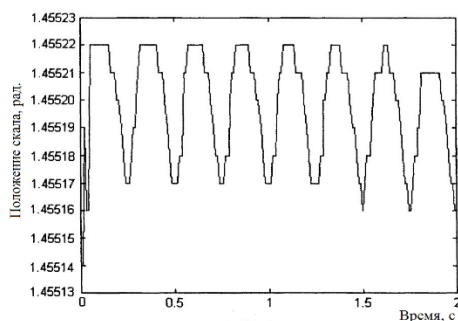


Рис. 3

вался для определения положения берда. На рис. 4 изображены колебания скала А и движение берда В.

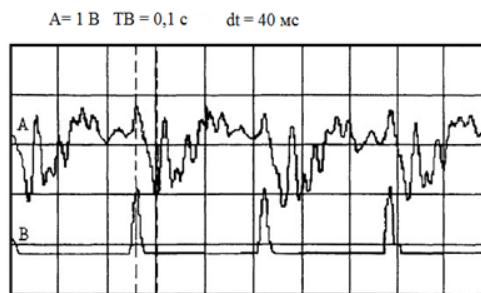


Рис. 4

Сравнение перемещений скала показывает общее соответствие между графиками. Отличие между двумя кривыми заключается в наличии вибраций на экспериментально полученной кривой.

ВЫВОДЫ

1. Расчетные кривые с достаточной точностью согласуются с результатами экспериментов.

2. Расчетные кривые можно еще более приблизить к экспериментальным, если допущения линейной эластичности участков основы пересмотреть (поскольку нити не следуют закону Гука).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Vatankhah E.* Importance of the Cloth Fell Position and its Specification Methods. – <https://www.intechopen.com/download/pdf/12241>;

2. *Брут-Бруляко А.Б., Романов В.В., Хомяков Е.С.* Влияние основных факторов на натяжение льняной пряжи при перематывании // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2018, №1. С.73...76.

3. *Голубев Е.В., Романов В.В.* Моделирование и оптимизация натяжения нити при ткачестве // *Мехатроника, автоматика и робототехника.* – 2019, №3. С.105...108.

4. *Гордеев В.А., Волков П.В.* Ткачество. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.

5. *Грановский Т.С., Мшвениерадзе А.П.* Строение и анализ тканей – М.: Легпромбытиздат, 1988.

6. *Романов В.В., Лясич В.А., Лопатин Д.Е.* Сравнение типовых методов анализа и синтеза машинного агрегата с методом М.З. Коловского // *Теория механизмов и машин.* – 2009, №2.

REFERENCES

1. *Vatankhah E.* Importance of the Cloth Fell Position and its Specification Methods. – <https://www.intechopen.com/download/pdf/12241>;

2. *Brut-Brulyako A.B., Romanov V.V., Khomyakov E.S.* Vliyanie osnovnykh faktorov na natyazhenie l'nyanoy pryazhi pri perematyvanii // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2018, №1. S.73...76.

3. *Golubev E.V., Romanov V.V.* Modelirovanie i optimizatsiya natyazheniya niti pri tkachestve // *Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika.* – 2019, №3. S.105...108.

4. *Gordeev V.A., Volkov P.V.* Tkachestvo. – М.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1984.

5. *Granovskiy T.S., Mshvenieradze A.P.* Stroenie i analiz tkaney – М.: Legprombytizdat, 1988.

6. *Romanov V.V., Lyasich V.A., Lopatin D.E.* Sravnenie tipovykh metodov analiza i sinteza mashinnogo agregata s metodom M.Z. Kolovskogo // *Teoriya mekhanizmov i mashin.* – 2009, №2.

Рекомендована кафедрой технологии машиностроения. Поступила 17.06.19.

УДК 677.027

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_60

**МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ**

**MICROENCAPSULATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES
USING BIOCOMPATIBLE POLYELECTROLYTES**

О.И. ОДИНЦОВА, Е.В. РУМЯНЦЕВ, А.С. СМЕРНОВА, Л.С. ПЕТРОВА, В.Е. РУМЯНЦЕВА

O.I. ODINTSOVA, E.V. RUMYANTSEV, A.S. SMIRNOVA, L.S. PETROVA, V.E. RUMYANTSEVA

**(Ивановский государственный химико-технологический университет,
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo State Polytechnical University)**

Email: odolga@yandex.ru

Представленная работа посвящена микрокапсулированию биологически активных веществ и иммобилизации их на текстильных материалах с целью получения тканей и изделий из них медицинского назначения. Оценены сорбционные свойства ряда целлюлозных текстильных материалов. Проведен выбор текстильного материала, наиболее подходящего к использованию в медицинских целях. Изучен процесс микрокапсулирования биологически активных веществ натурального происхождения. Проведен сравнительный анализ размера капсул, синтезированных по методу наноэмульсий с использованием различных по химическому строению полиэлектролитов.

The presented work is devoted to the development of textile materials and medical products based on biologically active nanocapsulated substances used as wound dressings and medical napkins. The sorption properties of the obtained cellulose textile materials are estimated. The selection of the textile material most suitable for use in medical purposes has been carried out. The process of microencapsulation of biologically active substances of natural origin has been studied. A comparative analysis of the size of capsules synthesized by the method of nanoemulsions using polyelectrolytes of various chemical structures has been carried out.

Ключевые слова: текстильные материалы медицинского назначения, микрокапсулирование, иммобилизация, биологически активные вещества натурального происхождения, полиэлектролиты, сорбционные свойства.

Keywords: textile materials of medical purposes, microcapsulation, immobilization, biologically active substances of natural origin, polyelectrolytes, sorption properties.

Раневые покрытия и повязки так же, как и косметические маски на текстильной основе, используются человеком с давних пор [1]. Если раньше текстильные материалы применяли в медицинской практике в основном как перевязочные, закрывающие раны, то есть в виде ваты, марли, бинтов, марлевых салфеток и тампонов, то сегодня все больший интерес представляет их применение с лечебной целью как носителей лекарственных препаратов (ЛП) и биологически активных веществ (БАВ) с пролонгированным лечебным действием. В настоящее время повязки стали сложными, многокомпонентными изделиями, где каждая часть может содержать биологически активные или лекарственные препараты [2].

БАВ, широко используемые в медицине, добываются как из растений, так и синтезируются в промышленных условиях, но полностью воспроизводят структуру своих биологических аналогов. Лекарственные растения являются продуцентами многих биологически активных веществ [3], [4].

Биологически активные вещества в силу своих физических и химических свойств имеют определенную специфическую активность, изменяют каталитическую (витамины, ферменты, коферменты), энергетическую (липиды, углеводы), пластическую (липиды, углеводы, белки), регуляторную (пептиды, гормоны, гормоноподобные вещества) или иную функцию в организме человека, животных или растений. Сохранить уникальные свойства БАВ при введении в текстильный материал можно посредством их капсулирования – заключения в оболочку. В качестве строительного материала оболочки перспективно использование полиэлектролитов [5...7].

Основой аппликационного изделия медицинского или косметического назначения является текстильный материал, который служит носителем микрокапсулированного препарата. К текстильным материалам, применяемым для создания раневых повязок, косметических салфеток и масок, предъявляются определенные санитарно-гигиенические требования [8], [9]. К ним относят повышенные сорбционную способность, гигроскопичность, воздухо- и паропроницаемость, влагоотдачу, водопоглощение. Сорбционные свойства являются одними из важнейших для современных аппликационных изделий. Их характеризуют следующие показатели: капиллярность, гигроскопичность, водопоглощение. В работе были оценены свойства хлопчатобумажных и льняных тканей различного переплетения: полотняного – миткаль, льняные серая и отбеленная, бязь и сатинового – сатин. Характеристики тканей определяли по стандартным методикам [10...12].

Гигроскопичность текстильного материала – это способность ткани поглощать водяные пары из окружающей атмосферы и удерживать их при определенных условиях. Свойством гигроскопичности в первую очередь должны обладать ткани медицинского назначения, которым необходимо легко впитывать влагу или раневой экссудат и испарять их в окружающую среду, тем самым поддерживая рану в гигиеническом состоянии. Наибольшей гигроскопичностью из приведенных текстильных материалов обладают отбеленная бязь, арт.262 и льняная ткань, арт.035 (табл. 1 – характеристика свойств целлюлозных текстильных материалов).

Т а б л и ц а 1

Наименование текстильного материала	Гигроскопичность (при относительной влажности 98%)	Капиллярность, мм	Воздухопроницаемость $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$
Бязь, арт. 262	15,5	165	65
Миткаль, арт. 20.	13	152	66
Сатин, арт. 547	13,5	131	53
Серая льняная ткань 8С-137	9	142	46
Отбеленная льняная ткань, арт. 035	15,6	156	64

Капиллярность характеризует поглощение влаги продольными капиллярами текстильного материала и оценивается высотой (мм) подъема жидкости в пробе материала в течение одного часа, погруженного одним концом в воду. По капиллярности судят о намокаемости тканей, то есть способности тканей впитывать капельную жидкую влагу, что также имеет важное значение при создании аппликационных лечебных материалов. Как видно из приведенных данных в табл. 1, наилучшей капиллярностью и воздухопроницаемостью обладают чистольняная отбеленная ткань, арт. 035 и хлопчатобумажная бязь, арт.262, которые были рекомендованы к использованию.

Микрокапсулированные БАВ можно наносить на волокнистый материал в виде дисперсии со связующим, используя методы набивки, распыления, пропитки и вытяжки или трафаретной печати. Наиболее прост способ пропитки текстильных материалов готовыми микрокапсулированными препаратами на основе БАВ. При этом эффективно сочетание двух технологических приемов: использование микрокапсулированного БАВ и иммобилизация их на ткани посредством метода Layer-by-Layer.

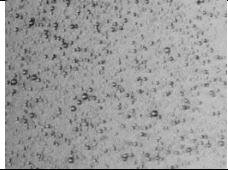
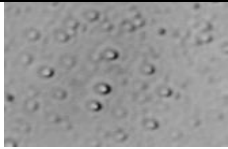
Капсулированный препарат не должен вызывать аллергических реакций, то есть

быть биосовместимым, так как контактирует с кожей человека. Поэтому для формирования оболочки капсулы были опробованы биосовместимые полимеры: катионный хитозан и анионные: пектин, акации камедь, гуаровая и ксантановая камеди.

В процессе эмульгирования масляного БАВ в растворе ПАВ получали прямую наноэмульсию при перемешивании электрической мешалкой, после чего последовательно вводили катионный и анионный полиэлектролиты. В качестве поверхностно-активных веществ применяли ранее подобранную систему из анионоактивного карбокси ПАВ и неионогенного неонола АФ 9/10. Формирование оболочки проводили на коллоидных частицах наноэмульсии масляного субстрата грейпфрута, мяты, розмарина.

Размер частиц нанокапсул определяли методом динамического рассеяния света на приборе Photocor Compact-Z. Исследуемый состав наносили на предметное стекло, наблюдали траектории движения капсул и делали фотографии, используя микроскоп Микмед-6 со съемной фотокамерой. Примеры фотографий капсулированных препаратов приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	Состав капсулы	Фотографии исследуемой системы	
1	Масло розмарина Карбокси ПАВ Неонол Хитозан Гуаровая камедь		
2	Масло розмарина с красителем судан Карбокси ПАВ Неонол Хитозан Пектин		

Все полученные дисперсии достаточно агрегативно устойчивы. Дзета-потенциал исследованных дисперсий варьируется от -10 до -28. Данные, характеризующие влияние полиэлектролитов, входящих в состав оболочки капсулы, на размеры частиц в дисперсии, представлены в табл. 3 (влияние природы полиэлектролитов на размер син-

тезированных капсул, содержащих масло розмарина).

Минимальным размером характеризуются капсулы, в состав оболочек которых входят натуральные полиэлектролиты: хитозан и гуаровая камедь. Размер варьируется от 49,3 до 77,8 нм (табл.3; табл.2, образец 1). Большим размером частиц характе-

ризуются капсулы на основе хитозана и пектина -230-234 нм (табл.3; табл.2, образец 2), что, по-видимому, связано с большим, по сравнению с другими анионными полиэлектролитами, молекулярным весом пектина и меньшей плотностью заряда на

цепи макромолекулы. Более равномерное нанесение микрокапсул на текстильный материал, осуществляется при использовании дисперсии с минимальным размером частиц, содержащий капсулы с оболочкой, включающей хитозан и гуаровую камедь.

Т а б л и ц а 3

Использованные полиэлектролиты		Размер частиц	Содержание частиц в составе	Дзета-потенциал системы
Наименование	Кол-во, г/л	нм	%	мВ
Хитозан	1	66	64,9	-24,0
Ксантовая камедь	1	221,2	100	
Хитозан	1	49,3	100	-18,5
Гуаровая камедь	1	77,8	100	
Хитозан	1	57,3	100	-28,0
Пектин	1	234,2	89	
Хитозан	1	230	100	-10
Акации камедь	1	57,5	99	
Хитозан	1	71,7	99	

Для разработки оптимального технологического режима иммобилизации капсулированных БАВ на целлюлозных материалах проведен модельный эксперимент. Масляный субстрат окрашивали жирорастворимым красителем суданом красным IV, который был выбран в качестве модели для контроля выделения БАВ в процессе обработки. Хлопчатобумажную ткань, в качестве которой использовали ранее выбранную бязь, пропитывали микрокапсулированным препаратом, отжимали до прироста в 100%, сушили и закрепляли с исполь-

зованием различных композиций на основе биосовместимых полиэлектролитов: хитозана, гуаровой и ксантановой камедей.

Оценивали степень десорбции красителя из ткани в спиртовой раствор. Обработанные текстильные материалы имели малиновую окраску, что позволило косвенно определить устойчивость нанесенных композиций к мокрым обработкам – стирке №1 и поту. В процессе отделки использовали контактный и конвективный способ сушки (табл. 4 – технические результаты БАВ-отделки хлопчатобумажной бязи, арт. 262).

Т а б л и ц а 4

Состав композиции	Технология нанесения капсул	Состав, используемый для иммобилизации капсул на ткани, и условия обработки	Оптическая плотность десорбированного спиртового раствора судана IV, ед	Устойчивость окрасок к мокрым обработкам, балл	
				стирке №1	поту
1. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при Т 40°С, отжим 100%, конвективная сушка, Т 80°С	Хитозан 10 г/л, отжим 100%, конвективная сушка, Т 95...100°С	0,029	4/4	4/4
2. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при Т 40°С, отжим 100%, конвективная сушка, Т 80°С	Хитозан, 1% 10 г/л, Альгинат натрия, 1% 10 г/л, отжим 100%, конвективная сушка, Т 95...100°С	0,006	5/5	5/5

3. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при T 40°C, отжим 100%, конвективная сушка, T = 95...100°C	Хитозан, 1% 10 г/л, ZnCl ₂ 5 г/л, отжим 100%, конвективная сушка, T 95...100°C	0,008	5/5	5/5
4. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при T 40°C, отжим 100%, контактная сушка 2 мин 30 с, T = 100°C	Хитозан, 1% 10 г/л, отжим 100%, контактная сушка 2 мин 30 с, T 100°C	0,022	5/5	5/4
5. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при T 40°C, отжим 100%, конвективная сушка, T 80°C	Хитозан, 1% 10 г/л, Альгинат натрия, 1% 10 г/л, отжим 100%, контактная сушка, 2 мин 30 с, T 100°C	0,005	5/5	5/5
6. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при T 40°C, отжим 100%, контактная сушка 2 мин 30 с, T = 100°C	Хитозан, 1% 10 г/л, ZnCl ₂ 5 г/л, отжим 100%, контактная сушка 2 мин 30 с, T 100°C	0,014	5/5	5/5

Максимальная устойчивость к мокрым обработкам наблюдается при использовании для иммобилизации микрокапсул, содержащих в своем ядре БАВ, системы разноименно заряженных полиэлектролитов, включающей хитозан-ксантановая камедь и хитозан-гуаровая камедь (табл. 4, образец 2,5). Послойное нанесение хитозана и альгината натрия на пропитанную ткань обеспечивает дополнительную защиту капсулированных веществ и эффективную иммобилизацию на целлюлозном текстильном материале. Устойчивость отделки БАВ рассматриваемых образцов к стирке №1 характеризуется оценкой 5/5 как к стирке №1, так и к поту 5/5.

ВЫВОДЫ

1. Обоснован выбор текстильных материалов, которые могут служить основой для создания медицинских аппликационных изделий. Показано, что лучшими сорбционными свойствами обладают отбеленные бязь и льняная ткань, подготовленные по традиционной технологии.

2. Определены размеры синтезированных капсул на основе систем биосовместимых полиэлектролитов: хитозан - гуаровая камедь, хитозан - ксантановая камедь, хитозан - пектин. Проведена сравнительная оцен-

ка влияния полиэлектролитов, составляющих оболочку капсулы, на размеры частиц микрокапсул. Установлено, что капсулы, построенные на основе полиэлектролитов: хитозан и гуаровая камедь, характеризуются минимальными размерами, составляющими около 64 нм.

3. Предложен технологический режим иммобилизации капсулированных БАВ на целлюлозных материалах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грибкова В.А. Разработка технологии получения профилактических и лечебных текстильных материалов для косметологии и дерматологии: Дис... канд. техн. наук. – М., 2005.
2. Олтаржевская Н.Д., Коровина М.А. Текстиль для медицины: новые лечебные композиционные материалы // Текстильная промышленность. – 2010, № 5. С. 58...62.
3. Кузьменко В.А., Одинцова О.И., Русанова А.И. Свойства синтетических полиэлектролитов и перспективы их применения для отделки текстильных материалов // Журнал прикладной химии. – 2014. Т.87, № 9. С. 1193...1203.
4. Петрова Л.С., Козлова О.В., Одинцова О.И. Микрокапсулирование биологически активных веществ и их использование для функционализации текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 4. С.85...89.
5. Прохорова А.А., Петрова Л.С., Владимирцева Е.Л., Одинцова О.И. Использование метода микроэмульсионного капсулирования для придания тек-

стильным материалам акарицидных свойств // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 1. С. 332...335.

6. Липина А.А., Одинцова О.И., Антонова А.С., Носкова Ю.В. Оценка нанодисперсного состояния и агрегативной устойчивости экспериментальных образцов инкапсулированных акарицидно-репеллентных веществ // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 4. С. 89...91.

7. Липина А.А., Есина О.А., Смирнова А.С. Оптимизация условий иммобилизации микрокапсул на текстильных материалах // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2019. – Ч.2. С.110...113.

8. Олтаржевская Н.Д. Теоретические основы и технология получения текстильных медицинских материалов с заданными свойствами: Дис. ... докт. техн. наук. – СПб., 1994.

9. Назаренко Г.И., Сугурова И.Ю., Глянцев С.П. Рана. Повязка. Большой. Современные медицинские технологии. – М.: Медицина, 2002.

10. ГОСТ 12088–77. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения воздухопроницаемости. – М.: Изд-во стандартов, 2003.

11. ГОСТ 3816–81. Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств. – М.: Изд-во стандартов, 1997.

12. ГОСТ 10681–75. Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения. – М.: Изд-во стандартов, 1997.

REFERENCES

1. Gribkova V.A. Razrabotka tekhnologii polucheniya profilakticheskikh i lechebnykh tekstil'nykh materialov dlya kosmetologii i dermatologii: Dis....kand. tekhn. nauk. – М., 2005.

2. Oltarzhevskaya N.D., Korovina M.A. Tekstil' dlya meditsiny: novye lechebnye kompozitsionnye materialy // Tekstil'naya promyshlennost'. – 2010, № 5. S. 58...62.

3. Kuz'menko V.A., Odintsova O.I., Rusanova A.I. Svoystva sinteticheskikh polielektrolitov i perspektivy

ikh primeneniya dlya otdelki tekstil'nykh materialov // Zhurnal prikladnoy khimii. – 2014. T.87, № 9. S.1193...1203.

4. Petrova L.S., Kozlova O.V., Odintsova O.I. Mikrokapsulirovanie biologicheskii aktivnykh veshchestv i ikh ispol'zovanie dlya funktsionalizatsii tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, № 4. С.85...89.

5. Prokhorova A.A., Petrova L.S., Vladimirtseva E.L., Odintsova O.I. Ispol'zovanie metoda mikroemul'sionnogo kapsulirovaniya dlya pridaniya tekstil'nym materialam akaritsidnykh svoystv // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 1. S. 332...335.

6. Lipina A.A., Odintsova O.I., Antonova A.S., Noskova Yu.V. Otsenka nanodispersnogo sostoyaniya i agregativnoy ustoychivosti eksperimental'nykh obraztsov inkapsulirovannykh akaritsidno-repellentnykh veshchestv // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, № 4. S. 89...91.

7. Lipina A.A., Esina O.A., Smirnova A.S. Optimizatsiya usloviy immobilizatsii mikrokapsul na tekstil'nykh materialakh // Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX). – 2019. – Ч.2. S.110...113.

8. Oltarzhevskaya N.D. Teoreticheskie osnovy i tekhnologiya polucheniya tekstil'nykh meditsinskikh materialov s zadannymi svoystvami: Dis. ... dokt. tekhn. nauk. – Spb., 1994.

9. Nazarenko G.I., Sugurova I.Yu., Glyantsev S.P. Rana. Povyazka. Bol'noy. Sovremennye meditsinskie tekhnologii. – М.: Meditsina, 2002.

10. GOST 12088–77. Materialy tekstil'nye i izdeliya iz nikh. Metod opredeleniya vozdukhopronitsaemosti. – М.: Изд-во стандартов, 2003.

11. GOST 3816–81. Polotna tekstil'nye. Metody opredeleniya gigroskopicheskikh i vodoottalkivayushchikh svoystv. – М.: Изд-во стандартов, 1997.

12. GOST 10681–75. Materialy tekstil'nye. Klimaticheskie usloviya dlya konditsionirovaniya i ispytaniya prob i metody ikh opredeleniya. – М.: Изд-во стандартов, 1997.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов. Поступила 19.02.21.

**МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН
МОНОМЕРНЫМИ СОЛЯМИ НА ОСНОВЕ АМИНОАЛКИЛАКРИЛАТОВ
С ГАЛОИДСОДЕРЖАЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ**

**MODIFICATION OF POLYACRYLONITRILE FIBERS
MONOMERIC SALTS BASED ON AMINOALKYL ACRYLATES
WITH HALOGEN CONTAINING SUBSTANCES**

O.X. ХАСАНОВ, P.I. ИСМАИЛОВ

O.KH. KHASANOV, R.I. ISMAILOV

(Ташкентский государственный технический университет, Республика Узбекистан)

(Tashkent State Technical University, Republic of Uzbekistan)

E-mail: i.ravshan1972@mail.ru

Впервые показана возможность осуществления химической модификации полиакрилонитрильных волокон путем введения в их структуру звеньев мономерных солей метакрилоилэтил-N,N-диметилметиленкарбоксаммонийиодида (МЭДМАИ). Установлено, что процесс совместной полимеризации компонентов при этом осуществляется при температуре 313К против используемой в промышленности 353К, а также происходит замена трехкомпонентной системы (акрилонитрил, метилакрилат, итаконовая кислота) в двухкомпонентную.

For the first time, the possibility of chemical modification of polyacrylonitrile fibers is shown by introducing into their structure links of monomeric salts of methacryloylethyl-N, N-dimethylmethylenecarboximmonium iodide (MEDMAI). It was established that the process of joint polymerization of the components is carried out at a temperature of 313K against 353K used in industry, and the three-component system (acrylonitrile, methyl acrylate, itaconic acid) is replaced with a two-component one.

Ключевые слова: модификация, мономерная соль, полимеризация, сополимеризация, синтетические волокна, полиакрилонитрил, метакрилоилэтил-N,N-диметилметиленкарбоксаммонийиодид.

Keywords: modification, monomer salt, polymerization, copolymerization, synthetic fibers, polyacrylonitrile, methacryloylethyl-N, N-dimethylmethylenecarboxyammonium iodide.

Модификация свойств практически важных химических волокон является одной из актуальных задач сегодняшнего дня. Это обусловлено необходимостью придания химическим волокнам комплекса улучшенных свойств, в частности, физико-химических, физико-механических, коллоидно-химических, что позволит расширить возможности их переработки. В этом плане

улучшения качества полиакрилонитрильных волокон можно достичь путем их химической модификации низкомолекулярными веществами. Данное направление, включая возможности целенаправленного управления свойствами полиакрилонитрильных волокон, применяя упрощенные методы их синтеза, является весьма актуальным и многообещающим.

Модификация синтетических волокон поверхностно-активными веществами является объектом многочисленных исследований [1...15]. В этих исследованиях введением растворов различных полимеров в прядильный раствор проведена физическая модификация полиакрилонитрильных волокон, а исследования в области химической модификации полиакрилонитрильных волокон с введением в их макромолекулы звеньев четвертичных аммониевых групп до настоящего времени практически не проводились.

Кинетика сополимеризации исследовалась гравиметрическим методом. Определение концентрации сополимера в растворе диметилформамида проводили следующим образом: на сухую, чистую стеклянную пластинку берут навеску прядильного раствора с точностью до 0,0002 г. Второй такой же пластинкой накрывают раствор, сжимают его между пластинками, затем, сдвигая стекла, разъединяют их. Пластинки с прядильным раствором помещают в кристаллизатор с дистиллированной водой. Пленки снимают пинцетом, помещают в стакан (емкостью 100 мл), ополаскивают в небольшом объеме дистиллированной воды и кипятят в течение 5 мин. Кипячение повторяют 3 раза. Пленки промывают холодной дистиллированной водой, а затем высушивают их в сушильном шкафу при 105...110°C до постоянной массы и взвешивают с точностью до 0,0002 г. Концентрацию полимера в прядильном растворе вычисляют по формуле А (%):

$$A = \frac{m_1 \cdot 100}{m},$$

где m_1 – масса прядильного раствора, г; m – масса пленок сополимера, г.

Электронно-микроскопические исследования проводили при помощи электронного микроскопа Тесла Б-242 Е. Ультратонкие срезы были получены на ультрамикроскопе УМТ-2.

Линейную плотность волокон определяли следующим образом: лабораторную пробу разрыхляли и вручную расчесывали. Затем из ленты, выдержанной в климатических условиях два часа, готовили штапелек

и разделили его на 10 групп. Из бумажек приготовили специальные окошки, к которым приклеивали по одному волокну, соблюдая при этом равномерность изъятия волокон из всех 10 групп, предварительно пронумеровав каждое отдельное волокно. Окошко с волокнами помещали между предметными стеклами и с помощью микроскопа, имеющего окулярный микрометр, измеряли поперечник волокон. При измерении окуляр следует поворачивать, ставя шкалу перпендикулярно продольной оси измеряемого волокна, снимают правое m_1 и левое m_2 показания микрометра. Поперечник волокна в делениях окулярного микрометра равняется разнице левого и правого показаний. Разрушающую способность рассчитывали по формуле:

$$\beta = \frac{m_2 - m_1}{0,01 \cdot 30},$$

где m_1 и m_2 – показания микрометра.

$$\beta = \frac{8-1}{0,01 \cdot 30} = 23,3 \text{ (мкм)},$$

где 1 мкм = 1000 мм.

Линейную плотность рассчитывали по формуле:

$$T = \beta x_1 = 23,3 x_1.$$

Определение разрывной прочности и удлинения пряжи одновременно осуществляли на разрывной машине РМ-3. Расстояние между зажимами разрывной машины принимают 500 мм. Нить заправляют в зажимы при предварительном натяжении, которые устанавливаются в зависимости от линейной плотности. Под действием нагрузки нижнего зажима пряжа растягивается, и, когда нагрузка достигает разрывной величины, пряжа разрывается. Относительную разрывную нагрузку пряжи (P_0) в гс/текс вычисляют по формуле:

$$P_0 = \frac{P_\phi}{T_\phi},$$

где P_f – фактическая разрывная нагрузка, гс; T_f – фактическая линейная плотность, текс.

Химическую модификацию полиакрилонитрильного волокна осуществляли введением низкомолекулярного вещества в качестве сокомпонента акрилонитрила при получении химического волокнообразующего сополимера. Указанным веществом послужила четвертичная соль МЭДМАИ. Сополимеризацию акрилонитрила с указанной четвертичной солью проводили при температуре 313К в присутствии инициатора – динитрилазобисизомаасляной кислоты в среде диметилформамида.

Синтезированный сополимер акрилонитрила с указанной четвертичной солью при соотношении 93:7 мол. % исследован в

качестве волокнообразующего состава, который аналогичен прототипу состава при получении промышленного волокна Нитрон. Формование волокон проводилось на лабораторной установке по водно-диметилформамидному способу. В качестве осадителя ванны использован 50...60%-ный диметилформамидный раствор, а температуру при этом варьировали от 283 до 293К. Изучалось влияние концентрации осадителя ванны (табл.1 – физико-механические свойства синтезированных волокон на основе сополимера акрилонитрила с МЭДМАИ при 313К и табл. 2 – физико-механические свойства волокон на основе синтезированных сополимеров акрилонитрила МЭДМАИ при 333К).

Т а б л и ц а 1

Концентрация осадительной ванны, %	Температура осадительной ванны, К	Разрывная прочность волокна, сН/текс	Разрывное удлинение волокна, %
55	283	19,2	11,8
55	293	23,9	22,5
60	283	40,9	23,4
60	293	36,0	23,7

Т а б л и ц а 2

Концентрация осадительной ванны, %	Температура осадительной ванны, К	Разрывная прочность волокна, сН/текс	Разрывное удлинение волокна, %
50	283	36,2	23,9
50	293	31,0	21,8
60	283	27,3	19,6
60	293	29,7	19,2

Т а б л и ц а 3

Волокно	Разрывная прочность, сН/текс	Разрывное удлинение, %	Линейная плотность, текс
На основе сополимера, синтезированного при 333К	36,2	23,9	0,28
На основе сополимера, синтезированного при 313 К.	40,9	23,4	0,29
Нитрон	30,2	29,1	0,33

Из приведенных в табл. 3 (физико-механические свойства волокон на основе МЭДМАИ с акрилонитрилом, сформованных при оптимальных условиях) данных видно, что сформованные волокна на основе сополимеров МЭДМАИ и акрилонитрила по сравнению с промышленным волокном Нитрон обладают более высокими физико-механическими показателями. Для волокон, полученных на основе сополимеров при 313К, достигнуто повышенное значение относительной разрывной нагрузки

40,9 сН/текс против 30,2 у Нитрона. Вместе с тем значение разрывного удлинения заметно уменьшается, что, по-видимому, связано с получением более плотной упаковки структуры волокон.

Изучены вязкостные свойства растворов синтезированных сополимеров на основе акрилонитрила с четвертичной солью МЭДМАИ методами реологии и сорбции. Изучены реологические свойства прядильных растворов модифицированных сополимеров акрилонитрила с мономерами МЭД-

МАИ в диметилформамиде состава 93:7 моль (%) соответственно, имеющего следующие показатели: характеристическую вязкость раствора при 298 К – 1,35 дл/г, средневязкостную молекулярную массу M_2 , равную 95218. На основании значений эффективной вязкости были построены реограммы течения для разных температур (рис. 1 – зависимости эффективной вязкости $\eta_{\text{эф}}$ 14,5 %-ного раствора сополимера акрилонитрила с МЭДМАИ от напряжений сдвига при 298К (1); 323К (2); 348К (3)).

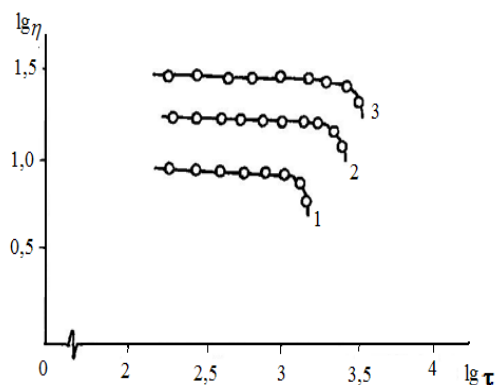


Рис. 1

На кривых течения обнаруживается начальный, практически прямолинейный участок, соответствующий наибольшей ньютоновской вязкости в условиях максимально неразрушенной структуры. Начиная примерно со значений напряжения сдвига $\lg = 3,0 \dots 3,5$ н/м², наблюдается разрушение надмолекулярной структуры раствора, сопровождающееся переходом течения на неньютоновский режим, и уменьшается значение эффективной вязкости, то есть появляется структурная вязкость. При нагревании раствора процесс разрушения надмолекулярной структуры усиливается, а аномалия вязкости уменьшается. На основе полученных кривых течения с использованием уравнения Френкеля-Андрате-Эйринга была рассчитана величина кажущейся энергии активации вязкого течения E_p , которая оказалась равной 21,58 кДж/моль; это указывает на сравнительно сильное межмолекулярное взаимодействие между макромолекулами и молекулами растворителя.

Нами впервые показана возможность осуществления химической модификации полиакрилонитрильных волокон путем введения в их структуру звеньев мономерного МЭДМАИ. Процесс совместной полимеризации компонентов при этом осуществляется при температуре 313К против используемой в промышленности 353К, а также происходит замена трехкомпонентной системы (акрилонитрил, метилакрилат, итаконовая кислота) двухкомпонентной.

Среди различных методов исследования структуры полиакрилонитрильных волокон важное место занимает электронно-микроскопический, который незаменим при выяснении причин видоизменения микроструктуры, а следовательно, и свойств полиакрилонитрила. В исследовании использовали методы реплик с поверхности волокон и ультратонких срезов, чтобы определить влияние модификатора на структурные характеристики волокон и выявить характер его распределения путем вымывания растворителями.

Анализ результатов электронно-микроскопических исследований структуры волокон, полученных на основе смеси полимеров полиакрилонитрила и полимерной соли МЭДМАИ, показывает, что добавка до 2...5% (масс.) второго компонента (ПМЭДМАИ) заметным образом не изменяет структуру волокна. Увеличение содержания добавки более 5% приводит к образованию неоднородных структур, из которых легко вымывается второй компонент при обработке поперечного среза селективными растворителями. В тех местах среза, где добавка удалена, образуется пустота, неравномерно распределенная по сечению волокна. Неоднородность структуры волокон на основе смеси полимеров связана с тем, что при большом (более 5%) содержании добавляемого полимера происходит расслоение компонентов в растворе и в процессе осаждения. Однако волокна на основе смеси полиакрилонитрила с полимерной солью МЭДМАИ характеризуются совершенно иной структурой поперечного среза нежели волокна на основе двухфазных смесей. При обработке поперечного среза волокна полиакрилонитрила с полимерной

солью МЭДМАИ (50:50) четвертичным аммониевым основанием образования пустот в поперечном срезе не наблюдается. Равномерность структуры среза волокна сохраняется как до обработки четвертичным аммониевым основанием, так и после нее. Полученные результаты позволяют предположить наличие сильных межмолекулярных взаимодействий между полиакрилонитрилом и полимерной солью МЭДМАИ. Следовательно, если смеси полимеров полиакрилонитрила с полимерной солью МЭДМАИ имеют тенденцию к расслоению, то структура волокна оказывается макронеоднородной, особенно при содержании полимеров в соотношении, близком к 1:1. Если наблюдается тенденция к сегментальному смешению, то структурная однородность возрастает. При возникновении структуры волокна из стабильных растворов смесей полимеров (например, ПАН с ПМЭДМАИ) равномерные структуры среза наблюдаются для всех соотношений компонентов.

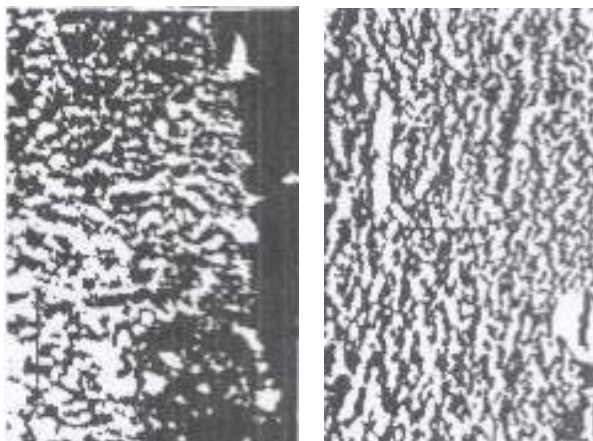
Электронно-микроскопическое исследование структуры надмолекулярных образований позволило выяснить причины повышения физико-механических, особенно усталостных свойств смесевых полиакрилонитрильных волокон при введении в полимерный субстрат малых количеств полимерных добавок. Например, введение в полиакрилонитрил 2% полимерной соли МЭДМАИ подавляет образование крупных надмолекулярных структур нефибриллярного (сферолитного) типа, обеспечивая тем самым возможность возникновения микрофибриллярной структуры. Такое модифицированное полиакрилонитрильное волокно характеризуется повышенными усталостными характеристиками. Следует отметить, что повышение усталостных характеристик модифицированных полиакрилонитрильных волокон выражается устойчивостью к многократным нагрузкам (табл. 4 – физико-механические свойства полиакрилонитрильных волокон).

Т а б л и ц а 4

ПАН-волокно	Температура размягчения, °С	Прочность, гс/текс	Относительное удлинение, %	Прочность в петле, гс/текс
Немодифицированное	176,4	28,8	32,9	11,3
Модифицированное с ПМЭДМАИ	192,2	36,4	26,7	12,9

Известно, что результаты электронно-микроскопических исследований дают новые представления о надмолекулярных структурах в полимерах. По данным электронной микроскопии структура поперечного среза смеси полиакрилонитрила с полимерной солью МЭДМАИ аналогична структуре полиакрилонитрила. Поперечный срез смеси полиакрилонитрила с полимерной солью МЭДМАИ не изменяется в течение четырех суток после обработки диметилформамидом или трихлоруксусной кислотой, являющихся селективными растворителями для каждого компонента. Можно полагать, что при смешении полиакрилонитрила с полимерной солью МЭДМАИ, наряду с микрогетерогенными областями, заполненными упорядоченными ассоциатами каждого компонента,

имеются достаточно обширные области молекулярного (или, по крайней мере, сегментального) смешения обоих полимеров. Возможность возникновения между ними водородных и диполь-дипольных контактов обуславливает прочные связи между компонентами. Этим можно объяснить тот факт, что даже в ультратонких срезах волокон смесей полиакрилонитрила с полимерной солью МЭДМАИ не удается селективно растворить ни полиакрилонитрил, ни полимерную соль МЭДМАИ. Электронные микрографии поперечных срезов волокон из смесей полиакрилонитрила с полимерной солью МЭДМАИ свидетельствуют о стабильности их смеси (рис. 2 – ультратонкие срезы полиакрилонитрильных немодифицированных (а) и модифицированных волокон (б)).



а) б)
Рис. 2

Полученные электронно-микроскопические данные дают основание предполагать о достаточно удовлетворительной структурной совместимости полимерных компонентов в исследуемых системах.

ВЫВОДЫ

Впервые показана возможность осуществления химической модификации полиакрилонитрильных волокон путем введения в структуру их звеньев МЭДМАИ. Установлено, что процесс совместной полимеризации компонентов при этом осуществляется при комнатной температуре против используемой в промышленности 353 К, а также происходит замена трехкомпонентной системы (акрилонитрил, метилакрилат, итаконовая кислота) двухкомпонентной (акрилонитрил, МЭДМАИ).

Проведенные электронно-микроскопические исследования подтверждают предположение о структурной совместимости

полиакрилонитрильного волокна с поличетвертичной солью на основе МЭДМАИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геллер Б.Э. Состояние и перспективы развития производства полиакрилонитрильных волокон // Химические волокна. – 2002, №3. С.3...10.
2. Иовлева М.М., Смирнов В.Н., Будницкий Г.А. К вопросу о растворимости полиакрилонитрила // Химические волокна. – 2001, №4. С. 16...18.

3. Перепелкин К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности // Российский химический журнал. – 2002. Т. XLVI. №1. С. 31...48.

4. Будкуте И.А., Геллер Б.Э., Щербина Л.А. Экспериментальное изучение структуры полиакрилонитрильных волокон // Химические волокна. – 2004, №5. С. 4...7.

5. Перепелкин К.Е. Методы модификации волокон и волокнистых материалов // Химические волокна. – 2005, №2. С. 93...97.

6. Киселев В.И., Рябинин С.Е. Современные методы оценки свойств волокон и волокнистых материалов // Химические волокна. – 2005, №5. С.33...37.

7. Мухамеджанова М.Ю., Ширинова Н.Ю., Никунович Г.В. Структурные, физико-механические и сорбционные свойства волокон из тройных сополимеров акрилонитрила // Химические волокна. – 2000, №3. С.19...22.

8. Пакивер Э.А., Калабин А.Л. Гелеобразующие при формовании химических волокон из растворов полимеров // Химические волокна. – 2005, №5. С.43...48.

9. Радишевский М.Б., Серков А.Т. Механизм коагуляции при формовании волокон по мокрому способу // Химические волокна. – 2005, №4. С. 47...53.

10. Киселев В.И., Рябинин С.Е. Современные методы оценки свойств волокон и волокнистых материалов // Химические волокна. – 2005, №5. С.33...37.

11. Ismailov R.I. Synthesis and Mechanism of the Preparation of Polymeric Cationic Surface-Active Substances // International journal of chemical and physical sciences. – V. 4, №2, 2015. P.93...98.

12. Ismailov R.I., Djalilov Sh.S., Mirzayev U.M., Ismailov A.I. Synthesis, properties of methacryloylethyl-N, N dimethylallylammoniumbromide and methacryloylethyl-N, N dimethylmethylenecarboxyammoniumiodide // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – Россия, 2019. №2 (59), С.48-53.

13. Ismailov R.I., Makhmatkulova Z.N., Askarov M.A., Negmatov S.S. Some properties of modified polyacrylonitrile fibres // Fibres chemistry. Springer. – Vol.42, №6, 2011. P. 376...378.

14. Исмаилов Р.И., Давлатов Р.М. Крашение натурального шелка, модифицированного четвертичной аммониевой солью, по методу "Коса-буяк" // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2016. Том 6, №3. С.147...150.

REFERENCES

1. Geller B.E. Sostoyanie i perspektivy razvitiya proizvodstva poliakrilonitril'nykh volokon // Khimicheskie volokna. – 2002, №3. S.3...10.
2. Iovleva M.M., Smirnov V.N., Budnitskiy G.A. K voprosu o rastvorimosti poliakrilonitrila // Khimicheskie volokna. – 2001, №4. S. 16...18.
3. Perepelkin K.E. Sovremennyye khimicheskie volokna i perspektivy ikh primeneniya v tekstil'noy

promyshlennosti // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. – 2002. T. XLVI. №1. S. 31...48.

4. Budkute I.A., Geller B.E., Shcherbina L.A. Eksperimental'noe izuchenie struktury poliakrilonitril'nykh volokon // Khimicheskie volokna. – 2004, №5. S. 4...7.

5. Perepelkin K.E. Metody modifikatsii volokon i voloknistykh materialov // Khimicheskie volokna. – 2005, №2. S. 93...97.

6. Kiselev V.I., Ryabinin S.E. Sovremennye metody otsenki svoystv volokon i voloknistykh materialov // Khimicheskie volokna. – 2005, №5. S.33...37.

7. Mukhamedzhanova M.Yu., Shirinova N.Yu., Nikonovich G.V. Strukturnye, fiziko-mekhanicheskie i sorbtsionnye svoystva volokon iz troynykh sopolimerov akrilonitrila // Khimicheskie volokna. – 2000, №3. S.19...22.

8. Pakshver E.A., Kalabin A.L. Geleobrazuyushchie pri formovanii khimicheskikh volokon iz rastvorov polimerov // Khimicheskie volokna. – 2005, №5. S.43...48.

9. Radishevskiy M.B., Serkov A.T. Mekhanizm koagulyatsii pri formovanii volokon po mokromu sposobu // Khimicheskie volokna. – 2005, №4. S.47...53.

10. Kiselev V.I., Ryabinin S.E. Sovremennye metody otsenki svoystv volokon i voloknistykh materialov // Khimicheskie volokna. – 2005, №5. S.33...37.

11. Ismailov R.I. Synthesis and Mechanism of the Preparation of Polymeric Cationic Surface-Active Substances // International journal of chemical and physical sciences. – V. 4, №2, 2015. P.93...98.

12. Ismailov R.I., Djalilov Sh.S., Mirzayev U.M., Ismailov A.I. Synthesis, properties of methacrylolethyl-N, N dimethylallylammoniumbromide and methacrylolethyl-N, N dimethylmethylenecarboxyammoniumiodide // Evraziyskiy Soyuz Uchenykh (ESU). – Rossiya, 2019. №2 (59), S.48-53.

13. Ismailov R.I., Makhmatkulova Z.N., Askarov M.A., Negmatov S.S. Some properties of modified polyacrylonitrile fibres // Fibres chemistry. Springer. – Vol.42, №6, 2011. P. 376...378.

14. Ismailov R.I., Davlatov R.M. Krashenie natural'nogo shelka, modifitsirovannogo chetvertichnoy ammonievoy sol'yu, po metodu "Kosa-buyak" // Izv. vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. – 2016. Tom 6, №3. S.147...150.

Рекомендована кафедрой общей химии. Поступила 08.10.19.

УДК 677.499

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_73

**НОВЫЕ НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ
ДЛЯ АНАЛИЗА И ЗАЩИТЫ ОТ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ***

**NEW NONWOVENS AND THEIR APPLICATION
FOR ANALYSIS AND PROTECTION AGAINST RADIOACTIVE AEROSOLS**

*В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ, А.К. БУДЫКА, Е.С. БОКОВА, И.А. КАПУСТИН,
Ю.Н. ФИЛАТОВ, И.Ю. ФИЛАТОВ, Л.А. ИВАНОВ, Ю.Н.МАРТЫНИУК,
В.С. АСТАХОВ, А.А. ЕКИДИН*

*V.S. BELGORODSKI, A. K. BUDYKA, E.S. BOKOVA, I.A. KAPUSTIN,
YU.N. FILATOV, I.Y. FILATOV, L.A. IVANOV, YU.N. MARTYNYUK,
V.S. ASTAKHOV, A.A. EKIDIN*

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

Госкорпорация "Росатом",

ООО «Научно-производственный центр "Электроспиннинг",

ООО Технологии электроформования,

Российская инженерная академия,

ООО "Доза",

ООО "Респираторный комплекс",

Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН)

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

State Corporation "Rosatom",

Research and Production Center "Electrospinning",

LLC Electroforming Technologies,

Russian Academy of Engineering,

LLC "Doza",

LLC "Respiratory Complex",

Institute of Industrial Ecology of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences)

E-mail:esbokova@ya.ru

В работе рассмотрены методы электроформования и их применение для производства микро- и нановолокнистых фильтрующих материалов нового поколения. Описаны разработанные аналитические нановолокнистые фильтрующие материалы для систем обнаружения вредных веществ, в том числе радиоактивных; высокоэффективные электретенные фильтрующие материалы для средств индивидуальной защиты; высокоэффективные фильтрующие материалы для систем очистки выбросов. Приведены области их применения и основные потребители.

* Авторы выражают благодарность руководителям Госкорпорации "Росатом", Концерна Росэнергоатом, всем российским АЭС, и другим организациям за содействие в проводимой работе и высокую оценку ее результатов.

The paper considers electroforming methods and their application for the production of micro - and nanofiber filter materials of a new generation. The developed analytical thin-fiber filter materials for detection systems of harmful substances, including radioactive ones; high-performance electret filter materials for personal protective equipment; high-performance filter materials for emission cleaning systems are described. The areas of their application and main consumers are given.

Ключевые слова: электроформование, нетканые материалы, микроволокна, нановолокна, фильтрация, аэрозоли, респираторы, приборы.

Keywords: electroforming, non-woven materials, microfibers, nanofibers, filtration, aerosols, respirators, devices.

Одним из критериев оценки конкурентоспособности промышленных отраслей и фактором экономической независимости страны является уровень современного производства и эффективность использования передовых технологий и инновационных материалов. Одной из таких отраслей является атомная энергетика, которая в настоящее время, несмотря на резонансные аварии (Чернобыль –1986 г., "Фукусима" – 2011 г.), переживает период устойчивого развития, о чем свидетельствует стратегия развития МАГАТЭ на период до 2050 г. [1], [2].

Несмотря на неоспоримые преимущества ядерной энергетике, ее развитие сопряжено с рядом объективных трудностей, среди которых высокие риски негативного влияния на экологию, жизнедеятельность гражданского населения и обслуживающего персонала. Это требует постоянных системных комплексных мероприятий по мониторингу выбросов, их очистке, а также применению высокоэффективных средств индивидуальной защиты персонала предприятий и населения.

Решить вышеперечисленные задачи позволило тесное сотрудничество текстильной промышленности, в рамках которой были разработаны и произведены высокоэффективные аналитические фильтрующие материалы нового поколения, и приборостроительной отрасли, где с использованием этих материалов были спроектированы и внедрены новые приборы и установки аэрозольного контроля.

Результаты настоящей работы широко используются на предприятиях: ГК "Росатом", в том числе АО "Концерн Росэнерго-

атом" (10 атомных станций РФ), ОАО "ТВЭЛ", ФГУП "ГНЦ РФ - ФЭИ", ЗАО "Атомстрой экспорт", ФГБУ "НИЦ "Курчатовский институт", ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ", АО Объединенная судостроительная корпорация, ФГУП "Атомфлот", ФГУП "Горно-Химический Комбинат", службы специального контроля Министерства обороны РФ, МЧС, Росгидромет и др. А также на АЭС Бушер (Иран), АЭС Куданкулам (Индия), Белорусская АЭС, Армянская АЭС (Армения), АЭС Козлодуй (Болгария), Игналинская АЭС (Литва), Тяньваньская АЭС (Китай). Среднегодовой экономический эффект от внедрения разработанных материалов и приборов составляет 850 млн. руб. в год.

Применение технологии электроформования для разработки высокоэффективных фильтрующих материалов

Все материалы, представленные в работе, получены методом электроформования волокон, который, начиная с 50-х годов XX века, использовался в бывшем СССР для выпуска фильтрующих материалов под торговым названием ФП (Фильтры Петрянова). Это были материалы на основе микроволокон с диаметром от 0,5 до 10 мкм, разработанные в лаборатории аэрозолей Физико-химического института имени Л.Я. Карпова [3], промышленное производство которых осуществлялось на заводе в г. Силламяэ (Эстония) [4]. Одной из наиболее емких областей применения ФП был радиохимический, радиографический и радиометрический анализ, а также анализ спектров радиоактивных аэрозолей.

Прогресс в развитии ядерной энергетики, направленный, в том числе, на ужесточение требований к радиационному контролю и минимизацию выбросов техногенных радиоактивных аэрозолей в атмосферу, которые в настоящее время находятся на уровне фоновых значений [1], [2], [5], поставил перед разработчиками и производителями фильтрующих материалов новые задачи. Прежде всего это повышение эффективности фильтрации и точности аналитических измерений при обеспечении высокой производительности материалов и оборудования.

Ответом на этот вызов явились разработанные за последнее десятилетие качественно новые аналитические фильтрующие материалы, основу которых составляют полимерные волокна наноразмерного ряда, полученные методом электроформования. В основу разработок были положены фундаментальные закономерности технологии электроформования, а также ее новые возможности, связанные с современными разновидностями метода и возможностями применения нового оборудования. Сравнительный анализ различных промышленных методов электроформования, таких как электрокапиллярный, электроаэродинамический, электроцентробежный и Nanospider, в совокупности с применением широкого круга полимеров (полиамид-6/66, хлорированный поливинилхлорид с добавкой полиметилметакрилата, фторопласт Ф-42 и др.), подбором растворителей и модификаторов (смесь этиловый спирт/ пропионовая кислота/уксусная кислота/вода; диметилформамид; толуол; смеси диметилформамид/толуол; диметилформамид/этилацет; диметилформамид/бутилацетат и др.), варьированием технологических параметров процесса электроформования позволили на практике реализовать принципы направленного структурообразования для получения материалов с прогнозируемой структурой и свойствами для конкретных областей применения [6...11].

Перечисленные методы электроформования и их сочетание в различных комбинациях, применительно к конкретным прямым растворам, позволили создать ряд

высокоэффективных аналитических нановолокнистых фильтрующих материалов и систем обнаружения вредных веществ, в том числе радиоактивных; высокоэффективные электретенные фильтрующие материалы для изготовления средств индивидуальной защиты; высокоэффективные фильтрующие материалы для систем очистки выбросов.

Нановолокнистые нетканые материалы для анализа техногенных аэрозолей, в том числе радиоактивных

Аналитические нано- и микроволокнистые материалы условно можно разделить на материалы для радиометрического анализа радиоактивных частиц в системах непрерывного и периодического контроля; материалы для оценки эффективности очистки фильтрующих систем вентиляции; материалы для мониторинга атмосферных аэрозолей и проведения радиационно-технических обследований объектов атомной промышленности; а также материалы для спектроскопического анализа α -активных частиц.

Весь указанный спектр материалов явился предметом проведенных исследований, в рамках которых были разработаны качественно новые аналитические фильтрующие материалы.

Одними из таких материалов являются материал ЛФАБ, содержащий в своем составе нановолокна диаметром порядка 150 нм, и его усовершенствованная версия материал АФА-РМВ на основе нановолокон диаметром менее 100 нм, предназначенные для объемной фильтрации. Отличительной особенностью обоих материалов является многослойная структура, включающая слои из микроволокон (внешние) и слои из волокон наноразмерного ряда (внутренние). Такая морфология, в совокупности с содержанием в материале электростатически заряженных микроволокон, обеспечивает эффективность фильтрации не менее 99,5 % по наиболее проникающим частицам для материала ЛФАБ и 99,95 % для материала АФА-РМВ. Последний полностью соответствует требованию Ростехнадзора, согласно которому для оценки эффективности фильтрующих систем вентиляции на

атомных станциях необходимо использовать аналитические материалы с эффективностью фильтрации аэрозолей не менее 99,95 % по наиболее проникающим частицам [5].

Применение нановолокон в аналитических средствах контроля позволило совершить качественный научно-технический скачок в исследовании α -активных аэрозолей, где основным принципом работы нетканого материала является поверхностная фильтрация, эффективность которой зависит от способности материала улавливать основное количество аэрозольных частиц в очень тонком фильтрующем слое (≤ 10 мкм), когда поглощение излучения является не столь существенным, чтобы приводить к ошибкам при анализе проб [3].



Рис. 1

Для этих целей разработано новое поколение аналитических материалов ЛФС и ЛФАС, содержащих в фильтрующем слое волокна диаметром порядка 80...100 нм, нанесенных на нетканую подложку из волокон диаметром порядка 5...10 мкм, не имеющих электростатического заряда (рис. 1 – нетканый материал ЛФАС на основе нановолокнистого слоя, нанесенного на микроволокнистую подложку). Эффективность фильтрации частиц диаметром 0,3 мкм составляет более 99 % в диапазоне скоростей от 1 до 170 см/с. Уменьшение диаметра волокон рабочего слоя более чем в 5 раз, по сравнению с ранее используемыми аналогами (ЛФС-2), позволяет снизить тол-

щину фильтрующего слоя до 2...3 мкм и значительно повысить точность анализа [7], [8], [12].

В целом, в рамках работы, создана линейка аналитических фильтрующих материалов нового поколения с применением нановолокон: для мониторинга атмосферных аэрозолей, в том числе радиоактивных, (фильтрующий материал ФПС-ВГ, сорбционно-фильтрующий материал СФМ-2И-ПС); для радиометрического анализа радиоактивных частиц (материалы АФА-РМП, НЭЛ, ЛФАБ); для оценки эффективности фильтрующих систем вентиляции (АФА-РМВ); для спектрометрического анализа альфа-активных частиц (АФА-РСП, ЛФС, ЛФАС) [7...10], [13...19]. Результаты работы были апробированы и внедрен 450,0 млн. руб.

Использование нетканых материалов для приборно-методического обеспечения комплексной системы мониторинга выбросов радионуклидов на предприятиях Госкорпорации Росатом.

Фильтрующие материалы нового поколения, содержащие нановолокна, позволили осуществить проектирование и производство ряда приборов и установок с принципиально новыми возможностями. В рамках выполненной работы ООО "Научно-производственное предприятие Доза" (г. Зеленоград) создало более 600 рабочих мест. Были разработаны и внедрены в производство ряд комплексных решений по мониторингу выбросов радионуклидов на предприятиях Госкорпорации "Росатом".

Ниже приведен ряд приборов и установок, оснащенных разработанными неткаными материалами.

На рис. 2 показаны установки радиометрические УДА-1АБ и УДИ -1АБ: а) - внешний вид установки УДА-1АБ; б) - аналитическая лента ЛФАС-4-50; в) - внешний вид установки УДА-1АБ; г) - йодная кассета с сорбирующим материалом СФЛ-2И.

Установка радиометрическая УДА-1АБ (рис. 2-а) для измерения объемной активности аэрозолей с функцией разделения естественных и техногенных радионуклидов, широко используемая на предприятиях

топливного цикла и АЭС. Установка оснащена аналитической лентой ЛФАС-4-50 (рис. 2-б) [7], [12]. Выпущено более 1500

шт., для более чем 140 объектов ГК "Росатом".

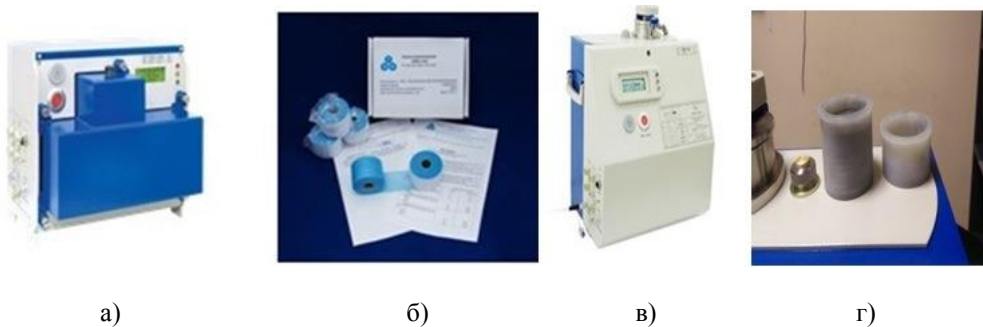


Рис. 2

Установка радиометрическая УДИ-1Б (рис. 2-в) для измерения объемной активности всех форм радиоактивного йода, широко используемая на АЭС. Установка оснащена йодной кассетой, в состав которой входит сорбирующий материал СФЛ-2И

(рис. 2-г), предназначенный для улавливания газообразной фракции радиоактивного йода. Выпущено более 120 шт. для всех российских АЭС, а также АЭС Бушер (Иран), АЭС Куданкулам (Индия).

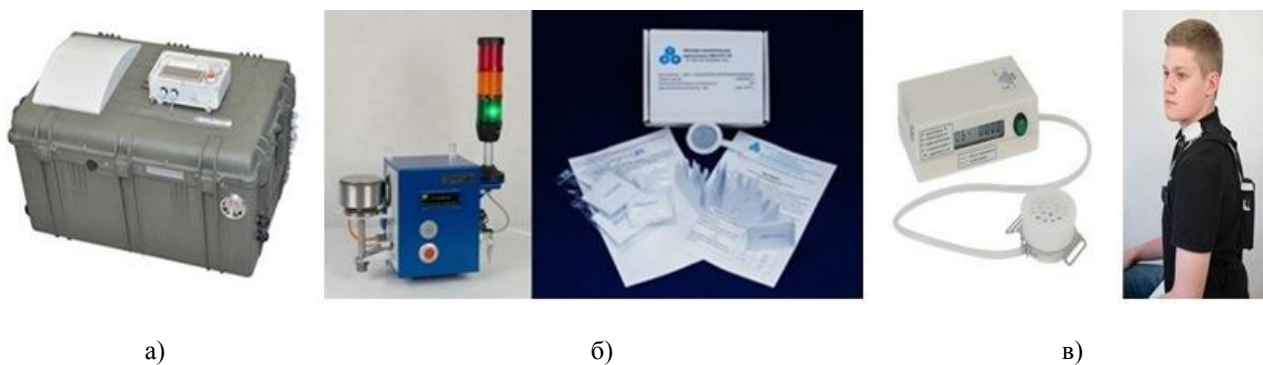


Рис. 3

На рис. 3: а) – установка радиометрическая УДИ-2, снабженная йодной кассетой на основе материала СФЛ-2И; б) – пороговый сигнализатор радиоактивных аэрозолей ИРАА-01Д, снабженный новым поколением фильтров АФА-РСП-20; в) – индивидуальный пробоотборник воздуха ИПВ-01Д, снабженный новым поколением фильтров АФА-РСП-20.

Установка радиометрическая УДИ-2 (рис. 3-а) для измерения объемной активности всех форм радиоактивного йода, используемая на всех российских АЭС для аварийного контроля. Оснащена сорбирующим материалом СФЛ-2И-50. Выпущено более 30 шт. для всех российских АЭС для улавливания аэрозолей, а также газообразной фракции радиоактивного йода.

Пороговый сигнализатор радиоактивных аэрозолей ИРАА-01Д (рис. 3-б), предназначенный для измерения объемной активности аэрозолей, содержащих изотопы урана в воздухе рабочей зоны и сигнализации о превышении порогов. Оснащается новым поколением фильтров АФА-РСП-20, предназначенных для использования в приборах для раздельного измерения α -радиоактивных элементов и изотопов методами спектрометрии α -излучения уловленного осадка. Выпускаются различных типов-размеров (3, 10, 20, 40 см²).

Индивидуальный пробоотборник воздуха ИПВ-01Д (рис. 3-в), предназначенный для контроля поступления активности в легкие человека. Оснащается новым поколением фильтров АФА-РСП-20 и АФА-СИ-

20 для отбора проб воздуха и контроля объемной активности аэрозолей и содержания йода в воздухе рабочей зоны. Выпущено более 100 шт.

Разработанное приборно-методическое обеспечение комплексной системы мониторинга выбросов радионуклидов позволило решить и проблему нормирования выбросов с атомных станций. [20], [21]. Разработка отечественных приборов контроля радиоактивных аэрозолей и газов нового поколения, основанных на применении аналитических фильтрующих нановолокнистых материалов, позволила занять свою нишу на рынке РФ, а также вести успешную конкурентную борьбу на международных рынках.

Экономический эффект от внедрения новых комплексных систем мониторинга аэрозолей за 2011 - 2019 гг. составил более 5,0 млрд. руб.

Высокоэффективные электретенные фильтрующие материалы и респираторы на их основе

Как показали последние события, связанные с пандемией коронавируса COVID-19, для населения должны производиться и

быть доступными портативные средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) в виде облегченных респираторов, имеющих более низкое сопротивление дыханию, чем промышленные респираторы и противогазы.

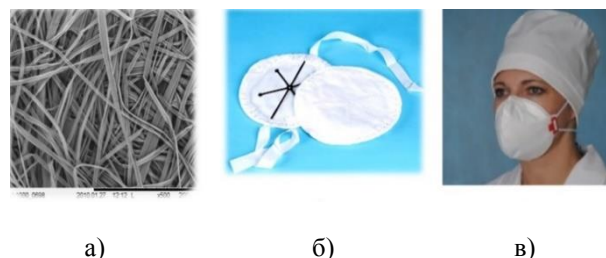


Рис. 4

В настоящей работе разработан новый высокоэффективный респираторный материал ФПК-70-08 (рис. 4-а), который представляет собой усовершенствованную версию серийного выпускаемого материала ФПП-15-1,5 для респиратора "Лепесток" (рис. 4-б, в) и отличается от последнего меньшим аэродинамическим сопротивлением и более высоким коэффициентом фильтрующего действия (табл.1) [22], [23]

Т а б л и ц а 1

Показатель эффективности	ФПП-15-1,5	ФПК-70-08
Эффективность фильтрации (DOP 0,4 мкм-6,3 см/с),%	99,7	99,7
Аэродинамическое сопротивление при 1см/с, ПА	18,5	8,0
Коэффициент фильтрующего действия, мм вод.ст. ⁻¹	1,9	3,0

Отличительными особенностями материала является использование для его производства волокон с большим поверхностным электростатическим зарядом, что улучшает эффективность фильтрации за счет механизма электростатического притяжения частиц без увеличения перепада давления и обеспечивает высокую эффективность фильтрации при низком сопротивлении воздуха; выбор электроцентрированной технологии электроформования, а также увеличение диаметра волокон до 7–10 мкм [24], [25...27].

Технология получения респираторного фильтрующего материала была внедрена в ОАО "ЭХМЗ им. Н.Д. Зелинского" (г. Электросталь Московской области) и в АО "Сорбент" (г. Пермь Пермского края). В

настоящее время производство респираторов на основе разработанного материала осуществляется в АО "Сорбент" (г. Пермь Пермского края), ООО "Респираторный комплекс" (г. Санкт-Петербург), АО "Кимрская фабрика имени Горького" (г. Кимры Тверской области).

Высокоэффективные нановолокнистые фильтрующие материалы и системы очистки выбросов на их основе

В рамках проекта были разработаны высокоэффективные фильтрующие материалы для оснащения фильтров очистки промышленных выбросов, в том числе содержащих радиоактивные отходы. Применение в материалах нановолокон и бесепараторных технологий при сборке фильтров позволило сократить объем фильтрующего

материала при увеличении эффективности фильтрации и уменьшении сопротивления потока воздуха в заданных габаритных объемах фильтра. Это дало возможность оснащать фильтры различными дополнительными ступенями очистки.

В одном случае это может быть ступень предварительной фильтрации воздуха, оснащенная нетканым фильтрующим материалом с диаметром волокон 15...40 мкм, что позволяет увеличить ресурс аэрозольного фильтра в 3...4 раза и получить значительный экономический эффект для эксплуатирующих предприятий. В другом случае для нужд атомной промышленности фильтр может быть оснащен сорбционной ступенью, что позволяет проводить очистку выбросов от газообразных продуктов радиоактивного йода, значительно снижает дозовую нагрузку на население РФ, проживающее вблизи объектов атомной промышленности [28].

Результаты работы были апробированы и внедрены в производство фильтров очистки воздуха на основе высокоэффективных фильтрующих материалов, содержащих нановолокна, на ООО "Аэрофильтр" (г. Обнинск Калужской области) и АО "Фильтр" (г. Товарково Калужской области).

Кроме вышеперечисленного разработанные нано- и микроволокнистые материалы и системы очистки выбросов на их основе применяются в различных областях, таких как медицина, биотехнология, авиационная промышленность, строительство [29...33].

В настоящее время потребителями разработанных фильтров являются все атомные станции концерна Росэнергоатом (10), Армянская АЭС (Армения), АЭС Козлодуй (Болгария), Игналинская АЭС (Литва), АЭС Бушер (Иран), Тяньваньская АЭС (Китай), ОАО "ТВЭЛ", ФГУП "ГНЦ РФ - ФЭИ", ЗАО "Атомстрой экспорт", ФГБУ "НИЦ "Курчатовский институт", ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ", АО Объединенная судостроительная корпорация, ФГУП "Атомфлот", ФГУП "Горно-Химический Комбинат" и еще более 20 предприятий РФ.

Экономический эффект от внедрения фильтров нового поколения составляет более 300,0 млн. руб. в год.

ВЫВОДЫ

В работе приведены результаты научных исследований и практического применения высокоэффективных нановолокнистых фильтрующих материалов, полученных методом электроформования из широкого круга полимеров. Показан вклад структурных особенностей разработанных материалов в эффективность их применения, повышение точности анализа радиоактивных аэрозолей и коэффициента фильтрации. Представлены материалы, предназначенные для радиометрического анализа радиоактивных частиц в системах непрерывного и периодического контроля; материалы для мониторинга атмосферных аэрозолей и проведения радиационно-технических обследований объектов атомной промышленности; материалы для спектроскопического анализа альфа-активных частиц в системах непрерывного и периодического контроля, высокоэффективные электреты фильтрующие материалы для изготовления средств индивидуальной защиты, а также материалы для оценки эффективности очистки фильтрующих систем вентиляции. Внедрение новых разработок имеет важное стратегическое, народно-хозяйственное значение, позволяет значительно снизить вредные радиоактивные выбросы, а также минимизировать их влияние на экологическую ситуацию и сбережение здоровья населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. International Atomic Energy Agency, 'Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050: 2018 Edition', www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/13412/Energy-Electricity-and-Nuclear-Power-Estimates-for-the-Period-up-to-2050
2. International Atomic Energy Agency, 'New IAEA Energy Projections See Possible Shrinking Role for Nuclear Power' 10 Sept 2018, <http://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/new-iaea-energy-projections-see-possible-shrinking-role-for-nuclear-power>

3. Будака А.К., Борисов Н.Б. Волокнистые фильтры для контроля загрязнения воздушной среды. – М.: ИздАт, 2008.
4. Филатов Ю.Н. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс)/ Под ред. В.Н. Кириченко. – М.: Нефть и газ, 1997.
5. Капустин И.А., Филатов Ю.Н., Филатов И.Ю., Рагуткин А.В. Особенности мониторинга радиоактивных аэрозолей и газов. Тенденции развития аналитических фильтрующих материалов // Вопросы радиационной безопасности. – 2016, № 3. С.37...42.
6. Филатов И.Ю., Иванов Л.А., Бокова Е.С., Смольская М.А., Филатов Ю.Н., Капустин И.А. Сравнение различных методов электроформования нановолокон // Дизайн и технологии. – 2019, №72 (114). С.16...22.
7. Филатов Ю.Н., Филатов И.Ю., Капустин И.А. Фильтрующий материал, способ его получения и применение. Патент на изобретение RU 2477165 С1, 10.03.2013. Заявка № 2012109488/05 от 14.03.2012.
8. Филатов Ю.Н., Филатов И.Ю., Капустин И.А. Фильтрующий материал. Патент на изобретение RU 2414950 С1, 27.03.2011. Заявка № 2009126033/05 от 09.07.2009.
9. Филатов Ю.Н., Будака А.К., Мартынюк Ю.Н., Филатов И.Ю. Фильтрующий материал. Патент на изобретение RU 2284846 С2, 10.10.2006. Заявка №2004137318/15 от 21.12.2004.
10. Капустин И.А., Филатов И.Ю., Филатов Ю.Н., Архипов С.Ю., Огородников Б.И., Будака А.К. Фильтрующий материал и способ его получения. Патент на изобретение RU 2349369 С1, 20.03.2009. Заявка № 2007139574/15 от 26.10.2007.
11. Капустин И.А. Разработка технологии электроформования волокнистых материалов с пониженной температурой деструкции для анализа атмосферы: Дис....канд. техн. наук. – М., 2014.
12. Филатов И.Ю., Филатов Ю.Н., Будака А.К., Мамагулашвили В.Г., Мартынюк Ю.Н. Нановолокнистый материал ФП для контроля радиоактивных аэрозолей. Анри. – 2009, № 3. С. 38...41.
13. Kapustin I.A., Filatov I.Y., Filatov Y.N. Development of production technology for non-woven filtering materials for monitoring atmospheric aerosols at RF radionuclide stations // Fibre Chemistry. – V. 44, № 5, 2013. P. 299...303.
14. Kapustin I.A., Filatov I.Y., Filatov Y.N. Thermal destruction of nonwoven filter materials from polystyrene and polymethyl methacrylate // Fibre Chemistry. – V. 44, № 6, 2013. P. 377...380.
15. Budyka, A.K., Ogorodnikov B.I., Skitovich V.I. Filter pack technique for determination of aerosol particle sizes // J. Aerosol Sci – Vol. 24. Suppl/ 1, 1993. P.205...206.
16. Ekidin A.A., Vasyanovich M.E., Antonov K.L., Markov D.V., Markova Z.D., Kapustin I.A., Filatov I.Y. Control of aerosol and gaseous compounds of iodine isotopes in the ventilation system of the IVV-2M reactor facility // Physics of Atomic Nuclei. – V. 81, № 10, 2018. P. 1494...1498.
17. Ekidin A.A., Антонов К.Л., Васянович М.Е., Капустин И.А., Филатов И.Ю. Поступление радиоактивного йода в атмосферу при нормальной эксплуатации АЭС // Радиохимия. – 2019, № 3. С.251...262.
18. Ekidin A.A., Vasyanovich M.E., Markov D.V., Bil'danov R.G., Filatov Y.N., Kapustin I.A. Determination of the physicochemical forms of iodine isotopes in the IVV-2M reactor ventilation system // Atomic Energy. – V. 121, № 4, 2017. P. 308...311.
19. Ekidin A.A., Васянович М.Е., Капустин И.А., Филатов И.Ю. Совершенствование методов контроля йода-131 в выбросах атомных станций // Вопросы радиационной безопасности. – 2016, № 3 (83). С. 17...24.
20. Vasyanovich M.E., Ekidin A.A., Vasilyev A.V., Kryshev A.I. et al. Determination of radionuclide composition of the Russian NPPs atmospheric releases and dose assessment to population // Journal of Environmental Radioactivity. – Vol. 208-209, 2019. 106006.
21. Vasyanovich M.E., Vasilyev A.V., Ekidin A.A., Kapustin I.A. et al. Special monitoring results for determination of radionuclide composition of Russian NPP atmospheric releases // Nuclear Engineering and Technology. – Vol. 51 (4), 2019. P. 1176...1179.
22. Филатов Ю.Н., Филатов И.Ю., Заболоцкая Р.Д. Фильтрующий материал, способ его получения и респиратор. Патент на изобретение RU 2376053 С1, 20.12.2009. Заявка № 2008143743/15 от 07.11.2008.
23. Пестун А.Ф., Соловьев С.Н., Филатов Ю.Н., Филатов И.Ю., Щербакова О.А. Фильтрующий материал для респираторов и респиратор. Патент на изобретение RU 2363519 С1, 10.08.2009. Заявка №2008115635/15 от 23.04.2008.
24. Астахов С.В., Гуменюк В.И., Филатов Ю.Н. Разработка высокоэффективного фильтрующего материала, для применения в средствах индивидуальной защиты органов дыхания // В сб. науч. тр. VIII Всероссийск. научн.-практ. конф.: Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2016. С. 63...75.
25. Астахов С.В., Гуменюк В.И., Филатов Ю.Н. Разработка высокоэффективного фильтрующего материала на основе хлорированного полиэтилена // В сб.: Неделя науки СПбПУ (материалы научного форума с международным участием). Лучшие доклады / Ответственные редакторы: В.Э. Гасумянц, Д.Д. Каров. – 2016. С. 377...381.
26. Капустин И.А., Филатов И.Ю., Филатов Ю.Н. Разработка технологии получения фильтрующих нетканых материалов для контроля атмосферных аэрозолей на радионуклидных станциях РФ // Химические волокна. – 2012, №5. С. 37...40.
27. Kapustin I.A., Filatov I.Y., Filatov Y.N. Thermal destruction of nonwoven filter materials from polystyrene and polymethyl methacrylate // Fibre Chemistry. – V. 44, № 6, 2013. P. 377...380.
28. Катухин Л.Ф., Филатов Ю.Н., Корниенко В.Н., Ларичев М.А., Кадомцев Г.М., Иванов В.Д., Руб-

цов П.Л., Ягодкин И.В., Аванесян В.М. Сорбционно-фильтрующий многослойный материал и содержащий его фильтр. Патент на изобретение RU 2487745 C1, 20.07.2013. Заявка №2011148990/05 от 02.12.2011.

29. Афанасов И.М., Юданова Т.Н., Брусов С.С., Филатов И.Ю., Перминов Д.В. Многослойный материал с хитозановым слоем из нано- и ультратонких волокон с антибиотиком. Патент на изобретение RU 2604410 C2, 10.12.2016. Заявка № 2015117161/15 от 06.05.2015.

30. Филатов Ю.Н., Филатов И.Ю., Капустин И.А., Смольская М.А. Фильтрующий термостойкий нановолокнистый материал и способ его получения. Патент на изобретение RU 2524936 C1, 10.08.2014. Заявка № 2012156709/05 от 26.12.2012.

31. *Ivanov LA., Razumeev K.E., Bokova E.S., Muminova S.R.* The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part V. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. – 2019, Vol. 11, №6. P. 719...729. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729.

32. *Ivanov LA., Bokova E.S., Muminova S.R., Katuhin L.F.* Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part I. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2020, Vol. 12 (1) DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-27-33

33. *Ivanov LA., Kapustin I.A., Borisova O.N., Pisarenko Zh.V.* Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part II Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2020, Vol. 12(2).

REFERENCES

1. International Atomic Energy Agency, 'Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050: 2018 Edition', www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/13412/Energy-Electricity-and-Nuclear-Power-Estimates-for-the-Period-up-to-2050

2. International Atomic Energy Agency, 'New IAEA Energy Projections See Possible Shrinking Role for Nuclear Power' 10 Sept 2018, <http://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/new-iaea-energy-projections-see-possible-shrinking-role-for-nuclear-power>

3. Budyka A.K., Borisov N.B. Voloknistye fil'try dlya kontrolya zagryazneniya vozduшной среды. – М.: Izdat, 2008.

4. Filatov Yu.N. Elektroformovanie voloknistykh materialov (EFV-protsess)/ Pod red. V.N. Kirichenko. – М.: Neft' i gaz, 1997.

5. Kapustin I.A., Filatov Yu.N., Filatov I.Yu., Ragutkin A.V. Osobennosti monitoringa radioaktivnykh aerorozley i gazov. Tendentsii razvitiya analiticheskikh fil'truyshchikh materialov // Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti. – 2016, № 3. S.37...42.

6. Filatov I.Yu., Ivanov L.A., Bokova E.S., Smul'skaya M.A., Filatov Yu.N., Kapustin I.A. Sravnenie razlichnykh metodov elektroformovaniya nanovolonok // Dizayn i tekhnologii. – 2019, №72 (114). S.16...22.

7. Filatov Yu.N., Filatov I.Yu., Kapustin I.A. Fil'truyshchiy material, sposob ego polucheniya i primeneniya. Patent na izobretenie RU 2477165 C1, 10.03.2013. Заявка № 2012109488/05 от 14.03.2012.

8. Filatov Yu.N., Filatov I.Yu., Kapustin I.A. Fil'truyshchiy material. Patent na izobretenie RU 2414950 C1, 27.03.2011. Заявка № 2009126033/05 от 09.07.2009.

9. Filatov Yu.N., Budyka A.K., Martynyuk Yu.N., Filatov I.Yu. Fil'truyshchiy material. Patent na izobretenie RU 2284846 C2, 10.10.2006. Заявка №2004137318/15 от 21.12.2004.

10. Kapustin I.A., Filatov I.Yu., Filatov Yu.N., Arkhipov S.Yu., Ogorodnikov B.I., Budyka A.K. Fil'truyshchiy material i sposob ego polucheniya. Patent na izobretenie RU 2349369 C1, 20.03.2009. Заявка № 2007139574/15 от 26.10.2007.

11. Kapustin I.A. Razrabotka tekhnologii elektroformovaniya voloknistykh materialov s ponizhennoy temperaturoy destrukttsii dlya analiza atmosfery: Dis...kand. tekhn. nauk. – М., 2014.

12. Filatov I.Yu., Filatov Yu.N., Budyka A.K., Magalashvili V.G., Martynyuk Yu.N. Nanovolonnistyy material FP dlya kontrolya radioaktivnykh aerorozley. Anri. – 2009, № 3. S. 38...41.

13. Kapustin I.A., Filatov I.Y., Filatov Y.N. Development of production technology for non-woven filtering materials for monitoring atmospheric aerosols at RF radionuclide stations // Fibre Chemistry. – V. 44, № 5, 2013. P. 299...303.

14. Kapustin I.A., Filatov I.Y., Filatov Y.N. Thermal destruction of nonwoven filter materials from polystyrene and polymethyl methacrylate // Fibre Chemistry. – V. 44, № 6, 2013. P. 377...380.

15. Budyka, A.K., Ogorodnikov B.I., Skitovich V.I. Filter pack technique for determination of aerosol particle sizes // J. Aerosol Sci – Vol. 24. Suppl/ 1, 1993. P.205...206.

16. Ekin A.A., Vasyanovich M.E., Antonov K.L., Markov D.V., Markova Z.D., Kapustin I.A., Filatov I.Y. Control of aerosol and gaseous compounds of iodine isotopes in the ventilation system of the IVV-2M reactor facility // Physics of Atomic Nuclei. – V. 81, № 10, 2018. P. 1494...1498.

17. Ekin A.A., Antonov K.L., Vasyanovich M.E., Kapustin I.A., Filatov I.Yu. Postuplenie radioaktivnogo ioda v atmosferu pri normal'noy ekspluatatsii AES // Radiokhimiya. – 2019, № 3. S.251...262.

18. Ekin A.A., Vasyanovich M.E., Markov D.V., Bil'danov R.G., Filatov Y.N., Kapustin I.A. Determination of the physicochemical forms of iodine isotopes in the IVV-2M reactor ventilation system // Atomic Energy. – V. 121, № 4, 2017. P. 308...311.

19. Ekin A.A., Vasyanovich M.E., Kapustin I.A., Filatov I.Yu. Sovershenstvovanie metodov kontrolya yoda-131 v vybrosakh atomnykh stantsiy // Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti. – 2016, № 3 (83). S. 17...24.

20. Vasyanovich M.E., Ekin A.A., Vasilyev A.V., Kryshev A.I. et al. Determination of radionuclide composition of the Russian NPPs atmospheric releases and dose assessment to population // Journal of Environmental Radioactivity. – Vol. 208-209, 2019. 106006.

21. Vasyanovich M.E., Vasilyev A.V., Ekidin A.A., Kapustin I.A. et al. Special monitoring results for determination of radionuclide composition of Russian NPP atmospheric releases // Nuclear Engineering and Technology. – Vol. 51 (4), 2019. P. 1176...1179.

22. Filatov Yu.N., Filatov I.Yu., Zabolotskaya R.D. Fil'truyushchiy material, sposob ego polucheniya i respirator. Patent na izobretenie RU 2376053 C1, 20.12.2009. Zayavka № 2008143743/15 ot 07.11.2008.

23. Pestun A.F., Solov'ev S.N., Filatov Yu.N., Filatov I.Yu., Shcherbakova O.A. Fil'truyushchiy material dlya respiratorov i respirator. Patent na izobretenie RU 2363519 C1, 10.08.2009. Zayavka №2008115635/15 ot 23.04.2008.

24. Astakhov S.V., Gumenyuk V.I., Filatov Yu.N. Razrabotka vysokoeffektivnogo fil'truyushchego materiala, dlya primeneniya v sredstvakh individual'noy zashchity organov dykhaniya // V sb. nauch. tr. VIII Vserossiysk. nauchn.-prakt. konf.: Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh. Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskii universitet Petra Velikogo. – 2016. S. 63...75.

25. Astakhov S.V., Gumenyuk V.I., Filatov Yu.N. Razrabotka vysokoeffektivnogo fil'truyushchego materiala na osnove khlorirovannogo polietilena // V sb.: Nedelya nauki SPbPU (materialy nauchnogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem). Luchshie doklady / Otvetsvennye redaktory: V.E. Gasumyants, D.D. Karov. – 2016. S. 377...381.

26. Kapustin I.A., Filatov I.Yu., Filatov Yu.N. Razrabotka tekhnologii polucheniya fil'truyushchikh netkanykh materialov dlya kontrolya atmosferykh aerozoley na radionuklidnykh stantsiyakh RF // Khimicheskie volokna. – 2012, №5. S. 37...40.

27. Kapustin I.A., Filatov I.Y., Filatov Y.N. Thermal destruction of nonwoven filter materials from polystyrene and polymethyl methacrylate // Fibre Chemistry. – V. 44, № 6, 2013. P. 377...380.

28. Katukhin L.F., Filatov Yu.N., Kornienko V.N., Larichev M.A., Kadomtsev G.M., Ivanov V.D., Rubtsov P.L., Yagodkin I.V., Avanesyan V.M. Sorbtionno-fil'truyushchiy mnogoslennyy material i soderzhashchiy ego fil'tr. Patent na izobretenie RU 2487745 C1, 20.07.2013. Zayavka №2011148990/05 ot 02.12.2011.

29. Afanasov I.M., Yudanov T.N., Brusov S.S., Filatov I.Yu., Perminov D.V. Mnogoslennyy material s khitozanovym sloem iz nano- i ul'tratonkikh volokon s antibiotikom. Patent na izobretenie RU 2604410 C2, 10.12.2016. Zayavka № 2015117161/15 ot 06.05.2015.

30. Filatov Yu.N., Filatov I.Yu., Kapustin I.A., Smul'skaya M.A. Fil'truyushchiy termostoykiy nanovoloknistyy material i sposob ego polucheniya. Patent na izobretenie RU 2524936 C1, 10.08.2014. Zayavka № 2012156709/05 ot 26.12.2012.

31. Ivanov L.A., Razumeev K.E., Bokova E.S., Muminova S.R. The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part V. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. – 2019, Vol. 11, №6. P. 719...729. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-6-719-729.

32. Ivanov L.A., Bokova E.S., Muminova S.R., Katukhin L.F. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part I. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2020, Vol. 12 (1) DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-27-33

33. Ivanov L.A., Kapustin I.A., Borisova O.N., Pisarenko Zh.V. Nanotechnologies: a review of inventions and utility models. Part II Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2020, Vol. 12(2).

Рекомендована кафедрой химии и технологии полимерных материалов и нанокompозитов РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 07.06.20.

**ПЛАН НЕПРЕРЫВНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
ПРИ ПРОМЫШЛЕННОМ ВЫПУСКЕ
САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ НЕТКАНЫХ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ***

**CONTINUOUS STATISTICAL CONTROL PLAN
FOR INDUSTRIAL ISSUE OF SELF-REGULATING
NONWOVEN THERMAL INSULATION MATERIALS**

Е.В. МЕЗЕНЦЕВА, В.Ю. МИШАКОВ

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 план технического контроля показателей качества теплоизоляционных нетканых материалов, установлена периодичность контроля. Разработан план непрерывного статистического контроля для статистического регулирования технологических процессов на основе построения контрольных карт.

The plan of technical control of quality indicators of thermal insulation nonwoven materials is presented, the frequency of control is established. A plan of continuous statistical control has been developed for the statistical regulation of technological processes based on the construction of process-behavior charts.

Ключевые слова: нетканые материалы, утеплитель, контроль качества, критерий стабильности, контрольные карты Шухарта.

Keywords: nonwoven materials, insulation, quality control, stability criterion, process-behavior charts, Shewhart control charts.

Целью настоящего исследования является разработка мероприятий по эффективному осуществлению технического контроля при промышленном выпуске нетканых теплоизоляционных материалов.

Объектом исследования является нетканый теплоизоляционный материал, разработанный и произведенный на площадке индустриального партнера ООО "Термо-

пол", состоящий из 45% полиэфирных волокон, 35% полиакрилатных волокон и 20% легкоплавких волокон [1...3].

Предметом исследования является обеспечение статистического контроля стабильности процесса промышленного выпуска нетканых материалов.

Из практики известно, что значения показателей качества или параметров техно-

* 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.

логического процесса изменяются во времени. Это вызывается двумя видами причин: систематическими (не случайными) и случайными. Систематические могут быть устранены, случайные устранить нельзя, но их следует учитывать при управлении качеством продукции [4].

Учет случайных колебаний показателей качества на предприятиях осуществляется в

рамках регистрирующей подсистемы технического контроля, который может быть представлен в виде схемы или плана технического контроля – таблицы, включающей основные сведения, необходимые для осуществления контроля [5].

В ходе исследования стабильности показателей качества составлен план технического контроля (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Место контроля	Объект контроля	Контролируемые показатели качества	Метод контроля	Периодичность контроля	Ответственный за контроль	Использование результатов контроля	Доверительный интервал коэффициента вариации, %
Цех по производству нетканых термоскрепленных материалов	Нетканые термоскрепленные материалы	Поверхностная плотность, г/м ²	Взвешивание на электронных весах	Каждую единицу продукции	Отдел технического контроля	Сообщение технологу	2,32<3,18<5,25
		Неровнота по массе, %	ГОСТ 15902.2 [6]	Каждую партию	Отдел технического контроля	Сообщение технологу	11,71<16,04<26,46
		Разрывное удлинение по длине, %	ГОСТ 15902.3 [7]	Каждую партию	Отдел технического контроля	Сообщение технологу	10,45 <14,32<23,63
		Суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки, м ² ·°C/Вт	ГОСТ 20489 [8]	1 раз в месяц	Отдел технического контроля	Сообщение главному технологу	4,47<6,13<10,11
		Гигроскопичность, %	ГОСТ 3816 [9]	1 раз в месяц	Отдел технического контроля	Сообщение технологу	3,61<4,95<8,17

Периодичность контроля показателей качества была установлена по величине коэффициента вариации, как критерия стабильности (чем выше значение, тем меньше интервал). Исключение было сделано для показателя качества поверхностная плотность вследствие того, что данный показатель оказывает значительный экономический эффект при колебании значений.

Результатом данного исследования стала разработка плана непрерывного статистического контроля качества для объекта исследования (табл. 2 – значения для построения контрольных карт среднего и размаха варьирования; табл. 3 – значения для построения контрольной карты среднего

квадратического отклонения) с целью осуществления статистического регулирования технологического процесса.

Наиболее распространенным методом статистического регулирования являются точечные диаграммы – контрольные карты, которые получаются путем последовательного нанесения результатов контроля на специально построенный график. Точечная диаграмма состоит из центральной линии \bar{z} ; внутренних границ e_n и e_b , которые образуют зону регулирования; внешних границ U и L ; допусков. Зоны между e и U , e и L называют предупредительными, а лежащие выше или ниже линий допусков – зонами брака [5].

Таблица 2

Значения для построения контрольных карт	Контролируемые ПК			
	Поверхностная плотность, г/м ²	Суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки, м ² ·°С/Вт	Гигроскопичность, %	Разрывное удлинение по длине, %
Точечные диаграммы среднего показателя качества				
Центральная линия z	150,60	0,53	16,71	5,61
Верхняя граница регулирования e _в	157,55	0,62	19,00	7,08
Нижняя граница регулирования e _н	143,65	0,44	14,41	4,13
Верхний предел допуска U	162,00	0,67	23,04	9,73
Нижний предел допуска L	138,00	0,39	10,38	1,48
Объем выборки n	5,00	5,00	3,00	4,00
Коэффициент A _α	1,15	1,15	1,49	1,29
Вероятность расположения точек между линиями e _н и e _в , P	0,99	0,99	0,99	0,99
Индекс α	0,01	0,01	0,01	0,01
Доверительный уровень t	2,58	2,58	2,58	2,58
Не смещенное среднее квадратическое отклонение S _н	6,02	0,08	1,54	1,14
Коэффициент, k	0,43	0,89	0,59	0,49
Точечные диаграммы размаха варьирования				
Центральная линия z	14,00	0,09	2,61	2,35
Верхняя граница регулирования e _в	27,44	0,18	6,13	4,94
Нижняя граница регулирования e _н	0,56	0,00	0,00	0,00
Объем выборки n	5,00	5,00	3,00	4,00
Вероятность выхода отдельных выборочных значений размаха за границы регулирования P	0,99	0,99	0,99	0,99
Коэффициент D ₃	0,04	0,04	0,00	0,00
Коэффициент D ₄	1,96	1,96	2,35	2,10

Таблица 3

Значения для построения точечных диаграмм среднего квадратического отклонения	Контролируемый показатель качества
	Неровнота по массе, %
Центральная линия z	0,61
Верхняя граница регулирования e _в	0,86
Нижняя граница регулирования e _н	0,35
Объем выборки n	20,00
Вероятность выхода отдельных выборочных значений размаха за границы регулирования P	0,99
Коэффициент B ₃	0,58
Коэффициент B ₄	1,42

По расположению результатов последовательно производимого контроля качества вырабатываемой продукции на точечной диаграмме принимают одно из следующих решений:

1) точки симметрично располагаются относительно центральной линии в зоне регулирования – процесс протекает стабильно и не требует вмешательства;

2) точки располагаются длительное время по одну сторону от центральной линии в зоне регулирования – дестабилизация

технологического процесса и качества вырабатываемой продукции. Допускается подстройка технологического процесса;

3) точки располагаются в предупредительной зоне симметрично или по одну сторону от центральной линии – нестабильность процесса. Необходимо регулирование технологического процесса, по возможности без остановки его протекания;

4) точка вышла за предупредительную зону или пошла в зону брака – необходимо сделать повторную выборку, при повторя-

ющемся результате, процесс останавливают до устранения причины появления брака [5].

Для контролируемых показателей качества установлены нормы:

– для поверхностной плотности по ГОСТ 13587 [10];

– для неровноты по массе по ГОСТ Р 57632 [11];

– для показателей качества: разрывное удлинение по длине, суммарное тепловое

сопротивление до мокрой обработки и гигроскопичность через толерантные границы [12]. Для всех показателей качества уровень доверия и доля совокупности были выбраны идентичными: $(1 - \alpha) = p = 0,95$ (95%).

Количество выборок для контроля (m) определяется согласно ГОСТ 13587 [10] и зависит от объема производимой продукции.

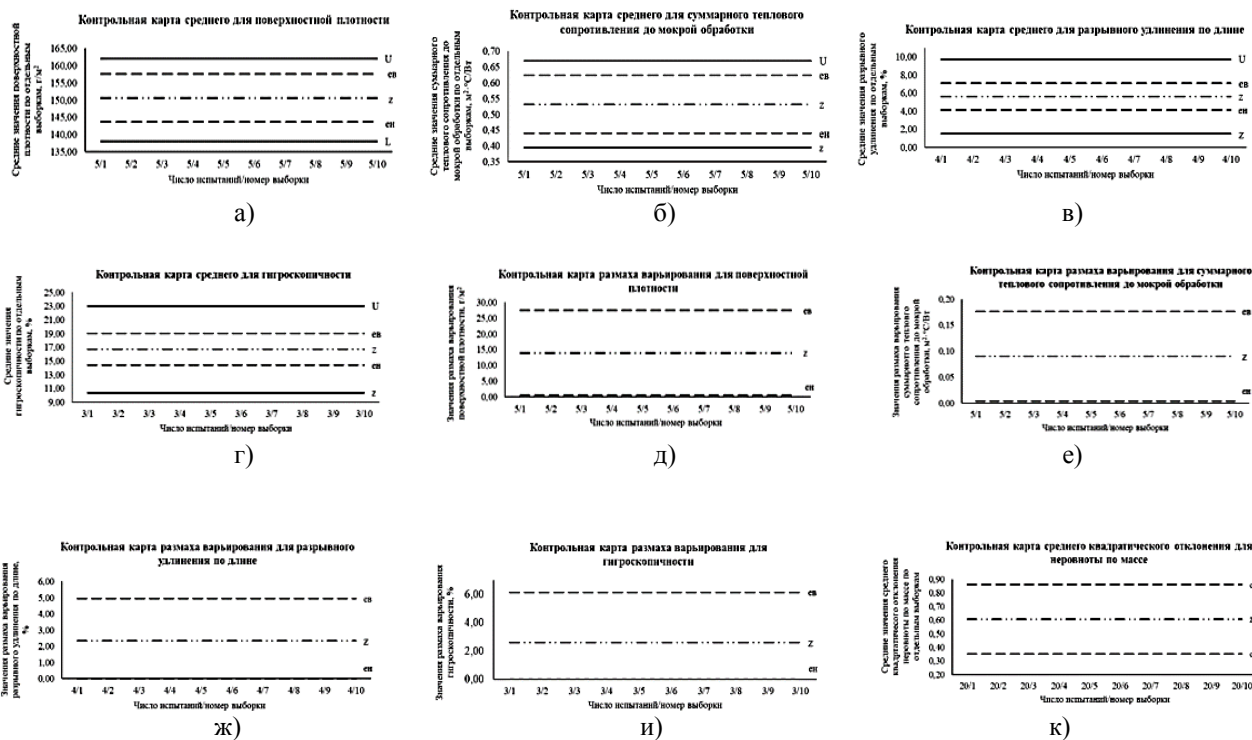


Рис. 1

Объем выборки (n) был определен согласно рекомендациям ГОСТ:

– для поверхностной плотности по ГОСТ 13587 [10] зависит от объема производимой продукции, например, для партии 15 000 погонных метров $n = 5$;

– для неровноты по массе по ГОСТ 15902.2 [6]: $n = 20$;

– для разрывного удлинения по длине по ГОСТ 15902.3 [7]: $n = 4$;

– для суммарного теплового сопротивления по ГОСТ 20489 [8] число испытаний в выборке рекомендовано: $n = 2$, однако исходя из расчета толерантных границ при выбранном уровне доверия 95%, верхняя и

нижняя границы нормы получаются значительными и превышают средние значения показателя качества более чем в 2,5 раза. Для получения адекватных толерантных границ число испытаний в выборке было увеличено до $n = 5$. В процессе производственного контроля при стабильности данного показателя качества возможна оценка по мгновенной выборке, число испытаний в которой может быть меньшим, при этом показатель качества следует оценивать по расположению точек в зоне регулирования;

– для гигроскопичности по ГОСТ 3816 [9]: $n = 3$.

При установленных нормах и объемах выборки были построены контрольные карты. В данном исследовании использовались контрольные карты В. Шухарта [13], общая методика построения которых изложена в ГОСТ Р ИСО 7870-2 [14]. Контрольные карты среднего представлены на рис. 1 (а – г), размаха варьирования на рис. 1 (д – и), среднего квадратического отклонения на рис. 1 (к).

Анализ расположения точек на контрольной карте размаха и контрольной карте среднего аналогичный. Выход подряд двух точек за верхнюю границу регулирования указывает на достоверное увеличение неравномерности материала и необходимости принятия мер для ее снижения. Расположение точек ниже границы регулирования e_n свидетельствует о достоверном улучшении равномерности материала [5].

При объеме выборок $n \geq 10$ неравномерность контролируемого показателя качества оценивают средним квадратическим отклонением, после этого точки с соответствующими ординатами наносят на контрольную карту и соединяют прямыми [5].

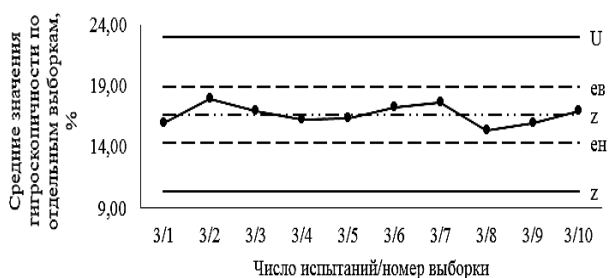


Рис. 2

В качестве примера на рис. 2 представлена контрольная карта среднего для показателя качества гигроскопичность с нанесенными на ней точками (результаты контроля).

При устойчивом процессе анализируют расположение точек на контрольной карте.

В данном случае точки располагаются внутри границ регулирования, примерно в одинаковом количестве выше и ниже центральной линии z , что говорит о нормальности процесса и соответствии показателя качества норме.

Контрольные карты – это визуальный инструмент, который позволяет проанализировать и использовать для принятия решений.

ВЫВОДЫ

1. Установлена периодичность контроля показателей качества по критерию стабильности: поверхностная плотность – каждая единица продукции, неровнота по массе, разрывное удлинение по длине – каждая партия, суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки и гигроскопичность – 1 раз в месяц.

2. Разработан план непрерывного статистического контроля для статистического регулирования технологических процессов на основе построения контрольных карт среднего, среднего квадратического отклонения и размаха варьирования.

ЛИТЕРАТУРА

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., Иванов В.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. Мезенцева, Е.В., Мишаков В.Ю. Разработка саморегулирующихся нетканых систем на основе полиакрилатных волокон // Сб. стендовых докладов молодых ученых и студентов: Современные задачи инженерных наук: Международный Косыгинский Форум (29-30 октября 2019 г.). – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2019. С. 117...119.
4. Кирюхин С.М., Соловьев А.Н. Контроль и управление качеством текстильных материалов. – М.: Легкая индустрия, 1977.
5. Кирюхин С.М., Демократова Е.Б. Контроль качества текстильных материалов. Конспект лекций. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2017.
6. ГОСТ 15902.2–2003 (ИСО 9073-2:1995). Полотна нетканые. Методы определения структурных характеристик. – Введ. 2004-09-01. – М.: ОАО "НИИ-ИИМ", 2003.
7. ГОСТ 15902.3–79. Полотна нетканые. Методы определения прочности – Введ. 1980-07-01. – М.: Минлегпром СССР, 1979.

8. ГОСТ 20489–75. Материалы для одежды. Метод определения суммарного теплового сопротивления. – Введ. 1976-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986.

9. ГОСТ 3816–81 (ИСО 811-81). Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств. – Введ. 1982-07-01. – М.: Минлегпром СССР, 1981.

10. ГОСТ 13587–77. Полотна нетканые и изделия штучные нетканые. Правила приемки и метод отбора проб. – Введ. 1978-07-01. – М.: Минлегпром, 1977.

11. ГОСТ Р 57632–2017. Материалы нетканые для специальной одежды. Утеплители. Технические требования. Методы испытаний. – Введ. 2018-05-01. – М.: ТК 412 "Текстиль", 2018.

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

13. Shewhart W. (1939). Statistical method from the viewpoint of quality control. Washington: The Department of Agriculture, 1939.

14. ГОСТ Р ИСО 7870-2–2015. Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта – Введ. 2016-12-01. – М.: ТК 125 "Применение статистических методов", "СТАНДАРТИНФОРМ", 2019.

REFERENCES

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

2. Mezentseva, E.V., Ivanov V.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. Mezentseva, E.V., Mishakov V.Yu. Razrabotka samoreguliruyushchikhsya netkanykh sistem na osnove poliakrilatnykh volokon // *Sb. standovykh dokladov*

molodykh uchenykh i studentov: *Sovremennye zadachi inzhenernykh nauk: Mezhdunarodnyy Kosygin'skiy Forum (29-30 oktyabrya 2019 g.)*. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2019. S. 117...119.

4. Kiryukhin S.M., Solov'ev A.N. Kontrol' i upravlenie kachestvom tekstil'nykh materialov. – М.: Legkaya industriya, 1977.

5. Kiryukhin S.M., Demokratova E.B. Kontrol' kachestva tekstil'nykh materialov. Konspekt lektsiy. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2017.

6. GOST 15902.2–2003 (ISO 9073-2:1995). Polotna netkanye. Metody opredeleniya strukturnykh kharakteristik. – Vved. 2004-09-01. – М.: ОАО "НИИМ", 2003.

7. GOST 15902.3–79. Polotna netkanye. Metody opredeleniya prochnosti – Vved. 1980-07-01. – М.: Minlegprom SSSR, 1979.

8. GOST 20489–75. Materialy dlya odezhdy. Metod opredeleniya summarnogo teplovogo soprotivleniya. – Vved. 1976-01-01. – М.: Izd-vo standartov, 1986.

9. GOST 3816–81 (ISO 811-81). Polotna tekstil'nye. Metody opredeleniya gigroskopicheskikh i vo-doottalkivayushchikh svoystv. – Vved. 1982-07-01. – М.: Minlegprom SSSR, 1981.

10. GOST 13587–77. Polotna netkanye i izdeliya shtuchnye netkanye. Pravila priemki i metod otbora prob. – Vved. 1978-07-01. – М.: Minleg-prom, 1977.

11. GOST R 57632–2017. Materialy netkanye dlya spetsial'noy odezhdy. Utepliteli. Tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. – Vved. 2018-05-01. – М.: ТК 412 "Текстиль", 2018.

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

13. Shewhart W. (1939). Statistical method from the viewpoint of quality control. Washington: The Department of Agriculture, 1939.

14. GOST R ISO 7870-2–2015. Statisticheskie metody. Kontrol'nye karty. Chast' 2. Kontrol'nye karty Shukharta – Vved. 2016-12-01. – М.: ТК 125 "Primenenie statisticheskikh metodov", "STANDARTINFORM", 2019.

Рекомендована кафедрой коммерции и сервиса РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 18.05.20.

УДК 677.025

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_89

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ НАГРУЗОК
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН**

**THE RESEARCH OF THE INFLUENCE OF DEFORMATION LOADS
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF KNITTED FABRICS**

Е.Б. ХАБАРОВА, О.П. ФОМИНА, В.А. ЗАВАРУЕВ

E.B. KHABAROVA, O.P. FOMINA, V.A. ZAVARUEV

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

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

E-mail: alena.khabarova@gmail.com

Проведен анализ физико-механических свойств серии образцов кулирного трикотажа традиционных переплетений гладь, ластик 1x1, фанг, полуфанг и спроектированных комбинированных переплетений.

The article describes an analysis of physic-mechanical properties of series of designed combined weaves knitted samples and a few traditional weaves smooth surfaces.

Ключевые слова: кулирный трикотаж, серия образцов, трикотажные протяжки, футерная нить, физико-механические свойства образцов трикотажа, толщина образцов трикотажа при различном давлении.

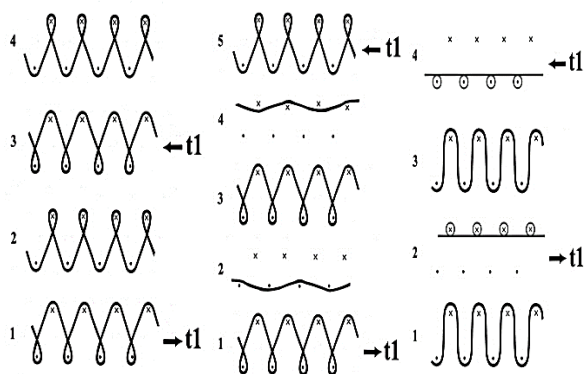
Keywords: stockinette knitted fabrics, series of samples, additional feed lines, footer thread, the knitted samples physical and mechanical properties, an uniaxial stretching, the thickness of the knitted samples at different pressures.

Трикотажное полотно является сложной пространственной структурой, где базовые элементы – петли и протяжки – работают как единая система распределения внешней нагрузки, причем степень нагружения отдельных элементов и участков нити зависит от вектора приложения нагрузки и может меняться в широких пределах. Так как нити в структуре трикотажа имеют сложное пространственное расположение, то при приложении нагрузки в различных

направлениях работают разные участки петельной структуры [1].

В последнее время в техническом трикотаже используются двухслойные структуры, в которых протяжки, соединяющие петельные слои, играют роль распорок. Достоинством таких структур является способность соединительных элементов (распорок) сопротивляться продольному сжатию и изгибу, что обеспечивает устойчивость полотна в условиях эксплуатации.

Большинство таких структур образовано на базе двойных основовязанных переплетений [2]. Основным недостатком основовязанных полотен, в отличие от кулирных, является невозможность вывязывания деталей трикотажного изделия по заданному контуру. Преимущество кулирных переплетений – это изготовление деталей по заданной форме без обрезных краев, потому разработка двухслойных кулирных трикотажных структур типа распорок представляется актуальной. Подобные структуры характерны для трикотажа перекрестных переплетений, в котором, в результате выполнения сдвигов игольниц, петельные столбики соседних петельных слоев располагаются друг против друга, а отдельные протяжки, соединяющие эти петельные столбики, направлены перпендикулярно к петельным слоям трикотажа.



а) б) в)
Рис. 1

В строительной механике используется модель конструкции строительной плоской фермы, состоящая из двух параллельных поясов, соединенных группой стержней (распорок), расположенных как перпендикулярно, так и под углом 45° к плоскостям этих поясов, которая обладает максимальными физико-механическими показателями прочности и сопротивляемости к нагрузкам [3]. Можно предположить, что использование данного принципа в петельной структуре трикотажа может позволить улучшить физико-механические свойства трикотажного полотна. Для исследования этого предположения были теоретически разработаны несколько видов структур двойного кулирного трикотажа с дополни-

тельными протяжкам, соединяющими противоположные петельные слои аналогично расположению группы стержней строительной фермы.

На рис. 1 показана графическая запись двойного трикотажа перекрестных комбинированных переплетений: на базе фанга – а) №1 и б) №2; на базе трубчатой глади – в) №3.

– Комбинированное переплетение №1. Трикотаж перекрестных переплетений на базе фанга, с ритмом чередования направлений сдвига на один игольный шаг после вывязывания каждого полного петельного ряда раппорта переплетения (рис. 1-а).

– Комбинированное переплетение №2. Трикотаж перекрестных переплетений на базе фанга, с ритмом чередования направлений сдвига на один игольный шаг после вывязывания каждого полного петельного ряда раппорта переплетения, с дополнительным прокладыванием футерных нитей в отдельных петельных слоях трикотажа (рис. 1-б).

– Комбинированное переплетение №3 [4]. Трикотаж перекрестных переплетений на базе трубчатой глади, в котором петельные слои соединены протяжками футерной нити, с ритмом чередования направлений сдвига на один игольный шаг после вывязывания каждого полного петельного ряда раппорта переплетения (рис. 1-в).

Для сравнительной оценки физико-механических свойств двойных кулирных переплетений была выработана серия образцов традиционных кулирных переплетений гладь, ластик 1x1, фанг и полуфанг и комбинированных переплетений №1, №2 и №3 с протяжками типа распорок.

Сопротивление трикотажного полотна внешним нагрузкам зависит от условий деформирования, а также от структуры полотна [5]. Важным показателем механических свойств текстильных полотен, определяющим их целостность, является прочность при растяжении, когда петли трикотажного полотна изменяют геометрические параметры под действием приложенных сил, что приводит к раздвижке петельных столбиков. Для оценки степени деформации структуры выработанных образцов ку-

лирных переплетений были проведены испытания по определению характера изменения параметров трикотажа при одноосном растяжении вдоль петельных рядов. Определение растяжимости образцов трикотажных полотен при нагрузках меньше

разрывных проводилось на разрывной машине РТ-250М1 по стандартным методикам [6], [7], [8]. Результаты испытаний приведены в табл. 1 (изменение параметров структуры трикотажа при одноосном растяжении).

Т а б л и ц а 1

Давление Р, кПа	Удлинение образца переплетения трикотажа b, мм						
	гладь	ластик 1x1	фанг	полуфанг	№1	№2	№3
0	100	100	100	100	100	100	100
100	110	140	124	120	118	111	107,5
200	125	148,5	128	140	125	120	110
300	129	158	137	145	135	125	115
400	140	165	144	149	136	130	120
500	142	166	146	151	139	142	130
600	144	170	151	155	157	144	132,5
700	146	173	155	156	157	145	135
800	146	174	156	156	160	146	135
900	147	175	159	157	160	150	135
1000	147	177	160	158	163	152	135

На рис. 2 показано изменение параметров трикотажа при растяжении: а) график; б) диаграмма относительного удлинения образцов трикотажа при растягивающей нагрузке Р = 1000 Па.

На графике (рис. 2-а) можно увидеть, что значение ΔL переплетения ластик 1x1 непрерывно менялось в диапазоне нагрузок Р = 100 ... 1000 Па. Достаточно однородную картину растяжимости показала

группа переплетений – гладь, фанг, полуфанг и разработанные переплетения №1 и №2. Параметр L данных переплетений при нагрузках Р = 0 ... 600 Па показал похожую динамику, а при Р ≥ 600 Па сходную картину постепенной стабилизации деформации. Показатели ΔL переплетения №3 на базе трубчатой глади наиболее стабильны уже при нагрузке Р ≥ 400 Па, а при Р ≥ 600 Па параметр L практически не изменяется.

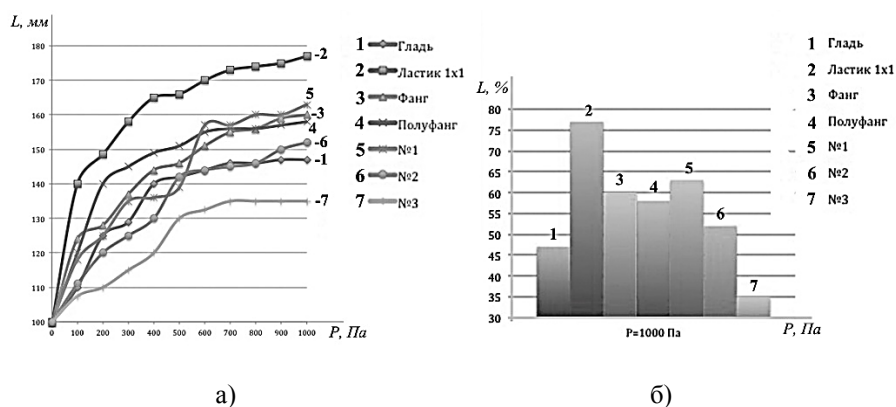


Рис. 2

Для наглядного сравнения степени деформации петельной структуры образцов удобно представить степень растяжимости в процентном соотношении к начальному состоянию трикотажа. На основании полученных данных рассчитаны значения отно-

сительной растяжимости $L_{отн}$, определяемой по формуле:

$$L_{отн}(P) = \frac{L(P)}{L(P_0)} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $L(P)$ – значение растяжения при текущей нагрузке; $L(P_0)$ – значение растяжения при нулевой нагрузке. Полученный массив данных интерпретируется в диаграмму сравнительных показателей относительной растяжимости образцов при одноосном растяжении до $P_{\max} = 1000$ Па (рис. 2-б).

На диаграмме относительного удлинения образцов (рис. 2-б) параметр L ластика 1×1 в процентном отношении к начальной длине L_0 имеет наибольшее значение (рис. 2-б, столбик 2). Диаграмма на рис. 2-б наглядно демонстрирует незначительное растяжение переплетения №3 на базе трубчатой глади. Механические свойства переплетения №3 можно объяснить наличием в петельной структуре трикотажа протяжек в

виде соединительных «распорок», расположенных под углом 45 и 90° между слоями трикотажа. Такие протяжки-распорки способны работать в переплетении как гибкие стержни [2], а проведенные испытания демонстрируют возможность «распорок» оказывать сопротивление деформированию петель при продольном растяжении полотна. Как видно из графика (рис. 2-а), переплетение №3 показало наибольшую начальную сопротивляемость растяжению при малых значениях нагрузки и быстрый переход в равновесное состояние при дальнейшем нагружении до $P \leq 1000$ Па.

В табл. 2 показано изменение толщины трикотажа при сдавливающих нагрузках.

Т а б л и ц а 2

Давление P , кПа	Толщина образца переплетения трикотажа b , мм						
	гладь	ластик 1×1	фанг	полуфанг	№1	№2	№3
0	1,8	3,2	3,8	3,9	4,8	4,8	4,8
100	1,2	2,4	2,2	3	3,6	4,3	4
200	1	2	1,7	2,4	2,6	2,9	3,2
300	0,9	1,5	1,6	2,2	1,9	2,8	3
400	0,8	1,4	1,3	2,2	1,7	2,2	2,6
500	0,8	1,3	1	1,6	1,5	2,1	2,6
600	0,7	1,1	0,8	1,4	1,3	2	2,5
700	0,7	1,1	0,7	1,4	1,3	1,9	2,5
800	0,7	1,1	0,7	1,3	1,2	1,9	2,4
900	0,6	1,1	0,7	1,2	1,1	1,8	2,3
1000	0,6	1	0,6	1,2	1,1	1,7	2,3
Относительная деформация сжатия ϵ	0,8	2,2	2,8	2,9	3,8	3,8	3,8

Толщина трикотажных полотен влияет на теплоизолирующие свойства, проницаемость, жесткость, драпируемость и др. Этот показатель необходимо учитывать при конструировании изделий, технологии их производства, проектировании готовой продукции с определенными свойствами. Изменение структуры трикотажа при приложении к ним некоторых усилий происходит за счет изменений конфигурации петель. Трикотаж имеет подвижную петельную структуру и деформируется в результате действия нагрузок, значительно меньше разрывных. Это обусловлено строением трикотажного материала, объем которого составляют нити, сформированные волокнами, воздушные промежутки между нитями, волокнами и петлями полотна. Если

трикотаж подвергается действию сил, направленных перпендикулярно или под малыми углами к их длине, то возникающие в них деформации называют сжатием [5]. Трикотажное полотно легко поддается сжатию, поэтому целесообразно определять его толщину при разных давлениях. Измерение толщины образцов трикотажа проводилось по стандартным методикам на толщиномере эластичных материалов ТН-10 [9]. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

В процессе сдавливания уменьшается толщина полотна и его плотность. Средняя плотность трикотажа изменяется пропорционально относительной деформации сжатия ϵ , которую рассчитывают по формуле:

$$\varepsilon = \frac{(h_0 - h_K)}{h_0}, \quad (2)$$

где h_0 – начальная толщина трикотажа; h_K – толщина трикотажа в сжатом состоянии [5]. Относительная деформация – это отношение абсолютной деформации к исходному размеру образца, и значение коэффи-

циента ε , применительно к трикотажу, является показателем материалоемкости (табл. 2).

Зависимость толщины трикотажа от давления была определена путем построения графика $b = f(x)$ по экспериментальным точкам (рис.4-а).

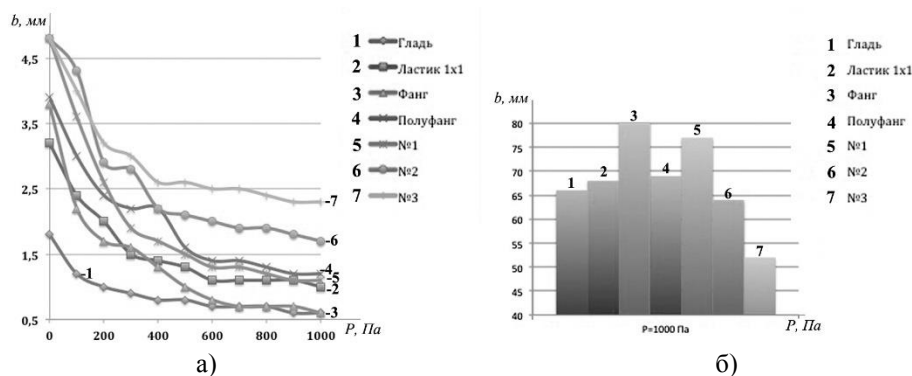


Рис. 3

На рис. 3 представлено изменение параметров трикотажа при сдвливающих нагрузках: а) график; б) диаграмма относительного изменения толщины трикотажа при нагрузке $P = 1000$ Па.

При сжатии трикотажа происходит не только деформация исходных материалов, но их конформация в новых условиях. График $b = f(x)$ отражает заметное изменение толщины всех образцов переплетений при нагрузке $P = 0 \dots 400$ Па (рис. 3-а). Интенсивность изменения конечного параметра b образцов трикотажа при приложении сдвливающих нагрузок наиболее наглядно представлена на диаграмме относительного изменения толщины, выраженном в процентах к начальной длине образца b_0 (рис. 3-б).

Трикотаж имеет пространственное строение, сформированное волокнами и нитями, остальную часть объема занимает воздух. Поэтому наибольшей деформации подвержены структуры с преобладанием воздушной объемной части. К таким структурам относятся образцы переплетений

фанг и №1 на базе фанга (рис. 3-б, столбики 3, 5). Значение Δb переплетения №3 на базе трубчатой глади наименьшее для испытанных образцов (рис. 3-б, столбик 7). Механику работы переплетения №3 можно объяснить наличием в его петельной структуре протяжек в виде соединительных «распорок», расположенных под углом 45° и 90° к внешним слоям трикотажа. При восприятии нагрузки, перпендикулярно направленной к длине полотна, протяжки-распорки сработали в переплетении как упругие гибкие стержни [2]. Проведенные испытания демонстрируют возможность таких «распорок» оказывать сопротивление деформированию петель при сдвливающих нагрузках.

В сравнительной табл. 3 показано наличие протяжек, расположенных под разными углами к внешним петельным слоям, в структуре переплетений испытанных образцов. Переплетение №3 отличается наличием двух видов протяжек – под углом и 45° и 90° между слоями трикотажа.

Т а б л и ц а 3

Угол направления протяжки	Гладь	Ластик 1x1	Фанг	Полуфанг	Комбинированные переплетения		
					№1	№2	№2
45°	–	+	+	+	+	+	+
90°	–	–	–	–	–	–	+
$>90^\circ$	–	–	–	–	+	+	–

ВЫВОДЫ

1. Проведенные испытания на одноосное растяжение и плоскостное нагружение образцов трикотажа кулирных переплетений показали, что наличие в структуре двойного трикотажа соединительных элементов «распорок», расположенных под углом 45 и 90° между слоями трикотажа и соединяющих петельные слои, оказывает значительное влияние на физико-механические свойства полотна его сопротивляемость нагрузкам.

2. Соединительные «распорки» работают в структуре трикотажа как «упругие стержни» и повышают устойчивость трикотажного материала растягивающим и сдавливающим нагрузкам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матренин С.В., Овечкин Б.Б. Композиционные материалы и покрытия на полимерной основе. – Томск, 2008.

2. Башков А.П., Башкова Г.В., Алешина Д.А., Румянцова О.С. Анализ механических свойств двухслойных трикотажных полотен с соединительными элементами из индивидуальных нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №1. С. 111.

3. Шакирзянов Р.А., Шакирзянов Ф.Р. Курс лекций по строительной механике / 2-е изд., перераб. и доп. – Казань: КГАСУ, 2014.

4. Фомина О.П., Хабарова Е.Б., Заваруев В.А. Разработка структур и технологии выработки армирующих трикотажных полотен // Симпозиум МНТФ Косыгин-2017. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2017.

5. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия). – М.: Легпромбытиздат, 1992.

6. ГОСТ 8844–75. Полотна трикотажные. Правила приемки и метод отбора образцов. – М.: Стандартинформ, 1984.

7. ГОСТ 8847–85. Полотна трикотажные. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках, меньше разрывных. – М.: Стандартинформ, 1986.

8. ГОСТ 12023–2003. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения толщины. – М.: Стандартинформ, 2005.

9. ГОСТ 11358–89. Толщиномеры и стенкоммеры индикаторные с ценой деления 0,01 и 0,1 мм. – М.: Стандартинформ, 2005.

REFERENCES

1. Matrenin S.V., Ovechkin B.B. Kompozitsionnye materialy i pokrytiya na polimernoy osnove. – Tomsk, 2008.

2. Bashkov A.P., Bashkova G.V., Aleshina D.A., Rumyantseva O.S. Analiz mekhanicheskikh svoystv dvukhsloynnykh trikotazhnykh poloten s soedinitel'nymi elementami iz individual'nykh nitey // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №1. S. 111.

3. Shakirzyanov R.A., Shakirzyanov F.R. Kurs lektsii po stroitel'noy mekhanike / 2-e izd., pere-rab. i dop. – Kazan': KGASU, 2014.

4. Fomina O.P., Khabarova E.B., Zavaruev V.A. Razrabotka struktur i tekhnologii vyrabotki armiruyushchikh trikotazhnykh poloten // Simpozium MNTF Kosygin-2017. – M.: RGU imeni A.N. Kosy-gina, 2017.

5. Kukin G.N., Solov'ev A.N., Koblyakov A.I. Tekstil'noe materialovedenie (tekstil'nye polotna i izdeliya). – M.: Legprombytizdat, 1992.

6. GOST 8844–75. Polotna trikotazhnye. Pravila priemki i metod otbora obraztsov. – M.: Standartinform, 1984.

7. GOST 8847–85. Polotna trikotazhnye. Metody opredeleniya razryvnykh kharakteristik i rastyazhimosti pri nagruzkakh, men'she razryvnykh. – M.: Standartinform, 1986.

8. GOST 12023–2003. Materialy tekstil'nye i izdeliya iz nikh. Metod opredeleniya tolshchiny. – M.: Standartinform, 2005.

9. GOST 11358–89. Tolshchinomery i stenkomyery indikatornye s tsenoy deleniya 0,01 i 0,1 mm. – M.: Standartinform, 2005.

Рекомендована кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий. Поступила 10.03.20.

УДК 687.016

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_95

THE DEVELOPMENT OF E-BESPOKE OF MEN'S SHIRT

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
КАСТОМИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МУЖСКИХ СОРОЧЕК***

JIAQI YAN, V.E. KUZMICHEV

ЦЗЯЦИ ЯНЬ, В.Е.КУЗЬМИЧЕВ

(Ivanovo State Polytechnical University)

(Ивановский государственный политехнический университет)

E-mail: wkd37@list.ru

Apparel customization has been spread for the exclusive custom-fitted clothing since the emergence of Haute Couture in XIX century. Contemporarily, the MtM (Made-to-Measure) and bespoke apparel can better fit the individual bodies than RtW (Ready-to-Wear) through customized pattern construction, which are now evolving into the new e-bespoke that can digitally and virtually accomplish the process. However, the existing e-bespoke apparel is still defective in evaluation of virtual apparel fitting. This paper proposed an essential method of improving e-bespoke well-fitted men's shirt with the development of body morphological features, original customized pattern blocks, and the evaluation of virtual shirt. With the 3D body scanning and VR (virtual reality) technologies, the virtual clone or virtual twin were generated with new pattern-oriented body measurements discovered, the individual pattern was drafted accordingly, and the digital twin of shirt was established and evaluated with multi-dimension in software CLO 3D. The developed virtual e-bespoke method can assure the fit of men's shirt with higher efficiency and quality than the existing customization.

Кастомизация одежды получила распространение для эксклюзивной индивидуальной одежды с расцветом от-кутюр в XIX веке. Одежда так называемого адресного проектирования MtM (Made-to-Measure) и индивидуального пошива bespoke лучше соответствует индивидуальным фигурам, чем одежда массового производства RtW (Ready-to-Wear), благодаря кастомизации чертежей конструкций, которые сейчас используются в новом e-bespoke процессе благодаря цифровизации и виртуализации. Однако производимая одежда e-bespoke все еще имеет недостатки в виртуальном внешнем

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта №20-47-37006.

виде. В статье рассмотрен существенный метод улучшения мужских сорочек e-bespoke с хорошей посадкой на основе нового описания морфологии фигур, оригинальных кастомизированных чертежей и оценки качества виртуальных сорочек. Используя технологии трехмерного сканирования и виртуальной реальности, виртуальные клоны и двойники были сгенерированы с использованием новых предложенных конструктивно-ориентированных размерных признаков, соответствующих индивидуальным чертежам, а цифровые двойники сорочек были созданы и оценены в программе CLO 3D. Разработанный виртуальный e-bespoke метод может улучшить посадку мужских сорочек параллельно с высокой эффективностью и качеством, чем существующие варианты кастомизации.

Keywords: e-bespoke, men's shirt, digital twin, apparel fit, 3D body scanning, body measurement, pattern block, virtual reality.

Ключевые слова: индивидуальный пошив, мужская сорочка, цифровой двойник, посадка, трехмерное сканирование, размерный признак, чертеж конструкции, виртуальная реальность.

Rady-to-Wear (RtW) garments are mass-produced based on the basic typical body measurements organized in the sizing systems [1]. The consumers have frequently complained about the fit problems because that a limited people have typical morphology for one thing, and the limited traditional body measurements and pattern sketching are inadequate for untypical bodies.[2]

As a result of consumers' higher demands of individuality and fit, the prevalence of customized Made-to-Measure (MtM) garments has been escalating.[3] The MtM garments are made through extra process: body measuring, design selection, adjustment from the RtW pattern block, and individual fit evaluation. However, the high-level garment fit cannot be assured. The foremost reason is that process is still based on the traditional body measurements and landmarks, which is not enough for characterizing the morphological features especially in sewing pattern block. Moreover, the traditional MtM mode involves the complex but sometimes inaccurate measuring and repeatable number of real try-on trials.

Contemporarily, the new mode of garment customization named e-bespoke that the whole customization process is digitalized in body measuring, pattern drafting, try-on exhibition, fit evaluation, etc. has been emerging with the evolution of digitalization technologies such as 3D body scanning, virtual reality (VR), etc.

3D body scanner can instantly generate one-to-one virtual twin and accurate body measurements.[4] VR-based 3D CAD can provide the realistic 3D virtual try-on model with optional avatars, sewing pattern blocks, textile materials, and craft details [5].

The processes of garment production are different in many aspects [1]:

a. Different number of body measurements: basic measurements from sizing system of RtW, manual basic measurements from individual body of MtM, and new digital body measurements from virtual twin of e-bespoke;

b. Different construction of pattern block: normalized prototypes based on typical sizes of RtW, customized pattern adjusted from the prototype of MtM, and originally customized pattern of e-bespoke;

c. Kinds of sample making: the real samples of RtW and MtM, and the virtual sample of e-bespoke;

d. Procedure of fit evaluation: fit evaluation by using a real dummy of RtW, fit evaluation by using a real body of MtM, and the fit evaluation based on virtual simulation of e-bespoke;

Some e-bespoke services contemporarily involve the virtual fitting, instant virtual twin generation, etc. [6], [7]. However, the main existing problems are that the applied body measurements are still traditional and inadequate, the pattern is sketched by the RtW or MtM

ways, and above all the virtual images are helpful to examine the exterior aesthetics rather than the accurate fit evaluation. These problems will make the fit level of the end-product unpredictable.

Therefore, it's inevitable to improve the process of body measuring, pattern sketching, and fit evaluation, etc. to extend the contemporary e-bespoke. This paper aimed to introduce one important method of developing e-bespoke men's shirt through 3D body scanning and VR technologies with new scheme of body measurements, new pattern customization method, and virtual fit evaluation. The case study of e-bespoke men's shirt validated the feasibility and priority by comparing with RtW and MtM shirts.

Methods

Devices and software

To develop the e-bespoke shirt, a variety of instrumental devices and software are utilized. 3D body scanner VITUS Smart XXL and the software Anthroscan (Germany) were used to generate 3D virtual clones of male bodies. 3D modeling software Rhinoceros was used to

process the body measuring of the virtual twin. Mixamo (USA) was used to convert the raw virtual twin into boned digital twin for subsequent try-on. CLO 3D (version 5.0.156.38765, Korea) was used to conduct both the 2D pattern drafting, the 3D virtual try-on and fit evaluation processes. The mechanical properties of textile materials were measured by KES-F (Japan).

Generation of digital twin and new body measurements

Through 3D body scanning, the one-to-one 3D virtual clone (format obj.) was generated by Anthroscan (Fig.1-a). For one thing, in consideration of the subsequent virtual fitting process, the virtual clone was converted into digital twin (format fbx.) with skeletons inserted by Mixamo. For another, the virtual twins were utilized to conduct the body measuring in Rhinoceros. Fig. 1 (the generation of virtual clone from Anthroscan (a), body measuring in Rhinoceros (b) and boned digital twin in CLO 3D (c)) shows the raw virtual clone, converted digital twin, and the body measuring in Rhinoceros.

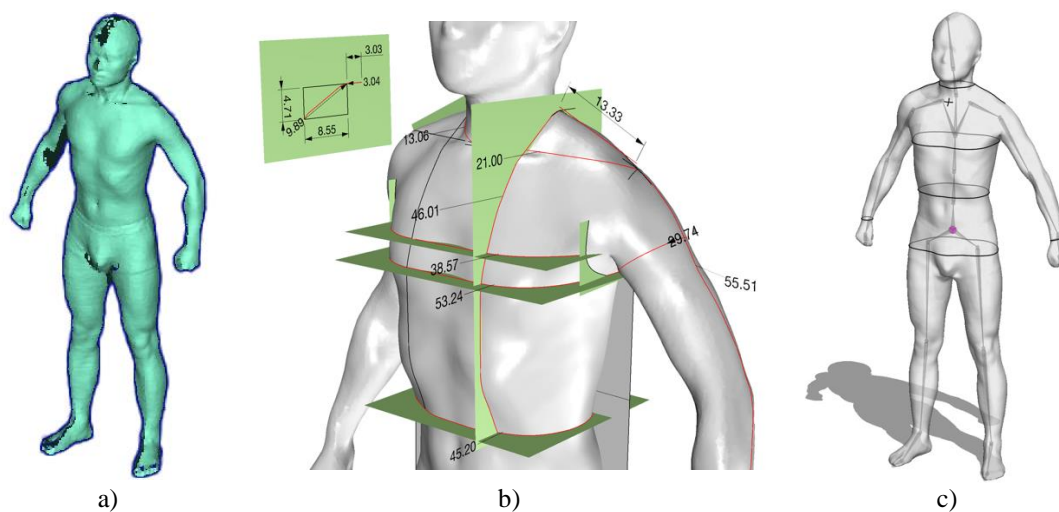


Fig. 1

As shown in Figure 1, the virtual clone and digital twin had the same morphologies but digital twin can be formed into various body posts for subsequent virtual fitting. The body measurements were measured by making straight lines, cross-sections, projection lines, and surface lines in Rhinoceros.

As usual, the RtW and MtM shirts are made from sizing system or particular body with the

basic traditional body measurements (BM_T): chest girth (CG), waist girth (WG), hip girth (HG), neck girth (NG), shoulder width (SW), arm length (AL), etc.[8] To roundly represent the body morphology, more new body measurements (BM_N) were introduced into e-bespoke, which were supposed to be applicable in pattern construction. Figure 2 shows the new body measurements.

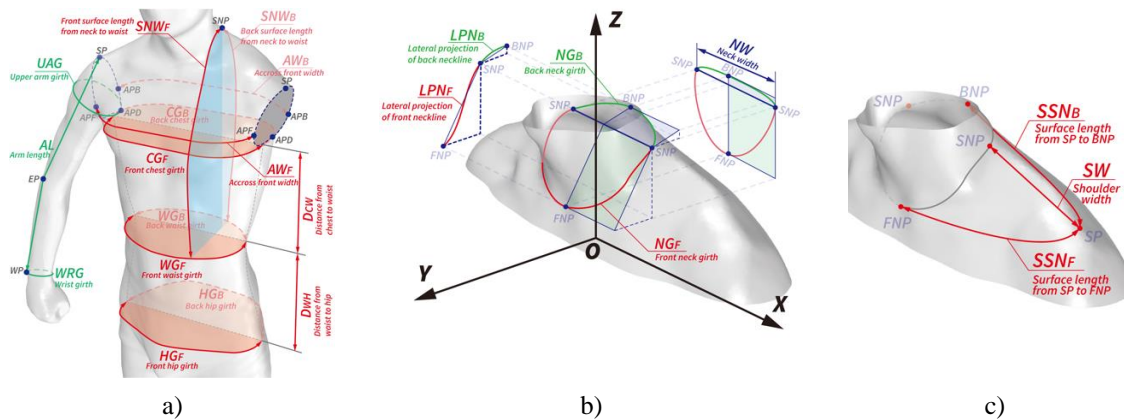


Fig. 2

As shown in Figure 2 (23 new body measurements for e-bespoke men's shirts: a – torso and arm (12 measurements), b – neck (5), c – shoulder (3)), in total 23 BM_N were applied to characterize four body segments:

1. Torso: front girths CG_F , WG_F , HG_F and back girths CG_B , WG_B , HG_B together horizontally represented the anteroposterior torso segments, SNW_F and SNW_B vertically represented the anteroposterior segments, AW_F and AW_B helped to defined the armhole, and DCW , CWH defined the distances between each level;

2. Arm: AL was the arm length, UAG and WRG represented the arm girth and wrist girth, respectively;

3. Neck: NG_F , NG_B were the front and back neck girths, NW represented the width, and LPN_F , LPN_B represented the front and back lateral projections;

4. Shoulder: surface lengths SSN_F , SSN_B and straight length SW together defined the position of SP .

Through these disposals, the accurate and adequate BM_N can not only depict the body morphology, but also be used in customizing shirt pattern on one thing. On another, the real-sized digital twin can perform the real-time virtual try-on.

Construction of shirt pattern block

The pattern indexes calculated by adding corresponding BM_N and ease allowances are proposed to arrange the feature points and lines of the pattern, cm:

$$I_{P-BMN} = BM_N + E_{BMN}, \quad (1)$$

where are I_{P-BMN} is the pattern index, E_{BMN} is the ease to corresponding body measurement.

According to Equation (1), three types of I_P were applied: I_{P1-BMN} that equals BM without an ease; I_{P2-BMN} that equals BM with an invariable ease; I_{P3-BMN} that equals BM with an ease that varies depending on the shirt style. Both the invariable and variable ease items are pre-defined before pattern sketching. when the shirt style varies from body-fit to slim-fit, regular-fit and loose fit, I_{P1-BMN} , I_{P2-BMN} maintain the constant values, while I_{P3-BMN} should become larger with ease escalating.

The shirt pattern blocks of different segments were constructed by three types of indexes.

Virtual fitting and evaluation in CLO 3D

To keep the consistence between real and virtual environments, three primary elements were considered:

1. Pattern block: the real-sized customized pattern block was sketched in CLO, and the crafting works are arranged as the real ones such as interlining, bottom, sewing, etc.

2. Digital twin: the digital twin was imported into CLO to fit the garments instead of the default typical avatar.

3. Textile material: the real textile material is converted into virtual ones by following the both methods of material conversion: using the exact algorithms to transforming manual-measured values (tensile, shearing, bending) from KES-F to indexes in CLO (weight, thickness, stretch, stiffness, shear); sensory experiments comparing the real and virtual draping images.[9], [10] The virtual fabrics shown the

re-alistic appearance of draping and fitting through the conversion.

The concrete criteria of shirt fit were involved for evaluation: the grain direction of fabric, the ease and air gap between the body (digital twin) and the shirt, the stress folds and unnecessary creases on the surface, the balance in the front, profile, and back views, etc.[11] Through virtual fitting, the multiple fit evaluation can be done. First, the subjective experiment was conducted by analyzing the 3D fitting models and marking scores by experts (there are five levels: 1 – poorest, 2 – poor, 3 – medium, 4 – good, 5 – perfect). Second, the objective experiment was conducted by visualizing the strain map of the shirt and measuring

the distortion rates (distortion of the fabric take place when the exterior force is applied).

Results and discussion

To validate the developed e-bespoke method, we accomplished the men's shirts for different bodies following the before-mentioned process, and here we exhibit one case (very untypical male body of 170/92Y type) by comparing with the RtW, and MtM shirts.

Pattern blocks

All virtual clones after scanning, and customized the e-bespoke pattern block were measured (Table 1 – ehe primary BM_N , ease allowances, and corresponding body-fit shirt pattern indexes).

Table 1

Item	Value, cm										
	CG_F	CG_B	WG_F	WG_B	HG_F	HG_B	NG_F	NG_B	SSN_F	SSN_B	SW
BM_N	53.2	40.7	45.2	28.2	49.9	41.5	25.6	15	21.4	20.2	13.7
Ease	E_{CGF}	E_{CGB}	E_{WGF}	E_{WGB}	E_{HGF}	E_{HGB}	E_{NGF}	E_{NGB}	E_{SSNF}	E_{SSNB}	E_{SW}
	2.5	2.5	4.8	9.2	5.5	1.5	1.5	0.5	0	0	0
Index	$IP3-CGF$	$IP3-CGB$	$IP3-WGF$	$IP3-WGB$	$IP3-HGF$	$IP3-HGB$	$IP2-NGF$	$IP2-NGB$	$IP1-SSNF$	$IP1-SSNB$	$IP1-SW$
	55.7	43.2	50	37.5	55.5	43	27.1	15.5	21.4	20.2	13.7

As Table 1 shows, the body was particular in anteroposterior proportion of the torso, neckline shape, shoulder position, and arm. The ease allowances were predefined for body-fit shirt that was apt to exhibit the misfit than other styles. And the pattern indexes were accordingly arranged for the body. Figure 3 shows the bodice blocks of RtW, MtM, and e-bespoke patterns for the body [12].

As we can see in Fig. 3 (pattern blocks of RtW, MtM, and e-bespoke shirts [12]), the different quantity and values of the applied body measurements, and the different pattern constructing methods led to the distinguishing between RtW, MtM and e-bespoke pattern blocks. The three kinds of patterns are distinctly different in terms of front and back segments, neckline, shoulder line position, and armhole shape.

Subjective fit evaluation

The fit of three kinds of shirts (made by stretched poplin fabric) can be evaluated and compared subjectively first. The experts were

invited to analyze 3D images of three body-fit shirts and mark the scores by sensory experiment (as Fig. 4 (the 3D virtual images of RtW, MtM and e-bespoke shirts. (bright grey - front segment; grey - back segment)) and Table 2 (the scores fit of sensory analysis.)).

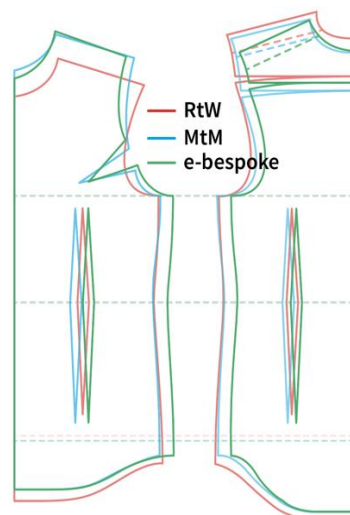


Fig. 3

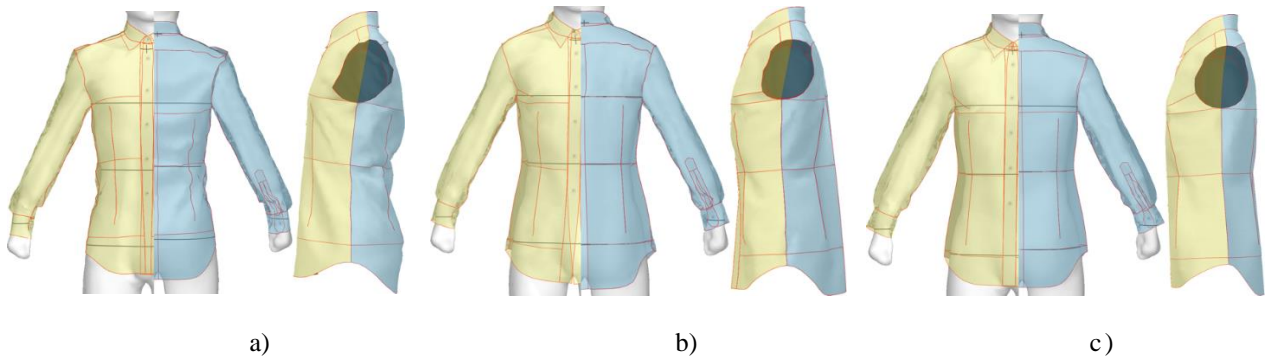


Fig. 4

Table 2

Shirt type	Segment				Average
	Bodice	Sleeve	Neck	Shoulder	
RtW	1	2	1	1	1.25
MtM	2	3	3	4	3
e-bespoke	4	4	5	4	4.25

As shown in Fig. 4, the RtW shirt exhibited the poorest fit, and e-bespoke shirt exhibited the best fit, MtM shirt was better than RtW with less folds. The misfit were found on both RtW and MtM shirts: oblique structural lines on the bodice, unsmooth armhole, malposed neck line, and bulge over shoulder. On the contrary, the e-bespoke shirt eliminated these existed misfit with good balance, smooth surface and armhole, and few folds. As shown in Table 2, experts' sensory results proved the com-

prehensive improvement of e-bespoke shirt especially in bodice, neck and shoulder.

Objective fit evaluation

The objective experiment was conducted by analyzing the strain map and distortion rates of the shirts (As Fig. 5 (the strain maps of RtW, MtM and e-bespoke shirts: a) – RtW shirt, b) – MtM shirt c) – e-bespoke shirt) and Table 3 – the distortion rates of different segments of RtW, MtM and e-bespoke shirts).

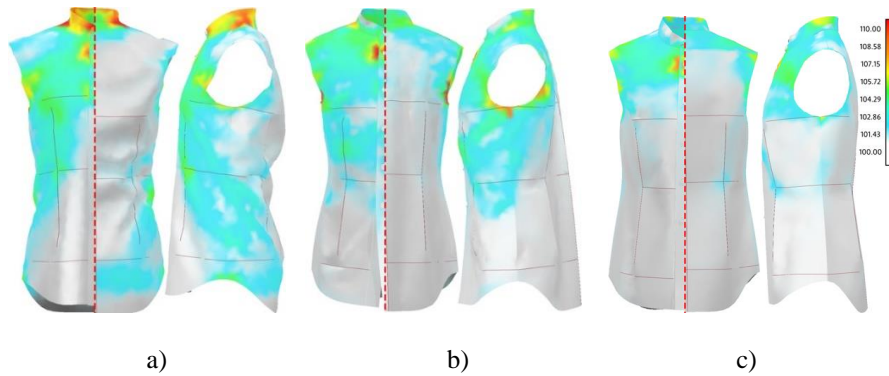


Fig. 5

Table 3

Shirt type	Segment (%)								
	Front chest	Back chest	Front waist	Back waist	Front hip	Back hip	FNP	SNP	BNP
RtW	109.42	101.88	104.53	101.45	104.53	101.91	113.43	108.7	107.43
MtM	110.24	101.83	103.61	101.19	101.99	101.9	103.52	103.77	103.0
e-bespoke	110.02	100.98	101.04	100.77	101.4	100.34	105.83	106.75	101.96

Figure 5 shows the strain maps of three shirts, varied color indicated the different distortion by external forces (white: no distortion, red: highest distortion). RtW shirt was serious distorted around the bodice, neck because of the unbalanced anteroposterior segments and too tight collar. MtM was distorted around the front waist, scapula and armhole because of the unbalanced anteroposterior segments. E-bespoke shown least distortion, that the fabric hanged on the body usually led to the train around upper chest. Table 3 illuminates the strain areas of three shirts, the e-bespoke shirt shown lowest distortion rates in most areas. The exceptional lowest distortion of FNP, SNP area of MtM was caused by the too large front neck girth.

From the case study, the developed e-bespoke method is better than the contemporary RtW and MtM methods in the new body measurements, new sketched pattern, and improved shirt fit. The ultimate virtual model is helpful to evaluate the fit of the customized product, which isn't provided by the contemporary e-bespoke services.

However, our experiments involved only static pose and one wearing way, which still cannot cover all the situations occur in daily life. In the future, the active poses (such as stoop, squat, walk, etc.) and multiple wearing ways (such as unbuttoning, tucked hem, etc.) will be validated by real and virtual experiments.

CONCLUSION

In this paper, the new e-bespoke men's shirt with the help of 3D body scanner and 3D VR CAD was developed. To accomplish the good fit, new body measurements were proposed to characterize the morphological features of torso, arm, neck, and shoulder, on the one side, to build the new pattern customizing method, and the virtual fit evaluation, on the other side. The RtW and MtM shirt was poorly-fitted, while the e-bespoke shirt shown good fit.

This e-bespoke method could be utilized to improve the contemporary men's shirt customization, and other kinds of possible application.

In the future, several aspects such as the real and virtual experiments involving different active postures, ways of wearing, the generation of digital twin will be conducted.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gill S. A review of research and innovation in garment sizing, prototyping and fitting // *Textile Progress*. – 47(1), 2015. P.1...85.
2. Anderson L.J., Brannon E.L., Ulrich P.V., Presley A.B, Worondka D, Grasso M., and Stevenson D. Understanding fitting preferences of female consumers: Development of an expert system to enhance accurate sizing selection // *National Textile Center Annual Report*. – 1989 (8), 1–10.
3. Amed I, Andersson J, Berg A, Drageset M, Hedrich S and Kappelmark S. The State of Fashion 2018. Mckensey & Company and The Business of Fashion. – 2017. P.44...45.
4. Istook C.L., and Hwang S.J. 3D body scanning systems with application to the apparel industry // *J Fash Mark Manag*. –5(2), 2001. P.120...132.
5. Fairhurst C. *Advances in apparel production*. Cambridge // Woodhead Publishing. – 2008. P.140...153.
6. *Tailor-i*. Design your garment, <http://api.textronic.online/demo/custom.html?p=Men-Shirt> (2020, accessed 9 May 2020).
7. Meepl. Made-to-Measure, <https://www.meepl.com/solutions/made-to-measure> (2020, accessed 9 May 2020).
8. Winks J.M. *Clothing sizes: International standardization*. – Manchester, England: Textile Institute, 1997.
9. Cheng Z., Kuzmichev V., and Adolphe D. A digital replica of male compression underwear // *Text Res J*. – 90(7-8), 2020. P.877...89.
10. Lee M.J., Sohn H.S., and Kim J.J. A Study on Representation of 3D Virtual Fabric Simulation with Drape Image Analysis II-Focus on the Comparison between Real Clothing and 3D Virtual Clothing // *Journal of Fashion Business*. – 15(3), 2019. P.97...111.
11. Erwin M.D., Kinchen L.A. and Peters K.A. *Clothing for moderns*. 6th ed. – New York: Macmillan Publishing, 1979.
12. Yan J., and Kuzmichev V.E. A virtual e-bespoke men's shirt based on new body measurements and method of pattern drafting // *Text Res J*. – 2020.
13. 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.
14. Чжан Шичао, Кузьмичев В.Е. Получение цифровых двойников мужских фигур по изображениям и чертежам конструкций исторической одежды // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2019, №2. С.106...113.

REFERENCES

1. Gill S. A review of research and innovation in garment sizing, prototyping and fitting // *Textile Progress*. – 47(1), 2015. P.1...85.
2. Anderson L.J., Brannon E.L., Ulrich P.V., Presley A.B, Worondka D, Grasso M., and Stevenson D. Understanding fitting preferences of female consumers: Development of an expert system to enhance accurate sizing selection // *National Textile Center Annual Report*. – 1989 (8), 1–10.
3. Amed I, Andersson J, Berg A, Drageset M, Hedrich S and Kappelmark S. The State of Fashion 2018. Mckensey & Company and The Business of Fashion. – 2017. P.44...45.
4. Istook C.L., and Hwang S.J. 3D body scanning systems with application to the apparel industry // *J Fash Mark Manag*. –5(2), 2001. P.120...132.
5. Fairhurst C. *Advances in apparel production*. Cambridge // Woodhead Publishing. – 2008. P.140...153.
6. Tailor-i. Design your garment, <http://api.textronic.online/demo/custom.html?p = Men-Shirt> (2020, accessed 9 May 2020).
7. Meepl. Made-to-Measure, <https://www.meepl.com/solutions/made-to-measure> (2020, accessed 9 May 2020).
8. Winks J.M. *Clothing sizes: International standardization*. – Manchester, England: Textile Institute, 1997.
9. Cheng Z., Kuzmichev V., and Adolphe D. A digital replica of male compression underwear // *Text Res J*. – 90(7-8), 2020. P.877...89.
10. Lee M.J., Sohn H.S., and Kim J.J. A Study on Representation of 3D Virtual Fabric Simulation with Drape Image Analysis II-Focus on the Comparison between Real Clothing and 3D Virtual Clothing // *Journal of Fashion Business*. – 15(3), 2019. P.97...111.
11. Erwin M.D., Kinchen L.A. and Peters K.A. *Clothing for moderns*. 6th ed. – New York: Macmillan Publishing, 1979.
12. Yan J., and Kuzmichev V.E. A virtual e-bespoke men's shirt based on new body measurements and method of pattern drafting // *Text Res J*. – 2020.
13. 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.
14. Chzhan Shichao, Kuz'michev V.E Poluchenie tsifrovyykh dvoynikov muzhskikh figur po izobrazheniyam i chertezham konstruktsey istoricheskoy odezhdy // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2019, №2. S.106...113.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий. Поступила 24.07.20.

УДК 677.057.615.1

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_103

**ВЛИЯНИЕ ФРИКЦИИ ВАЛОВ МОДУЛЕЙ
НА ЗАТРАТЫ МОЩНОСТИ**

**THE INFLUENCE OF THE FRICTIONS OF THE SHAFTS OF THE MODULES
AT THE COST OF POWER**

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)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: Alekseykrylov9237@gmail.com

В статье рассмотрены составляющие момента статического сопротивления на преодоление сил трения качения и скольжения в зоне контакта валов модуля. Получены выражения для расчета тяговых усилий и потерь мощности на трение между валами. Экспериментально установлено, что затраты мощности на привод фрикционного каландра возрастают с увеличением нагрузки на валы, их скорости и скольжения (фрикции) между валами. Представлены рекомендации по снижению энергозатрат на привод валковых модулей.

The article considers the components of the static resistance moment for overcoming the frictional forces of rolling and sliding in the contact zone of the module shafts. Expressions for calculation of tractive forces and power losses on friction between shafts are obtained. It has been experimentally established that the power costs for the drive of the friction calender increase with increasing load on the shafts, their speed and sliding (friction) between the shafts. Recommendations for reducing power consumption for the drive of roller modules are presented.

Ключевые слова: валковый модуль, момент статического сопротивления, трение качения и скольжения, тяговые усилия, фрикция, потери мощности.

Keywords: roller module, the moment of static resistance, friction of rolling and sliding, traction, friction, loss of power.

Основными составляющими момента статического сопротивления (МСС), приведенного к ведущему валу модуля (рис. 1 –

расчетная схема для определения момента статического сопротивления модуля), являются моменты на преодоление следующих

сопротивлений: трения качения при деформации покрытия вала, обрабатываемого материала и вращении колец подшипников; трения скольжения в жале валов и транспортировку тканей с заданным натяжением.

Для расчета момента на приводном валу модуля необходимо определить суммарное тяговое усилие, расходуемое на преодоление всех видов сопротивлений [1], [2].

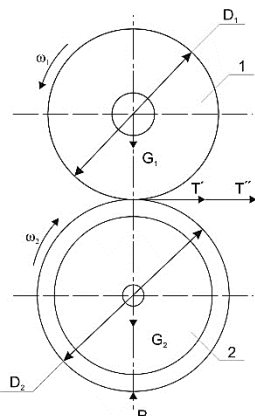


Рис. 1

На рис. 1 представлена расчетная схема двухвального модуля, верхний вал 1 которого получает принудительное вращение от электродвигателя. Нижний вал 2 прижимается к валу 1 с усилием P от механизма прижима и вращается за счет сил трения или от привода через карданный вал при фрикционной отделке.

Тяговая способность валкового модуля формируется в основном за счет сил трения на поверхностях контакта валов с текстильным материалом. Экспериментально установлено, что часть МСС, приходящаяся на жало валов, составляет от 82 до 91% [3].

Тяговое усилие, необходимое на преодоление трения качения между валами, определяется выражением:

$$T' = 2f_k P \left(\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \right), \quad (1)$$

где f_k – коэффициент трения качения между валами; P – нагрузка на вал; D_1 и D_2 – диаметры верхнего и нижнего валов.

Тяговые усилия для преодоления трения скольжения между валами:

$$T'' = \frac{\psi f_{ск} P}{100}, \quad (2)$$

где ψ – величина скольжения (фрикции) валов:

$$\psi = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 100\%}{V_1}, \quad (3)$$

здесь V_1 и V_2 – линейные скорости точек поверхности валов, измеряемые с помощью контактных датчиков [4]; $f_{ск}$ – коэффициент скольжения ведущего вала по ведомому или по ткани.

Общее тяговое усилие, необходимое для преодоления трения качения между валами при наличии скольжения:

$$T_1 = T' + T'' = P \left[2f_k \left(\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \right) + \frac{\psi \alpha_{ск}}{100} \right]. \quad (4)$$

Потери мощности на трение между валами:

$$N_{тр} = T_1 v = P v \left[2f_k \left(\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \right) + \frac{\psi \alpha_{ск}}{100} \right], \quad (5)$$

где v – скорость движения ткани.

Из выражения (5) следует, что потери мощности, обусловленные скольжением валов (фрикцией) в зоне контакта, зависят от нагрузки на валы, скорости движения текстильного материала, величины фрикции и коэффициента скольжения [5].

Экспериментальные исследования по оценке влияния указанных факторов на затраты мощности привода проведены на фрикционном каландре КФЭ-2/120-1 в диапазоне измерения нагрузки P от 50 до 125 Н/мм при скоростях 23 и 36 м/мин и фрикции валов от 10 до 50%.

Результаты замеров потребляемой мощности представлены в виде графиков (рис. 2). С увеличением факторов P , v и ψ затраты мощности на привод фрикционного каландра возрастают.

Проскальзывание между валами и коэффициент трения качения желательнее измерить до минимального значения, это приведет к снижению потерь мощности на трение между валами.

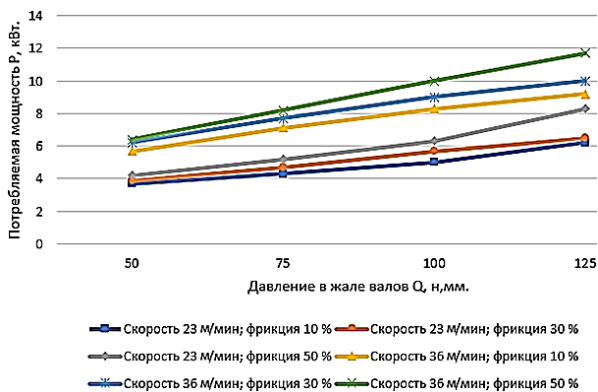


Рис. 2

ВЫВОДЫ

1. Получены выражения для расчета тяговых усилий на преодоление трения качения и трения скольжения между валами модуля.

2. Экспериментально установлено, что с увеличением нагрузки, скорости и скольжения валов в зоне их контакта затраты мощности на привод валковой машины возрастают.

3. Проскальзывание (фрикцию) валов и коэффициент трения качения экспериментально уменьшали до минимального значения, что приводило к снижению потерь мощности на трение между валами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Прупис М.А., Садовский Н.И.* Оборудование и химическая технология красильно-отделочного

производства (Шерстяная промышленность). – М.: Легкая промышленность, 1972.

2. *Буданов К.Д., Мартirosов А.А., Попов Э.А., Туваева Э.А.* Основы теории, конструкция и расчет текстильных машин. – М.: Машиностроение, 1975.

3. *Фомин Ю.Г., Ларионов С.В., Ларионова М.Д.* Основы теории, конструкция и расчет валковых машин. – Ч.1. – Иваново, 1999.

4. *Фомин Ю.Г.* Целесообразность применения портативных приборов для контроля размеров тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1990, №4. С. 99...101.

5. *Крылов А.В., Фомин Ю.Г., Туцкая Т.П., Хосровян Г.А.* Фрикционное взаимодействие валов модулей в зоне контакта // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 5. С.181...184.

REFERENCES

1. *Prupis M.A., Sadovskiy N.I.* Oborudovanie i khimicheskaya tekhnologiya krasil'no-otdelochnogo proizvodstva (Sherstyanaya promyshlennost'). – M.: Legkaya promyshlennost', 1972.

2. *Budanov K.D., Martirosov A.A., Popov E.A., Tuvaeva E.A.* Osnovy teorii, konstruktsiya i raschet tekstil'nykh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1975.

3. *Fomin Yu.G., Larionov S.V., Larionova M.D.* Osnovy teorii, konstruktsiya i raschet valkovykh mashin. – Ch.1. – Ivanovo, 1999.

4. *Fomin Yu.G.* Tselesoobraznost' primeneniya portativnykh priborov dlya kontrolya razmerov tkaney // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1990, №4. S. 99...101.

5. *Krylov A.V., Fomin Yu.G., Tutskeya T.P., Khosrovyan G.A.* Friksionnoe vzaimodeystvie valov moduley v zone kontakta // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 5. S.181...184.

Рекомендована кафедрой ТМО. Поступила 29.05.18.

УДК 004.8

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_106

**АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА**

**ANALYSIS OF THE USE OF EXPERT SYSTEMS
FOR MONITORING AND FORECASTING PRODUCTION PROCESSES**

*И.Г. БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ, М.Г. БАЛЫХИН, М.М. БЛАГОВЕЩЕНСКАЯ,
Е.А. НАЗОЙКИН, Н.Ю. ЛОГУНОВА*

*I.G. BLAGOVESCHENSKY, M.G. BALYKHIN, M.M. BLAGOVESCHENSKAYA,
E.A. NAZOYKIN, N. YU. LOGUNOVA*

(Московский государственный университет пищевых производств)

(Moscow State University of Food Productions)

E-mail: igblagov@mgupp.ru; mmb@mgupp.ru

В статье приведен анализ применения интеллектуальных экспертных систем для контроля хода технологических процессов различных производств. Показано, что экспертные системы – это яркое и быстро прогрессирующее направление в области искусственного интеллекта. Экспертная система аккумулирует в себе опыт и знания высококвалифицированных специалистов и позволяет автоматически анализировать накопленные данные. В статье проводится аналитический обзор основных задач, решаемых интеллектуальными экспертными системами, и показаны области их применения. Показаны критерии целесообразности применения таких систем. Представлена общая структура создания экспертных систем и основные этапы разработки. Приведена схема взаимодействия основных блоков этих систем. Рассмотрены основные задачи, решаемые экспертными системами в машиностроении.

The article analyzes the use of intelligent expert systems for monitoring the progress of technological processes in various industries. It is shown that expert systems are a bright and rapidly progressing direction in the field of artificial intelligence. The expert system accumulates the experience and knowledge of highly qualified specialists and allows you to automatically analyze the accumulated data. The article provides an analytical review of the main tasks solved by intelligent expert systems and shows the areas of their application. The criteria for the feasibility of using such

systems are shown. The General structure of creating expert systems and the main stages of development are presented. The scheme of interaction of the main blocks of these systems is given. The main tasks solved by expert systems in mechanical engineering are considered.

Ключевые слова: экспертные системы, контроль, прогнозирование качества, технологические процессы, знания предметной области.

Keywords: expert systems, quality control, forecasting, technological processes, knowledge of the subject area.

В условиях рыночной экономики интенсивное развитие производства изделий и услуг предъявляет в настоящее время особые требования к контролю и прогнозированию качества проводимых технологических процессов. И эта проблема не может быть решена в полной мере традиционными методами, как-то: улучшением технологии производства, стабилизацией параметров измерительных каналов за счет поддержания, например, температуры, уровня давления и т.д. В связи с этим весьма привлекательным выглядит использование интеллектуальных систем, то есть систем или устройств с программным обеспечением, имеющих возможность с помощью встроенного процессора настраивать свои параметры в зависимости от хода этапов технологических процессов (ТП) производства разнообразной продукции. Более того, именно в этом направлении видятся стратегические и тактические перспективы развития автоматизации контроля и прогнозирования параметров качества различных изделий с использованием интеллектуальных технологий нового поколения.

Одним из эффективных направлений развития интеллектуальных систем является создание и внедрение экспертных систем, востребованность которых на рынке автоматизации очень высока, что подтверждается рядом публикаций [1...3]. Экспертные системы (ЭС) – это яркое и быстро прогрессирующее направление в области искусственного интеллекта (ИИ). Причиной повышенного интереса, который ЭС вызывают к себе на протяжении всего своего существования, является возможность их применения к решению задач из самых различных областей человеческой деятельнос-

ти. Пожалуй, не найдется такой проблемной области, в которой не было бы создано ни одной ЭС или, по крайней мере, такие попытки не предпринимались бы [4].

Актуальность развития и создания экспертных систем в настоящее время несомненна. Действительно, хорошо разработанная ЭС может стать серьезной и значимой частью производства, рационализируя управление технологическими процессами этого производства, минимизируя расходы на организацию и проведение регистрации показателей качества сырья и полуфабрикатов на всех возможных стадиях производства с последующим анализом полученных результатов и прогнозированием качества готовых изделий.

Поэтому нами проведен обзор и анализ научно-технической информации о развитии этих систем, как важнейшего направления искусственного интеллекта, даны задачи, решаемые интеллектуальными ЭС, их характеристики и отличительные особенности [7], [8]. Представлена общая структура, основные этапы разработки интеллектуальных ЭС, области их применения, а также примеры их использования [9], [10].

Понятие экспертных систем

Название "экспертная система" (ЭС) происходит из термина "экспертная система, базирующаяся на знаниях". ЭС являются основной разновидностью интеллектуальных систем [11]. ЭС – это система, построенная на основе программного продукта, которая использует человеческие знания, встраиваемые в компьютер, для решения задач, требующих обычно человеческой экспертизы, выполняя функции эксперта, а также позволяет сокращать штат работников в определенных областях и по-

могает находить наиболее логичные оптимальные решения поставленных проблем (задач) [12].

Назначение ЭС – автоматизация деятельности человека [13]. ЭС, как и эксперт-человек, в процессе своей работы оперирует со знаниями. Знания о предметной области, необходимые для работы ЭС, определенным образом формализованы и представлены в памяти ЭВМ в виде базы знаний, которая может изменяться и дополняться в процессе развития системы.

В начале восьмидесятых годов в исследованиях по искусственному интеллекту сформировалось самостоятельное направление, получившее название "экспертные системы" (ЭС). В настоящее время ЭС применяются с целью решения всевозможных типов задач в самых различных проблемных областях, таких как экономика, нефтяная и газовая индустрия, энергетика, автотранспорт, фармацевтическое производство, космические инновации, химия, образование, пищевая и текстильная промышленности, телекоммуникации и связь и др. В Российской Федерации в изучение и исследование ЭС большой вклад внесли труды Д.А. Поспелова, Э.В. Попова, В.Ф. Хорошевского, В.Л. Стефанюка, Г.С. Осипова, В.К. Финна, В.Л. Вагина, В.И. Городецкого и множества других [14...16].

Цель исследований по ЭС состоит в разработке программ, которые при решении задач, трудных для эксперта-человека, получают результаты, не уступающие по качеству и эффективности решениям, получаемым экспертом. Принципиальным отличием ЭС от других программ является то, что она выступает не в роли "ассистента", выполняющего за человека часть работы, а в роли "компетентного партнера" – эксперта-консультанта в какой-либо конкретной предметной области. ЭС аккумулирует в себе опыт и знания высококвалифицированных специалистов, позволяет пользоваться этими знаниями "не специалистам" в данной предметной области. То есть ИЭС не призвана заменить собою эксперта в его непосредственной деятельности, а, напротив, расширяют возможную сферу применения знаний авторитетных специалистов.

Способности ЭС решать поставленные задачи не ослабевают со временем и не забываются при отсутствии практики, легко распространяются, так как являются компьютерной программой, прекрасно документированы, а значит и аргументированы. При многократном решении одной и той же задачи ЭС выдает одно и то же решение в отличие от человека, который подвержен эмоциональным факторам. Плюс ко всему эксплуатация ИЭС значительно дешевле, чем оплата труда человека-эксперта.

Главное достоинство ЭС – возможность накапливать знания, сохранять их длительное время, обновлять и, тем самым, обеспечивать относительную независимость конкретной организации от наличия в ней квалифицированных специалистов. Накопление знаний позволяет повышать квалификацию специалистов, работающих на предприятии, используя наилучшие, проверенные решения.

Аналитический обзор основных задач, решаемых ИЭС. Области их применения

Причиной повышенного интереса, который ИЭС вызывают к себе на протяжении всего своего существования, является возможность их применения к решению задач из самых различных областей человеческой деятельности. Пожалуй, не найдется такой проблемной области, в которой не было бы создано ни одной ЭС или, по крайней мере, такие попытки не предпринимались бы.

Области применения ИЭС, основанных на знаниях, могут быть сгруппированы в несколько основных классов: медицинская диагностика, контроль и управление технологическими процессами в различных отраслях промышленности, диагностика неисправностей оборудования, обучение.

а) Медицинская диагностика. Диагностические системы используются для установления связи между нарушениями деятельности организма и их возможными причинами. Наиболее известна диагностическая система MYCIN, которая предназначена для диагностики и наблюдения за состоянием больного при менингите и бактериальных инфекциях. В настоящее время эта система ставит диагноз на уровне врача-специалиста. Она имеет расширенную базу

знаний, благодаря чему может применяться и в других областях медицины [17].

б) Прогнозирование. Прогнозирующие системы предсказывают возможные результаты или события на основе данных о текущем состоянии объекта. Так, имеются ИЭС, которые могут проанализировать конъюнктуру рынка и с помощью статистических методов и алгоритмов разработать для вас план капиталовложений на перспективу [18]. Прогнозирующие ИЭС системы уже сегодня могут предсказывать погоду, урожайность и поток пассажиров. Даже на персональном компьютере, установив простую систему, основанную на знаниях, можно получить местный прогноз погоды. Существующие ИЭС, используемые на машиностроительных предприятиях и в экономике, позволяют повысить эффективность производства, качество выпускаемых изделий и услуг, уменьшив время принятия решений.

в) Планирование. Планирующие ИЭС предназначены для достижения конкретных целей при решении задач с большим числом переменных. Так, фирма Informat [19] предоставляет в распоряжении покупателей ИЭС, установленные в холле своего офиса, на которых проводятся бесплатные 15-минутные консультации с целью помочь покупателям выбрать товар, в наибольшей степени отвечающий их потребностям и бюджету. Компания Boeing применяет ИЭС для проектирования космических станций, а также для выявления причин отказов самолетных двигателей и ремонта вертолетов. Экспертная система XCON, созданная фирмой DEC, служит для оптимизации конфигурации компьютерных систем в соответствии с требованиями покупателя. Фирмой DEC разработана мощная ИЭС с целью оказания помощи покупателям при выборе вычислительных систем с нужной конфигурацией.

г) Интерпретация. Интерпретирующие ИЭС обладают способностью получать определенные заключения на основе результатов наблюдения. ИЭС PROSPECTOR, одна из наиболее известных систем интерпретирующего типа, объединяет знания девяти экспертов. Используя сочетания

девяти методов экспертизы, системе удалось обнаружить залежи руды стоимостью в миллион долларов, причем наличие этих залежей не предполагал ни один из девяти экспертов. Другая интерпретирующая система – HASP/SIAP определяет местоположение и типы судов в тихом океане по данным акустических систем слежения.

д) Контроль и управление. ЭС могут применяться в качестве интеллектуальных систем контроля и принимать решения, анализируя данные, поступающие от нескольких источников. Такие системы уже работают во многих отраслях промышленности. Полученные данные полезны при регулировании различных ТП, финансовой деятельности предприятия и оказывают помощь при выработке решений в критических ситуациях.

е) Диагностика неисправностей оборудования. В этой сфере ИЭС незаменимы как при ремонте различного оборудования любой отрасли промышленности, так и при устранении неисправностей и ошибок в аппаратном и программном обеспечении компьютеров.

ж) Обучение. ИЭС могут входить составной частью в компьютерные системы обучения. Система получает информацию о деятельности некоторого объекта (например, студента) и анализирует его поведение. База знаний изменяется в соответствии с поведением объекта.

Таким образом, ИЭС контролируют ТП, выдают советы, проводят анализ хода ТП, выполняют классификацию, дают консультации, ставят диагноз и т.д. Они ориентированы на решение задач, обычно требующих проведения экспертизы человеком-специалистом. При определении целесообразности применения таких систем нужно руководствоваться следующими критериями: данные и знания надежны и не меняются со временем; пространство возможных решений относительно невелико; системы, основанные на знаниях, более подходят для решения задач, где требуются формальные рассуждения; должен быть, по крайней мере, один эксперт, который способен ясно сформулировать свои знания и объяснить свои методы применения этих знаний для решения задач.

Задачи контроля и прогнозирования хода ТП трудноформализуемы. В связи с этим возникает целесообразность разработки ИЭС, осуществляющей поддержку процесса контроля в потоке показателей качества сырья и полуфабрикатов при производстве различных изделий и прогнозирования качества готовой продукции. Общая структура разработки ИЭС состоит из шести основных этапов: идентификация, концептуализация, формализация, выполнение, тестирование, опытная эксплуатация (рис. 1 – этапы разработки ЭС) [19].

Участие в ходе построения ЭС принимают следующие специалисты: эксперт в той предметной сфере, вопросы которой будет решать ЭС; инженер по знаниям – специалист по проектированию ЭС; программист, осуществляет общую модификацию и согласование инструментальных средств.

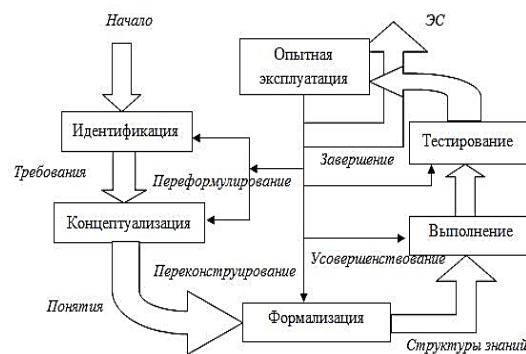


Рис. 1

Численность ЭС в настоящее время приближается к десяткам тысяч. В различных сферах жизни разработкой и внедрением занимаются сотни фирм в развитых зарубежных странах. В странах СНГ также имеется опыт разработки и построения ЭС [20].

На рис. 2 приведена схема взаимодействия основных блоков ЭС.

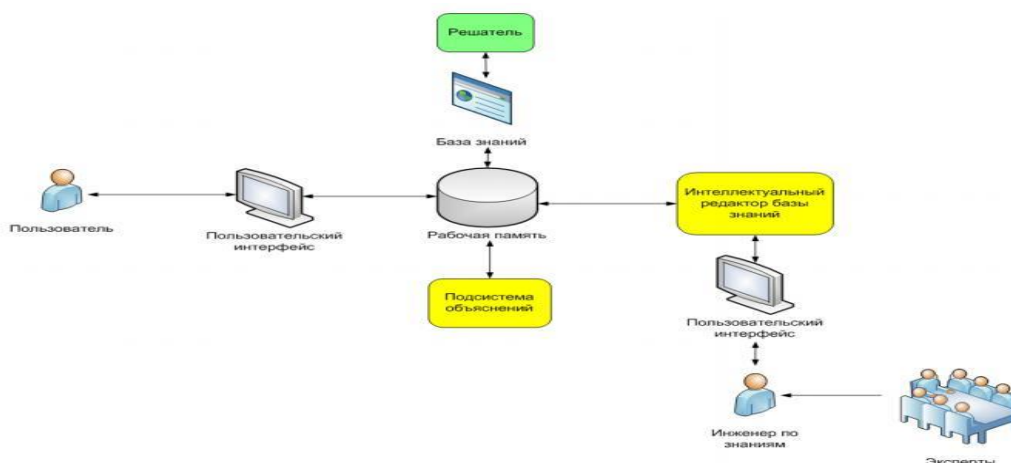


Рис. 2

В структуре рассматривается последовательность взаимодействия отдельных блоков ЭС друг с другом, а также их функции. Поэтому следует учесть некоторый круг задач, решаемых с помощью ЭС [21]: интерпретация – это заключение описаний ситуаций из наблюдаемых данных, получаемых от датчиков; прогнозирование – заключение возможных следствий из заданных ситуаций; диагностирование – выявление причин нарушений в эксплуатации технической системы или организма человека, основываясь на наблюдениях; мониторинг – сравнение итогов наблюдения с ожидае-

мыми результатами; проектирование – создание конфигурации объектов, которая удовлетворяет установленным лимитам; планирование – проектирование плана действий с целью достижения установленной цели; контроль – предупреждение о нештатных ситуациях и каких либо "опасностях"; отладка – формирование и выдача рекомендаций по ликвидации неправильного функционирования системы; ремонт – осуществление плана устранения определенного выявленного дефекта; обучение – диагностика и исправление поведения обучаемого.

Любая из данных задач содержит собственную специфику в решении, однако их всех связывает фундамент, на котором они осуществляют собственное решение. И данная основа есть база знаний, являющаяся одной из основных элементов ЭС.

Основными характеристиками ЭС являются:

- накопление и организация знаний – одна из самых важных характеристик ЭС, знания являются *явными* и *доступными*, что отличает эти системы от большинства традиционных компьютерных программ;

- гибкость системы, ЭС применяет для решения проблем *высококачественный опыт* квалифицированных экспертов. Именно высококачественный опыт в сочетании с умением его применять делает систему рентабельной;

- наличие прогностических способностей. ЭС может прогнозировать ситуацию и объяснить, каким образом новая ситуация привела к изменениям.

Отличительные особенности ЭС.

1. Экспертиза может проводиться только в одной конкретной области.

2. База знаний и механизм вывода являются различными компонентами.

3. Эти системы могут объяснять ход решения задачи понятным пользователю способом.

4. Выходные результаты являются качественными (а не количественными).

6. Системы, основанные на знаниях, строятся по модульному принципу, что позволяет постепенно наращивать их базы знаний.



Рис. 3

На рис. 3 показаны основные задачи, решаемые экспертными системами в машиностроении.

Применение ЭС позволяет повысить качество принимаемых решений, квалификацию специалистов, увеличить производительность, рассмотреть качество научно-технического процесса и качество изготавливаемой продукции, изделий и услуг.

В заключение следует отметить, что внедрение таких ЭС позволит быстро и точно в режиме онлайн проводить контроль

и прогнозирование качества сырья, полуфабрикатов и выпускаемых готовых изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. – М.: Высшая школа, 2005.
2. Благовещенская М.М. Основы стабилизации процесса приготовления многокомпонентных масс. – М.: Франтера, 2009.
3. Балыхин М.Г., Борзов А.Б., Благовещенский И.Г. Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой

продукции с использованием интеллектуальных технологий. – М.: Изд-во Франтера, 2017.

4. Бальхин М.Г., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Благовещенский В.Г. Адаптивная система управления с идентификатором нестационарными технологическими процессами в отраслях пищевой промышленности // Мат. конф.: Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. – М.: МГУПП, 2019. С. 32...39.

5. Бальхин М.Г., Борзов А.Б., Благовещенский И.Г. Архитектура и основная концепция создания интеллектуальной экспертной системы контроля качества пищевой продукции // Пищевая промышленность. – 2017, №11. С. 60...63.

6. Благовещенский В.Г., Крылова Л.А., Татаринцов А.В. Разработка интеллектуальных аппаратно-программных комплексов мониторинга процессов сепарирования дисперсных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий // В кн.: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России. Кадры и наука. – М.: МГУПП, 2017. С.199...201.

7. Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю., Крылова Л.А. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы // В сб.: Общеуниверситетская студенческая конф. студентов и молодых ученых "День науки". В 6 частях. – М.: МГУПП, 2017. С. 294...301.

8. Благовещенский В.Г., Благовещенская М.М. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы // Мат XV Междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых: Живые системы и биологическая безопасность населения. – М.: МГУПП, 2017. С. 132...137.

9. Благовещенский В.Г., Новицкий В.О., Крылова Л.А., Никитушкина М.Ю. Постановка задачи создания интеллектуальной системы управления производством халвы // Мат конф.: Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. – М.: МГУПП, 2019. С. 21...31.

10. Благовещенский И.Г., Носенко С.М. Экспертная интеллектуальная система мониторинга процесса формирования помадных конфет с использованием системы технического зрения // Пищевая промышленность. – 2015, №6.

11. Благовещенский И.Г. Автоматизированная экспертная система контроля в потоке показателей качества помадных конфет с использованием нейросетевых технологий и систем компьютерного зрения: Дис.... канд. техн. наук. – М., 2015.

12. Шкапов П.М., Благовещенский И.Г. и др. Решение задач оптимального управления на основе гибридных методов глобальной оптимизации // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015, №4.

13. Благовещенский И.Г. Экспертная интеллектуальная система мониторинга процесса формирования помадных конфет с использованием системы технического зрения // Пищевая промышленность. – 2015, №6.

14. Аитов В.Г., Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М., Носенко А.С. О создании автоматизированной экспертной системы органолептической

оценки качества пищевых продуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015, №4.

15. Носенко С.М., Носенко А.С., Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М. Использование моделей, объектов и процессов ERP- систем для автоматизации управления крупным пищевым предприятием // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015, №4.

16. Благовещенский И.Г. Прототип динамической интегрированной экспертной системы для мониторинга и диагностики плавучести подводных военных объектов // Сб. докл. между научной сессии, Секция "Интеллектуальные системы и технологии". – М.: НИЯУ МИФИ, 2014. С. 149...151.

17. Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М. Интеллектуальная интегрированная экспертная система мониторинга процесса формирования помадных конфет с использованием системы технического зрения // Сб. тр. II Межд. НПК: Химия. Био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности. – Харьков.: Изд-во ХПИ, 2014. С. 212...219.

18. Благовещенский И.Г. Автоматизация контроля в режиме онлайн качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции пищевой промышленности с использованием системы компьютерного зрения // Сб. науч. тр. Межд. НПК: Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. – М.: Изд-во Франтера, 2015. С. 14...17.

19. Носенко А.С., Шкапов П.М., Благовещенский И.Г. Использование гибридных методов глобальной оптимизации в решении задач оптимального управления технологическими процессами пищевых производств // Сб. науч. тр. Межд. НПК: Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. – М.: Изд-во Франтера, 2015. С. 11...14.

20. Адилов Р.М. Системы искусственного интеллекта. Модуль 3. Системы машинного зрения. – Пенза: ПГТА, 2008.

21. Арзамасцев А.А., Неудахин А.В. Автоматизированная технология построения экспертных информационных систем // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – Тамбов, 2008. Т.13. Вып. 1. С. 83...85.

22. Козлова Т.Д., Фролова М.А., Мефедова Ю.А. Формализация базы знаний экспертной системы поддержки процесса диагностирования автоматических станочных модулей // Интернет-журнал "НАУКОВЕДЕНИЕ". – 2016, Т. 9, №1.

REFERENCES

1. Blagoveshchenskaya M.M., Zlobin L.A. Informatsionnye tekhnologii sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami. – М.: Vysshaya shkola, 2005.

2. Blagoveshchenskaya M.M. Osnovy stabilizatsii protsessa prigotovleniya mnogokomponentnykh mass. – М.: Frantera, 2009.

3. Balykhin M.G., Borzov A.B., Blagoveshchenskiy I.G. Metodologicheskie osnovy sozdaniya ekspertnykh

систем контроля и прогнозированиа качества пшчевоы продуктсии с испол'зованием интеллектуаль'ных технологий. – М.: Изд-во Франтера, 2017.

4. Balykhin M.G., Blagoveshchenskiy I.G., Nazoykin E.A., Blagoveshchenskiy V.G. Adaptivnaya sistema upravleniya s identifikatorom nestatsionarnymi tekhnologicheskimi protsessami v otraslyakh pishchevoy promyshlennosti // Mat. konf.: Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoy promyshlennosti. – М.: MGUPP, 2019. S. 32...39.

5. Balykhin M.G., Borzov A.B., Blagoveshchenskiy I.G. Arkhitektura i osnovnaya kontseptsiya sozdaniya intellektual'noy ekspertnoy sistemy kontrolya kachestva pishchevoy produktsii // Pishhevaya promyshlennost'. – 2017, №11. S. 60...63.

6. Blagoveshchenskiy V.G., Krylova L.A., Tatarinov A.V. Razrabotka intellektual'nykh apparatno-programmnykh kompleksov monitoringa protsessov separirovaniya dispersnykh pishchevykh mass na osnove intellektual'nykh tekhnologiy // V kn.: Razvitiye pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossii. Kadry i nauka. – М.: MGUPP, 2017. S.199...201.

7. Blagoveshchenskiy V.G., Nikitushkina M.Yu., Krylova L.A. Razrabotka ekspertnoy sistemy kontrolya kachestva v protsesse prigotovleniya khalvy // V sb.: Obshcheuniversitetskaya studencheskaya konf. studentov i molodykh uchennykh "Den' nauki". V 6 chastyakh. – М.: MGUPP, 2017. S. 294...301.

8. Blagoveshchenskiy V.G., Blagoveshchenskaya M.M. Razrabotka ekspertnoy sistemy kontrolya kachestva v protsesse prigotovleniya khalvy // Mat KhV Mezhdunar. nauch. konf. studentov i molodykh uchennykh: Zhivye sistemy i biologicheskaya bezopasnost' naseleniya. – М.: MGUPP, 2017. S. 132...137.

9. Blagoveshchenskiy V.G., Novitskiy V.O., Krylova L.A., Nikitushkina M.Yu. Postanovka zadachi sozdaniya intellektual'noy sistemy upravleniya proizvodstvom khalvy // Mat konf.: Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoy promyshlennosti. – М.: MGUPP, 2019. S. 21...31.

10. Blagoveshchenskiy I.G., Nosenko S.M. Ekspertnaya intellektual'naya sistema monitoringa protsesssa formovaniya pomadnykh konfet s ispol'zovaniem sistemy tekhnicheskogo zreniya // Pishhevaya promyshlennost'. – 2015, №6.

11. Blagoveshchenskiy I.G. Avtomatizirovannaya ekspertnaya sistema kontrolya v potoke pokazateley kachestva pomadnykh konfet s ispol'zovaniem neyrosetyvykh tekhnologiy i sistem komp'yuternogo zreniya: Dis.... kand. tekhn. nauk. – М., 2015.

12. Shkapov P.M., Blagoveshchenskiy I.G. i dr. Reshenie zadach optimal'nogo upravleniya na osnove gibridnykh metodov global'noy optimizatsii // Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya. – 2015, №4.

13. Blagoveshchenskiy I.G. Ekspertnaya intellektual'naya sistema monitoringa protsesssa formovaniya pomadnykh konfet s ispol'zovaniem sistemy tekhnicheskogo zreniya // Pishhevaya promyshlennost'. – 2015, №6.

14. Aitov V.G., Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskaya M.M., Nosenko A.S. O sozdaniy avtomatizirovannoy ekspertnoy sistemy organolepticheskoy otsenki kachestva pishchevykh produktov // Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya. – 2015, №4.

15. Nosenko S.M., Nosenko A.S., Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskaya M.M. Ispol'zovanie modeley, ob'ektov i protsessov ERP- sistem dlya avtomatizatsii upravleniya krupnym pishchevym predpriyatiem // Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya. – 2015, №4.

16. Blagoveshchenskiy I.G. Prototip dinamicheskoy integrirovannoy ekspertnoy sistemy dlya monitoringa i diagnostiki plavuchesti podvodnykh voennykh ob'ektov // Sb. dokl. mezhd. nauchnoy sessii, Sektsiya "Intellektual'nye sistemy i tekhnologii". – М.: NIYaU MIFI, 2014. S. 149...151.

17. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskaya M.M. Intellektual'naya integrirovannaya ekspertnaya sistema monitoringa protsesssa formovaniya pomadnykh konfet s ispol'zovaniem sistemy tekhnicheskogo zreniya // Sb. tr. II Mezhd. NPK: Khimiya. Bio- i nanotekhnologii, ekologiya i ekonomika v pishchevoy i kosmeticheskoy promyshlennosti. – Khar'kov.: Izd-vo KhPI, 2014. S. 212...219.

18. Blagoveshchenskiy I.G. Avtomatizatsiya kontrolya v rezhime onlayn kachestva syr'ya, polufabrikatov i gotovoy produktsii pishchevoy promyshlennosti s ispol'zovaniem sistemy komp'yuternogo zreniya // Sb. nauch. tr. Mezhd. NPK: Avtomatizatsiya i upravlenie tekhnologicheskimi i biznes-protsessami v pishchevoy promyshlennosti. – М.: Izd-vo Frantera, 2015. S. 14...17.

19. Nosenko A.S., Shkapov P.M., Blagoveshchenskiy I.G. Ispol'zovanie gibridnykh metodov global'noy optimizatsii v reshenii zadach optimal'nogo upravleniya tekhnologicheskimi protsessami pishchevykh proizvodstv // Sb. nauch. tr. Mezhd. NPK: Avtomatizatsiya i upravlenie tekhnologicheskimi i biznes-protsessami v pishchevoy promyshlennosti. – М.: Izd-vo Frantera, 2015. S. 11...14.

20. Adilov R.M. Sistemy iskusstvennogo intellekta. Modul' 3. Sistemy mashinnogo zreniya. – Penza: PGTA, 2008.

21. Arzamastsev A.A., Neudakhin A.V. Avtomatizirovannaya tekhnologiya postroeniya ekspertnykh informatsionnykh sistem // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – Tambov, 2008. T.13. Vyp. 1. S. 83...85.

22. Kozlova T.D., Frolova M.A., Mefedova Yu.A. Formalizatsiya bazy znaniy ekspertnoy sistemy podderzhki protsesssa diagnostirovaniya avtomaticheskikh stanochnykh moduley // Internet-zhurnal "NAUKOVEDENIE". – 2016, T. 9, №1.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем управления биотехнологическими процессами. Поступила 17.05.20.

**СИНТЕЗ 3D-МОДЕЛИ ТКАНОЙ АРМИРУЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ
ТЕКСТИЛЬНОГО КОМПОЗИТА
СРЕДСТВАМИ МЕТОДОЛОГИИ ЧИСЛЕННОГО
ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ***

**SYNTHESIS OF A 3D MODEL OF A WOVEN REINFORCING STRUCTURE
OF A TEXTILE COMPOSITION
BY MEANS OF THE METHODOLOGY
OF NUMEROUS OBJECT-ORIENTED SIMULATION**

С.В. ЕРШОВ, И.А. СУВОРОВ, В.Б. КУЗНЕЦОВ, Е.Н. НИКИФОРОВА, Е.Н. КАЛИНИН

S.V. ERSHOV, I.A. SUVOROV, V.B. KUZNETSOV, E.N. NIKIFOROVA, E.N. KALININ

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail:enkalini@gmail.com

Авторами разработан алгоритм синтеза 3D-модели тканой армирующей структуры полимерного композитного материала с использованием разработанной программной среды для расчета глобальных переменных и использующей методологию численного объектно-ориентированного моделирования таких свойств программируемой системы, как инкапсуляция и обобщенное программирование (полиморфизм) – позволяющие обобщить информационные ресурсы для синтеза и анализа 3D-модели, управляющие параметры которой выражены средствами глобальных переменных. Таким образом, полученная 3D-модель синтезированной тканой структуры в целях, например, идентификации системы, может быть трансформирована для получения задаваемых параметров анализируемой многокомпонентной системы путем варьирования значений управляющих переменных, соответствующих решаемой задаче.

The authors have developed an algorithm for the synthesis of a 3D model of a woven reinforcing structure of a polymer composite material using the developed software environment for calculating global variables and using the methodology of numerical object-oriented modeling of such properties of a programmable system as encapsulation and generalized programming (polymorphism) - allowing to generalize information resources for synthesis and analysis of a 3D model, the control parameters of which are expressed by means of global variables. Thus, the obtained 3D-model of the synthesized woven structure for purposes of, for example, identification of the system, can be transformed to obtain the specified parameters of the analyzed multicomponent system by varying the values of the control variables corresponding to the problem being solved.

Ключевые слова: полимерный композитный материал, армирующая текстильная структура, параметрическая линзовидная геометрическая мо-

* Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ по проекту 20-43-37007 "Развитие научных основ прогнозирования функциональных параметров синтезируемых полимерных волокнистых композитных систем".

дель структуры переплетения, 3D-модель структуры ткани, твердотельное моделирование, управляющие переменные.

Keywords: polymer composite material, reinforcing textile structure, parametric lenticular geometric model of weave structure, 3D-model of fabric structure, solid modeling, control variables.

Полимерные композитные материалы (ПКМ) представляют собой многокомпонентные структуры, состоящие, как правило, из матрицы, армированной наполнителями. ПКМ как конструкционные материалы являются основой для создания изделий с высокими физико-механическими свойствами, чем определяется их востребованность во многих отраслях промышленного производства. Многие композиты превосходят традиционные материалы и сплавы по своим как функциональным, так и по конструктивным параметрам.

В настоящее время совершенствование методов производства инженерных объектов из ПКМ является одной из наиболее перспективных областей научных исследований, а прогнозирование и оптимизация параметров ПКМ является приоритетной задачей при разработке процессов их синтеза.

Целью работы является создание алгоритма для формирования программных средств, позволяющих определить численные значения управляющих параметров синтезируемой геометрической модели тканой структуры, формирующей основу дальнейшего создания трехмерной твердотельной модели тканой армирующей структуры полимерного композитного материала.

Традиционно для построения трехмерных моделей тканой структуры используются геометрические модели, разработанные применительно к нитям, образующим эту структуру, с круглым, эллиптическими линзовидным сечениями [1]. Ранее нами уже были разработаны их трехмерные твердотельные модели [2], однако эти модели были реализованы для ограниченного набора геометрических параметров армирующей структуры и не позволяли выполнять их трансформацию без редактирования самих моделей. Такой подход к моде-

лированию тканых армирующих структур ПКМ оказался неэффективным с точки зрения трудоемкости решения задач моделирования и проектирования изделий из ПКМ в широком диапазоне изменяющихся параметров как самих структур, так и физико-механических характеристик волокнистых материалов.

В настоящей работе нами приведена разработка алгоритма синтеза 3D-модели тканой армирующей структуры полимерного композитного материала с использованием разработанной программной среды для расчета глобальных переменных и использующей методологию численного объектно-ориентированного моделирования с такими свойствами программируемой системы, как инкапсуляция и обобщенное программирование (полиморфизм) – позволяющие интегрировать информационные ресурсы для синтеза и анализа 3D-модели, управляющие параметры которой выражены в форме глобальных переменных, напрямую связанных с внешней базой данных и программным инструментом, задействованными в синтезе ее трехмерной модели.

Для математического описания моделируемой тканой армирующей структуры полимерного композита на данном этапе нами была применена параметрическая модель с линзовидным поперечным сечением нити [2], так как принятый нами тип модели (с линзовидным поперечным сечением нити) имеет более точное математическое описание и соответствие геометрическому представлению реальной тканой структуры. Поэтому через приведенные уравнения можно получить математическое описание и для других видов моделей, армирующих структур ПКМ [4]. Система уравнений для линзовидной геометрической модели, использованная в настоящей работе, имеет вид:

$$\begin{cases}
 p_1 = (\ell_2 - D_2 \theta_2) \cos \theta_2 + D_2 \sin \theta_2, \\
 h_2 = (\ell_1 - D_1 \theta_1) \sin \theta_1 (1 - \cos \theta_1), \\
 D_1 = 2R_2 + b_1, \\
 a_2 = 2d_2 + \sin \theta_1, \\
 b_2 = 2d_2 + \cos \theta_1, \\
 e_2 = a_1/b_1, \\
 \sin \phi_1 = 2e_1/(1 + e_1^2), \\
 h_1 + h_2 = b_1 + b_2, \\
 \ell_2 = D_1 \theta_1,
 \end{cases}
 \quad (1)$$

где h_1, h_2 – высота нитей основы и утка;
 a_1, b_1 – высота линзовидного сечения нити/ши-

рина линзовидного сечения нити; D – сумма диаметров нитей основы и утка; d_1, d_2 – диаметры нитей основы и утка соответственно; p_1, p_2 – расстояние между нитями основы и уточной нити соответственно; ℓ_1, ℓ_2 – длины нитей основы и утка; θ_1, θ_2 – углы плетения нитей основы и утка; e – степень смятия нити. Индексы "1" и "2" в приведенных выше переменных относятся к деформации основы и утка соответственно [5].

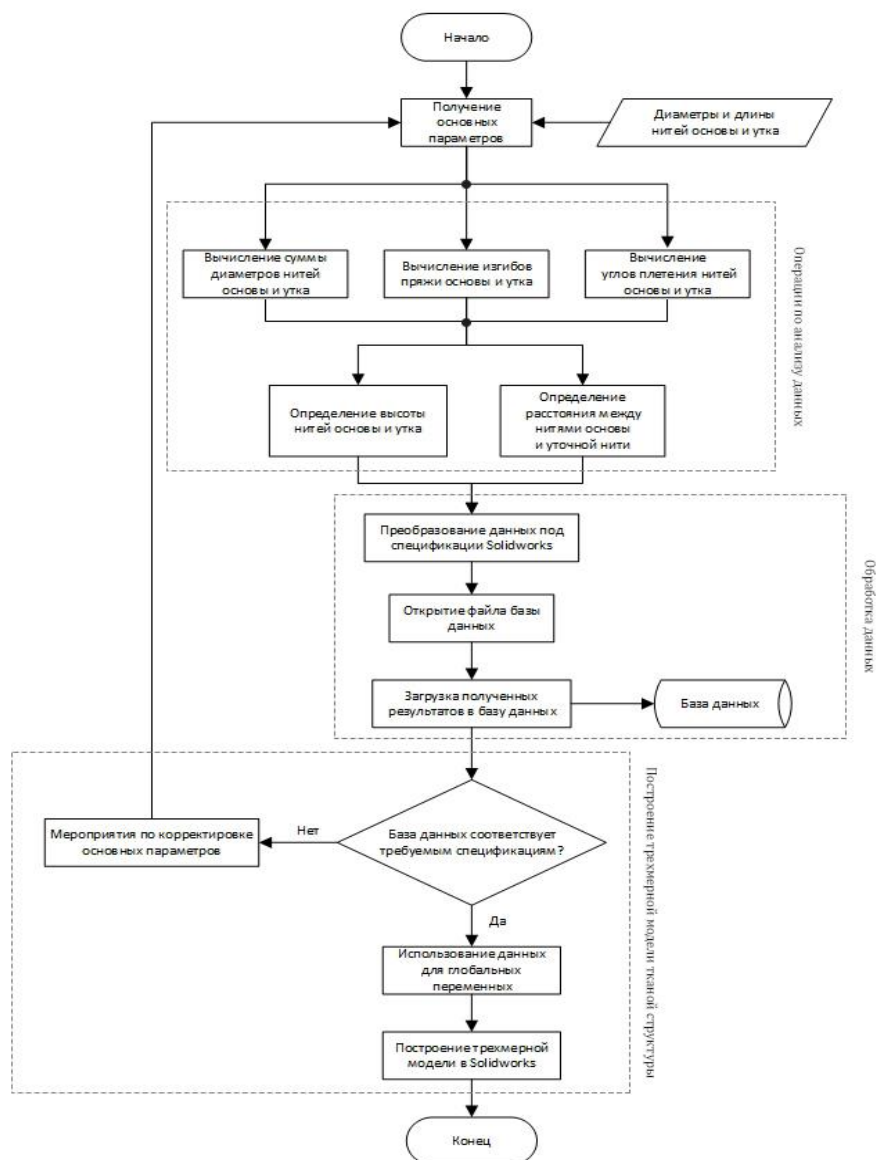


Рис. 1

Для разработки алгоритма по расчету глобальных управляющих переменных в качестве среды и реализации численной модели нами использована система MatLab,

обладающая возможностью математического анализа и передачи информационных ресурсов для дальнейшего анализа обработанных данных в CAD/CAM-комплекс

твердотельного моделирования SolidWorks [3], обладающий рядом таких достоинств, как возможность тонкой настройки сетки; опциональные модули, позволяющие расширить базовые функции, а также возможность системной интеграции с другими внешними приложениями и позволяющий организовать итерационные взаимодействия действующих твердотельных моделей со средой MatLab.

Ключевые структурные этапы, образующие блок-схему (рис.1), являющуюся основой для реализации вычислительных процессов, обеспечивающих процедуры обработки заданных значений основных параметров нитей и обеспечение трансляции результатов предварительных вычислений во внешнюю базу данных, представляют:

- операции по анализу данных;
- обработка данных;
- построение трехмерной модели тканой структуры.

При этом дополнительное преобразование полученных результатов под спецификации программного комплекса SolidWorks осуществляется перед загрузкой во внешнюю базу данных.

По приведенным выше зависимостям системы уравнений (1) геометрической модели тканой армирующей структуры концептуальная параметрическая 3D-модель (рис.2) представлена нами в виде двумерной элементарной ячейки тканой структуры, которая построена путем наложения линейных геометрических параметров нитей и их поперечных сечений для получения заданной конфигурации.

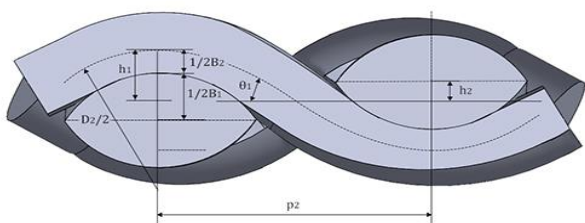


Рис. 2

На рис.3 показаны аксонометрические проекции параметрических 3D-моделей элементарной ячейки тканой армирующей структуры ПКМ. Для топологической опти-

мизации геометрических параметров моделей, таких как длина нити, радиусы окружностей и т.д., использовались глобальные управляющие переменные, объединяющие заданные размеры модели через математические уравнения (1). Глобальные управляющие переменные могут использоваться для управления уравнениями и измерениями, располагая свойством двунаправленности, чем обеспечивается взаимосвязь между определенной глобальной переменной и величинами соответствующих переменных.

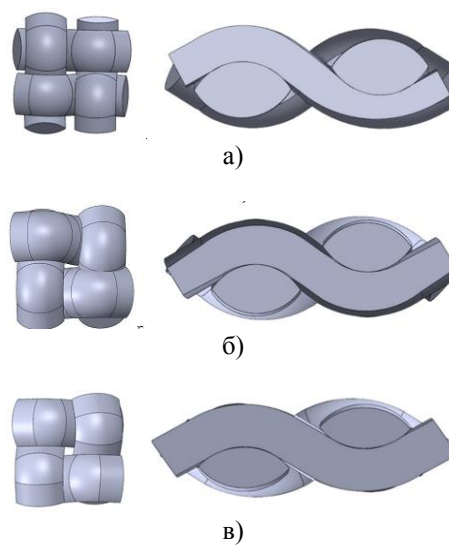


Рис. 3

В соответствии с геометрическими значениям параметрической 3D-модели двумерной элементарной ячейки тканой армирующей структуры ПКМ построены 3D-модели в системе твердотельного моделирования SolidWorks. В табл. 1 приведены заданные значения линзовидной геометрической модели, использованные в качестве основных параметров, загружаемых в файл как глобальные переменные.

Применение методологии численного объектно-ориентированного моделирования на примере формирования блока глобальных управляющих переменных с возможностью системной интеграции с другими внешними приложениями и позволяющий организовать итерационные взаимодействия действующих твердотельных моделей с вычислительной системой, например, MatLab и SolidWorks, позволяет регу-

лизовать значения параметров модели применительно к конкретной решаемой задаче путем варьирования значений одной или нескольких управляющих переменных, получая детальную информацию о структуре тканой структуры ПКМ, и оценить уровень погрешности модельного выхода 3D-мо-

дели параметров тканой структуры относительно физического объекта – армирующей структуры ПКМ, воспроизведенной на технологическом оборудовании в соответствии с параметрами из блока глобальных управляющих переменных и внешней базы данных.

Т а б л и ц а 1

№ эксперимента	a, мм	b, мм	p_1, p_2 , мм	h_1, h_2 , мм
1	8	5	10	7,5
2	6	3,5	8	2,3
3	14	10	16	5,5

ВЫВОДЫ

1. Таким образом, нами решена задача по созданию и реализации алгоритмического программного комплекса на основе методологии численного объектно-ориентированного моделирования на примере формирования блока глобальных управляющих переменных с возможностью системной интеграции внешних приложений и позволяющей организовать итерационные взаимодействия действующих твердотельных 3D-моделей с вычислительными системами, например, MatLab и SolidWorks, и регулировать значения параметров 3D-модели двумерной элементарной ячейки тканой армирующей структуры ПКМ, являющихся основой построения 3D-модели в системе твердотельного моделирования, путем варьирования значений из блока управляющих переменных и внешней базы данных, обеспечивающих получение детальной информации о тканой структуре ПКМ и оценить уровень погрешности модельного выхода 3D-модели параметров тканой структуры относительно физического объекта – армирующей структуры ПКМ.

2. На основе полученных результатов моделирования тканых структур сделан вывод об успешном взаимодействии разработанного алгоритмического программного комплекса в виде файлов MatLab для расчета управляющих переменных геометрической модели тканой структуры и комплекса твердотельного моделирования SolidWorks.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суворов И.А., Еришов С.В., Кузнецов В.Б. Разработка параметрической 3D-модели тканой армирующей структуры полимерного композиционного материала // Сб. тр. Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-технической конференции "ПОИСК-2019". – 2019. С. 310...312.
2. Суворов И.А., Еришов С.В., Кузнецов В.Б., Калинин Е.Н. Создание параметрической 3D-модели тканой армирующей структуры композиционного материала // Сб. тр. XXII Междунар. научн.-практ. форума SMARTEX. – 2019. С.194...198.
3. Кожевников С.О., Кузнецов В.Б., Малов М.С. Анализ технических возможностей SolidWorks при моделировании движения жидкости в устройствах для механоактивации коллоидных систем. Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование // Сб. науч. тр. 5-й Междунар. молодеж. науч.-практ. конф. – В 2-х томах. Т.1., Юго-Зап. гос. ун-т., – Курск: Изд-во ЗАО "Университетская книга", 2018. С. 335...341.
4. Chen X. Modelling and predicting textile behaviour. – 2010. С. 25...29.
5. Vassiliadis S. Mechanical Analysis of Woven Fabrics: The State of the Art // Advances in Modern Woven Fabrics Technology. – 2011. С. 41...61.

REFERENCES

1. Suvorov I.A., Ershov S.V., Kuznetsov V.B. Razrabotka parametricheskoy 3D-modeli tkanoy armiruyushchey struktury polimernogo kompozitsionnogo materiala // Sb. tr. Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) molodezhnoy nauchno-tekhnickeskaya konferentsii "POISK-2019". – 2019. S. 310...312.
2. Suvorov I.A., Ershov S.V., Kuznetsov V.B., Kalinin E.N. Sozdanie parametricheskoy 3D-modeli tkanoy armiruyushchey struktury kompozitsionnogo materiala // Sb. tr. XXII Mezhdunar. nauchn.-prakt. foruma SMARTEX. – 2019. S.194...198.

3. Kozhevnikov S.O., Kuznetsov V.B., Malov M.S. Analiz tekhnicheskikh vozmozhnostey SolidWorks pri modelirovani dvi zheniya zhidkosti v ustroystvakh dlya mekhanoaktivatsii kolloidnykh sistem. Kachestvo produktsii: kontrol', upravlenie, povyshenie, planirovanie // Sb. nauch. tr. 5-y Mezhdunar. molodezh. nauch.-prakt. konf. – V 2-kh tomakh. T.1., Yugo-Zap. gos. un-t., – Kursk: Izd-vo ZAO "Universitetskaya kniga", 2018. S. 335...341.

4. Chen X. Modelling and predicting textile behaviour. – 2010. S. 25...29.

5. Vassiliadis S. Mechanical Analysis of Woven Fabrics: The State of the Art // Advances in Modern Woven Fabrics Technology. – 2011. S. 41...61.

Рекомендована кафедрой мехатроники и радиоэлектроники. Поступила 21.06.20.

УДК 677.024.1

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_119

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ 3D-ТКАНИ В ПО "ПРЕФОРМА"

IMPROVEMENT OF THE GEOMETRIC MODEL OF THE 3D FABRIC STRUCTURE IN "PREFORMA"

*А.Б. БАЛАШОВ, П.А. ХИЛОВ, В.А. КРУПЕННИКОВ,
А.М. КИСЕЛЕВ, Н.В. КИСЕЛЕВ, М.В. КИСЕЛЕВ*

*A.B. BALASHOV, P.A. KHILOV, V.A. KRUPENNIKOV,
A.M. KISELEV, N.V. KISELEV, M.V. KISELEV*

(ООО НПО "Программируемые Композиты",
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,
ПАО "ОДК-Сатурн")

(NPO Programmable Composites LLC,
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev,
PAO UEC-Saturn)

E-mail: balashovandrej@yandex.ru; khilov p@mail.ru; vitaliv.krupennikov@uec-saturn.ru;
laibach@mail.ru; kstu-tplv@yandex.ru; Kisselev50@mail.ru

На основе изучения компьютерной томограммы структуры нитей для 3D-тканей выявлен факт поворота их сечения вокруг своей оси. Разработана математическая модель структуры ткани с учетом данного фактора.

Based on the study of a computer tomogram of the yarn structure for 3D tissues, the fact of rotation of their section around its axis is revealed. A mathematical model of tissue structure was developed taking into account this factor.

Ключевые слова: геометрическая модель 3D-ткани, математическое моделирование структуры 3D-ткани.

Keywords: geometric model of 3D fabric, mathematical modeling of the structure of 3D fabric.

В рамках федерального проекта "Цифровые технологии", утвержденного в 2018 г., разработаны дорожные карты по различным направлениям науки, в том числе и по новым производственным технологиям. Данная дорожная карта включает субтехнологии "Цифровое проектиро-

вание, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции", парадигмой которой является применение цифровых двойников (Digital Twin), нацеленных на прохождение с первого раза физических и натурных испытаний новых разрабатываемых изделий.

Ключевой целью данного подхода является сокращение времени разработки высокотехнологичных продуктов за счет уменьшения объема натуральных испытаний и мероприятий по доводке.

В данной статье рассматривается задача построения цифрового двойника геометрической модели 3D-ткани. Данные материалы используются в качестве армирующих преформ при изготовлении изделий композиционных материалов, чаще по технологии инъекции связующего в форму (RTM, LRTM, VARTM). Точность описания разработанной модели преформы влияет на сходимость результатов прочностного анализа и свойств натурального изделия из композиционного материала, что определяет актуальность решаемой задачи.

Описанием геометрической модели 3D-тканей на уровне нити занимались ведущие зарубежные фирмы. Известны разработки программного обеспечения (ПО), такие как WeaveStudio, ScotCAD, WiseTex, Arahne, TexGen, ESI GROUP, Digimat MF & FE (eXstream), TechText CAD и Weave Engineer [1...11]. Из отечественного программного обеспечения известно ПО "Преформа", описание которого дано в [12]. Однако ни в одном из представленных ПО не учитывается фактор поворота поперечного сечения нити вокруг своей оси. В реальном технологическом процессе 3D-ткачества в настоящее время чаще используются крученые нити. Данный факт обусловлен упрощением технологического процесса ткачества с точки зрения снижения контактного взаимодействия высокомодульных волокон с технологической оснасткой ткацкого оборудования. Кроме того, для увеличения линейной плотности нитей и выравнивания их свойств по длине часто применяют операцию трощения (сложение нитей), при этом для получения единой нити ей придают дополнительную крутку с параметрами 20...30 кручений на метр. Таким образом, поперечное сечение уточных нитей не является идеально круглым и при контакте с нитями основы способно принимать формоустойчивое положение, что приводит их к повороту вокруг своей оси. Этот фактор меняет траектории центров нитей преформы,

влияет на их взаимное положение в пространстве и объемное заполнение композиционного материала армирующими волокнами. Данная статья посвящена исследованию поворота сечения нитей вокруг своей оси и учету данного фактора при построении геометрической модели преформы с целью повышения точности построения ее цифрового двойника.

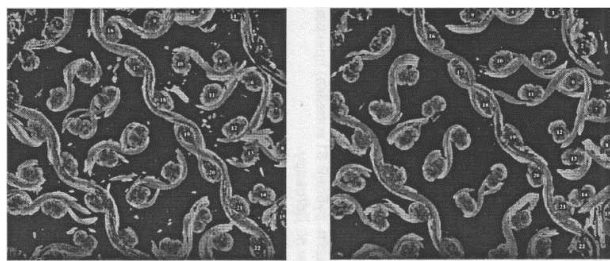
Прежде чем приступить к разработке алгоритма учета поворота нитей в структуре сечения ткани, необходимо детально исследовать структуру 3D-ткани для подтверждения данного факта и изучения особенностей и закономерностей данного процесса.

Для исследования структуры 3D-ткани были взяты два образца 3D-ткани. Первый образец был изготовлен методом ткачества на экспериментальной установке в ОАО КНИИЛП, описанной в [13]. Для изготовления данного образца использовалась крученая с $K=20$ кручений/метр углеродная нить с линейной плотностью 98x2 текс производства НПЦ УВИКОМ. Далее по тексту будем использовать обозначение образца как "образец 1". Вторым образцом, предоставленным предприятием АО "Три-Д", был изготовлен из кремнеземной нити с линейной плотностью 125 текс производства холдинговой компании "Композит" по технологии 3D-ткачества с использованием механизма жаккарда. Далее по тексту будем использовать обозначение образца как "образец 2".

Для исследования были вырезаны образцы ткани с размерами 30x30x20 мм. Исследования проводились методом компьютерной томографии, который позволяет с наперед заданной погрешностью исследовать объемные структуры сложного строения. Томографические исследования выполнялись в группе компаний Остек в г. Владимире на системе GE v|tome|x m300. Компьютерная обработка изображений велась с помощью специализированного программного обеспечения Volume Graphics.

Результаты томографических исследований "образца 1" в различных сечениях представлены на рис. 1, где "а" – это продольный разрез ткани "образца 1" в сечении

1, "б" – это продольный разрез ткани "образца 1" в сечении 2. На рисунке синий цвет – нити утка, красный цвет – нити основы.



а) б)

Рис. 1

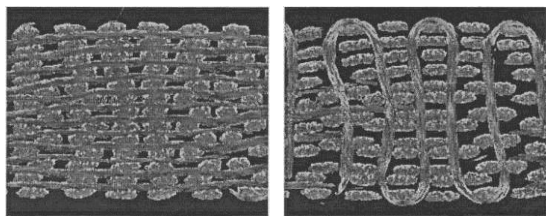
Фактор поворота сечений утков вокруг своей оси определялся по изменению положения эллипсоидного сечения утков в различных сечениях 3D-ткани. Для этого структура ткани исследовалась на томографическом изображении в двух различных сечениях. Расстояние между сечениями 1 и 2 составляло 5 мм. Данный параметр ограничивался размерами самого образца в пределах 30 мм. Несмотря на малое расстояние между сечениями 1 и 2, можно наблюдать существенные изменения положения отдельных сечений утков. Например, уткины 5, 13, 14 повернулись на угол около 90 град. Если сравнивать их положение в сечениях 1 и 2 (рис. 1).

Факт поворота утков вокруг своей оси может быть объяснен практически отсутствием крутильной жесткости самой нити, отсутствием специализированных направляющих при проброске утка и отсутствием крепления или устройств натяжения на концах тканого изделия или специализированных устройств на станке. Можно сказать, что положение сечения утка будет или вероятностным, или определяться взаимодействием с нитями основы или прошивными нитями. Расстояние в 5 мм для исследования изменения положения сечений утков достаточно мало, поскольку длина изделия может составлять десятки и даже сотни сантиметров. На таких существенных расстояниях вероятность изменения ориентации сечения нити существенно возрастает. Однако даже такого малого расстояния между сечениями 1 и 2 достаточно для

доказательства факта поворота утков в сечениях 3D-ткани. Этот фактор является весьма существенным для построения уточненных моделей геометрии структуры 3D-ткани, достигающим величины около 30%. Данная величина погрешности построения геометрической модели структуры 3D-ткани будет напрямую зависеть от соотношения длин диагоналей в сечениях эллипсообразной формы. Чем больше соотношение длин диагоналей, тем выше будет погрешность описания геометрии структуры 3D-ткани, что характерно для сечения нитей из углеродных волокон.

При анализе рис. 1 обратим внимание на то, что ориентация сечения уточной нити определяется характером ее взаимодействия с основной нитью. На рис. 1 видно, что из 46 утков сечения сорока трех из них ориентированы в положение, где большая диагональ эллипса становится параллельной касательной к траектории основной нити, огибающей данную уточину. По статистике данному правилу подчиняется 93,5% утков в сечении на рис. 1, и только 6,5% являются случайными. Для рассматриваемого случая необходимо отметить, что "образец 1" представляет собой структуру слоисто-каркасной ткани, где имеются заполнительные и каркасные слои. При этом для каркасных слоев данное правило соблюдается на 100%, что подтверждается положением утков с 16...22. Этот вывод будет важен для разработки алгоритма поворота утков в структуре 3D-ткани.

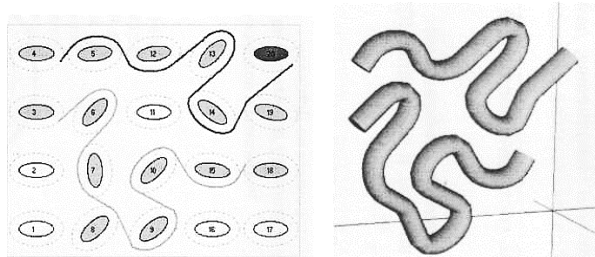
Следует отметить, что для "образца 1" использовалась крученая нить в 2 сложения, в совокупности образующая форму близкую к эллипсу. Для определения возможности поворота нити, изначально имеющей сечение в форме эллипса, было проведено исследование "образца 2". Результаты томографии "образца 2" представлены на рис. 2, где "а" – это продольный разрез ткани "образца 2" в сечении 1, "б" – это продольный разрез ткани "образца 2" в сечении 2. На рисунке синий цвет – нити основы, красный цвет – нити утка и прошивные нити.



а) б)

Рис. 2

Рассматриваемая структура многослойной 3D-ткани образована из трех нитей – основы, утка и прошивной. Это более плотная по определению ткань, в которой нити утка изначально имеют форму эллипса. Анализ положения поперечных сечений утков в "образце 2" в различных сечениях 1 и 2 показывает, что оно также меняется, как и в "образце 1", однако эти изменения существенно меньше. Эллипсовидные сечения утков в "образце 2" практически не имеют поворотов и ориентированы в одном направлении (рис. 1). Очевидно, это связано с тем, что нити основы, ориентированные строго горизонтально, удерживают нити утка в их первоначальном положении, и не дают им возможности поворота. Данное предположение подтверждает сделанный выше вывод для "образца 1" о том, что положение сечения утков и их поворотов, относительно своей оси, в основном будет определяться характером взаимодействия с основными и прошивными нитями. Очевидно, можно ожидать, что более плотные 3D-структуры ткани будут обладать более строгой ориентацией формы утков.



а) б)

Рис. 3

Реализация математической модели поворота утков в 3D-ткани выполнена путем модернизации ПО "Преформа". На рис. 3 представлены варианты скриншотов из разработанного ПО, показывающие схемати-

зированное изображение прокладки основной нити в структуре 3D-ткани (рис. 3-а), и 3D-изображение нити в геометрической модели (рис. 3-б). При этом в зависимости от траектории основной нити меняется положение утков (поворот вокруг своей оси).

На рис. 4 представлены скриншоты из разработанного ПО, показывающие повороты утков по длине нити в 3D-геометрической модели ткани.

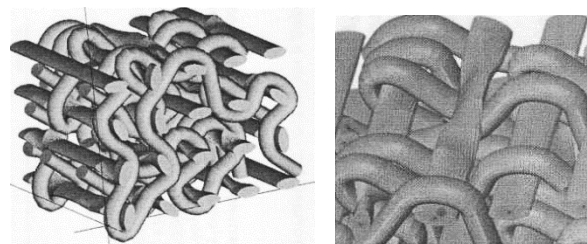


Рис. 4

Выполненные исследования и совершенствование разработанного ПО позволят получать более точные цифровые двойники геометрической структуры 3D-тканей и, следовательно, повысят точность прогнозов механических свойств композиционных изделий, изготовленных на их основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kolcavova Sirkova B., Iva Mertova. Computer aided woven fabric design // 7th International Conference - TEXSCI 2010 (6-8 September 2010, Liberec, Czech Republic). – Liberec, 2010. P. 9.
2. CAD/CAE systems for weaving EAT [Electronic resource]. - Mode of access: www.designcopecompany.com (дата обращения: 10.06 2018).
3. CAD/CAM systems for weaving - ScotCAD-Textiles Limited [Electronic resource]. - Mode of access: www.scotweave.com (дата обращения: 10.06 2018).
4. CAD/CAM systems for weaving - NedGraphics [Electronic resource]. - Mode of access: www.nedgraphics.com (дата обращения: 10.06 2018).
5. CAD-/CAM systems for weaving - Arachne [Electronic resource]. - Mode of access: www.arahne.si (дата обращения: 10.06 2018).
6. Lomov S., Verpoest I. Modelling of the internal structure and deformability of textile reinforcements: WiseTex software // Proc. of 10th European Conf. Composite Materials (ECCM-10) (Brugge, Belgium, June 3-7, 2002). – Brugge, 2002. P. 1...9.
7. Lomov S.V., Huysmans G., Verpoest I. Hierarchy of Textile Structures and Architecture of Fabric Geometric Models // Textile Research Journal. – Vol. 71, №6, 2001. P. 534...543.

8. Smith M.A., Xiaogang Chen CAD/CAM Algorithms for 3D-Woven Multi-layer Textile Structures, World Academy of Science, Engineering and Technology // International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering. – Vol.3, № 9, 2009. P.538...549.

9. Smith M. and Chen X. WeaveStudio CAD/CAM software for 3D-woven structures: EPSRC funded project; University of Manchester. – Manchester, UK, 2005-2008.

10. MSCSoftware - Инженерный анализ и компьютерное моделирование [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании MSCSoftware. - Режим доступа : <http://www.mscsoftware.ru> (дата обращения: 10.06.2018).

11. Моделирование процесса плетения bBraidingsimulation [Электронный ресурс] // ESI- group: официальный сайт компании. - Режим доступа: <http://www.esi-group.com> (дата обращения: 10.06.2018).^f

12. Киселев А.М., Хамматова В.В., Голубев С.Е., Киселев М.В. Описание возможностей системы проектирования структуры цельнотканых 3D-преформ "Преформа" // Дизайн. Материалы. Технология. – 2019, № 1(53). С.20...25.

13. Киселев М.В., Селиверстов В.Ю., Киселев А.М., Ляпунов Л.С. Проектирование и разработка технологии получения 3D-тканых полотен для производства композиционных материалов повышенной прочностью // Двигатели для гражданской авиации: корпоративный журнал дивизиона АО "ОДК" Трамплин к успеху. – 2017, № 10. С. 36...37.

REFERENCES

1. Kolcavova Sirkova V., Iva Mertova. Computer aided woven fabric design // 7th International Conference - TEXSCI 2010 (6-8 September 2010, Liberec, Czech Republic). – Liberec, 2010. P. 9.

2. CAD/CAE systems for weaving EAT [Electronic resource]. - Mode of access: www.designcopecompany.com (data obrashcheniya: 10.06 2018).

3. CAD/CAM systems for weaving - ScotCAD-Textiles Limited [Electronic resource]. - Mode of access: www.scotweave.com (data obrashcheniya: 10.06 2018).

4. CAD/CAM systems for weaving - NedGraphics [Electronic resource]. - Mode of access: www.nedgraphics.com (data obrashcheniya: 10.06 2018).

5. CAD/CAM systems for weaving - Arachne [Electronic resource]. - Mode of access: www.arahne.si (data obrashcheniya: 10.06 2018).

6. Lomov S., Verpoest I. Modelling of the internal structure and deformability of textile reinforcements: WiseTex software // Proc. of 10th European Conf. Composite Materials (ECCM-10) (Brugge, Belgium, June 3-7, 2002). – Brugge, 2002. P. 1...9.

7. Lomov S.V., Huysmans G., Verpoest I. Hierarchy of Textile Structures and Architecture of Fabric Geometric Models // Textile Research Journal. – Vol. 71, №6, 2001. P. 534...543.

8. Smith M.A., Xiaogang Chen CAD/CAM Algorithms for 3D-Woven Multilayer Textile Structures, World Academy of Science, Engineering and Technology // International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering. – Vol.3, № 9, 2009. P.538...549.

9. Smith M. and Chen X. WeaveStudio CAD/CAM software for 3D-woven structures: EPSRC funded project; University of Manchester. – Manchester, UK, 2005-2008.

10. MSCSoftware - Inzhenernyy analiz i komp'yuternoe modelirovanie [Elektronnyy resurs] // Ofits. sayt kompanii MSCSoftware. - Rezhim dostupa : <http://www.mscsoftware.ru> (data obrashcheniya: 10.06.2018).

11. Modelirovanie protsessa pleteniya bBraidingsimulation [Elektronnyy resurs] // ESI- group: ofits. sayt kompanii. - Rezhim dostupa : <http://www.esi-group.com> (data obrashcheniya: 10.06.2018). f

12. Kiselev A.M., Khammatova V.V., Golubev S.E., Kiselev M.V. Opisaniye vozmozhnostey sistemy proektirovaniya struktury tsel'notkanykh 3D-preform "Preforma" // Dizayn. Materialy. Tekhnologiya. – 2019, № 1(53). S.20...25.

13. Kiselev M.V., Seliverstov V.Yu., Kiselev A.M., Lyapunov L.S. Proektirovanie i razrabotka tekhnologii polucheniya 3D-tkanykh poloten dlya proizvodstva kompozitsionnykh materialov povyshennoy prochnosti // Dvigateli dlya grazhdanskoy aviatsii: korporativnyy zhurnal diviziona AO "ODK" Tramplin k uspekhu. – 2017, № 10. S. 36...37.

Рекомендована заседанием Совета ООО НПО "ПК". Поступила 22.02.21.

УДК 677:697.1:65.011

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_124

**ВОЗМОЖНОСТЬ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ РЕКУПЕРАЦИИ
В СИСТЕМЕ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ
НЕБОЛЬШИХ ПРОИЗВОДСТВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**THE POSSIBILITY OF THERMODYNAMIC RECOVERY
ON THE SYSTEM AIR HEAT PUMP
FOR AUTOMATED CLIMATE CONTROL
OF SMALL MANUFACTURES OF THE TEXTILE INDUSTRY**

С.В. ФЕДОСОВ, В.Н. ФЕДОСЕЕВ, А.Б. ПЕТРУХИН, Л.А. ОПАРИНА

S.V. FEDOSOV, V.N. FEDOSEEV, A.B. PETRUKHIN, L.A. OPARINA

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo state Polytechnical University)

E-mail: a.petruhin@mail.ru

В статье предложено простое энергоэффективное решение для создания адаптивно-автоматизированного энергосберегающего микроклимата в помещениях производственного и непроизводственного назначения. Сопоставляя совместную работу воздушного теплового насоса с рекуператором и смесительной камерой, в сравнении с традиционной схемой нагрева воздуха (без рекуператора и смесительной камеры), было установлено, что потребляемую мощность можно снизить более чем в два раза.

In article the simple energy efficient solution for creation automated an adaptive energy saving microclimate in rooms of production and non-productive appointment is proposed. Comparing collaboration of the air thermal pump with the recuperator and the mixing camera in comparison with the traditional scheme of heating of air (without recuperator and the mixing camera) it was established that power consumption can be reduced more than twice.

Ключевые слова: воздушный тепловой насос, электродвигатель, теплопотери, регулирование, управление, автоматизация, отопление, технологии.

Keywords: air heat pump, electric boiler, heat loss, regulation, control, automation, heating, technology.

В данной работе режим автоматизированного энергоэффективного отопления рассматривается как экономически выгодная интеграция в режиме совместной работы теплогенераторов низкпотенциальной тепловой энергии (воздушный тепловой насос) и низкпотенциальной системы теплоносителя, распространяемого через рукава устройства теплого пола тепловым потоком по всей площади помещения. При такой конфигурации эффективность отопления в малых цехах и производствах текстильной и легкой промышленности достигает экономии до 50% [3].

Рассматривая совместную работу воздушного теплового насоса (ВТН) с рекуператором, имеем в виду принцип теплообмена в рекуператоре, как рециркуляция, которая происходит без физического смешивания встречных потоков воздуха. Тепло, удаляемого из помещения воздуха передается приточному воздуху посредством теплообменных кассет. Движение воздушных потоков в кассетах перекрестное.

Такая система обеспечивает естественный (или принудительный) подбор эффективных параметров для выработки максимальной производительности ВТН. Данные параметры достигаются посредством смешения двух воздушных потоков – отработанного и удаляемого из помещения и наружного воздуха с улицы.

Обозначая приточно-вытяжную вентиляцию с рекуперацией, совмещенную с воздушным тепловым насосом, появляется необходимость несложного монтажа по обвязке установки воздуховодами, обеспечивая электропитанием и отведением конденсата.

Это простое и энергоэффективное решение для создания адаптивно-автоматизированной энергосберегающей вентиляции может применяться в помещениях, квартирах, частных домах, мастерских, текстильных производствах и других помещениях. В нашем случае установка может быть соединена с круглыми воздуховодами с номинальным диаметром $d=125\text{мм}$. Особенно

это выгодно в небольших текстильных и швейных цехах.

Небольшая воздухораспределительная сеть (рис.1) позволяет вентилировать от одного до нескольких помещений.

Регулирование расхода воздуха осуществляется при помощи трехступенчатого переключателя. Рекуператор позволяет утилизировать не только тепло, подаваемое на испаритель ВТН, но и влажность, вследствие чего в помещении поддерживается необходимый климат.

Энергоэффективный пластинчатый рекуператор выполняется из алюминиевых пластин, а в условиях эксплуатации установки без рекуперации в летний период в нем предусмотрен "летний" вкладыш. Управление производительностью рекуперации осуществляется с помощью несложного тиристорного регулятора оборотов двигателя, схема которого адаптивно согласуется со схемой управления (контроллером) ВТН.

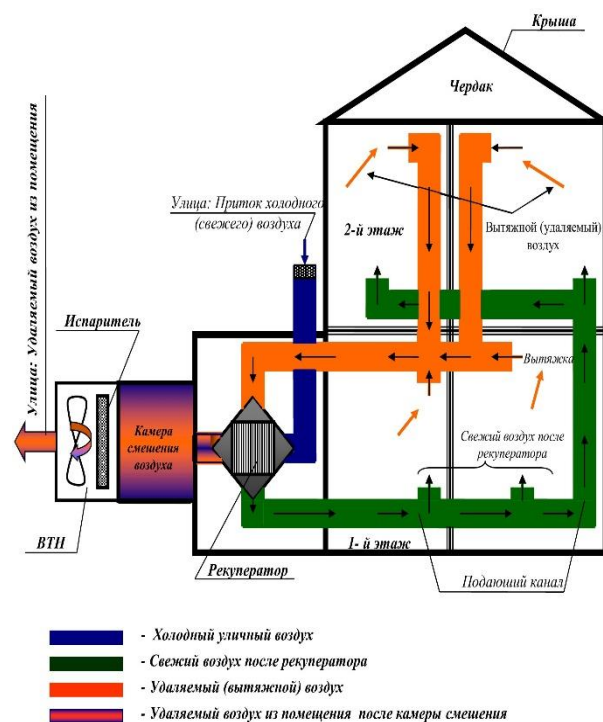


Рис. 1

Выразим расчетные данные в сравнительном порядке (ВТН с рекуператором и

без рекуператора) и поясним следующими расчетами.

Исходные данные для расчета: помещение текстильного производства площадью $S=100 \text{ м}^2$; высотой $H=2,5 \text{ м}$; объемом $V=500 \text{ м}^3$. В этом случае тепловой насос типа "воздух – вода" Meeting 7 кВт [2], рас-

ходуя объем воздуха $V=470 \text{ м}^3/\text{ч}$ (согласно данным технического паспорта).

Для нагрева 1 м^3 воздуха на 1°C необходимо $0,34 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3\cdot^\circ\text{C}$ тепла [9], [11].

Результаты сравнительных расчетов при температуре наружного воздуха $0, -10$ и -20°C представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

t наружного воздуха °C	Объем замещаемого воздуха, м ³	Мощность на нагрев замещаемого воздуха W, кВт·ч (без рекуперации) $\Delta t = (t_{\text{внутр. возд}} - t_{\text{наружн. возд}})$	Мощность на нагрев замещаемого воздуха W, кВт·ч, (КПД рекуператора 50%)
0	500	$\Delta t = 0+23 =23^\circ\text{C}$, $W=500 \times 23 \times 0,34=1955 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 3,91 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$	$\Delta t = 0+23 /2=11,5^\circ\text{C}$, $W=500 \times 11,5 \times 0,34=977,5 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 1,955 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$
-10	500	$\Delta t = -10+23 =33^\circ\text{C}$, $W=500 \times 33 \times 0,34=2805 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 5,61 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$	$\Delta t = -10+23 /2=16,5^\circ\text{C}$, $W=500 \times 16,5 \times 0,34=1402,5 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 2,805 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$
-20	500	$\Delta t = -20+23 =43^\circ\text{C}$, $W=500 \times 43 \times 0,34=3655 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 7,31 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$	$\Delta t = -20+23 /2=21,5^\circ\text{C}$, $W=500 \times 21,5 \times 0,34=1827,5 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 3,655 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$

Из табл. 1 видно, что если применять нагрев воздуха без рекуператора (воздух берем из помещения) при температуре наружного воздуха -10°C , то потребуются дополнительная мощность, то есть увеличится время работы ВТН на нагрев приточного воздуха, мощность которого в этом случае составит:

$$W=500 \text{ м}^3 \cdot 33^\circ\text{C} \cdot 0,34 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3\cdot^\circ\text{C} = 5610 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 5,61 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Если сравнить эти результаты, при температуре -10°C , то увидим, что мощность на нагрев замещаемого воздуха составляет $5,61 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, а с рекуператором при КПД рекуператора 50% (1/2) составляет $2,805 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, что в два раза меньше по сравнению с обычным (простым) вариантом.

Таким образом, схема ВТН с рекуперацией, как многофункциональная система регенерации и подготовки воздуха (воздухообмена), способна компенсировать различные схемы компоновки данной теплогенерации.

В Ы В О Д Ы

1. В режиме автоматизации система регулирует работу приточно-вытяжной уста-

новки (ПВУ) в помещении и экономит энергоресурсы на базе контроллера качества воздуха "Smart control", который управляет установкой, величиной CO_2 , влажностью, температурой и поддерживает микроклимат.

2. Применяя воздушный тепловой насос на основе активной термодинамической регенерации, имеем широкие возможности в приготовлении полезной для нас воздушной среды. Эта система активного теплового обмена для отопления воздушным тепловым насосом на сегодня самая современная, экономически и экологически выгодная, как для окружающей среды, так и для помещений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Свод правил СП 60.13330.2012, "СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха" (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. №279).

2. Meeting. Инструкция по эксплуатации теплового насоса с передачей тепла от воздуха к воде / https://solar-dom.com/upload/iblock/287/Meeting_user_manual_MD_RU_.pdf.

3. Федосеев В.Н., Алоян Р.М., Виноградова Н.В., Воронов В.А. Сравнительная эффективность теплоотдачи современных видов отопления в малоэтажных текстильных строениях // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 3. С.237...240.

4. Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А. Алгоритм расчета энергоемкости воздухообмена воздушного теплового насоса с рециркуляцией для малоэтажного строения // Информационная среда вуза. – 2016, № 1 (23). С. 287...293.

5. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Федосеев В.Н. Возможность внедрения экологической и энергосберегающей технологии в текстильной энергетике // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 2. С. 188...192.

6. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Иродова М.Р., Зайцева И.А. Экономически эффективный воздухообмен в системе теплоснабжения тепловым насосом малоэтажных текстильных помещений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 5. С. 210...215.

7. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Воронов В.А., Емелин В.А. Теплопотери и теплоприток при совместной работе смесительной камеры и воздушно-теплового насоса в малоэтажных строениях // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 4. С. 209...213

8. Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Остриякова Ю.Е., Целовальникова Н.В., Емелин В.Н., Воронов В.Н. Эффективное управление системой теплогенерации в автономных производственных помещениях // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017, № 4-4 (58). С. 109...113.

9. Баскаков А.П., Берг Б.В., Витт О. и др. Теплотехника / Под ред. Баскакова А.П. – М.: Энергоиздат, 2010.

10. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика. – М.: Высшая школа, 2003.

11. Богословский С.В. Физические свойства газов и жидкостей. – СПб., 2001.

REFERENCES

1. Svod pravil SP 60.13330.2012, "SNiP 41-01-2003. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukh" (utv. prikazom Ministerstva regional'nogo razvitiya RF ot 30 iyunya 2012 g. №279).

2. Meeting. Instruktsiya po ekspluatatsii teplovogo nasosa s peredachey tepla ot vozdukh k vode / https://solar-dom.com/upload/iblock/287/Meeting_user_manual_MD_RU_.pdf.

3. Fedoseev V.N., Aloyan R.M., Vinogradova N.V., Voronov V.A. Sravnitel'naya effektivnost' teplootdachi sovremennykh vidov otopleniya v maloetazhnykh tekstil'nykh stroeniyakh // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 3. S. 237...240.

4. Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Zaytseva I.A. Algoritm rascheta energoemkosti vozdukhoobmena vozduzhnogo teplovogo nasosa s retsirkulyatsiey dlya maloetazhnogo stroeniya // Informatsionnaya sreda vuza. – 2016, № 1 (23). S. 287...293.

5. Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Fedoseev V.N. Vozmozhnost' vnedreniya ekologicheskoy i energosberegayushchey tekhnologii v tekstil'noy energetike // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, № 2. S. 188...192.

6. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Vinogradova N.V., Irodova M.R., Zaytseva I.A. Ekonomicheski effektivnyy vozdukhoobmen v sisteme teplosnabzheniya teplovym nasosom maloetazhnykh tekstil'nykh pomeshcheniy // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, № 5. S. 210...215.

7. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Vinogradova N.V., Voronov V.A., Emelin V.A. Teplopoteri i teploprиток pri sovместной работе smesitel'noy kamery i vozduzhno-teplovogo nasosa v maloetazhnykh stroeniyakh // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 4. S. 209...213

8. Fedoseev V.N., Zaytseva I.A., Ostryakova Yu.E., Tseloval'nikova N.V., Emelin V.N., Voronov V.N. Effektivnoe upravlenie sistemoy teplogeneratsii v avtonomnykh proizvodstvennykh pomeshcheniyakh // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. – 2017, № 4-4 (58). S. 109...113.

9. Baskakov A.P., Berg B.V., Vitt O. i dr. Teplootekhnika / Pod red. Baskakova A.P. – М.: Energoizdat, 2010.

10. Kudinov V.A., Kartashov E.M. Tekhnicheskaya termodinamika. – М.: Vysshaya shkola, 2003.

11. Bogoslovskiy S.V. Fizicheskie svoystva gazov i zhidkostey. – SPb., 2001.

Рекомендована кафедрой организации, производства и городского хозяйства. Поступила 20.05.19.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ЧЕРНОЙ ПЛЕСЕНИ ASPERGILLUS NIGER НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**PREDICTING THE IMPACT
OF BLACK MOLD ASPERGILLUS NIGER ON BUILDINGS AND STRUCTURES
OF TEXTILE AND LIGHT INDUSTRY**

К.Б. СТРОКИН, Д.Г. НОВИКОВ, В.С. КОНОВАЛОВА, А.В. ОСЫКО, Б.Е. НАРМАНИЯ

K.B. STROKIN, D.G. NOVIKOV, V.S. KONOVALOVA, A.V. OSYKO, B.E. NARMANIYA

**(Сахалинский государственный университет,
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Sakhalin State University,
Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: strokin07@rambler.ru; denis.g.novikov@gmail.com; kotprotiv@yandex.ru; mechanic4991@gmail.com

*В работе приведены данные о коррозионном массопереносе в цементном бетоне в условиях воздействия на него черной плесени *Aspergillus niger*. Установлено, что в состав продуктов жизнедеятельности черной плесени *Aspergillus niger* входят органические кислоты: лимонная, щавелевая, молочная, яблочная, винная. Представлены профили концентраций органических кислот по толщине бетонного покрытия к поверхности стальной арматуры, позволяющие оценивать кинетику процессов массопереноса и определять срок безопасной эксплуатации конструкций из железобетона. Установлено, что коррозия стальной арматуры в железобетоне начинается через 4 года после заражения поверхности бетона черной плесенью *Aspergillus niger*. Неудовлетворительное состояние железобетонного изделия наступает через 10 лет после начала развития грибковой коррозии при потере стальной арматурой 15% сечения.*

*The paper presents data on the corrosion mass transfer in cement concrete under the influence of black mold *Aspergillus niger*. It is established that the composition of the products of the vital activity of the black mold *Aspergillus niger* includes organic acids: citric, oxalic, lactic, malic, tartaric. The profiles of organic acid concentrations along the thickness of the concrete coating to the surface of steel reinforcement are presented, which allow to evaluate the kinetics of mass transfer processes and determine the period of safe operation of reinforced concrete structures. It is established that corrosion of steel reinforcement in reinforced concrete begins 4 years after infection of the concrete surface with black mold *Aspergillus niger*. The poor state of concrete products occurs within 10 years after the beginning of fungal corrosion in steel reinforcement loss of 15 % of the cross section.*

Ключевые слова: жидкостная коррозия, коррозия арматуры, микробиологическая коррозия, грибковая коррозия, долговечность железобетона, *aspergillus niger*.

Keywords: liquid corrosion, reinforcement corrosion, microbially induced corrosion, fungal corrosion, durability of reinforced concrete, *aspergillus niger*.

Очень большое разнообразие микроорганизмов может увеличить скорость коррозии металлов из-за влияния продуктов метаболических процессов. Физиологическая активность грибов и обилие их метаболитов позволяют им присоединяться к металлам. Металлическая поверхность является удобной основой для прикрепления грибного мицелия. Кислоты, вырабатываемые грибами, вредны для металлов. К ним относятся муравьиная, лимонная и уксусная кислоты [1], [2].

Когда грибы растут на металлических поверхностях, они могут потреблять не только нитраты и серу, но также водород, кислород и другие газообразные продукты, находящиеся в окружающей среде, что приводит к деполяризации металлов и усилению коррозии [3], [4]. Поэтому процессы микробной коррозии на металлических поверхностях связаны с микроорганизмами или продуктами их метаболической активности. Эти продукты метаболизма могут влиять на катодные и/или анодные реакции, тем самым изменяя электрохимические процессы на границе раздела "металлическая поверхность – раствор" [5].

Вызванная микроорганизмами коррозия связана с большинством внутренних проблем коррозии в нефтепроводах, резервуарах для хранения и дренажных системах, включая рост микроорганизмов на промышленных системах и материалах, приводящий к загрязнению и проблемам коррозии с серьезными сопутствующими экономическими последствиями. Грибки могут воздействовать на металлы и конструктивные части зданий, тем самым ускоряя скорость коррозии и ухудшая качество материалов.

Грибки являются важными экологическими факторами окружающей среды, которые часто определяют продолжительность эффективной эксплуатации металлических изделий. Под действием сил адгезии грибы проникают на металлическую поверхность и начинают взаимодействовать с ней даже при самой низкой влажности [6], [7]. Таким образом, они образуют химическую связь с металлом. Однако не все грибы

могут выжить на поверхности металла. Большинство из них погибает от неблагоприятных условий на поверхности металла, таких как переменная влажность, температура, физические, химические и технические параметры [8]. Выжить могут только грибы, способные включить металл в качестве звена в свою цепочку жизнедеятельности, связывающую их с окружающей средой, и функционирование которых помогает минимизировать напряжение между металлом и их жизненными потребностями [9], [10].

Грибы вовлечены в коррозию многих металлов и их сплавов, используемых в производстве и строительстве зданий. Продукты метаболизма грибов повышают агрессивность водной фазы даже после завершения жизненного цикла [11].

Исследование коррозионной стойкости бетона в условиях воздействия черной плесени *Aspergillus niger* проводилось на образцах, изготовленных из портландцемента марки ПЦ 500-Д0 с водоцементным отношением В/Ц = 0,3. Образцы имели форму кубов размером 3х3х3 см.

Для исследования скорости коррозии стальной арматуры в железобетоне изготовлены цилиндрические образцы из прутков арматуры А500С диаметром 10 мм, залитых бетоном на портландцементе марки ПЦ 500-Д0 с водоцементным отношением В/Ц = 0,3. Толщина бетонного покрытия составляла 30 мм.

Испытания проводились после набора образцами прочности в течение 28 суток на воздухе с относительной влажностью 65...70% при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Образцы бетона и железобетона помещались в сосуды с водной средой объемом 1000 см^3 , откуда с периодичностью 14 суток отбирались пробы для анализа объемом 10 см^3 . В качестве реакционной среды при изучении процесса микробиологической коррозии использовалась дистиллированная вода ($\text{pH} = 6,6$). Образцы заражали суспензиями микроорганизмов *Aspergillus niger* van Tieghem для изучения грибковой коррозии бетона. Определение содержания катионов кальция в агрессивной среде

определялось методом комплексометрического объемного титрования раствора трилоном Б в присутствии индикатора хромогена черного.

Для установления электрохимических показателей скорости коррозии проводилось измерение потенциала поверхности и плотности коррозионного тока стальной арматуры, находящейся в бетоне в условиях воздействия черной плесени *Aspergillus niger*.

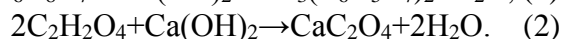
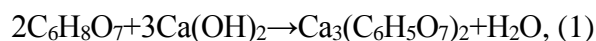
Определение состава продуктов коррозии после воздействия на бетон грибов *Aspergillus niger* van Tieghem проводилось на хроматографе Хроматэк-Кристалл 5000.

Методом газожидкостной хроматографии установлено, что в результате жизнедеятельности грибковых микроорганизмов *Aspergillus niger* van Tieghem на поверхности бетона накапливаются органические кислоты: лимонная (57,5 масс. %), щавелевая (27 масс. %), молочная (8 масс. %), яблочная (6 масс. %), винная (1,5 масс. %). Из представленных органических кислот сильноагрессивными являются молочная и яблочная кислоты, а остальные кислоты представляют собой среду средней агрессивности по отношению к бетону [12].

Изучение кинетики вымывания катионов кальция из бетона при жидкостной коррозии в условиях воздействия грибковых микроорганизмов *Aspergillus niger* позволило установить, что равновесное состояние в системе наступает после 80 суток коррозии, а равновесное значение концентрации составляет 33 мг/л. Для незараженного

черной плесенью бетона в условиях жидкостной коррозии это значение составляет 22 мг/л [12].

Для бетона и стальной арматуры является агрессивной концентрация органических кислот свыше 0,05 г/л [6]. Основное воздействие на бетон и арматуру в нем оказывают лимонная и щавелевая кислоты. Коэффициент диффузии для них в бетоне составляет $2,4 \cdot 10^{-8}$ м²/с. В поровой жидкости протекают реакции растворения компонента бетона гидроксида кальция под действием лимонной (1) и щавелевой (2) кислот:



Данные, полученные при исследовании кинетики выщелачивания цементного бетона в условиях грибковой коррозии, позволяют определить градиенты концентраций переносимого компонента на границе раздела фаз и рассчитать плотность потока массы вещества q из цементного камня в жидкую среду по уравнению:

$$q = \frac{\Delta C_{ж}}{S \cdot \tau}, \quad (3)$$

где $\Delta C_{ж}$ – масса вещества, перешедшего из цементного камня в жидкую среду, кг.

Зная, сколько катионов кальция вымывается из бетона, можно с учетом стехиометрии уравнений протекающих реакций рассчитать, сколько агрессивных компонентов проникает в бетон [13], [14].

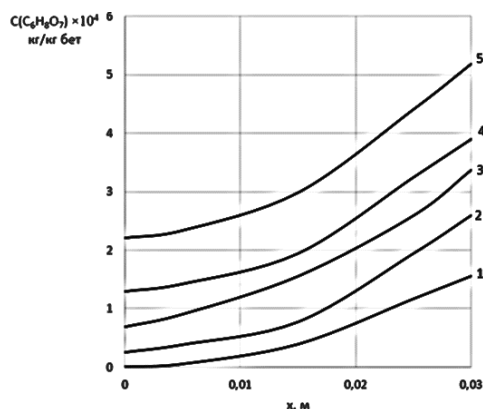


Рис. 1

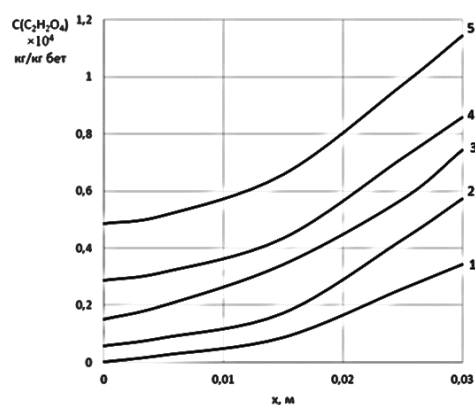


Рис. 2

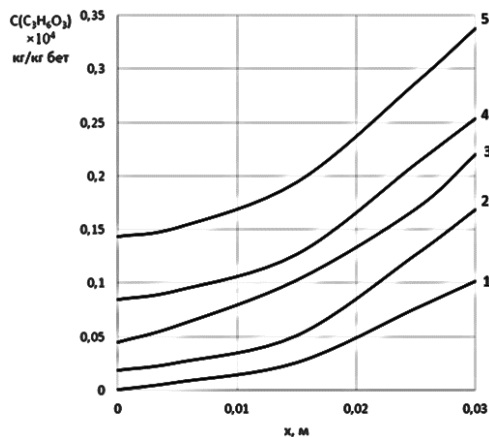


Рис. 3

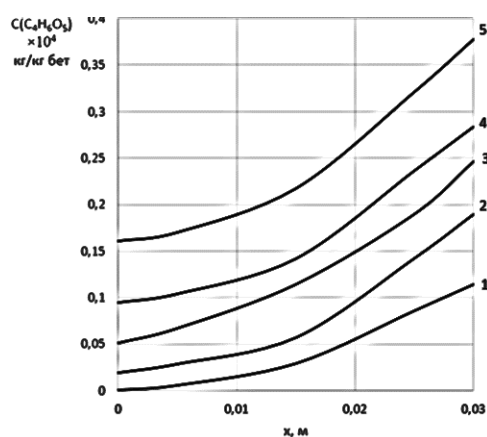


Рис. 4

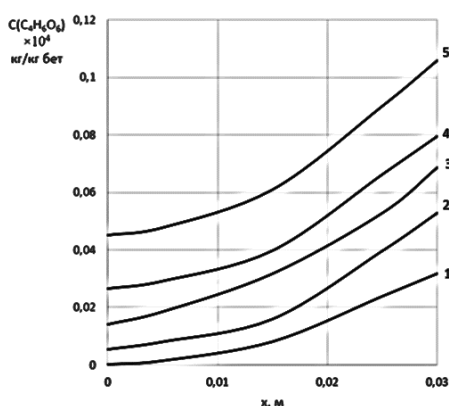


Рис. 5

Для определения срока достижения концентрации 0,05 г/л органических кислот, образующихся на поверхности бетона в результате жизнедеятельности черной плесени, у поверхности стальной арматуры в железобетоне построены профили их концентраций по толщине бетонного покрытия (рис. 1...5 – профили концентраций лимонной (рис. 1), щавелевой (рис. 2), молочной (рис. 3), яблочной (рис. 4) и винной (рис. 5) кислот по толщине бетонного образца в разные промежутки времени (при τ : 1 – 0 сут.; 2 – 14 сут.; 3 – 28 сут.; 4 – 42 сут.; 5 – 56 сут.; 6 – 70 сут.).

Профили концентраций позволяют оценить плотность потока переносимых компонентов по толщине бетона и произвести расчет периодов начала коррозионных разрушений в железобетоне. Достижение значения суммарной концентрации органических кислот 0,05 г/л у поверхности арматуры происходит через 1430...1446 дней (4 года) после заражения поверхности бетона

черной плесенью *Aspergillus niger*. После этого начинается питтинговая коррозия стали со скоростью 0,129 г/м²·ч или 0,115 мм/год. При достижении концентрации кислот у поверхности стальной арматуры 0,07 г/л через 5,5 лет после заражения поверхности бетона черной плесенью *Aspergillus niger* скорость коррозии стали составит 0,142 г/м²·ч или 0,127 мм/год.

Через 10 лет непрерывной жизнедеятельности грибковых микроорганизмов на поверхности бетона концентрация органических кислот у поверхности арматуры составит 0,13 г/л и скорость коррозии стали достигнет значения 0,205 г/м²·ч или 0,183 мм/год. Получается, что за 10 лет глубина точечного повреждения арматуры составит в среднем 1,5 мм. Для стальной арматуры диаметром 10 мм это повреждение составит 15 % потери сечения, а, значит, состояние железобетонного изделия станет неудовлетворительным [15].

ВЫВОДЫ

Ресурс безопасной эксплуатации конструкций из железобетона, подверженного переменному или постоянному воздействию грибковых микроорганизмов, напрямую зависит от скорости происходящих в бетоне массообменных процессов. Проведенные исследования коррозионной стойкости цементного камня при жидкостной коррозии в условиях воздействия черной плесени *Aspergillus niger* позволили определить параметры массопереноса и плот-

ность потока массы вещества из цементного камня в агрессивную среду.

Для прогнозирования скорости поступления органических кислот, образующихся на поверхности бетона в результате жизнедеятельности черной плесени, к поверхности стальной арматуры в железобетоне построены профили их концентраций по толщине бетонного покрытия.

Достижение опасного значения концентрации органических кислот 0,05 г/л у поверхности стальной арматуры происходит через 4 года после заражения поверхности бетона черной плесенью *Aspergillus niger*.

В среднем увеличение скорости коррозии стальной арматуры в условиях воздействия продуктов жизнедеятельности черной плесени в бетоне происходит на 7% в год.

Неудовлетворительное состояние стальной арматуры в бетоне достигается в течение 10 лет после начала воздействия грибковых микроорганизмов на поверхность цементного бетона, когда арматура теряет 15% сечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Magnuson J.K., Lasure L.L.* Organic Acid Production by Filamentous Fungi // *Advances in Fungal Biotechnology for Industry, Agriculture, and Medicine.* – 2004. P. 307...340.
2. *Телегди Ю., Шабан А., Триф Л.* Микробиологическая коррозия и характеристика биопленок // *Коррозия: материалы, защита.* – 2020, № 6. С. 1...19.
3. *Telegdi J., Shaban A., Vastag G.* Biocorrosion-steels // *Encyclopedia of interfacial Chemistry: Surface Science and Electrochemistry.* – V. 7, 2018. P. 28...42.
4. *Полякова А.В., Кривушина А.А., Горяшник Ю.С., Петрова В.А.* Изучение процессов биокоррозии металлов // *Все материалы. Энциклопедический справочник.* – 2016, № 11. С. 22...28.
5. *Кушнарченко В.М., Чирков Ю.А., Репях В.С., Ставищенко В.Г.* Биокоррозия стальных конструкций // *Вестник Оренбургского государственного университета.* – 2012, № 6 (142). С. 160...164.
6. *Светлов Д.А., Качалов А.Н.* Микробиологическая коррозия строительных материалов // *Интернет-журнал "Транспортные сооружения".* – 2019, № 4. Т. 6. С. 1...19.
7. *Dvoynenko O.K., Kozlova I.A., Statsenko V.M.* Thin Film Metal Matrixes for Biocorrosion Studies // *Nanostructured Materials and Coatings for Biomedical and Sensor Applications.* NATO Science

Series (Series II: Mathematics, Physics and Chemistry). – V. 102, 2003. P. 181...185.

8. *Unsal T., Cansever N., Ilhan-Sungur E.* Impact of biofilm in the maturation process on the corrosion behavior of galvanized steel: long-term evaluation by EIS // *World Journal of Microbiology and Biotechnology.* – V. 35, 2019. P. 22.

9. *Rovetta S., Abdalla A., Khouri S., Otani C., Miyakawa W.* Biocorrosion of AISI 4340 Steel // *MRS Proceedings.* – V. 1373, 2012, s4. imrc-1373-s4-11.

10. *Jigletsova S.K., Rodin V.B., Kobelev V.S., Aleksandrova N.V., Rasulova G.E., Kholodenko V.P.* Studies of Initial Stages of Biocorrosion of Steel // *Applied Biochemistry and Microbiology.* – V. 36, 2000. P. 550...554.

11. *Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Завалишин Е.В., Морозов Е.А., Смирнова О.Н.* Повышение стойкости конструкций зданий и сооружений к биологически агрессивным средам // *Вестник Мордовского университета.* – 2008, № 4. С. 150...158.

12. *Строкин К.Б., Новиков Д.Г., Коновалова В.С., Логинова С.А., Нармания Б.Е.* Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из железобетона в условиях микробиологической коррозии // *Современные проблемы гражданской защиты.* – 2020, № 4 (37). С. 62...69.

13. *Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Коновалова В.С., Караваев И.В.* Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2017, № 6 (372). С. 268...276.

14. *Румянцева В.Е., Хрунов В.А., Шестеркин М.Е.* Определение ресурса безопасной эксплуатации зданий и сооружений из бетона // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2015, № 4 (358). С. 131...136.

15. *Добромыслов А.Н.* Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. – М.: Изд-во АСВ, 2008.

REFERENCES

1. *Magnuson J.K., Lasure L.L.* Organic Acid Production by Filamentous Fungi // *Advances in Fungal Biotechnology for Industry, Agriculture, and Medicine.* – 2004. P. 307...340.
2. *Telegdi Yu., Shaban A., Trif L.* Mikrobiologicheskaya korroziya i kharakteristika bioplenok // *Korroziya: materialy, zashchita.* – 2020, № 6. S.1...19.
3. *Telegdi J., Shaban A., Vastag G.* Biocorrosion-steels // *Encyclopedia of interfacial Chemistry: Surface Science and Electrochemistry.* – V. 7, 2018. P.28...42.
4. *Polyakova A.V., Krivushina A.A., Goryashnik Yu.S., Petrova V.A.* Izuchenie protsessov biokorrozii metallov // *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik.* – 2016, № 11. S. 22...28.

5. Kushnarenko V.M., Chirkov Yu.A., Repyakh V.S., Stavishenko V.G. Biokorroziya stal'nykh konstruksiy // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2012, № 6 (142). S. 160...164.

6. Svetlov D.A., Kachalov A.N. Mikrobiologicheskaya korroziya stroitel'nykh materialov // Internet-zhurnal "Transportnye sooruzheniya". – 2019, №4. T. 6. S. 1...19.

7. Dvoynenko O.K., Kozlova I.A., Statsenko V.M. Thin Film Metal Matrixes for Biocorrosion Studies // Nanostructured Materials and Coatings for Biomedical and Sensor Applications. NATO Science Series (Series II: Mathematics, Physics and Chemistry). – V. 102, 2003. P. 181...185.

8. Unsal T., Cansever N., Ilhan-Sungur E. Impact of biofilm in the maturation process on the corrosion behavior of galvanized steel: long-term evaluation by EIS // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – V. 35, 2019. P. 22.

9. Rovetta S., Abdalla A., Khouri S., Otani C., Miyakawa W. Biocorrosion of AISI 4340 Steel // MRS Proceedings. – V. 1373, 2012, s4. imrc-1373-s4-11.

10. Jigletsova S.K., Rodin V.B., Kobelev V.S., Aleksandrova N.V., Rasulova G.E., Kholodenko V.P. Studies of Initial Stages of Biocorrosion of Steel // Applied Biochemistry and Microbiology. – V. 36, 2000. P. 550...554.

11. Erofeev V.T., Smirnov V.F., Zavalishin E.V., Morozov E.A., Smirnova O.N. Povyshenie stoykosti

konstruksiy zdaniy i sooruzheniy k biologicheski agressivnym sredam // Vestnik Mordovskogo universiteta. – 2008, № 4. S. 150...158.

12. Strokin K.B., Novikov D.G., Konovalova V.S., Loginova S.A., Narmaniya B.E. Opredelenie resursa bezopasnoy ekspluatatsii konstruksiy iz zhelezobetona v usloviyakh mikrobiologicheskoy korrozii // Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity. – 2020, № 4 (37). S. 62...69.

13. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Krasil'nikov I.V., Konovalova V.S., Karavaev I.V. Opredelenie resursa bezopasnoy ekspluatatsii konstruksiy iz betona, soderzhashchego gidrofobiziruyushchie dobavki // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 6 (372). S. 268...276.

14. Rummyantseva V.E., Khrunov V.A., Shesterkin M.E. Opredelenie resursa bezopasnoy ekspluatatsii zdaniy i sooruzheniy iz betona // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015, № 4 (358). S. 131...136.

15. Dobromyslov A.N. Otsenka nadezhnosti zdaniy i sooruzheniy po vneshnim priznakam. – M.: Izd-vo ASV, 2008.

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 15.01.21.

УДК 621.928

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_133

ДВУХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА СИТОВЫХ ТКАНЯХ

TWO-DIMENSIONAL MODEL OF VIBROSEPARATION OF FINE BULK MATERIALS THROUGH THE HOLES OF FABRIC SIEVE

В.А. ОГУРЦОВ, Е.И. КРУПНОВ, А.П. АЛЕШИНА, А.В. ОГУРЦОВ, А.М. ФАТАХЕТДИНОВ
V.A. OGURTZOV, E.I. KRUPNOV, A.P. ALESHINA, A.V. OGURTZOV, A.M. FATAKHETDINOV

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: ogurtzovvawork@mail.ru

Рассматривается двухмерная математическая модель фракционирования частиц мелкодисперсного сыпучего материала на вибрирующем ситовом тканом полотне. Модель использует математический аппарат теории

цепей Маркова. Матрица переходных вероятностей описывает переходы частиц между соседними ячейками. Исследовано влияние производительности подачи сыпучего материала на выход частиц в подситовое и надситовое пространство. Модель прогнозирует локальные состояния сыпучего материала в виброклассификаторе.

A two-dimensional mathematical model of fractionation of particles of fine bulk material on a vibrating screen woven fabric is considered. The model uses the mathematical apparatus of the theory of Markov chains to a two-dimensional grid of cells. The process in the material is controlled by the matrix of transition probabilities that describes transitions between neighboring cells and particle outflows into the fine and coarse products of classification. Some of numerical examples demonstrating the ability of the model to describe technological parameters of the process are shown. In particular, the influence of the feed rate on the outflow of the fine fraction is examined. The model allows predicting the technological characteristics of the process on the basis of the local state of the granular material.

Ключевые слова: сепарация, ансамбль частиц, ситовое тканое полотно, мелкодисперсный сыпучий материал.

Keywords: separation, ensemble of particles, woven screen cloth, fine granular material.

При интенсивном воздействии на мелкодисперсный материал со стороны ситовой ткани, которая является просеивающей поверхностью в виброклассификаторе непрерывного действия, происходит перемешивание частиц различных фракций как в продольном, так и поперечном набавлении относительно слоя сыпучего материала. Частицы, размер которых меньше размеров ячейки ситовой ткани, по мере их движения вдоль виброклассификатора просеиваются в подситовое пространство, а частицы, размер которых больше размеров ячейки сита, остаются на нем. В работе [1] описана одномерная модель, которая относится только к миграции частиц поперек виброоживленного слоя сыпучего материала. Эта модель может быть использована для описания кинетики периодического фракционирования. Поэтому целью настоящей статьи является развитие стохастической модели кинетики непрерывного вибрационного фракционирования, основанной на математическом аппарате теории цепей Маркова.

Материал на ситовой ткани представлен двумерной цепью ячеек идеального смешения (рис. 1).

Цепь содержит n строк и m столбцов ячеек, причем к собственно материалу относится $(n-1)$ строка, а последняя n -я строка представляет собой ячейки подстового пространства, куда попадают частицы подрешетного продукта. Будем рассматривать процесс через малые промежутки времени Δt – времена перехода, в течение которых возможен переход мелких частиц из данной ячейки в соседние. Тогда текущие моменты времени будут рассчитываться как $t_k = (k-1)\Delta t$, где целое число $k=1, 2, \dots$ (номер перехода) становится целочисленным аналогом времени процесса.

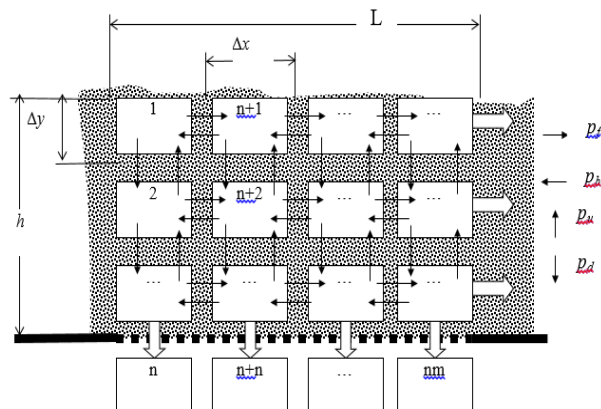


Рис. 1

В k -м состоянии распределение мелких частиц по ячейкам может быть представлено матрицей состояния:

$$S_m^k = \begin{bmatrix} S_1^k & S_{n+1}^k & \dots & S_{n(m-1)+1}^k \\ S_2^k & S_{n+2}^k & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_n^k & S_{n+n}^k & \dots & S_{nm}^k \end{bmatrix}, \quad (1)$$

элементы которой показывают относительное содержание мелких частиц наблюдаемой фракции в ячейках и пронумерованы последовательно от столбца к столбцу.

Развитие процесса во времени описывается рекуррентным матричным равенством

$$S^{k+1} = P(S^k + S_f^k), \quad (2)$$

где P – матрица переходных вероятностей, контролирующая переходы мелких частиц между ячейками в течение Δt , а S_f^k – вектор подачи, описывающий пополнение отдельных ячеек за счет внешних источников.

Матрица P имеет размер $(nm) \times (nm)$ и содержит вероятности (доли) перехода материала из одних ячеек в другие в соответствии с переходами, показанными на рис. 1. В частности, для цепи ячеек размером 3×3 эта матрица имеет вид:

$$P = \begin{bmatrix} p_s & p_u & 0 & p_b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_d & p_s & 0 & 0 & p_b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & v_f & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_f & 0 & 0 & p_s & p_u & 0 & p_b & 0 & 0 \\ 0 & p_f & 0 & p_d & p_s & 0 & 0 & p_b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_f & 0 & 0 & p_s & p_u & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_f & 0 & p_d & p_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где p_d , p_u , p_f , p_b , p_s – вероятности перейти в течение Δt из данной ячейки вниз, вверх, вперед, назад и остаться в ячейке, соответственно. Выделяя в этих вероятностях по каждому из двух направлений симметричные (диффузионные) и конвективные составляющие, их можно выразить как

$$p_f = v_x + d_x, \quad p_b = d_x, \quad p_d = v_y + d_y, \quad p_u = d_y, \quad (4)$$

$$v_x = V_x \Delta t / \Delta x, \quad d_x = D_x \Delta t / \Delta x^2, \\ v_y = V_y \Delta t / \Delta y, \quad d_y = D_y \Delta t / \Delta y^2, \quad (5)$$

в которых V_x – размерная скорость продольного транспортирования слоя сыпучего материала вдоль просеивающей ситовой ткани, определяющая объемную производительность классификатора на единицу ширины сита $Q = V_x h$; V_y – направленная вниз скорость сегрегации фракции в сыпучем материале, D_x и D_y – коэффициенты макродиффузии, учитывающие стохастическую составляющую процесса. Вероятности p_s остаться в ячейках во всех столбцах, кроме $n-1$ последних, рассчитываются как единица минус сумма всех остальных вероятностей в столбце матрицы, а в этих последних столбцах из них дополнительно вычитается v_x , учитывающая вход материала за пределы цепи из последнего столбца ее ячеек (рис. 1). Для $(n-1)$ -й строки ячеек в цепи и соответствующих ей элементах матрицы следует заменить $p_d = v_y + d_y$ на $p_d = v_f$, где v_f – вероятность пройти через сито для мелких частиц, достигших его поверхности, которая зависит от параметров колебаний классификатора и свойств, способов переплетений и толщины нитей, из которых изготавливается ситовая ткань. Эта вероятность определяется согласно методике, изложенной в [2].

Если материал подается на сито слева, то он поступает в ячейки цепи с номерами от 1 до $(n-1)$. В этом случае при равномерном распределении частиц мелкой фракции по входящему потоку материала вектор подачи S_f^k постоянен, имеет такой же размер, что и S^k , и содержит первые $(n-1)$ ненулевых элементов, рассчитываемых как $S_{fi}^k = Q \Delta t / (n-1)$.

Полный выход фракции в подрешетный и надрешетный продукт рассчитывается по формулам:

$$Q_{Yout}^k = Q_\varepsilon^k = \sum_{j=1}^m (S_{nj}^{k+1} - S_{nj}^k), \quad (6)$$

$$Q_{Xout}^k = \sum_{i=1}^{n-1} S_{i,nm}^k v_x. \quad (7)$$

Величина $\varepsilon(k)=Q^k_\varepsilon / Q$ определяет степень извлечения частиц проходовой фракции в подрешетный продукт, а величина $1 - \varepsilon(k)$ – засоренность мелкими частицами надрешетного продукта [3...5]. Таким образом, предложенная модель (1)...(7) позволяет рассчитывать технологические показатели процесса по локальным характеристикам движения материала над вибрирующей ситовой поверхностью.

Рис.2 иллюстрирует характеристики кинетики, рассчитываемые с помощью модели. В расчетах рассматривалась цепь 5x6 ячеек. На рис.2-а показана кинетика извлечения частиц мелких фракций за 60 временных переходов.

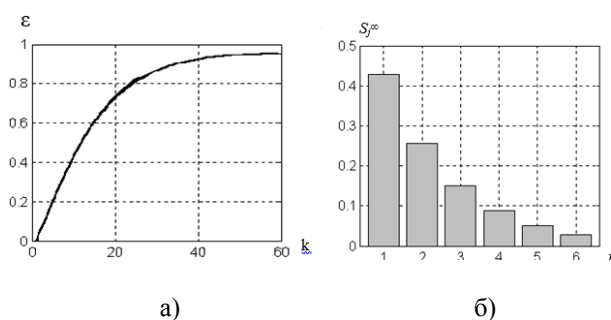


Рис. 2

В стационарном режиме работы в подрешетный продукт извлекается около 95% частиц проходовой фракции, а около 5% ее загрязняют надрешетный продукт.

Рис. 2-б иллюстрирует распределение содержания частиц проходовой фракции вдоль поверхности ситового полотна.

На рис. 3 оценено влияние производительности подачи на степень извлечения частиц проходовой фракции.

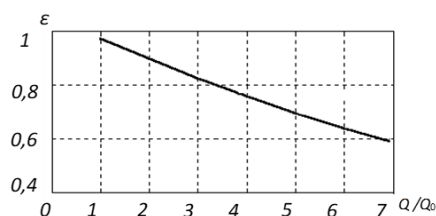


Рис. 3

С ростом производительности подачи происходит увеличение высоты слоя материала на сите, которое может быть учтено

через увеличение числа строк ячеек в модели. На рис.3 показано изменение степени извлечения ε от относительной производительности подачи Q/Q_0 , где Q_0 – производительность подачи, соответствующая одному ряду ячеек, который условно можно назвать монослоем. С ростом производительности подачи все большая доля частиц проходовой фракции остается в надрешетном продукте.

ВЫВОДЫ

Предложенная модель позволяет рассчитывать технологические показатели процесса фракционирования, отталкиваясь от его локальных состояний. Расчетные характеристики процесса и их изменение с изменением условий виброклассификации находятся в качественном соответствии с основными представлениями о его кинетике. Предлагаемая модель может описывать состояние и кинетику изменения состояния сыпучего материала на ситовой ткани, а также его массопотоки в подрешетный и надрешетный продукты отсева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Огурцов В.А., Алешина А.П., Огурцов А.В., Брик Е.Р. Кинетика фракционирования мелкодисперсных сыпучих материалов с применением ситовых тканых полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 1. С.201...204.
2. Мизонов В.Е., Огурцов В.А. и др. Процессы сепарации частиц в виброожиженном слое: моделирование, оптимизация, расчет. – Иваново: ИГЭУ, ИВГПУ, 2010.
3. Вайсберг Л.А., Картавый А.Н., Коровников А.Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения / Под ред. Л.А. Вайсберга. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2005.
4. Богданов В.С., Ильин А.С., Семикопенко И.А. Процессы в производстве строительных материалов. – Белгород: "Везелица", 2007.
5. Пелевин А. Е. Вероятность прохождения частиц через сито и процесс сегрегации на вибрационном грохоте // Изв. вузов. Горный журнал. – 2011, №1. С. 119...129.

REFERENCES

1. Ogurtsov V.A., Aleshina A.P., Ogurtsov A.V., Brik E.R. Kinetika fraktcionirovaniya melkodispersnykh sypuchikh materialov s primeneniem sitovykh

tkanykh poloten // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, № 1. S.201...204.

2. Mizonov V.E., Ogurtsov V.A. i dr. Protsessy separatsii chastits v vibroozhizhennom sloe: modelirovanie, optimizatsiya, raschet. – Ivanovo: IGEU, IVGPU, 2010.

3. Vaysberg L.A., Kartavyy A.N., Korovnikov A.N. Proseivayushchie poverkhnosti grokhotov. Konstruktsii, materialy, opyt primeneniya / Pod red. L.A. Vaysberga. – SPb.: Izd-vo VSEGEI. 2005.

4. Bogdanov V.S., Il'in A.S., Semikopenko I.A. Protsessy v proizvodstve stroitel'nykh materialov. – Belgorod: "Vezelitsa", 2007.

5. Pelevin A. E. Veroyatnost' prokhozhdeniya chastits cherez sito i protsess segregatsii na vibratsionnom grokhote // Izv. vuzov. Gornyy zhurnal. – 2011, №1. S. 119...129.

Рекомендована кафедрой архитектуры и строительства. Поступила 20.10.20.

УДК 687.016

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_138

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭПАТАЖНОГО ОБРАЗА
В СИСТЕМЕ ИМИДЖДИЗАЙНА КОСТЮМА**

**THE STUDY OF EPATAGE IMAGE CHARACTERISTICS
IN THE SYSTEM OF IMAGEDESIGN OF COSTUME**

Н.А. КОРОБЦЕВА, Ю.К. ОСТРОВСКИЙ, Е.С. ШИМОХИНА

N.A. KOROBTSEVA, YU.K. OSTROVSKY, E.S. SHIMOKHINA

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

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

E-mail: rrr-home@yandex.ru; kshimokhina@gmail.com

В статье приведено исследование характеристик эпатажного образа, отражен подход к созданию методики оценки меры эпатажности для любых объектов предъявления. Особое место занимает исследование и выявление значимых характеристик эпатажного образа. Результаты работы являются предпроектным инструментом для изучения меры эпатажности в дизайне коллекций одежды.

The article presents the study of epatage image characteristics and the approach to creating a method of definition of measure of shocking effect for any presented objects. The study of characteristics and selection of significant epatage image characteristics are especially important in the article. The results of this work are pre-design instrument for studying the measure of shocking effect in collections of clothes.

Ключевые слова: дизайн, проектирование костюма, имиджидизайн, эпатажный образ.

Keywords: design, costume design, image design, epatage image.

В условиях изобилия товаров, в частности, предложений по новым материалам для одежды, появляющихся из-за бурного развития технологий мировой текстильной отрасли, разнообразного рынка одежды, большого ассортимента предложения

различных производств (российского и зарубежного), перепроизводства аксессуаров как промышленного, так и эксклюзивного дизайнерского исполнения, имеется возможность креативно формировать имидж индивида – с одной стороны. С другой сто-

роны – сформированы (и продолжают развитие) уличные движения, субкультурные направления, которые своей задачей ставят уход от существующих норм и реальности, поиск альтернативных стилей жизни и путей самовыражения. В настоящее время, помимо создания массовой культуры, набирает популярность и представляет особую ценность формирование личной философии. Поэтому происходит всплеск создания индивидуальных имиджей с трансляцией личной концепции, отношения к миру. Иногда это реализуется в локальном бренде и становится не только стилем жизни отдельной персоны, но и поддерживается преемниками.

Под эпатажным образом понимается законченный оригинальный образ, отличный от общепринятого (нарушающий дресс-код), основанный на личной философии (убеждениях), способный привлечь внимание публики к определенной личности, теме или вопросу.

Под имидж-дизайном понимается дизайн с учетом импрессионных составляющих [1...3] или с учетом имиджформирующей информации, которую необходимо исследовать на предпроектной стадии проектирования, далее проект строит на ее основе.

Перед собой мы поставили задачу исследования эпатажного образа, определение поля характеристик, соответствующих ему, выявление значимых характеристик эпатажного образа. Известно, что суждение об увиденном и эмоциональное впечатление появляются у человека в течение первых нескольких секунд. Для выявления характеристик, соответствующих эпатажному образу, нами проведены 2 исследования.

Задачей первого исследования было определение поля характеристик, их группировка и выявление информативных групп, задачей второго – выявление характеристик, наиболее соответствующих эпатажному образу.

¹В ходе стартового эксперимента был выявлен большой массив характеристик, возникающих у участника на предъявляемый образ. В

Первый эксперимент основан на дизайн-методе тестирования привлекательности [4]. Согласно этому методу исследуются оценочные отклики людей на различные варианты дизайна. Во время тестирования испытуемые за короткий срок формулируют на отдельных карточках свое впечатление о предложенном образе. Далее исследуется частота встречаемости характеристик, происходит группировка положительных, нейтральных и негативных слов и фраз. Это позволяет установить конкретный, наиболее точный отклик на образ и скорректировать его в случае, когда характеристики указывают на недоработки.

Исследование проводилось среди специалистов (8 человек) разных возрастов (23...50 лет) в области создания костюма – дизайнеров и конструкторов одежды. Для каждого участника были подготовлены отдельный стол с ручками, чистыми карточками и изображения с эпатажными образами. Вначале давалась инструкция, потом предъявлялось первое изображение. Время не ограничивалось, но, как только участники заканчивали описание, карточки с характеристиками и изображения изымались. Затем повторялась инструкция, и выдавалось следующее изображение.

Инструкция испытуемому: "Добрый день, участники эксперимента! Сейчас мы выдадим Вам изображение с эпатажным образом (всего в эксперименте участвовало 4 карточки с образами)¹. Пожалуйста, приведите характеристики, которые, по вашему мнению, соответствуют предъявленному образу".

Для получения характеристик эпатажного образа, были подготовлены 4 объекта предъявления – изображения, на которых присутствовали Айрис Апфель и Хелена Бонем Картер. Личности были выбраны по принципу противоположности друг другу: один образ возрастной и стилиевой (образ Айрис Апфель, по нашему мнению, гламурный, модный, современный, а второй – Хелены Бонем Картер – исторический, гранж-вей).

связи с этим было принято решение не увеличивать количество карточек.

В эксперименте не участвовали постановочные фотографии, так как в них чаще всего используется общая тематическая стилизация и образ личности корректируется командой из фотографов, стилистов и заказчиков съемки под общую концепцию кадра. Поэтому для работы были отобраны кадры, где отображен образ личности, кото-

рый создается ею самостоятельно для посещения различных мероприятий.

В результате исследования были получены 73 характеристики по 4 этапажным образам. Для упрощения работы с характеристиками для них были созданы обобщающие тематические группы, которые представлены в колонках в порядке убывания.

Таблица 1

Тематические группы																
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Непредсказуемый	Притягивающий	Вкусный	Оригинальный	Создающий новое	Эклектичный	Призван вызвать реакцию	Насыщенный	Воодушевляющий	Свободный	Ноансированный	Кокетливый	Непонятный	Часть искусства	Городской	Дорогой
2	Граничащий с безумством	Отталкивающий	Со вкусом	Индивидуальный	Иновационный	Гламурный	Не живет без публики	Цветной	Вдохновляющий	Раскрепощенный	Соединяющий современность и прошлое	Смелый	Непростой	Творческий	Праздничный	
3	Неуместный	Привлекательный	Изысканный	Узнаваемый	Продуманный	Стильный	Публичный	Яркий	Мотивирующий	Открытый	Экспрессивный	Игривый	Четкий			
4	Вызывающий	Некрасивый	Тонкий	Необычный	Глубокий	Экстравагантный	Активный	Свежий	Вызывающий	Смелый	Микс	Веселый				
5	Выходящий за рамки	Неинтересный	Легкий	Неповторимый	Глупый	Делкатный	Повестующий									
6	Чрезмерный	Интересный	Острый	Гибкий	Умный											
7	Вычурный	Заманчивый														
8	Внезапный															
9	Резкий															
10	Крикливый															

В первой колонке (табл. 1 – характеристики этапажного образа) тематическая группа – "раздражающий эффект", характе-

ристики: непредсказуемый, граничащий с безумством, неуместный, вызывающий, выходящий за рамки, чрезмерный, вычур-

ный, внезапный, резкий, крикливый. Во второй колонке – "привлекательность образа": притягивающий взгляд, отталкивающий, притягивающий, привлекательный, некрасивый, неинтересный, интересный, заманчивый. В третьей колонке – "вкусовые метафоры": вкусный, со вкусом, изысканный, тонкий, легкий, острый. В четвертой колонке – "неповторимость образа": оригинальный, индивидуальный, узнаваемый, необычный, неповторимый, гибкий. В пятой колонке – "продуманность образа": создающий новое, инновационный, продуманный, глубокий, глупый, умный. В шестой колонке – "описание стиля": эклектичный, гламурный, стильный, экстравагантный, деликатный. В седьмой колонке – "контактирование с публикой": призван вызвать реакцию, не живет без публики, публичный, активный, повествующий. В восьмой колонке – "яркость образа": насыщенный, цветной, яркий, свежий. В девятой колонке – "мотивация публики": воодушевляющий, вдохновляющий, мотивирующий, вызывающий. В десятой колонке – "раскрепощенность": свободный, раскрепощенный, открытый, смелый. В одиннадцатой колонке – "приемы создания образа": нюансированный, соединяющий современность и прошлое, экспрессивный, микс. В двенадцатой колонке – "веселость образа": кокетливый, смешной, игривый, веселый. В тринадцатой колонке – "понятность образа": непонятный, непростой, четкий. В четырнадцатой колонке – "причастность к искусству": часть искусства, творческий. В пятнадцатой колонке – "место применения": городской, праздничный. В шестнадцатой колонке – "оценка образа": дорогой.

Наибольшим количеством – 10 характеристик, обладает тематическая группа, связанная с раздражающим эффектом; на втором месте – 7 характеристик, связанных с привлекательностью образа. Наименьшим количеством характеристик обладают группы: "место применения образов" и "причастность образов к искусству" – по 2 единицы, а также "оценка образа" – как единичная характеристика.

Среди полученных характеристик встречаются следующие антонимы:

в колонке таблицы номер 2 ("привлекательность образа"): притягивающий – отталкивающий, привлекательный – некрасивый, интересный – неинтересный; в колонке 5 ("продуманность образа"): умный – глупый; в колонке 13 ("понятность образа"): непонятный – четкий (табл. 1).

Таким образом, нами собрано 73 характеристики эпатажного образа; проведена смысловая группировка характеристик в тематические группы; выявлены наиболее информативные группы; применен дизайн-метод "тестирование привлекательности". Установлено, что эпатажный имидж вызывает противоположные суждения и разный спектр характеристик, в значительной мере является "говорящим, но противоречивым".

В эпатажном имидже показатель раздражительности имеет наибольшее количество характеристик. Это свидетельствует о необходимости умеренного использования эпатажирующих деталей костюма для достижения высокой позитивной оценки у окружающих. Разноплановость эпатажных имиджей и индивидуального восприятия вызывает противоположные характеристики. Несмотря на это, в целом позитивных характеристик у эпатажного имиджа больше, чем негативных. Участники эксперимента высоко оценили оригинальность и продуманность, публичность и раскрепощенность образов.

Во втором эксперименте поставлена задача выделить характеристики, наиболее соответствующие эпатажному образу. В ходе эксперимента определялась мера соответствия характеристик эпатажному образу и корреляционные зависимости.

Для эксперимента был выбран метод заочного анкетирования, который позволяет быстро собрать индивидуальные данные и составить шкалу соответствия характеристик эпатажному образу. Участникам исследования предлагалась анкета с характеристиками эпатажного образа, которые были получены в ходе первого эксперимента по дизайн-методу "тестирование привлекательности". Для точности исследования, виртуальная анкета была настроена таким образом, чтобы для каждого

участника характеристики перемешивались в случайном порядке. Разработка анкеты производилась в сервисе "гуглформы" [5], который позволяет проводить опросы среди людей через интернет. Это удобно тем, что в опросе легко могут принять участие люди из разных городов и стран, и, кроме того, они могут сами подобрать комфортное время для прохождения опроса. Анкета привязывается к аккаунту почты, где мгновенно сохраняются все изменения, а также ответы участников. Доступ к опросу для участников открывается по специальной ссылке.

Инструкция в начале анкеты: "Добрый день! В нашем исследовании "Феномен

эпатажности в имидждизайне костюма", необходимо выявить характеристики, наиболее соответствующие эпатажному образу. Под каждым представленным словом или фразой Вы увидите шкалу с баллами от 1 до 10, где 1 – характеристика не соответствует эпатажному образу, а 10 – полностью соответствует. Выберите степень их соответствия ЭПАТАЖНОМУ ОБРАЗУ".

Дополнительно участников просили указать свой возраст и принадлежность к сфере искусства и дизайна. Всего в анкетировании приняли участие 38 человек в младшей возрастной группе от 18 до 27 лет, из них 75% отметили, что их род деятельности связан с искусством.

Таблица 2

	Создающий новое	Притягивающий взгляд	Творческий	Оригинальный	Вызывающий	Необычный	Экспрессивный	Часть искусства	Привлекает внимание	Неповторимый	Раскрепощенный	Не живет без публики	Смелый	Индивидуальный	Свободный	Непросто	Интересный	Вызывающий эмоции	Экстравагантный	Удивит	Граничный с безумством	Выходящий за рамки	Непредсказуемый	Впечатный
N хар-ки / N хар-ки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	0,486	0,57	0,523	0,242	0,378	0,596	0,447	0,518	0,612	0,664	0,437	0,662	0,445	0,347	0,401	0,378	0,418	0,543	0,427	0,381	0,389	0,499	0,493
2		1	0,49	0,486	0,41	0,367	0,401	0,63	0,472	0,507	0,488	0,414	0,806	0,555	0,536	0,404	0,582	0,887	0,281	0,54	0,511	0,316	0,553	0,648
3			1	0,566	0,122	0,6	0,358	0,465	0,361	0,609	0,261	0,204	0,437	0,444	0,148	0,3	0,511	0,473	0,49	0,363	0,296	0,351	0,426	0,334
4				1	0,105	0,393	0,426	0,417	0,533	0,629	0,441	0,238	0,541	0,474	0,074	0,353	0,455	0,438	0,631	0,547	0,194	0,429	0,354	0,537
5					1	0,177	0,124	0,224	0,153	0,376	0,191	0,438	0,368	0,126	0,326	0,279	0,535	0,553	0,114	0,472	0,216	0,274	0,323	0,143
6						1	0,214	0,328	0,211	0,626	0,184	0,309	0,43	0,57	0,368	0,44	0,503	0,35	0,389	0,33	0,232	0,515	0,635	0,365
7							1	0,375	0,802	0,423	0,608	0,651	0,558	0,302	0,311	0,302	0,207	0,353	0,411	0,362	0,282	0,66	0,361	0,392
8								1	0,301	0,33	0,492	0,324	0,548	0,641	0,339	0,448	0,582	0,565	0,15	0,256	0,4	0,355	0,479	0,541
9									1	0,473	0,706	0,709	0,581	0,168	0,245	0,252	0,222	0,467	0,423	0,445	0,284	0,695	0,348	0,59
10										1	0,386	0,493	0,637	0,572	0,175	0,379	0,613	0,542	0,691	0,656	0,218	0,561	0,684	0,438
11											1	0,587	0,602	0,306	0,331	0,482	0,277	0,403	0,427	0,479	0,402	0,528	0,352	0,584
12												1	0,535	0,217	0,366	0,406	0,467	0,429	0,343	0,404	0,122	0,623	0,461	0,377
13													1	0,544	0,396	0,48	0,461	0,729	0,389	0,494	0,605	0,493	0,669	0,743
14														1	0,357	0,524	0,515	0,496	0,309	0,397	0,287	0,409	0,634	0,451
15															1	0,49	0,493	0,518	0,28	0,488	0,246	0,308	0,329	0,377
16																1	0,49	0,323	0,399	0,496	0,318	0,391	0,474	0,418
17																	1	0,672	0,469	0,687	0,119	0,401	0,546	0,302
18																		1	0,266	0,547	0,428	0,331	0,535	0,579
19																			1	0,75	0,114	0,47	0,297	0,247
20																				1	0,156	0,51	0,339	0,329
21																					1	0,245	0,387	0,647
22																						1	0,488	0,458
23																							1	0,513
24																								1

Ответы участников были занесены в табл. 2 (коэффициенты корреляции по характеристикам эпатажного образа со средними значениями $\geq 7,5$), где по каждой характеристике был произведен подсчет среднего балла, а сами характеристики были представлены по мере убывания. Это позволило выбрать характеристики с высокими баллами соответствия эпатажному образу и упростить математическую обработку данных.

Для математической обработки данных были отобраны характеристики со сред-

ними значениями больше, либо равно 7,5...24 единицы (рис. 1 – характеристики эпатажного образа со средними значениями $\geq 7,5$). В результате была получена таблица с коэффициентами корреляций [6] (табл. 2). В ней отображена симметричная матрица, поэтому вторая, зеркальная часть была удалена для простоты чтения.

В табл. 2 приведены выборочные значения коэффициентов корреляции r_{ij} ($i, j = \overline{1, 24}$) (частные выборочные коэффициенты корреляции не анализировались).

Значимость этих значений оценивалась статистикой $t = \frac{r_{ij} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{ij}^2}}$, имеющей распределение Стьюдента с $(n-2)$ степенями свободы. Квантиль такого распределения $t_C(\alpha, n-2)$, где α – уровень значимости нулевой гипотезы о равенстве 0 генерального коэффициента парной корреляции r_T , n – объем выборки, равен 1,7 (при $\alpha = 0,1, n = 24$) [7]. Гипотезу $r_T \approx 0$ на уровне значимости α принимают, если $|t| < t_C(\alpha, n-2)$. Следовательно, все значения r_{ij} , меньшие 0,3, будем считать незначимыми.

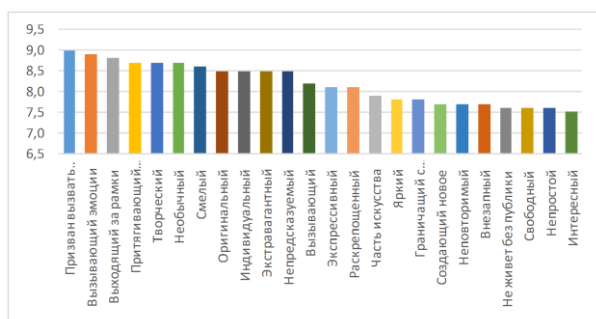


Рис. 1

Разберем результаты, полученные в табл. 2. Во всей таблице коэффициенты корреляций положительные, кроме 1 пары характеристик: вызывающий – оригинальный. Это говорит о положительном впечатлении от характеристик, об их общей взаимосвязи и усилении друг друга по отношению к эпатажному образу. Получены также положительные, но незначимые коэффициенты ($<0,3$) в парах характеристик: вызывающий – творческий, вызывающий – необычный, вызывающий – экспрессивный, вызывающий – призван вызвать реакцию, вызывающий – раскрепощенный, вызывающий – индивидуальный, вызывающий – экстравагантный, вызывающий – внезапный, оригинальный – свободный, оригинальный – граничащий с безумством, творческий – свободный, необычный – раскрепощенный, часть искусства – экстравагантный, призван вызвать реакцию – индивиду-

альный, неповторимый – свободный, интересный – граничащий с безумством, экстравагантный – граничащий с безумством, яркий – граничащий с безумством. В табл. 2 встречаются характеристики с высокой корреляционной зависимостью: притягивающий взгляд – смелый, экспрессивный – призван вызвать реакцию, призван вызвать реакцию – раскрепощенный, призван вызвать реакцию – не живет без публики, смелый – вызывающий эмоции, смелый – внезапный. Характеристики создающий новое, притягивающий взгляд, не живет без публики, смелый, непростой, вызывающий эмоции, выходящий за рамки, непредсказуемый – имеют значимый положительный коэффициент с каждой из остальных 23 характеристик.

ВЫВОДЫ

Полученный на первом этапе список не является случайным. Выявлено поле из 73 характеристик, определены 24 значимые характеристики, наиболее соответствующие эпатажному образу.

Получены характеристики с высокой корреляционной зависимостью: притягивающий взгляд – смелый, экспрессивный – призван вызвать реакцию, призван вызвать реакцию – раскрепощенный, призван вызвать реакцию – не живет без публики, смелый – вызывающий эмоции, смелый – внезапный.

Большинство характеристик имеют значимую корреляцию, что говорит о согласованности ответов участников эксперимента и соответствии характеристик эпатажному образу.

Полученное поле характеристик будет в дальнейшем введено в оценочные шкалы методики определения меры эпатажности костюма для любых объектов предъявления с различной мерой абстрактности и стилизации (от эскизов до готовой одежды).

ЛИТЕРАТУРА

1. Коробцева Н.А. Основы имидж-дизайна костюма. – М.: РИО МГУДТ, 2015.
2. Коробцева Н.А. развитие основ имидж-дизайна на базе современного инжиниринга // Сб. научн. тр.

VI-ого Междунар. науч.-технич. симпозиума: Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии СЭТТ – 2017 Международного научно-технического Форума "Первые международные Косыгинские чтения (11-12 октября 2017 года): Современные задачи инженерных наук. Т. 5 / М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. Симпозиум СЭТТ – 2017. ТОМ 5. – С.1245...1249. (участник, очно, сертификат не выдан)(РИНЦ)

3. Коробцева Н.А. Основные положения имидждизайна одежды для людей с ограниченными физическими возможностями // Дизайн и технологии. – 2014, №41. С. 37...42.

4. Мартин Б., Ханнингтон Б. Универсальные методы дизайна. – СПб.: Питер, 201.

5. <https://www.google.com/intl/ru/forms/about/>

6. Коробцева Н.А., Островский Ю.К., Бессчетнова Е.П. Исследование имиджформирующей информации в контексте имидждизайна славянских причесок// Вестник славянских культур. – 2017. Т.46. С. 268...285.

7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Юрайт, 2016.

REFERENCES

1. Korobtseva N.A. Osnovy imidzh dizayna kostyuma. – М.: RIO MGUDT, 2015.

2. Korobtseva N.A. razvitie osnov imidzh dizayna na baze sovremennogo inzhiniringa // Sb. nauchn. tr. VI-ogo Mezhdunar. nauch.-tekhnich. simpoziuma: Sovremennye energo- i resursosberegayushchie tekhnologii SETT – 2017 Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo Foruma "Pervye mezhdunarodnye Kosyginские chteniya (11-12 oktyabrya 2017 goda): Sovremennye zadachi inzhenernykh nauk. Т. 5 / М.: RGU im. A.N. Kosygina, 2017. Simpozium SETT – 2017. ТОМ 5. – С. 1245...1249. (uchastnik, ochno, sertifikat ne vydan)(RINTs)

3. Korobtseva N.A. Osnovnye polozheniya imidzh dizayna odezhdy dlya lyudey s ogranichennymi fizicheskimi vozmozhnostyami // Dizayn i tekhnologii. – 2014, №41. С. 37...42.

4. Martin B., Khanington B. Universal'nye metody dizayna. – SPb.: Piter, 201.

5. <https://www.google.com/intl/ru/forms/about/>

6. Korobtseva N.A., Ostrovskiy Yu.K., Besschetnova E.P. Issledovanie imidzhformiruyushchey informatsii v kontekste imidzh dizayna slavyanskikh prichesok// Vestnik slavyanskikh kul'tur. – 2017. Т.46. С. 268...285.

7. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika. – М.: Yurayt, 2016.

Рекомендована кафедрой дизайна костюма. Поступила 10.05.20.

UDC 646

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_144

MODELING OF DIGITAL TWINS OF HISTORICAL FASHIONABLE BODIES

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ МОДНЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ ФИГУР*

V.E. KUZMICHEV, A.YU. MOSKVIN, M.V. MOSKVINA

В.Е. 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: wkd37@list.ru

The influence of historical costume on contemporary culture and lifestyle is huge because the national memory and fashion history are major components in modern society which needs new forms and ways of historical costume presentation. Numerical dematerialization becomes the only way of saving, reconstruction, pre-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта №20-47-37006.

senting and shearing around the world culture heritage - the textiles and the costume as national and culture indicators. In history, fashionable human bodies had special silhouette and proportions due to special garments which were worn under upper clothes such corset, crinoline, and multilayer underwear. This study is devoted to new method of reconstruction outline shape of men and women historical fashionable bodies in the XIX century which were formed by means of different garments.

Влияние исторического костюма на современную культуру и образ жизни огромно по причине интереса в современном обществе к национальной памяти и истории моды как основным компонентам, которые нуждаются в новых формах и способах презентации исторического костюма. Цифровая дематериализация становится единственным способом сохранения, реконструкции, презентации и распространения в мире культурного наследия – текстиля и костюма как национального и культурного индикатора. В истории модные фигуры имели специфические силуэты и пропорции благодаря специальным носимым изделиям под верхней одеждой, такими как корсет, кринолин и многослойное нижнее белье. Это исследование посвящено разработке нового метода реконструкции внешней формы женских и мужских модных фигур XIX века, которые формировались с помощью различных изделий.

Keywords: historical costume, fashionable body, digital twin, corset, crinoline, body dimensions.

Ключевые слова: исторический костюм, модная фигура, цифровой двойник, корсет, кринолин, размерные признаки.

Major famous museums, universities and colleges are working on numerical dematerialization of historical costume to prepare multimedia, digital and online exhibitions. [1, 2] High-resolution images of historical costumes are being shared by the internet platforms, such as Google Arts and Culture project and Australian Dress Register. To get realistic looking digital twin (DT), three contributing factors - morphological features of historical fashionable bodies (HFB), methods of pattern block shaping, and properties of textile fabrics should be considered. In the history, fashionable shape of human body was constructed by means of special garments such as corset, crinoline and inner clothes and was the indicator of popular silhouette and proportions. The corset was inalienable part of women costume. The crinoline was other type of garment which played opposite role of increasing body sizes below waist. A number of underwear which were worn was different and also influenced on the body shape. So, a digital twin of HFB

should be formed under influence of mentioned garments as it historical prototype.

The aim of this research is to develop a computer method of generating DT of HFB of the 19th century by means of technologies of parametric 3D modeling.

In this study three digital twins were created – the native digital twin (NDT) in accordance with historical sizing systems; DT1 with native morphology as NDT but covering by underwear; deformed DT2 with changed morphology by means of corset and crinoline. All DT were generated by means of next software:

- AutoCAD to get vector and parameterized images;
- Clo3D for parametric modeling of NDT;
- Autodesk Inventor for parametric modeling of crinoline and DT deformed by corseting;
- 3DS MAX for generating DT1 and DT2.

All chosen software are completely compatible due to common export/import file formats, such as .obj, .fbx (for 3D objects) and .dxf (for 2D objects).

The scheme of men DT1 generation includes two steps: (1) generating NDT, (2) covering NDT by underwear. The scheme of women DT2 generation includes four steps: (1) generating NDT, (2) deforming a native avatar by corset, (3) covering a deformed twin by underwear, (4) putting underwear skirts on crinoline to get final DT2.

To generate old fashionable bodies in according with existing sizing systems, two types of resources were used – 35 published cutting systems which used by tailors in the XIX century (13 menswear and 22 womenswear) and authentic 62 corsets and 67 crinolines.

Body dimensions for DT generation were established after comparison 75 historical body dimensions and contemporary 31 body dimensions which were taken from Clo3D data base. The both schedules have been compared with each other to determine whether historical dimensions are sufficient to generate DT in contemporary software. Only 12 historical di-

mensions (36%) for men and 12 dimensions (29%) for women. are equal to contemporary ones. So, first part of fashionable body dimensions was used for DT modeling:

- for men DT - height, girths (chest, waist, hip, neck, wrist, thigh, knee, calf), back width;
- for women DT - height, girths (bust, waist, hip, neck, elbow, wrist), bust width, back width, arm length, shoulder width, and width of shoulders.

Chosen dimensions are enough to generate the basic structure of NDT for both genders.

Second part of fashionable bodies dimensions was extracted from authentic corsets and crinolines which were collected from museum exhibitions, patents and books [3...6]. Each garment had one or several elements or details with known sizes which can be measured exactly on its image. Figure 1 shows the schemes of corset and crinoline parameterization.

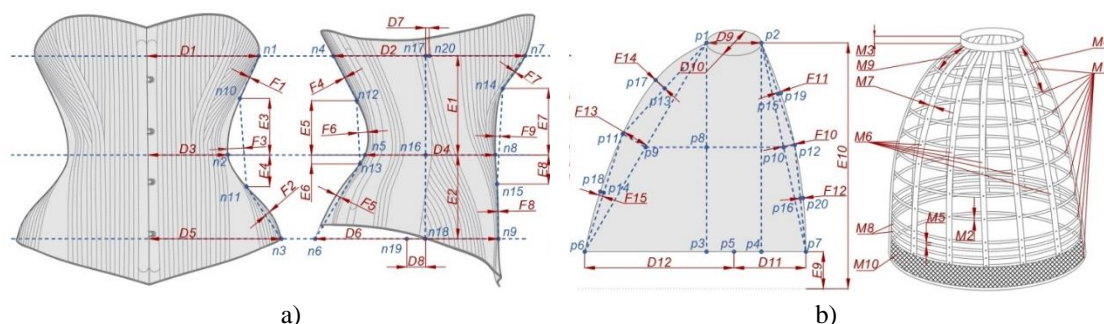


Fig. 1

As shown in Fig.1, to parameterize the both garments, next parameters were chosen:

for corset - horizontal D1...D8, vertical E1...E8 and sloping F1...F9 (Fig. 1, a);

for crinoline- horizontal D9...D12, vertical E9...E10 and sloping F10...F15 (Fig. 1, b).

Additionally, the schedule includes numerical

parameters: the number of hoops M1, M8, ribbons M6, and sections M10, several measurements M2...M5, M7...M10 (Fig. 1, b).

In total 25 parameters of corset and 22 parameters of crinoline were measured. Tables 1 and 2 shows measured parameters.

Table 1

Parameter	Description	Statistics	
		Range, mm	Average variable, %
Horizontal, mm			
D1	Bust front width	106.3...152.1	28.2
D2	Bust profile width	187.2...265.4	
D3	Waist front width	69.1...86.7	
D4	Waist profile width	122.9...191.6	
D5	Hip front width	111.2...190.1	
D6	Hip profile width	186.4...242.1	
D7	Displacement of bust cross-section	3.1...16.3	
D8	Displacement of hip cross-section	1.9...26.4	

Vertical, mm			
E1	Bust-waist distance	103.3...154.2	40.0
E2	Waist-hip distance	63.4...149.1	
E3	Distance between waist and fold of side contour	30.0...89.9	
E4		14.1...64.8	
E5	Distance between waist and fold of back contour	38.7...93.9	
E6		22.1...86.6	
E7	Distance between waist and fold of front contour	43.2...77.4	
E8		18.0...87.4	
Sloping, mm			
F1	Curvature of side contour	0.1...4.3	73.4
F2		0.2...5.1	
F3		3.6...22.5	
F4	Curvature of back contour	0.1...2.3	
F5		0.2...7.8	
F6		0.1...27.8	
F7	Curvature of front contour	0.5...3.3	
F8		0.2...2.9	
F9		1.3...18.6	

Table 2

Parameter	Description	Statistics	
		Range	Average variable, %
Vertical, mm			
E9	Bottom-floor distance	7.6...129	40.7
E10	Profile prominence of front contour	865...987	
Horizontal, mm			
D9	Waist profile width	168...229	137.8
D10	Waist front width	212...342	
D11	Front width	186...1203	56.5
D12	Back width	214...1203	
Sloping, mm			
F10	Curvature of front contour	0...167	89.5
F11		3...79	
F12		-12...46	
F13	Curvature of back contour	32...184	
F14		12...129	
F15		-17...51	
Numerical			
M1	Number of hoops	3...60	156.3
M2	Diameter of hoop's cross section, mm	4...37	
M3	Width of waistband, mm	14...42	
M4	Length of fastening, mm	0...9	
M5	Diameter of bottom hoops, mm	4...18	
M6	Number of ribbons	0...22	
M7	Width of ribbons, mm	12...68	
M8	Number of additional bottom hoops	0...5	
M9	Distance between waist and first hoop, mm	0...342	
M10	Number of sections covered with fabric	0...23	

As shown in Table 1 and Table 2, all parameters were changed significantly through the XIX century. The average variables of corsets (28.2 - 73.4%) are smaller than average variable of crinolines (40.7 - 156.3%). The two ranges of average variables indicate that the

crinoline shapes were more flexible, while the corset shapes were more stable.

For corsets, D-parameters measured along horizontal lines of bust, waist and hip are more stable (average variable is 28.2%), F-parameters which are indicating the sloping of side,

front, and back contours are more flexible (average variable is 73.4%).

For crinolines, parameters D11 and D12 shown that the volume of crinoline was changed in huge range (average variable is 56.5%) because the diameter of bottom hoop has changed in six times: from 400 to 2406 mm. The vertical parameters E9 and E10 were more stable (average variable is 40.7%). The number of hoops M1 was from three to 60 (average variable is 113.8%).

$$\text{Waist grith} \approx \pi 3 \left(D3 + \frac{D4}{4} \right) - \sqrt{\left(3D3 + \frac{D4}{2} \right) \left(D3 + 3 \frac{D4}{2} \right)}.$$

The diameter of bottom hoop of crinoline is equal to the sum of D11 and D12.

For modeling of women DT2, two modules of Autodesk Inventor were developed: first module allows to deform women torso under corsetting effect; second module allows to reproduce down part of women body under influence of crinoline. Fig.2 shows the structures of upper and down parts of women DT2.

The corsets deformed women bodies between bust and hip levels. Five cross-sections were chosen to describe the morphology of torso (Fig. 2-a): first one is in coronal (frontal) plane (thick dotted lines), second one is in midsagittal (profile) plane (thick dashed lines), and other three ones are in horizontal planes on bust, waist and hip (thick solid lines). The dimensions and configurations of all cross-sections were drawn in accordance with the similar cross-sections of 3D corset (Fig. 1-a; Table 1). Parameters D1, D3, D5, F1-F3, E3 and E4 were used to generate coronal cross section; parameters D2, D4, D6- D8, E1, E2, E5-E8 and F4-F8 - midsagittal cross section; D1-D6 - horizontal cross sections. The distances between horizontal cross sections on bust, waist and hip levels were adequate to D7 and D8 respectively.

Because the crinoline consisted from joined horizontal hoops and each hoop has torus shape with a solid of revolution, two cross-sections were drawn (Fig. 2-b). The first cross-section is in vertical midsagittal (profile) plane (thick dashed lines), and the second one

D-parameters have strong relationship with body dimensions: D1 and D2 are related to bust girth, D3 and D4 - to waist girth, D5 and D6 - to hip girth, and D11 and D12 - to diameter of crinoline's hemline. Since horizontal cross sections of body are similar to ellipses, their perimeters were calculated by Ramanujan's equation. For example, the waist girth of fashionable body was calculated by equation:

is in horizontal cross-section on waist level (thick dotted line). The dimensions and configurations of all cross-sections were drawn in accordance with corresponding average parameters of 3D crinoline (Fig. 1-d; Table 2). Parameters D11, D12, E9, E10 and F11-F15 have been used to draw midsagittal cross section, parameters D9 and D10 - horizontal cross section. The transformation of these cross-sections into 3D object had been done by rotating circular sections of the hoops around their axes (vertical thick solid lines). The ribbons which are joining the hoops have been designed by means of parametric array tool. The number of hoops and ribbons and their location are adequate to parameters M1-M10.

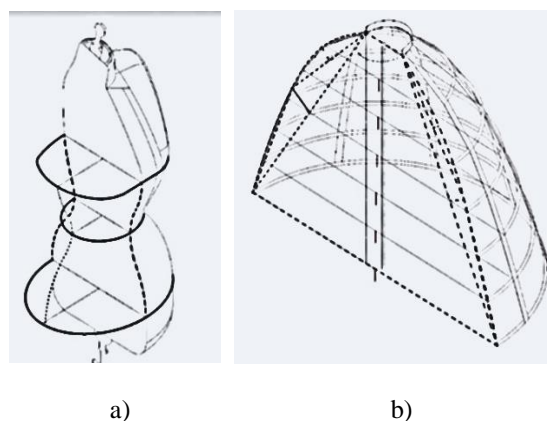


Fig. 2

The both modules allow to generated DT2 automatically in accordance with the inside and outside deformation and transformation of women bodies by corset and crinoline.

Generating of DT2 could be done in accordance or with the exact parameters of chosen corset and crinoline or average values of its parameters calculated from Table 1 and Table 2. Finally to obtain DT of HFB, next procedure was done:

1. NDT was builded in Clo3D with the same body dimensions as more typical historical prototype have had and which were taken from the sizing systems. The basic men dimensions of NDT were, cm: for man digital twin - height 172.7, chest 94, waist 71.1, and hip 96.5; for woman digital twin - height 167.6, bust 88.9, waist 61, and hip 112.

2. Corseted torso of DT2 was modeled in Autodesk Inventor as a copy of 3D corset by using the scheme as Figure 2, a, shown.

3. Crinoline was modeled after measuring its dimensions on front and profile views by Autodesk Inventor module. Parameters L1-L12 and M1-M10 (Fig. 1, b) were measured directly and were taken from the historical patent [7].

4. Three objects - NDT from Clo3D, DT with corseted torso and the crinoline from Autodesk Inventor - were uploaded into 3dsMAX.

5. The underwear were put on the both DT. The underwear were drafted in accordance with a historical pattern cutting system [8, 9]. The similar approach was used for reconstruction men coat [10].

Figure 3 shows DT1 and DT2 and its compasion with NDT.

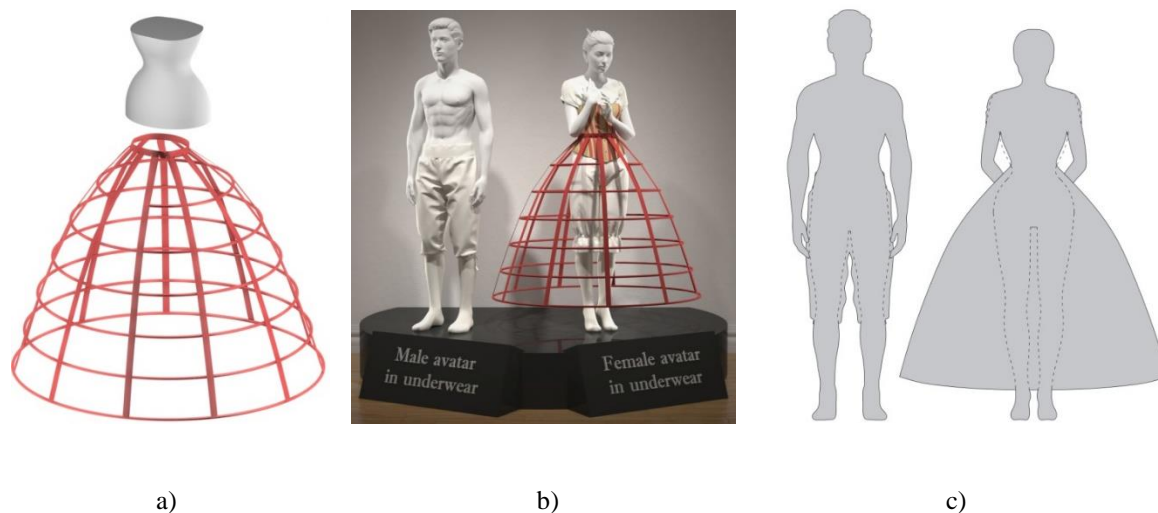


Fig. 3

Figure 3 shown that the contours of DT1 and DT2 (solid fill) are different from the silhouette of NDT (dashed lines). After covering men NDT by underwear its body dimensions didn't change greatly. Women NDT was changed due to the corset and crinoline which affected the body morphology and transformed it into fashionable.

The frontal contours obtained of 3D DT1 and DT2 present the HFB in the XIX century which are reflected many historical factors such as morphological features of historical fashionable bodies and popular garments which were worn under historical costume.

CONCLUSIONS

1. Original data base which are including the historical body dimensions from sizing systems as traditional sizes, on the one side, and the parameters extracted from authentic historical corsets and crinolines as new sizes, on the other side, was developed

2. An algorithm of generating realistic looking 3D digital twins of fashionable bodies including step-by-step deformation of upper part of native body by corset compressing and enlarging of down part by underwear and crinoline was developed.

3. Digital twins of historical fashionable men and women bodies which were popular in the XIX century have been generated by means of contemporary software programs AutoCAD, Clo3D, Autodesk Inventor and 3DsMax.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mode Museum Provincie Antwerpen. MoMu [Электронный ресурс] URL: <http://openfashion.momu.be/> (дата обращения 01.05.2020).

2. The Kyoto Costume Institute. The KCI official website. [Электронный ресурс] URL: <https://www.kci.or.jp/en/archives/> (дата обращения 01.05.2020).

3. Lynn E. Underwear fashion in detail. – London, V&A Publishing, 2010.

4. Takeda S.S., Spilker K.D. Fashioning fashion: European dress in detail, 1700-1915. – New York, Prestel USA, 2010.

5. Tate D.W. Method for making hoop skirts. Patent 2843851, US, 1854.

6. Holmes J.N.O. Lady s hooped skirt. Patent 22426, US, 1858.

7. Neumann C. Improvement in hoop-skirts. Patent RE1703E, US, 1864.

8. Scott A., Wilson J. A treatise on cutting garments to fit the human form. – New York, published by the author, 1841.

9. Hunter A.J. The garment cutter and ladies guide. – Glasgow, John Noble, 1853.

10. Чжан Ш., Шичао Ч., Кузьмичев В.Е. Получение цифровых двойников мужских фигур по изображениям и чертежам конструкций исторической одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №2. С.106...113.

REFERENCES

1. Mode Museum Provincie Antwerpen. MoMu [Электронный ресурс] URL: <http://openfashion.momu.be/> (дата обращения 01.05.2020).

2. The Kyoto Costume Institute. The KCI official website. [Электронный ресурс] URL: <https://www.kci.or.jp/en/archives/> (дата обращения 01.05.2020).

3. Lynn E. Underwear fashion in detail. – London, V&A Publishing, 2010.

4. Takeda S.S., Spilker K.D. Fashioning fashion: European dress in detail, 1700-1915. – New York, Prestel USA, 2010.

5. Tate D.W. Method for making hoop skirts. Patent 2843851, US, 1854.

6. Holmes J.N.O. Lady s hooped skirt. Patent 22426, US, 1858.

7. Neumann C. Improvement in hoop-skirts. Patent RE1703E, US, 1864.

8. Scott A., Wilson J. A treatise on cutting garments to fit the human form. – New York, published by the author, 1841.

9. Hunter A.J. The garment cutter and ladies guide. – Glasgow, John Noble, 1853.

10. Chzhan Sh., Shichao Ch., Kuz'michev V.E. Poluchenie tsifrovyykh dvoynikov muzhskikh figur po izobrazheniyam i chertezham konstruksiy istoricheskoy odezhdy // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, №2. S.106...113.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий ИВГПУ. Поступила 07.06.20.

**АНАЛИЗ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РЫНКА
ТОВАРОВ ИНДУСТРИИ МОДЫ ВО ВРЕМЯ ПАНДЕМИИ КОРОНАВИРУСА
ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ**

**ANALYSIS AND TRENDS IN THE DEVELOPMENT
OF THE FASHION INDUSTRY GOODS DURING THE CORONAVIRUS PANDEMIC
USING METHODS OF MATHEMATICAL STATISTICS**

О.В. КАЩЕЕВ, Д.Э. ЕРМОЛЕНКО

O.V. KASHCEEV, D.E. ERMOLENKO

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

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

E-mail: kasheev-ov@rguk.ru; ermolenko-de@rguk.ru

В статье проводится анализ современного состояния рынка индустрии моды во время пандемии коронавируса. Выявлены изменения в предпочтениях граждан и их влияние на производство и продажи модных товаров. Методы математического анализа, в частности метод, нормального распределения Гаусса, позволяет преодолеть сложности проведения полномасштабных социологических исследований во время пандемии и увеличить их эффективность.

The article analyzes the current state of the fashion industry market during the coronavirus pandemic. Changes in the preferences of citizens and their impact on the production of fashionable good and selling them were identified. Methods of mathematical analysis, in particular the Gaussian normal distribution method, are able to overcome the difficulties of conducting full-scale sociological research during a pandemic and increase its effectiveness.

Ключевые слова: рынок индустрии моды, пандемия коронавируса, модные товары, математический анализ, метод нормального распределения Гаусса.

Keywords: fashion industry market, coronavirus pandemic, fashionable products, mathematical analysis, Gauss normal distribution method.

Индустрия модных товаров и услуг на сегодняшний день понимается как быстро растущий сектор экономики, включающий в себя формирование у покупателей образа модной продукции, ее производство и реализация. Существует множество определений индустрии моды в зависимости от позиции автора к данному сегменту экономики, что показывает, насколько многогранно и разносторонне это явление. Упомянем несколько взаимодополняющих

определений понятия "мода" и проанализируем, как данная сфера поменялась в условиях пандемии коронавируса.

Мода представляет собой процесс кратковременного господства определенных форм, связанный с постоянной потребностью человека в разнообразии, новизне и окружающей действительности [1, с.4]. Мода обнаруживает множество систематических пересечений с этническим костюмом и в то же время формирует схему, опи-

раюющуюся на принципиально иные критерии и принципы [2, с.2].

"Индустрия моды – вершина айсберга легкой промышленности" [3, с.4]. Согласно данным официальной статистики рынок товаров легкой промышленности один из самых больших в непродовольственной сфере.

Модный рынок характеризуется, с одной стороны, сезонностью, динамичностью, глобальностью, инновациями в области материалов и технологий, а с другой – культурно-религиозными и национальными предпочтениями, историей, социокультурными и политическими течениями. Основными товарами модной индустрии являются одежда, обувь, аксессуары, технические средства (автомобили, смартфоны, компьютеры и т.д.). Мы остановимся на рынке товаров легкой промышленности.

Согласно данным, приведенным Fashion Consulting Group, по итогам 2020 г. объем российского fashion-рынка сократился на четверть (до 1,7 трлн. руб.). Его восстановление, по мнению экспертов, возможно только к 2025 г. Ритейлеры отмечают, что в данный кризис показатели могли быть в разы хуже, если бы не онлайн-продажи [4]. Объем рынка продаж в социальных сетях и мессенджерах на конец 2019 г. составил 590 млрд. руб. В 2020 г. из-за пандемии наблюдается его скачкообразный рост. Только за первое полугодие этот показатель составил 420 млрд. руб. [5].

На данную сферу оказывает влияние множество факторов, одним из них стал режим частичного локдауна, повлиявший на привычный образ жизни граждан. Проведенный анализ позволил выявить определенные тенденции, влияющие на рынок индустрии моды в период пандемии коронавируса.

Все социальные сети отметили, что во время дистанционного режима существенно возросла активность пользователей, и увеличилось количество рекламных материалов, а следовательно, и их влияние на модную индустрию. Вырос объем продаж через различные социальные сети и площадки электронной коммерции. Многие из них стали предоставлять больший спектр товаров и услуг, а не только возмож-

ности коммуникации и получения контента. Для того чтобы соответствовать требованиям электронных платформ, гражданам пришлось приобретать более современные гаджеты, удовлетворяющие этим техническим требованиям. Увеличились объемы продаж модных гаджетов и гарнитуры к ним, выросла данная статья семейных затрат.

Возросшая активность в сети Интернет, и, в частности, в социальных сетях, под влиянием дистанционного режима работы привела к увеличению востребованности интернет-ресурсов как площадки социальной активности и способа совершения модных покупок.

Уровень капитализации многих интернет-площадок, таких, например, как Ozon и Wildberries, существенно вырос. Оборот российского онлайн-ритейлера Ozon во втором квартале 2020 г. увеличился на 188% по сравнению с периодом прошлого года – до 45,8 млрд. руб. с НДС. Квартальный оборот превысил оборот 2018 г. За первое полугодие оборот вырос на 152% – до 77,4 млрд. руб. Если говорить о Wildberries, то их оборот во втором квартале вырос на 123%, а объемы продаж превышают Ozon более чем вдвое [6].

Проведенное исследование позволило выявить, что в период пандемии коронавируса и ограниченного локдауна, изменились предпочтения граждан. Еще больше возросла популярность идей, связанных с бодипозитивом, гендерным равенством, экологичностью товаров и продуктов, увлечение спортом и зож, и таким явлением, как кастомизация. Все они оказали влияние на структурное изменение рынка индустрии моды.

Бодипозитив – принятие себя вместо стремления к соответствию модным идеалам. Многие бренды, не соответствующие данной тенденции, получили негативные отклики возмущенной общественности и были вынуждены изменить свое позиционирование (что, например, произошло с Victoria's Secret). Стали более востребованными такие стили, как Casual (повседневный), а его направления – бизнес-кэжуал и смарт-кэжуал активно вытесняют привыч-

ный для нас классический официальный стиль. На первом месте у их носителей стоит не строгое следование стандартным правилам, а удобство, комфорт, близость к домашней одежде.

Говоря о принятии себя и комфорте, стоит отметить, что гендерно-нейтральная одежда сегодня стала актуальной тенденцией. Многие люди стараются не ассоциировать себя с набором гендерных качеств, благодаря чему модная индустрия активно пополняется товарами Unisex. Многие марки выпускают гендерно-нейтральные базовые вещи или одежду, которую можно назвать как мужской, так и женской (например, Zara или H&M).

Темы экологии и защиты природы тоже стали в большей степени волновать граждан, что также отразилось на моде. Данные проблемы часто обсуждаются лидерами мнений, а вещи из современных экологических материалов и натуральных волокон стали в приоритете перед потребителями. В связи с этим различные модные бренды перешли на более экологичное производство, стали сокращать использование пластика, синтетических волокон и т.д. Компании стараются находить больше способов с целью уменьшения ущерба окружающей среды. Этот же тренд наблюдается и в упаковке. На данный момент ведутся разработки и массово внедряются пакеты и бутылки из сахарного тростника и крахмала, водорослей, которые биоразлагаемы и безвредны для животных.

Процесс кастомизации нашел свое отражение в индустрии моды. Кастомизация помогает потребителям создать свою уникальную вещь и неповторимый стиль в одежде. Многие люди, имея больше свободного времени, стали заниматься преобразованием своих старых или новых вещей. Индивидуализация стиля и создание своей уникальной "моды" стали популярны в социальных сетях, появилось больше пользователей, которые показывают свои творения или даже предоставляют услуги по созданию эксклюзивной одежды.

Темы спорта и здорового образа жизни являются модным и важным направлением развития общества. В период пандемии

речь идет уже не просто о поддержании формы и уходом за собой, но и за отслеживанием состояния организма, сердечным ритмом и профилактикой вирусных заболеваний. В связи с этим востребованность таких модных товаров, как фитнес-трекеры, умные часы и наушники в период пандемии коронавируса еще больше выросла. Многие люди стали чаще скачивать различные приложения для поддержания здоровья и занятия фитнесом в связи с невозможностью посещения фитнес-клубов и тренажерных залов.

В условиях карантинных ограничений увеличились сложности при проведении социологических исследований с целью выявления тенденций в модной индустрии. Практически невозможно провести полномасштабное исследование, как всей генеральной совокупности, так и достаточно большой репрезентативной выборки. Улучшить качество социологических исследований и повысить их точность возможно при применении математических методов статистики. Одним из наиболее признанных и часто применяемых является метод нормального распределения случайной величины.

Невозможность исследования всей генеральной совокупности и достаточно большой и репрезентативной выборки преодолевается при помощи различных методов математической статистики, например, бутстреп метода.

Преодолеть недостатки данного метода в виде больших вычислительных затрат и псевдонезависимости производимых переборок (не говоря уже о том, что во время пандемии бывает иногда невозможно провести любое исследование) позволяет использование закона распределения Гаусса или, как его еще называют, закон нормального распределения случайной величины. Он используется во многих различных областях жизни общества, значимое место занимает в физике, экономике и социологии. Нормальному распределению подчиняются почти все случайные величины, отклонение которых от средних значений вызывается большой совокупностью случайных факторов, каждый из которых в отдельности незначителен [7, с. 29].

Распределение теста Стенфорда-Бине о частоте роста 8585 взрослых людей, родившихся в Англии в XIX веке, является отражением нормального распределения [8, с.98]. Это точное представление частот распределения значений при действии большого числа различных переменных. Тест Стенфорда-Бине послужил отправной точкой применения в индустрии моды закона нормального распределения при планировании размерно-ростовочных характеристик, что в своей практике используют производители и продавцы товаров модной индустрии при производстве продуктов с различным размерным рядом или, например, ценовым диапазоном.

Согласно данным, опубликованным на сайте "Наука", развитие всех эпидемий в мире, включая и коронавирус, также происходит по нормальному распределению [9].

В проведенном эмпирическом исследовании – анкетирование – участвовали 50 человек. Это выпускники РГУ имени А. Н. Косыгина по направлениям "Реклама и связи с общественностью в индустрии моды" и "Дизайн", тесно связанные с модными тенденциями, продвижением товаров в данном сегменте. При этом 56% участников анкетирования работают в данной сфере.

В ходе исследования был получен ряд данных, подтвердивших наши сделанные выше выводы о тенденциях развития рынка товаров индустрии моды:

- 62% респондентов оказывают предпочтение темам бодипозитива, экологичности материалов, спорту, зож, гендерному равенству, 34% – относятся нейтрально к данным темам, при этом всего 4% опрошенных указали, что относятся негативно;

- 84% опрошенных согласились с тем, что стали проводить больше времени в социальных сетях, при этом 12% сообщили, что для них ничего не изменилось, а 4% респондентов стали меньше времени тратить на сети;

- наиболее часто используемыми социальными сетями и мессенджерами были названы: Instagram, Вконтакте, TikTok, Pinterest, Twitter, WhatsApp, Skype, Telegram;

менее популярны были ответы: Facebook, LinkedIn, Вайбер;

- 48% респондентов испытывали технические сложности, связанные как с качеством услуг, предоставляемых интернет-провайдерами, так и с качеством/мощностью установленного дома компьютерного оборудования, 42% отметили, что не испытывали подобных сложностей, 10% указали, что их потребность в технике понизилась;

- 36% опрошиваемых приобрели более совершенные и модные технические средства или дополнительные средства связи для поддержания работы платформ, 58% указали, что задумываются об этом или планируют совершить покупку для решения этой проблемы, а 6% отметили, что удовлетворены своим техническим оснащением;

- большинство опрошиваемых (56%) указали, что у них увеличился уровень лояльности к сети Интернет, как к площадке для совершения покупок, 44% отметили, что их отношение не изменилось;

- 28% респондентов отметили, что стали тратить больше денег на покупку модных товаров (смартфоны, одежда, обувь и др.), 54% планируют совершить новые покупки позже, у 18% участников анкетирования не произошло серьезных изменений.

В процессе проведения эмпирического исследования мы регулярно наблюдали, что полученные ответы анкетирования практически соответствуют нормальному распределению. Покажем это на примере вопроса № 12 - "Сколько денег Вы тратите на товары модной индустрии в среднем в месяц во время пандемии?".

Были получены следующие исследовательские материалы:



Рис. 1

Данные, представленные на рис. 1 (график расходов на товары модной индустрии во время пандемии за месяц), позволяют утверждать, что в среднем участники анкетирования тратят 5000...20000 руб. на модные товары. Это говорит о том, что вне зависимости от уровня дохода, общество тратит много средств на товары индустрии моды. Внешний вид графика напоминает нормальное распределение.

Рассмотрим также вопрос № 16 - "Стали ли Вы чаще приобретать товары индустрии моды в сети Интернет? (где 1 – ничего не изменилось, а 5 – стал постоянно совершать покупки в сети Интернет)". В результате обработки ответов респондентов на вопрос анкеты получены следующие исследовательские данные, которые также отражают нормальное распределение: большинство опрошенных (70%) отметили частоту совершения покупок в сети Интернет как 3...4 балла. 12% отметили высший балл, в то время как всего 18% указали цифры в интервале от 1 до 2.

Проведенное эмпирическое исследование подтвердило предположение о том, что исследование рынка моды можно изучить с помощью нормального распределения Гаусса, а также выявить с его помощью прогнозы его развития.

Использование нормального распределения, как и других математических методов, увеличивает эффективность проводимых социологических исследований и позволяет:

- существенно сократить объем выборки, которая будет репрезентативно отражать генеральную совокупность;
- экстраполировать полученные результаты;
- преодолеть сложности проведения полномасштабных социологических исследований во время пандемии и заменить их кривой нормального распределения Гаусса.

Проведенное теоретическое и эмпирическое исследование с применением методов математической статистики позволило осуществить анализ и выявить следующие тенденции развития рынка товаров индустрии моды во время пандемии коронавируса:

- возросла популярность идей, связанных с бодипозитивом, гендерным равенством, экологичностью товаров и продуктов, увлечение спортом и зож, процессом кастомизации. Все они оказали влияние на структурное изменение рынка индустрии моды;

- возросшая активность в сети Интернет, и, в частности, в социальных сетях, под влиянием дистанционного режима привела к увеличению востребованности интернет-ресурсов и доверия к ним, как площадке социальной активности и способа совершения модных покупок;

- произошел скачкообразный рост онлайн-продаж в социальных сетях и мессенджерах при общем сокращении объема продаж российского fashion-рынка;

- наблюдается рост влияния на индустрию моды таких социальных сетей, как Instagram, TikTok, Pinterest;

- чтобы соответствовать требованиям электронных платформ, гражданам пришлось приобретать более современные технические средства связи. Увеличились объемы продаж модных гаджетов и гарнитуры к ним, выросла данная статья семейных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каминская Н.М. История костюма. – М.: Легкая индустрия, 1977.
2. Васильева Е. Система традиционного и принцип моды // Теория моды: тело, одежда, культура. – 2017, № 43. С. 1...18.
3. Кащеев О.В. Глобализация против Регионализации // Текстильная промышленность. – 2003, №3. С. 22...25.
4. <https://www.souzlegprom.ru/ru/press-tsentr/novosti/novosti-otrasli/4985-fashion-consulting-fashion-rynok-suzilsya-na-chetvert.html> (дата обращения 14.01.2021)
5. https://tpprf.ru/ru/interaction/committee/council_ecommerce/news/368594/ (дата обращения 14.01.2021)
6. <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2020/09/03/838679-prodazhi-ozon-virosli-pochti-vtroe> (дата обращения 16.01.2021)
7. Дмитриева М.В. Теория вероятностей и математическая статистика. – Ульяновск: УлГУ, 2011.
8. Гласс Дж. Статистические методы в педагогике и психологии / Пер. с англ. Л.И. Хайрусовой, науч. ред. Ю.П. Адлера. – М.: Прогресс, 1976.
9. <https://tjournal.ru/science/155655-prognoz-pandemii-koronavirusa-normalnoe-raspreделение> (дата обращения 16.01.2021)

REFERENCES

1. Kaminskaya N.M. Istoriya kostyuma. – M.: Legkaya industriya, 1977.
2. Vasil'eva E. Sistema traditsionnogo i printsip mody // Teoriya mody: telo, odezhda, kul'tura. – 2017, № 43. S. 1...18.
3. Kashcheev O.V. Globalizatsiya protiv Regionalizatsii // Tekstil'naya promyshlennost'. – 2003, №3. S. 22...25.
4. <https://www.souzlegprom.ru/ru/press-tsentr/novosti/novosti-otrasli/4985-fashion-consulting-fashion-rynok-suzilsya-na-chetvert.html> (data obrashcheniya 14.01.2021)
5. https://tpprf.ru/ru/interaction/committee/council_ecommerce/news/368594/ (data obrashcheniya 14.01.2021)
6. <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2020/09/03/838679-prodazhi-ozon-virosli-pochti-vtroe> (data obrashcheniya 16.01.2021)
7. Dmitrieva M.V. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika. – Ul'yanovsk: UIGU, 2011.
8. Glass Dzh. Statisticheskie metody v pedagogike i psikhologii / Per. s ang. L.I. Khayrusovoy, nauch. red. Yu.P. Adlera. – M.: Progress, 1976.
9. <https://tjournal.ru/science/155655-prognoz-pandemii-koronavirusa-normalnoe-raspredelenie> (data obrashcheniya 16.01.2021)

Рекомендована кафедрой социологии и рекламных коммуникаций. Поступила 10.02.21.

УДК 539.434:677.494

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_157

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
ПРОЦЕССОВ РЕЛАКСАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ
ХИРУРГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ
ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ***

**MATHEMATICAL MODELING AND SYSTEM ANALYSIS
OF THE PROCESSES OF RELAXATION OF TEXTILE ELASTOMERS
OF SURGICAL PURPOSES FOR A QUALITATIVE ASSESSMENT
OF THEIR FUNCTIONAL AND OPERATIONAL PROPERTIES**

Н.В. ПЕРЕБОРОВА, А.Г. МАКАРОВ, Е.А. БУРЯК, А.А. МАКАРОВА, М.И. АЛЕКСАНДРОВА
N.V. PEREBOROVA, A.G. MAKAROV, E.A. BURYAK, A.A. MAKAROVA, M.I. ALEKSANDROVA

(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; sjc426@mail.ru

В статье описываются методы математического моделирования и системного анализа процессов релаксации полимерных текстильных эластомеров для хирургической имплантации. Математическое моделирование и последующий системный анализ указанных материалов позволяет провести качественную оценку функциональных и эксплуатационных возможностей хирургических имплантатов, что особенно важно на стадии их проектирования и организации производства.

The article describes the methods of mathematical modeling and systemic analysis of the processes of relaxation of polymer textile elastomers for surgical implantation. Mathematical modeling and subsequent system analysis of these materials makes it possible to conduct a qualitative assessment of the functional and operational capabilities of surgical implants, which is especially important at the stage of their design and organization of production.

Ключевые слова: текстильные эластомеры, релаксация, функциональные свойства, эксплуатационные свойства, математическое моделирование, системный анализ, качественная оценка.

* Работа финансировалась в рамках выполнения базовой части государственного задания Минобрнауки РФ, Проект № FSEZ-2020-0005.

Keywords: textile elastomers, relaxation, functional properties, operational properties, mathematical modeling, system analysis, high-quality assessment.

Текстильные эластомеры находят все более широкое применение в медицине, где чаще всего они используются для укрепления ослабших внутренних тканей человека при грыжах и механических повреждениях. Этим вызван возрастающий интерес к исследованию функциональных и эксплуатационных свойств этих материалов. Важными функциональными свойствами текстильных эластомеров во время эксплуатации являются их релаксационные свойства. Именно поэтому следует уделять особое внимание изучению релаксационных свойств указанных материалов через математическое моделирование и системный анализ их процессов релаксации.

Исходными данными для построения математической модели релаксации текстильных эластомеров является эксперимент. С помощью приборов релаксметров напряжения исследуются образцы эластомеров. Закрепленные в приборе образцы (как правило, базовой длины 10 см) удлиняются на величину деформации ε , %. Далее в определенные периоды времени снимаются показания изменяющегося напряжения σ , МПа. По данным проведенного эксперимента в логарифмическо-временной шкале приведенного времени строится "семейство" кривых релаксации, то есть "семейство" кривых зависимости напряжения σ от логарифма приведенного времени для разных уровней постоянной деформации ε .

Далее указанное "семейство" кривых релаксации на основе формулы:

$$E(\varepsilon, t) = \sigma(t)/\varepsilon \quad (1)$$

перестраивается в "семейство" кривых модуля релаксации $E_{\varepsilon t} = E(\varepsilon, t)$.

Моделирование релаксации проводится на основе принципа деформационно-временной аналогии, когда "семейство" кривых модуля релаксации (σ – напряжение, ε – деформация, t – время), построенное по логарифмической шкале приведенного времени $\ln(t/t_1)$ (t_1 – некоторое фиксирован-

ное значение "базового" времени), путем параллельных сдвигов вдоль логарифмическо-временной шкалы накладывается на некоторую "обобщенную" кривую релаксации, задаваемую нормированной функцией $\varphi(\ln(t/t_1))$.

При этом в качестве нормированной функции φ , как правило, выбирают одну из следующих 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)

$$\varphi = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg\left(\frac{1}{b_n} \ln \frac{t}{\tau}\right), \quad (3)$$

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)

$$\varphi = 1 - e^{-(t/\tau)^{k_n}} \quad (5)$$

и некоторые другие (здесь a_n , b_n , A_n , k_n – структурные коэффициенты, характеризующие интенсивность процесса релаксации).

При этом аппроксимация модуля релаксации $E_{\varepsilon t} = E(\varepsilon, t)$ с помощью какой-нибудь нормированной релаксационной функции $\varphi_{\varepsilon t} = \varphi(\varepsilon, t)$ типа (2)...(5) будет

иметь следующий вид:

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty)\varphi_{\varepsilon t}, \quad (6)$$

где E_0 – модуль упругости, E_∞ – модуль вязкоупругости.

При этом, если в качестве релаксационной функции $\varphi_{\varepsilon t}$ выбрать интеграл вероятностей ИВ, то формула (6) примет вид:

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{1}{a_{n\varepsilon}} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} - \frac{z^2}{2}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (7)$$

В случае выбора других релаксационных функций, получаем [5...8]:

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{b_{n\varepsilon}} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right) \right). \quad (8)$$

для функции НАЛ,

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty) \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{th} \left(\frac{A_{n\varepsilon}}{2} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right) \right). \quad (9)$$

для функции ГТ и

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty) \left(1 - e^{-\left(t/\tau_\varepsilon\right)^{k_{n\varepsilon}}} \right). \quad (10)$$

для функции ФК.

В формулах (7)...(10): τ_ε , – время релаксации, зависящее от деформации ε ; константы $a_{n\varepsilon}$, $b_{n\varepsilon}$, $A_{n\varepsilon}$, $k_{n\varepsilon}$ – характеризуют интенсивность процесса релаксации и зависят от свойств исследуемого образца текстильного эластомера; индекс n указывает на то, что выбрана нормальная логарифмическая шкала приведенного времени.

Несомненным достоинством моделей (6)...(10) является то, что они содержат наименьшее возможное число параметров, имеющих определенный физический смысл:

- $E_0 = \lim_{t \rightarrow 0} (\sigma(\varepsilon, t)/\varepsilon)$ – модуль упругости, характеризующий квазимгновенное значение модуля релаксации, то есть его значение в начале процесса релаксации;

- $E_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} (\sigma(\varepsilon, t)/\varepsilon)$ – модуль вязкоупругости, характеризующий квазиравновесное значение модуля релаксации, то есть его значение в конце процесса релаксации;

- структурные параметры $a_{n\varepsilon}$, $b_{n\varepsilon}$, $A_{n\varepsilon}$, $k_{n\varepsilon}$ характеризуют скорость (интенсивность) процесса релаксации;

- время релаксации $\tau_\varepsilon = \tau(\varepsilon)$ характеризует время прохождения половины процесса релаксации при заданном значении деформации ε .

Учитывая, что модуль релаксации определяется формулой (1), получаем простейшие выражения для прогнозирования изменения напряжения при релаксации [9...12]:

$$\sigma(\varepsilon, t) = E_0 \varepsilon - (E_0 - E_\infty) \varepsilon \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{1}{a_{n\varepsilon}} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} - \frac{z^2}{2}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (11)$$

для функции ИВ,

$$\sigma(\varepsilon, t) = E_0\varepsilon - (E_0 - E_\infty)\varepsilon \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg \left(\frac{1}{b_{n\varepsilon}} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right) \right) - \quad (12)$$

для функции НАЛ,

$$\sigma(\varepsilon, t) = E_0\varepsilon - \frac{E_0 - E_\infty}{2} \varepsilon \left(1 + \operatorname{th} \left(\frac{A_{n\varepsilon}}{2} \ln \left(\frac{t}{\tau_\varepsilon} \right) \right) \right) - \quad (13)$$

для функции ГТ и

$$\sigma(\varepsilon, t) = E_0\varepsilon - (E_0 - E_\infty)\varepsilon \left(1 - e^{-\left(t/\tau_\varepsilon\right)^{k_{n\varepsilon}}} \right) - \quad (14)$$

для функции ФК.

Формулы (11)...(14) являются простейшими и не учитывают наследственного характера процесса релаксации, поэтому ими можно пользоваться только для контроля получаемых характеристик релаксации.

Для прогнозирования сложных релаксационных процессов с изменяющимся во времени значением приложенной деформации ε следует пользоваться определяющим интегральным соотношением Больцмана-Вольтерра, которое имеет следующий вид [13...17]:

$$\sigma_t = E_0\varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \int_0^t \varepsilon_\theta \phi'_{\varepsilon; t-\theta} d\theta, \quad (15)$$

где t – время, ε_t – деформация, σ_t – напряжение, E_0 – модуль упругости, E_∞ – модуль вязкоупругости, $\phi'_{\varepsilon t}$ – ядро релаксации, соответствующее одной из нормированных функций (2)...(5), либо аналогичных [18...22].

На основе численного решения интегрального уравнения (15) осуществляется прогнозирование процессов релаксации текстильных эластомеров. Полученные численные характеристики изменяющегося напряжения в ходе процесса релаксации текстильных эластомеров могут быть использованы для проведения качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств указанных материалов на основе системного анализа этих свойств [23...28].

ВЫВОДЫ

1. Для описания процессов релаксации текстильных эластомеров предложены четыре варианта математических моделей.
2. Разработаны методы численного прогнозирования процессов релаксации текстильных эластомеров с учетом предложенных вариантов математических моделей.
3. Предложены варианты проведения качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств текстильных эластомеров на основе системного анализа этих свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров А.Г. Контроль параметров нелинейно-наследственных ядер релаксации и запаздывания синтетических нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 2. С.12...16.
2. Макаров А.Г. Определение аналитической взаимосвязи нормированных ядер релаксации и ползучести в линейной теории вязкоупругости текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, № 2. С. 13...17.
3. Макаров А.Г., 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 Phys-

ical 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, Issue 12, 2013. P.1829...1847.

6. *Макаров А.Г., 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 темпе-

ратуры // 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 ара-

мидных 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, Issue 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. Matematicheskoe modelirovaniye i komp'yuternoye 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. Modelirovaniye i raschetnoye

prognozirovaniye 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 modelirovaniye i komp'yuternoye prognozirovaniye 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. Prognozirovaniye 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 shnurrov 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 modelirovaniye 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. Modelirovaniye 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'yuternoye prognozirovaniye 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 vyazkouprugoy 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 05.07.19.

УДК 677.071.252.4:620.177

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_163

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛЬНЯНОЙ НИТИ С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ МАШИН

INTERACTION OF THE LINEN STRING WITH WORKING BODIES OF MACHINES

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

Изложены теории взаимодействия нитей с рабочими органами машин. Дан метод и способ определения жесткости нити при изгибе. Приведены расчеты льняных нитей.

Theories of interaction of strings with working bodies of machines are stated. The method and a way of definition of rigidity of a string is given at a bend. Calculations of linen strings are given.

Ключевые слова: льняная пряжа, натяжение, изгиб, жесткость, контакт.

Keywords: a linen yarn, tension, bend, rigidity, contact.

В прошлом льняная отрасль текстильной промышленности страны развивалась если не столь успешно как, например, хлоп-

чатобумажная или шерстяная, но постепенно сокращалась технологическая отсталость в производствах отрасли. В настоя-

щее время наблюдаем полный упадок и разрушение. Сейчас фонд Сколково объявил о "технологической революции в льняной отрасли". Нашему вниманию представляют уникальный, не имеющий аналогов в мире, совместный проект "Унифицированное льноволокно (УЛВ). Технология производства", способный заменить хлопковое волокно не только на российском рынке, но и бросить вызов передовым технологическим решениям в мире. На наш взгляд, предлагаемая программа лишена практического смысла. Но как бы то ни было, речь идет о технологии льняных изделий: пряжи, ткани, трикотажа. Правильный выбор нити может и должен быть сделан для конкретных условий, при которых происходит формирование ткани или трикотажа на машине. Одному из наиболее распространенных явлений при переработке льняной пряжи – взаимодействию нити с рабочими органами машин – посвящена данная статья. В тексте нет различия между нитью и пряжей, рассматриваемых как одномерный континуум (сплошная среда, в которой исследуются процессы при различных внешних условиях).

Еще в 1775 г. Леонард Эйлер получил решение задачи о равновесии абсолютно гибкой нити на шероховатой поверхности кругового цилиндра при заданных активных силах, коэффициенте трения μ и предположении, что силы трения подчиняются закону Амонтона. Формула Эйлера записывается в виде

$$T_2 = T_1 e^{\mu\varphi}, \quad (1)$$

где T_1 – натяжение (ведомой) набегающей ветви нити; T_2 – натяжение сбегающей (ведущей) ветви нити; φ – угол охвата нитью цилиндра. При расчете гибкой нити предполагается, что из внутренних сил в ней возникает лишь осевая сила – натяжение T . Но текстильная нить и, как следствие, любой текстильный материал существует лишь потому, что в ней даже при отсутствии внешней нагрузки реально присутствуют натяжения волокон, перерезывающие силы, контактная нагрузка между волокнами, внутренние изгибающие и крутя-

щие моменты. Поэтому механика гибкой нити не описывает ни качественно, ни количественно взаимодействие нити с рабочими органами текстильных машин, когда значительное влияние на форму и натяжение нити оказывает жесткость при изгибе и кручении. Жесткость традиционных текстильных нитей довольно мала по сравнению с жесткостью конструкционных материалов, и зачастую ее можно не учитывать. В данной статье рассматриваются одна из особенностей механических свойств льняной пряжи – большая жесткость при растяжении и изгибе. Если модуль упругости при растяжении E кардной хлопчатобумажной пряжи составляет 1350 МПа, шерстяной гребенной – 1700 МПа, вискозной упрочненной нити – 4600 МПа, то для льняной пряжи на порядок выше – $E=19500$ МПа. О величинах жесткости при изгибе речь пойдет позже. А пока рассмотрим, как изменится формула Эйлера для упругой нити, огибающей рабочие органы малых размеров кривизны с учетом жесткости нити при изгибе. Не будем останавливаться на исходных уравнениях тех или иных теорий, запишем только результаты, вычислим величины выходных натяжений нити и оценим применимость формул к расчетам технологических процессов.

В книгах И.И. Мигушова [1], В.П. Щербакова [2] из общих уравнений равновесия упругих нитей получена система уравнений для определения натяжения ведущей (сбегающей) ветви нити. Вводится безразмерный коэффициент подобия, коэффициент $k = \frac{H}{2T_1 R^2}$. Здесь H , сН·мм² – жесткость

нити при изгибе, R , мм – сумма радиусов цилиндра и нити (радиус осевой линии нити). Этот коэффициент характеризует поведение нити в зависимости от жесткости, натяжения и радиуса цилиндра. Увеличение радиуса или натяжения равносильно уменьшению жесткости. Случай абсолютно гибкой нити соответствует $k=0$. Показано, что жесткость H непосредственно не влияет на натяжение нити, скользящей по круглому цилиндру, но влияет на величину полного действительного охвата φ_0 , уменьшая угол φ , который был бы углом

охвата в предположении идеально гибкой нити. Если угол между прямолинейными отрезками набегающей и сбегающей ветвей нити, где действуют силы T_1 и T_2 , равен φ_T , и $\varphi = \pi - \varphi_T$, то угол действительного охвата $\varphi_0 = \varphi - \gamma_1 - \gamma_2$. Углы изгиба ветвей γ_1 и γ_2 , вызванного влиянием перерезывающих сил, равны

$$\cos \gamma_1 = 1 - k, \quad \cos \gamma_2 = 1 - k \frac{T_1}{T_2}. \quad (2)$$

Уравнение

$$\frac{T_2}{T_1} = e^{\mu \varphi} - k (e^{\mu \varphi} - 1) \quad (3)$$

вместе с соотношениями (2) позволяет найти отношение T_2/T_1 в зависимости от μ , φ и коэффициента подобия k .

Поскольку $e^{\mu \varphi} > 1$, увеличение изгибной жесткости нити приводит к уменьшению отношения T_2/T_1 . При $k=0$, то есть для абсолютно гибкой нити, формула (3) переходит в формулу Эйлера. Заметим, что при $\mu=0$ натяжения ведомой и ведущей ветвей равны ($T_1=T_2$) как для абсолютно гибкой, так и для жесткой при изгибе нити.

Прежде чем перейти к уточнению теории, вычислим натяжение T_2 сначала для идеально гибкой нити, затем для сопротивляющейся изгибу. Конечно, потребуется величина жесткости H . При изучении жесткости текстильных материалов чаще всего встречается задача в следующей постановке: нить длиной ℓ сплошного круглого сечения диаметра d , защемленная одним концом, изгибается силой P_1 на другом конце. Решение задачи поперечного изгиба для максимального прогиба дает $u = P_1 \ell^3 / 3H$. Отсюда по известным из опыта величинам u , P_1 , ℓ вычисляется жесткость H . Сразу же возникает вопрос правомерности использования этой формулы для нахождения перемещений точек упругой нити, так как приведенная формула получена для малых перемещений и углов поворота, когда те и другие являются величинами примерно одного порядка. Для текстильных нитей, которые обладают жест-

костью, значительно меньшей, по сравнению с жесткостью элементов конструкций, взаимные перемещения частей нити не малы. Если даже и использовать упомянутую теорию изгиба сопротивления материалов, опыт будет невоспроизводим из-за особенностей структуры и свойств текстильных нитей. Недаром в литературе описаны различные способы экспериментального определения жесткости нити при изгибе, и все они основаны на геометрически нелинейной теории упругих нитей.

Разработанный В.П. Щербаковым и И.Б. Цыгановым метод и способ определения жесткости нити заключается: а) в подготовке образца нитей с пластиной на конце, б) в измерении прогиба нитей, в) в решении системы уравнений. Подробное описание дано в [3], [4]. Здесь же укажем, что реальная схема нагружения нитей сведена к задаче, когда нить изгибается двумя сосредоточенными силами в условиях больших прогибов (рис. 1).

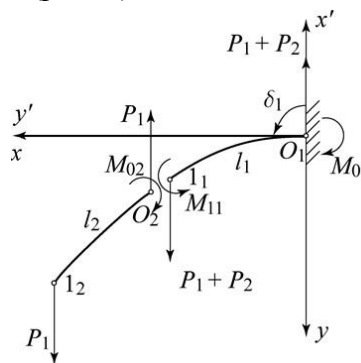


Рис. 1

$$\text{Обозначим: } \omega_1 = \sqrt{\frac{(P_1 + P_2) \ell_1^2}{H}}, \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{P_1 \ell_2^2}{H}},$$

$F(\alpha) = \int_0^\alpha \frac{d\alpha}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha}}$ – эллиптический интеграл первого рода (постоянная k называется модулем, а переменная α – амплитудой эллиптического интеграла), $E(\alpha) = \int_0^\alpha \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha} d\alpha$ – эллиптический интеграл второго рода. Для нахождения шести эллиптических параметров k_1 , α_{01} , α_{11} для первого участка и k_2 , α_{02} , α_{12} для второго можно записать шесть уравнений [3...5]:

$$\alpha_{12}=90^\circ, k_1 \sin \alpha_{01}=0,707, F(\alpha_{11})-F(\alpha_{01})=\omega_1, F(k_2)-F(\alpha_{02})=\omega_2, \\ k_2 \cos \alpha_{02}=k_1 \cos \alpha_{11}, k_2 \sin \alpha_{02}=k_1 \sin \alpha_{11}.$$

Эксперимент проведен на льняной пряже линейной плотности 86 текс. Получено значение жесткости $H=19,044 \text{ сН} \cdot \text{мм}^2$. Для сравнения – жесткость аппаратной шерстяной пряжи 110 текс равна $H=2,6 \text{ сН} \cdot \text{мм}^2$, чистошерстяной пряжи 31 текс – $H=0,748 \text{ сН} \cdot \text{мм}^2$.

Теперь можем вычислить натяжение T_2 льняной нити при условиях: $T_1=20 \text{ сН}$, $\mu=0,25$, $\varphi=2,5 \text{ рад}$, $R=1,1 \text{ мм}$, $k=\frac{H}{2T_1R^2}=0,393$.

а) Нить идеально гибкая. По формуле (1) имеем $T_{2 \text{ идеальная}}=T_1 e^{\mu\varphi}=37,365 \text{ сН}$.

б) Нить, сопротивляющаяся изгибу. Система уравнений (2), (3) дает $\gamma_1=0,919$, $\gamma_2=0,865$, $T_2=22,376 \text{ сН}$.

Сравнивая полученный результат с предыдущим, видим, что натяжение упругой нити значительно меньше натяжения гибкой нити при одинаковых условиях. Причина расхождения очевидна, она вытекает из хода решения и самих формул: во-первых, при изгибе упругой нити появляется и далее растет с увеличением кривизны перерезывающая сила, натяжение при этом уменьшается; во-вторых, уменьшается угол охвата нитью цилиндра, и, следовательно, сила трения, являющаяся источником увеличения натяжения на участке контакта. В нашем случае действительный угол охвата $\varphi_d=0,716 \text{ рад}$ при $\varphi_{\text{идеальный}}=2,5 \text{ рад}$.

Приведенное решение является неполным. Дело в том, на границе контактной зоны возникает сосредоточенная контактная сила. Необходимость возникновения сосредоточенных реакций в точках набега и схода нити с поверхности показана в [2], [5], [6]. Учет сосредоточенной силы приводит к существенному усложнению решения, хотя результат не вызывает вычислительных трудностей. Трансцендентная система уравнений

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\cos \gamma_1 + \mu \sin \gamma_1}{\cos \gamma_2 - \mu \sin \gamma_2} e^{\mu(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)} \quad \text{и} \quad \cos \gamma_1 = 1 - k,$$

$\cos \gamma_2 = 1 - k \frac{T_1}{T_2}$ позволяет, как и в предыдущем случае, найти отношение T_2/T_1 в зависимости от μ , φ и коэффициента подобия k . В тех же условиях получим $\gamma_1=0,919$, $\gamma_2=0,702$, $T_2=33,31 \text{ сН}$.

Приближенное решение при малых k [3]. Оценить влияние жесткости нити на натяжение ведущей ветви, используя полученные формулы, затруднительно. Однако, принимая во внимание, что наибольший интерес представляет переход от абсолютно гибкой нити к нити, обладающей жесткостью при изгибе, можно линеаризовать зависимость $\frac{T_2}{T_1}(k)$, полагая k малым.

Опуская промежуточные выкладки, получим

$$\frac{T_2}{T_1} = e^{\mu\varphi} - k(e^{\mu\varphi} - 1)(1 + \mu^2). \quad (4)$$

Вычисления по формуле (4) дают $T_2=30,114 \text{ сН}$.

Задачу можно было бы считать решенной, и, тем не менее, полученное решение требует уточнения. Теория, которой мы воспользовались, не учитывает сдвиговую податливость упругой нити. При выводе уравнений равновесия упругой нити были приняты некоторые допущения, в том числе и следующее: поперечные нормальные сечения нити, плоские до деформации, остаются плоскими и после деформации. Сечения в действительности не остаются нормальными к искривленной оси нити, а несколько перекашиваются. Возникает дополнительная кривизна, связанная с поперечной силой в сечениях нити.

В большинстве практических задач этой особенностью пренебрегают. Но во всех задачах, где имеет место соприкосновение упругой нити с жесткой поверхностью и возникновение *сосредоточенной* силы на границе участка прилегания, надо учесть также и *перекос*, вызванный поперечными силами. Дело в том, что при наличии сдвига упругая линия нити в точке приложения сосредоточенной силы претерпевает излом. Кроме того, здесь необходимо четкое разграничение между углом наклона касательной ϑ' к осевой линии и углом поворота поперечного сечения. Ранее мы их отождествляли. Но теперь отличие угла поворота сечения от ϑ' следует учесть. Для этого воспользуемся теорией С.П. Тимошенко [7], где кроме изгибных перемещений учитываются также и сдвиговые деформации. Теория изгиба, где кроме изгибных учитываются также и сдвиговые перемещения, отождествляется обычно с именем С.П. Тимошенко, и если встречается выражение "балка Тимошенко", то имеется в виду, что речь идет именно об этом.

В технической теории изгиба принимается, что торцевые сечения остаются плоскими. Учтем искривление поперечного сечения, вызванное перерезывающими силами. Для этого среднее касательное напряжение Q/F (F – площадь поперечного сечения нити) делим на модуль сдвига G , а вли-

яние формы поперечного сечения учитывается при помощи коэффициента k_T . Для круглого сечения $k_T = 10/9$. Точное дифференциальное уравнение упругой линии нити в этом случае имеет вид [3], [6]:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{H} + m \frac{dQ}{ds}, \quad (5)$$

где $m = \frac{k_T}{GF}$.

В отличие от случая, когда $m=0$, кривизну оси нити нельзя считать непрерывной функцией, причем даже тогда, когда M и Q непрерывны. В уравнение (5) для кривизны входит производная $\frac{dQ}{ds}$, которая зависит от нормальной силы f_v . Но f_v имеет разрыв в точке B , поэтому и кривизна оси нити в этой точке претерпевает разрыв. Приведем фрагменты решения, необходимые для общего представления о задачах с учетом деформаций сдвига.

Вводится обозначение

$$k_2 = \frac{R}{\sqrt{mH}} = \frac{1}{2\sqrt{kk_1}}. \quad (6)$$

В ходе интегрирования появляются произвольные постоянные:

$$C_1 = \frac{T_1 \sin \gamma_1 + T_2 \sin \gamma_2 e^{-k_2(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)}}{1 - e^{-2k_2(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)}}, \quad C_2 = \frac{T_2 \sin \gamma_2 + T_1 \sin \gamma_1 e^{-k_2(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)}}{1 - e^{-2k_2(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)}},$$

$$C_3 = T_1 \cos \gamma_1 - \frac{C_1(1 - \mu k_2)}{\mu + k_2} - \frac{C_2(\mu k_2 + 1)}{k_2 - \mu} e^{-k_2(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)}.$$

Натяжение определяется выражением:

$$T_2 \cos \gamma_2 = C_3 e^{\mu(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)} + \frac{C_1(1 - \mu k_2)}{\mu + k_2} e^{-k_2(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)} + \frac{C_2(\mu k_2 + 1)}{k_2 - \mu}. \quad (7)$$

Это уравнение определяет зависимость между натяжением ведущей T_2 и ведомой T_1 ветвей нити. Но нам недостает еще двух

уравнений для определения γ_1 и γ_2 . Эти уравнения получаем из условия непрерывности изгибающего момента:

$$H + Hmk_2 \left[C_1 + C_2 e^{-k_2(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)} \right] = R \sqrt{2HT_1 (1 - \cos \gamma_1) \left[1 + \frac{mT_1}{2} (1 + \cos \gamma_1) \right]}, \quad (8)$$

$$H + Hmk_2 \left[C_1 e^{-k_2(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)} + C_2 \right] = R \sqrt{2HT_2 (1 - \cos \gamma_2) \left[1 + \frac{mT_2}{2} (1 + \cos \gamma_2) \right]}. \quad (9)$$

Исследование равновесия упругой нити с учетом сосредоточенных сил и сдвиговых деформаций представляет большие вычислительные трудности. Решение задачи проводится исключительно с помощью специально разработанной программы.

Только теперь можно считать, что поставленная задача о взаимодействии сопротивляющейся изгибу упругой нити с шероховатым цилиндром решена в достаточной полноте, при этом кроме изгибных перемещений учтены и сдвиговые перемещения, а также сосредоточенные силы на границах участков контакта и излом упругой линии нити в точках приложения сосредоточенных сил.

Как видим, получены три различных решения задачи взаимодействия нити с цилиндром: а) нить принята абсолютно гибкой; б) упругая нить сопротивляется изгибу; в) сопротивляющаяся изгибу упругая нить представлена с учетом сосредоточенных сил на границах участков контакта с цилиндром и излома упругой линии нити в точках приложения сосредоточенных сил. Выражения для натяжения сбегающей (ведущей) ветви нити получились, естественно, различными. Какие из этих выражений можно принять для расчетов?

Прежде всего, нужно четко оговорить область равновесия нити на цилиндрической поверхности. Формулой Эйлера (1) для абсолютно гибкой нити на шероховатой поверхности кругового цилиндра успешно пользуются с 1775 г. в условиях, когда перерезывающими силами по сравнению с осевой силой (натяжением) можно пренебречь. Указанное явление имеет место в том случае, когда поперечные размеры нити несоизмеримо меньше диаметра взаимодействующего с ней цилиндра. Что же касается упругой нити, то вероятнее всего верны выражения, которые здесь отнесены к случаю "в)". В самом решении

"б)" без учета сосредоточенных сил не выполняются условия стыковки участков входа и схода нити с областью линейного контакта нити с цилиндром. Численные расчеты должны оценить влияние сосредоточенных нормальных реакций и сил трения на величину натяжения.

Вычислим натяжение в случае "в)" при тех же условиях, что и в двух предыдущих. В результате получено натяжение нити $T_{2\text{сдвиг}} = 31,8 \text{ сН}$, превосходящее натяжение той же упругой нити при том же нагружении почти в полтора раза ($T_2 = 22,4 \text{ сН}$). Подводя итог оценке взаимодействия нитей с рабочими органами текстильных машин, примем во внимание два обстоятельства. Во-первых, ни в одной из работ, посвященных расчету натяжения нити при огибании ею цилиндра, нет учета сдвиговых деформаций. Также почти всегда, за редким исключением, игнорируются сосредоточенные силы. Даже в известной статье П.М. Огибалова, А.Л. Рабиновича, Н.М. Федотова 1939 г. пропущена сосредоточенная сила трения. Во-вторых, любой текстильный материал: нить, пряжа, ткань, трикотаж – все это существует как единое изделие только постольку, поскольку упругие волокна и нити взаимодействуют между собой. Показано, что даже при отсутствии внешней нагрузки имеются натяжение волокон в пряже, нитей в полотнах, а также перерезывающие силы, изгибающие и крутящие моменты. И объяснение всему этому следует искать в упругой природе текстильного материала. Расчеты же внутренних сил и моментов возможны лишь на основе механики упругой или вязкоупругой нити.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мигушов И.И. Механика текстильной нити и ткани. – М.: Легкая индустрия, 1980.
2. Щербаков В.П. Прикладная механика нити. – М.: МГТУ имени А. Н. Косыгина, 2001.

3. Щербаков В.П. Прикладная и структурная механика волокнистых материалов. – М.: "Тисо Принт", 2013.
4. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов. – М., 2008.
5. Попов Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.
6. Кagan В.М. Взаимодействие нити с рабочими органами текстильных машин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
7. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. – М., 1965, т. 1,2.

REFERENCES

1. Migushov I.I. Mekhanika tekstil'noy niti i tkani. – М.: Legkaya industriya, 1980.

2. Shcherbakov V.P. Prikladnaya mekhanika niti. – М.: MGTU imeni A. N. Kosygina, 2001.
3. Shcherbakov V.P. Prikladnaya i strukturnaya mekhanika voloknistykh materialov. – М.: "Tiso Print", 2013.
4. Shcherbakov V.P., Skulanova N.S. Osnovy teorii deformirovaniya i prochnosti tekstil'nykh materialov. – М., 2008.
5. Popov E.P. Teoriya i raschet gibkikh uprugikh stержней. – М.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986.
6. Kagan V.M. Vzaimodeystvie niti s rabochimi organami tekstil'nykh mashin. – М.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1984.
7. Timoshenko S.P. Soprotivlenie materialov. – М., 1965, t. 1,2.

Рекомендована кафедрой текстильных технологий РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 19.02.21.

УДК 677.025

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_170

ПРИДАНИЕ ЛЕЧЕБНЫХ СВОЙСТВ ТРИКОТАЖНЫМ ИЗДЕЛИЯМ

GIVING MEDICINAL PROPERTIES TO KNITTED PRODUCTS

Г.А. РАХМАТОВА, А.Б. ИШМАТОВ

G.A. RAKHMATOVA, A.B. ISHMATOV

(Технологический университет Таджикистана)

(Technological University of Tajikistan)

E-mail: karoiskandar1994@bk.ru

*В статье приводится методика получения экстракта лечебных трав, растущих на территории Республики Таджикистан. Приведены результаты исследования, проведенного в лабораторных условиях по выявлению лечебных свойств трав, целью которого является применение их лечебных свойств при лечении запаха от стопы человека. Выявлено, что из испытанных опытных экземпляров растений самые лучшие показатели по устранению интенсивности запаха и лечебным свойствам получены у мяты *Mentha piperita L.**

*The article presents the results of a study of the treatment of herbs growing in our republic, carried out in laboratory conditions. The purpose from which was the treatment of odor when sweating from a person's foot. It was established that of the tested experimental plants the highest values for the intensity of smell and medicinal properties were obtained for peppermint *Mentha piperita L.**

Ключевые слова: растение, трава, запах, потоотделение, гипергидроз, лечение, носки.

Keywords: plant, grass, smell, sweating, hyperhidrosis, treatment.

Результаты исследований, проведенных в лабораторных условиях кафедры технологии текстильных изделий, показали [1], что еще одним из методов народного лечения запаха при потоотделении является использование текстильных изделий, пропитанных экстрактами лечебных трав, растущих на территории Республики Таджикис-

тан. Нами исследовались различные настойки растений: гвоздики, шалфея, зеленого чая, крапивы, ромашки и мяты.

По результатам предварительных исследований установлено, что из исследованных лечебных трав самые лучшие технологические и потребительские показатели оказались у травы мяты *Mentha piperita L.*

Трава перечная мята *Mentha piperita* L также применяется для профилактики и лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата [2]. Это многолетнее травянистое растение из семейства губоцветных Labiatae. Стебель – прямостоячий, четырехгранный. Листья мяты – коротко-черешковые, с зубчатыми краями, длиной 3,0...5,0 см, шириной 1,5...2,0 см. Мята является культивируемым растением. Размножают ее вегетативным способом – отрезками корневищ, черенками или отпрысками.

Наиболее востребованным компонентом травы перечная мята является эфирное масло. Его содержание в листьях мяты составляет от 2,4 до 2,75%, в соцветиях 4...6%, в стеблях – до 0,3%. Медики считают, что главным лечебным компонентом мяты является ментол, который содержится в эфирном масле этой травы. Кроме эфирного масла в листьях содержатся урсоловая и олеиновая кислота, а также геспердин, медь – вещества, хорошо известные, в первую очередь, людям, страдающим от ожирения, вызывающего потоотделение, действует как противовоспалительное; антимикробное вещество. Наличие в составе мяты таких микроэлементов позволяет использовать это лечебное растение, в том числе и как антиоксидантное, с приятным запахом.

Собранные верхние части трав раннего возраста на территории Бохтарского района Хатлонской области урожая 2017 г. по 10, 20, 30, 40 и 50 г. запаривали в дистиллированной воде, в стеклянной посуде 60 мин, без и с предварительным замачиванием, при температуре 90...95°C. Через каждые 10 мин запаривания брали пробу на опреде-

ление аромата (запаха) и относительной вязкости. Затем раствор отстаивали до 25...30°C, фильтровали и давали респондентам для определения аромата.

Разработка методики и проведение опытов по выявлению лучших по технологическим, потребительским и лечебным свойствам трав проводили в 4 этапа.

1 этап. Сбор трав осуществляли по народному методу, то есть из трех: нижнего, среднего и верхнего уровней стебля растения. Эксперименты по сбору трав проводились по двум вариантам: по регионам Республики Таджикистан: Согдийская, Хатлонская и ГБ АО и по степени созревания растений: до, при и после цветения. Результаты опытов приведены в табл. 1.

2 этап. Выявление наиболее сильного и приятного аромата (запаха) по результатам априорных данных и опроса респондентов (100 чел.). На первом этапе респондентам (опрашиваемым) было предложено заполнить таблицу, где нужно было поставить оценку от 0 до 5 ед. по интенсивности запаха и отметить плюс или минус в графе понравился/не понравился (табл. 2).

3 этап. Для наилучшего образца травы по результатам первого этапа разработать методику экстрагирования и оптимизации параметров.

4 этап. Исследования лечебных свойств трикотажных изделий (носок), пропитанных экстрактами различных трав.

По результатам выполненных работ 2 этапа было выявлено оптимальное время настаивания и запаривания экземпляров трав, а также оптимальный вес сухих трав (табл. 1 и 2).

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Наименование трав	Масса сухих трав, г		Время запаривания, мин			Выход экстракта, мл
		до запаривани	после	10	30	60	
1	Мята	10,0	8,2	8,2	8,2	8,2	1,8
		30,0	27,8	29,3	27,8	27,8	2,2
		60,0	57,6	59,0	57,6	58,2	2,4
2	Зеленый чай	10,0	8,0	8,0	7,9	7,9	2,1
		30,0	27,6	28,6	27,6	27,2	2,4
		60,0	57,1	57,9	57,1	57,0	3,0
3	Крапива	10,0	8,1	9,0	8,1	8,1	1,9
		30,0	27,5	28,0	27,5	27,5	2,5
		60,0	57,4	58,4	58,2	57,4	2,6

№ п/п	Наименование трав	Время сбора трав	Оценка лечебного свойства		Запах приятный, %
			лечить	не лечить	
1	Мята	до цветения	86	29	90
		во время цветения	40	75	48
		после цветения	38	77	62
2	Зеленый чай	до цветения	27	88	52
		во время цветения	30	85	84
		после цветения	30	85	82
3	Крапива	до цветения	75	40	65
		во время цветения	80	45	65
		после цветения	55	60	87
4	Гвоздика	до цветения	22	93	45
		во время цветения	20	95	25
		после цветения	20	95	32
5	Шалфей	до цветения	34	81	54
		во время цветения	65	50	51
		после цветения	28	87	50
6	Ромашка	до цветения	26	89	51
		во время цветения	24	91	24
		после цветения	22	93	56

Как видно из данных табл.1 и 2, самые лучшие показатели получились при массе 60 г сухой травы мяты с предварительным замачиванием и после 30 мин запаривания.



Рис. 1

Анализ данных диаграмм (рис. 1) результата опроса респондентов показал, что лучшие по интенсивности запаха растения: мята; крапива; зеленый чай; гвоздика; ромашка и шалфей. Необходимо также отметить, что при запарке в экстрактах растений заметно изменился и цвет пряжи. Результаты опытной носки носков, пропитанных экстрактами растений показали, что исследуемые экземпляры носков также приобрели лечебные свойства, характерные для трав, используемых в исследовании, а именно:

- мята – ароматические и антисептические;
- крапива – антисептические;
- шалфей – противовоспалительные;
- ромашка – противовоспалительные.

ВЫВОДЫ

В результате исследований было выявлено, что обработанные экстрактом трав трикотажные изделия не только приобретают аромат трав, но и некоторые их лечебные свойства. Оптимальными условиями экстракции лечебных трав являются: время запаривания 60 мин, настаивания 720 мин и масса сухой травы 60 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мудрагель Л. Трикотаж: носки из трикотажа. – СПб., 2014.
2. Меллор З. Детский трикотаж. – М., 2003.

REFERENCES

1. Mudragel' L. Trikotazh: noski iz trikotazha. – SPb., 2014.
2. Mellor Z. Detskiy trikotazh. – M., 2003.

Рекомендована кафедрой технологии текстильных изделий. Поступила 03.02.20.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ МЕМБРАННЫХ ТКАНЕЙ

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF LOW TEMPERATURES ON THE PERMEABILITY OF MEMBRANE TISSUES

И.О. ФЕДОТОВ, С.В. ПЛЕХАНОВА, А.В. КУРДЕНКОВА, Я.И. БУЛАНОВ

I.O. FEDOTOV, S.V. PLEKHANOVA, A.V. KURDENKOVA, YA.I. BULANOV

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

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

E-mail: akurdenkova@yandex.ru

Изделия из мембранных тканей широко применяются в спортивной одежде. В работе проведено исследование свойств мембранных тканей как в исходном состоянии, так и после воздействия пониженных температур.

Products from membrane fabrics are widely used in sportswear. In this study, the properties of membrane tissues were studied both in the initial and after the action of low temperatures.

Ключевые слова: мембранные ткани, водоупорность, паропроницаемость, пониженные температуры, физико-механические свойства.

Keywords: membrane tissues, water resistance, vapor permeability, low temperature, physical and mechanical properties.

Цель работы – исследование физико-механических свойств, а также изменения водоупорности и паропроницаемости мембранных полотен в зависимости от изменения температурных режимов.

В качестве объектов исследования было отобрано 5 образцов мембранных полотен разных производителей ("Toocle" – Китай, "Fit System" – Япония, "Ргобан" – Корея) и поверхностных плотностей (в интервале 85...302 г/м²). Все ткани имели плотняное переплетение.

В результате анализа нормативной документации была определена следующая номенклатура показателей качества: разрывная нагрузка, стойкость к истиранию, водоупорность, паропроницаемость, художественно-колористическое оформление.

Испытания проводили по стандартным методикам [1...8]. Результаты исследований представлены в табл. 1.

По результатам исследований образцы № 1...3 соответствуют нормативным значениям ТУ 838750-001-454506554 по всем исследуемым показателям качества: разрывная нагрузка, стойкость к истиранию, художественно-колористическое оформление, водоупорность и паропроницаемость.

Образцы № 4 и 5 не соответствуют нормам технических условий ТУ 838750-001-454506554. Образец № 4 не соответствует нормам по паропроницаемости 2403 г/м²·сутки (норма 3000 г/м²·сутки). Образец №5 не соответствует нормам по разрывной нагрузке по основе (фактическое значение 140 Н при норме 200 Н) и по утку (фактическое значение 43 Н при норме 100 Н).

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Наименование показателей	Результаты испытаний					Норма, не менее
		образец 1	образец 2	образец 3	образец 4	образец 5	
1	Поверхностная плотность, г/м ²	110	200	280	302	85	-
2	Разрывная нагрузка по основе, Н	223	273	339	462	140	200
	Разрывная нагрузка по утку, Н	315	146	287	182	43	100
3	Стойкость к истиранию, циклы	9368	8763	13854	16348	6838	6000
4	Паропроницаемость, г/м ² ·сутки	4016	7068	3226	2403	3648	3000
5	Водоупорность, мм вод. ст.	8000	8000	6000	5500	8500	5000
6	Художественно-колористическое оформление, баллы	5	4	5	5	4	3

В процессе эксплуатации одежда из мембранных тканей может подвергаться воздействию низких температур в достаточно широком диапазоне от 0 до -30°C. Исследование изменения физических свойств мембранных полотен в результате воздействия низких температур представляет практический интерес. Среди показателей физических свойств полотен были выбраны наиболее важные – водоупорность и паропроницаемость.

Для проведения исследования, исходя из реальных условий эксплуатации одежды из мембранных полотен, были установлены контрольные точки температур, составляю-

щие 0, -10°C, -20°C, -30°C. Также были проведены испытания образцов после выдерживания в нормальных условиях.

Образцы были однократно заморожены в течение 1 месяца до контрольной температуры, после чего испытания водоупорности и паропроницаемости проводились при нормальных атмосферных условиях. Результаты испытаний представлены в табл. 2 (водоупорность мембранных полотен при изменении температурных режимов, мм вод. ст.) и табл. 3 (паропроницаемость мембранных полотен при изменении температурных режимов, г/м²·сутки).

Т а б л и ц а 2

Наименование образца	Температура, °С				
	+ 20	0	-10	-20	-30
Образец 1	4016	3921	3863	3312	3285
Образец 2	7068	6963	6871	5690	5643
Образец 3	3226	3139	2930	2547	2437
Образец 4	2403	2256	1998	1528	1 554
Образец 5	3648	3268	3133	2966	2832

По результатам испытаний наблюдается тенденция к уменьшению водоупорности для всех исследуемых образцов. Изменение водоупорности к -30°C составляет 12,5...23,6%. Наименьшее изменение наблюдается у образца № 1 (12,5%), наибольшее – у образца № 5 (23,6%).

Снижение водоупорности у разных образцов происходит при разных температурах, у образца №1 при -20°C (6,2%), у образца №2 при -10°C (6,2%), у образца №3 при -20°C (8,3%), у образца №4 – при -10°C

(9,1%), у образца №5 – при 0°C (6,2%).

Сравнение значения водоупорности исследуемых образцов с нормами технических условий ТУ 838750-001-454506554 для мембранных полотен установило, что и при температуре -30°C эти значения соответствуют нормативным, то есть изделия из мембранных полотен вполне могут эксплуатироваться при экстремальных температурах. Исключение составляет образец №4, у которого водоупорность 4500 мм вод. ст. при норме 5000 мм вод. ст.

Наименование образца	Температура, °С				
	+ 20	0	-10	-20	-30
Образец 1	4016	3921	3863	3312	3285
Образец 2	7068	6963	6871	5690	5643
Образец 3	3226	3139	2930	2547	2437
Образец 4	2403	2256	1998	1528	1 554
Образец 5	3648	3268	3133	2966	2832

По результатам испытаний можно сделать вывод, что значения паропроницаемости мембранных полотен при изменении температурных режимов до -30°C уменьшается для всех исследуемых образцов. Изменение при температуре до -30°C варьируется в диапазоне от 18,2% (образец №1) до 35,3% (образец №4).

Ухудшение паропроницаемости имеет полиномиальный характер и отмечается уже при 0°C : образец №1 – 2,4%; образец №2 – 1,4%; образец №3 – 2,7%; образец №4 – 6,1%; образец №5 – 10,4%.

Сравнение с нормами ТУ 838750-001-454506554 результатов исследований паропроницаемости образцов №1, 2, 3 и 5 (значения образца №4 не соответствовали нормам даже при нормальных атмосферных условиях) показало, что к -30°C только паропроницаемость образцов №1 и 2 соответствует нормируемым ТУ значениям ($3000 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$). Для образцов 3 и 5 несоответствие наблюдается при температурах -10°C (образец 2 – $2930 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$) и при -20°C (образец 5 – $2966 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$).

Анализ изменения паропроницаемости мембранных полотен в результате воздействия низких температур показал, что только образцы №1 и 2 могут эксплуатироваться в экстремальных температурных режимах при условии соответствия паропроницаемости нормируемым показателям.

В Ы В О Д Ы

По результатам исследования по изменению свойств проницаемости мембранных тканей при низких температурах при однократной заморозке было установлено, что при изменении температур в диапазоне от 0 до -30°C происходит постепенное ухуд-

шение показателей водоупорности и паропроницаемости по полиномиальному закону.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гусев Б.Н., Матрохин А.Ю. *Материаловедение: традиции, достижения, перспективы* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №4. С.31...36.
2. Матрохин А.Ю., Королёв В.П. *Разработка методики оценки триботехнических характеристик текстильных материалов* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №3. С.48...51.
3. Шустов Ю.С., Кирюхин С.М. и др. *Текстильное материаловедение: лабораторный практикум*. – М.: Инфра-М, 2016.
4. ГОСТ 18976–73. Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию.
5. ГОСТ 3813–72. Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении.
6. ГОСТ 9733.27–83. Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к трению.
7. ГОСТ 3816–81. Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств.
8. Мальшева О.В., Гусев Б.Н. *Совершенствование нормативной оценки качества трикотажных бельевых изделий* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №2. С.48...51.

R E F E R E N C E S

1. Gusev B.N., Matrokhin A.Yu. *Materialovedenie: traditsii, dostizheniya, perspektivy* // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, №4. S.31...36.
2. Matrokhin A.Yu., Korolev V.P. *Razrabotka metodiki otsenki tribotekhnicheskikh kharakteristik tekstil'nykh materialov* // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, №3. S.48...51.
3. Shustov Yu.S., Kiryukhin S.M. i dr. *Tekstil'noe materialovedenie: laboratornyy praktikum*. – M.: Infra-M, 2016.
4. GOST 18976–73. Tkani tekstil'nye. Metod opredeleniya stoykosti k istiraniyu.

5. GOST 3813–72. Materialy tekstil'nye. Tkani i shtuchnye izdeliya. Metody opredeleniya razryvnykh kharakteristik pri rastyazhenii.

6. GOST 9733.27–83. Materialy tekstil'nye. Metod ispytaniya ustoychivosti okraski k treniyu.

7. GOST 3816–81. Polotna tekstil'nye. Metody opredeleniya gigroskopicheskikh i vodootkivayushchikh svoystv.

8. Malysheva O.V., Gusev B.N. Sovershenstvovanie normativnoy otsenki kachestva trikotazhnykh bel'evykh izdeliy // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №2. S.48...51.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы. Поступила 06.12.19.

УДК 378:343

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_176

**К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ
АНТИКОРРУПЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ДЛЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ РОССИИ**

**TO THE ISSUE OF FORMING
AN ANTI-CORRUPTION EDUCATION PROGRAM
FOR HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF RUSSIA**

Н.Л. ХАЛЕЗОВ, Я.Г. ИЩУК, Г.С. ШКАБИН

N.L. KHALEZOV, YA.G. ISHCHUK, G.S. SHKABIN

(Академия управления Министерства внутренних дел России,
Научно-исследовательский институт
Федеральной службы исполнения наказаний России)

(Academy of Management of the Interior Ministry of Russia,
Research institute of the Federal Penitentiary Service of Russia)

E-mail: n_khalezov@mail.ru

В качестве одного из направлений антикоррупционного образования в высших учебных заведениях предложено использовать проведение занятий по изучению личности преступника, совершающего коррупционные преступления. Результаты проведенного анализа рекомендовано использовать при формировании у молодежи антикоррупционных стандартов поведения.

As one of the directions of anti-corruption education in higher educational institutions, it is proposed to use classes to study the personality of the criminal who commits corruption crimes. The results of the analysis are recommended to be used in the formation of anti-corruption standards of behavior among young people.

Ключевые слова: антикоррупционное образование, коррупционные преступления, коррупция, субъект коррупционных преступлений.

Keywords: anti-corruption education, corruption crimes, corruption, the subject of corruption crimes.

Воспитание и обучение молодых людей антикоррупционному мировоззрению – одно из основных направлений государственной политики по устранению условий для совершения коррупционных преступлений.

В соответствии с Федеральным законом № 273-ФЗ от 25.12.2008 "О противодействии коррупции" в высшей школе осуществляется реализация антикоррупционных образовательных программ, направленных на получение непрерывного антикоррупционного образования и воспитания с целью формирования у обучающихся сознания, для которого было бы неприемлемо нарушать закон.

Главные направления, которые необходимо реализовать при проведении антикоррупционного образования:

- сформировать представление о сущности коррупции, формах, особенностях ее проявления в различных сферах общественной жизни, причинах и социально опасных последствиях;

- научиться распознавать признаки коррупции;

- сформировать компетенции объективного анализа и личностной оценки коррупции;

- сформировать устойчивые стандарты поведения в соответствии с правовыми нормами и принципами морали на основе комплекса знаний о коррупциогенных ситуациях.

Руководство и профессорско-преподавательский состав вуза являются гарантами обеспечения прав студентов на антикоррупционное просвещение. Их деятельность заключается в формировании и повышении правового сознания и правовой культуры в целях неприятия любых коррупционных правонарушений, в создании антикоррупционной устойчивости у субъектов образовательного процесса. Преподаватели и образовательная организация должны воспитывать у обучающихся ценностные установки, равнодушие, ответственность, критическое мышление, развивать и реализовывать творческие способности и возможности, учить рациональному планиро-

ванию и организации деятельности, умению общения и сотрудничества [1].

В настоящей работе исследуется один из аспектов программы антикоррупционного образования, связанный с изучением субъекта, совершающего данного рода преступные деяния. Эта личность должна рассматриваться в качестве определенного рода систематизированной совокупности свойств, иллюстрирующих ее с социальной и психологических точек зрения, контактируя между собой и средой, внешней для данной личности, приводят к совершению преступных коррупционных деяний. В итоге исследования личности "коррупционера" теоретики криминологической науки во взаимодействии с практиками получают возможность разрабатывать специальные профилактические меры, направленные на превенцию коррупционных уголовно-правовых деликтов.

Должностные и иные лица, вовлеченные в совершение коррупционных преступлений, отличаются от иных, законопослушных граждан, определенными специфическими характеристиками. К таковым относятся те черты и особенности личности, которые можно отнести к категории центральных, сущностных, формирующих всю направленность деятельности личности. Эти же особенности определяют качество осознания личностью правовых предписаний и запретов, его мотивационную составляющую [2].

Дефектно сформированные базовые, центральные элементы личности индивида могут впоследствии доминировать в процессе окончательного закрепления именно коррупционно-ориентированной направленности устоям личностной характеристики определенного индивида. Несовершенство базовых устоев личности приводит к постепенному изменению и деградации личности физического лица таким образом, что при фиксации всех остальных положительно окрашенных характеристик личности должностного лица, к которым мы можем отнести интеллект, высокий уровень сформированности профессиональных компетенций и пр., их наличие лишь об-

легчает злоумышленнику реализацию его преступных замыслов на совершение коррупционных преступлений.

К личностным качествам субъекта коррупционных преступлений относится социальная активность, к составным частям которой следует причислить общую активность поведенческой модели человека, его выраженную энергичность, проявляемую инициативность в осуществлении служебных обязанностей и достаточно высокую работоспособность. Также характерными чертами личности являются заметная стойкость в эмоциональной сфере и высокая стрессоустойчивость, сопряженная с самоконтролем лица в отношении своего поведения и речи [3]. Субъекту коррупционных преступлений свойственен высокий уровень коммуникативности его личности, выражающийся во внешней общительности коррупционера, его способности и выраженной готовности к взаимодействию [4]. К числу дополнительных черт личности относят ярко прослеживаемый прагматизм, целеустремленность и проявляемую способность к достижению заявленных и поставленных целей. Такие черты личности ведут к тому, что такой индивид в достижении своих целей готов к жесткой конфронтации, проявляя значительную долю эгоизма. Поставленные лицом цели конкретны и носят, в основном, материальный, карьерный, практически осязаемый результат [5].

Криминологическая характеристика личности содержит данные, отображающие социально-демографическую картину личности коррупционера. Демографические характеристики субъекта имеют свою специфику, отделяющую коррупционера от лиц, совершающих преступления общего характера [6].

Лица, привлекаемые к уголовной ответственности за совершение коррупционных преступлений, по большей части, принадлежат к категории лиц "среднего возраста". Типичным субъектом предстает представитель мужского пола в возрасте до сорока лет.

Одновременно с преобладанием среди субъектов лиц мужского пола и следственная, и судебная практика демонстрируют,

двукратный перевес числа женщин-коррупционеров в сравнении с субъектами иных категорий преступных деяний (за исключением преступлений, непосредственными субъектами которых могут быть только представители женского или только мужского пола). Еще одной специфической социально-демографической характеристикой субъекта выступает его высокий образовательный уровень. Почти восемьдесят пять процентов коррупционеров обладают дипломом о высшем образовании [7]. К числу дополнительных социально-демографических характеристик личности следует отнести наличие стабильного места жительства, наличие семьи, детей. В глазах окружения и социума коррупционер ведет выражено положительный образ жизни, не склонен к употреблению алкогольных напитков или одурманивающих веществ, не демонстрирует пренебрежение к общественному порядку.

Субъект коррупционных преступлений, осуществляющий свою профессиональную деятельность в сфере государственной службы на должностях среднего и старшего руководящего состава, регулярно предстает перед руководителями, сослуживцами и гражданами в качестве должностного лица, в полном объеме осуществляющего свои обязанности по службе [8]. Такие должностные лица характеризуются руководящим составом с положительной стороны, демонстрируют высокую сформированность профессиональных компетенций, наличие обширных связей, помогающих успешно выполнять возложенные обязанности.

Характеризуя субъектов с точки зрения их финансового благополучия, следует указать на ряд типовых признаков:

- наличие легального дохода по занимаемой должности, который, в основном, превышает среднюю заработную плату по региону;

- высокий уровень благосостояния перед переходом на службу в государственные и муниципальные органы из предпринимательской сферы.

В обществе достаточно распространенным остается мнение, что назначение на

должности государственной и муниципальной службы представителей бизнес-структур, демонстрирующих высокие организаторские способности и достигших значительного материального благополучия, выступает превентивной мерой для совершения ими коррупционных преступлений. Частично соглашаясь с такой возможностью, мы считаем необходимым отметить, что такого рода управленцы бывают не готовы к значительному (в сравнении с предпринимательской сферой) снижению своих доходов и уровню благосостояния и предпринимают не всегда законные шаги к его увеличению, расширению круга выгодных социальных связей, становясь субъектами коррупционных преступлений.

Подводя промежуточный итог рассмотрения социально-психологической характеристики субъектов коррупционных преступлений, мы отмечаем, что в перечне основных характеризующих их личность качеств преобладают те, которые либо вполне одобряемы обществом, либо те, к которым социум относится нейтрально. Количество называемых негативных качеств личности коррупционера минимально.

Определяя ценностные социально-психологические приоритеты субъектов коррупционных деяний, можно выделить выраженную разнородность таких ценностных составляющих их сознания, как качественное и высокопрофессиональное исполнение служебных обязанностей и обеспеченность личности в материальном плане. Если у обычного гражданина данные ценностные составляющие находятся в векторной зависимости второго от первого, то у субъекта коррупционных преступлений такой зависимости не фиксируется [9]. Ставя перед собой задачу максимального извлечения выгоды материального характера, данные личности считают для себя вполне допустимым преступную модель поведения в рамках исполнения функциональных обязанностей, если она обеспечивает поступление предпочтений материального плана [10].

При рассмотрении криминологической характеристики личности субъекта, совершающего коррупционные преступления,

отдельного внимания требует вопрос оценки значимости воздействия факторов экономической и социальной природы на избрание должностным лицом коррупционной модели поведения. Такого рода факторы, оказывающие прямое воздействие на формирование личности субъекта коррупционных преступлений, можно сгруппировать следующим образом:

- факторы, имеющие семейно-воспитательную составляющую – отношение в семье должностного лица к юридическим предписаниям и обязанности их исполнения, иным моральным нормам, степень воздействия семейных устоев и традиций на воспитание личности чиновника;

- факторы, социально-корпоративной природы – общая психологическая обстановка в коллективе, иллюстрирующая отношение к фактам совершения коррупционных преступлений;

- факторы экономической природы – обеспеченность должностных лиц достойной заработной платой, социальными гарантиями, своевременность их выплаты и предоставления, степень фактического соответствия социальных и материальных притязаний должностного лица;

- факторы семейного характера – наличие у субъекта коррупционных преступлений семьи, несовершеннолетних детей и других иждивенцев;

- факторы внезапного (форс-мажорного) характера, резко затрудняющие материальное благосостояние должностного лица;

- факторы личностной (по отношению к субъекту коррупционного преступления) характера. К их числу относятся внутренние морально-психологические установки лица, отображающие его отношение к коррупционным преступлениям и его участию в их совершении, осознание противоправности и уголовной наказуемости своих деяний, последствиям пресечения преступной коррупционной деятельности.

Полагаем, что факторы экономической природы являются достаточно значимыми, но отнюдь не преобладающими для формирования личностной модели субъекта коррупционных преступлений. Однако ис-

ключительно материально-экономическая мотивация стала определяющей не более чем для тридцати процентов должностных лиц, принявших решение принять участие в совершении коррупционных уголовно-наказуемых деяниях. Такого рода данные отнюдь не исключают корыстные мотивы в поведении коррупционеров. Значительное число субъектов в ходе следственных действий не отрицали свое намерение совершением преступных действий улучшить свое материальное положение [11]. Еще одним фактором, прямо коррелирующим с экономическим фактором, является уверенность должностного лица-коррупционера в том, что получаемое им официальное, законное денежное содержание является слишком низким. Об этом в ходе допросов заявили почти сорок шесть процентов субъектов коррупционных преступлений [12].

К специфическим особенностям криминологической характеристики личности субъекта, совершающего коррупционные преступления, судебная практика по рассмотрению данной категории уголовных дел относит осознание такого рода лицами их преступной деятельности в качестве вполне допустимой и обоснованной с экономической точки зрения [13]. Порядка тридцати семи процентов должностных лиц, осужденных за совершение коррупционных преступлений, заявляли о предварительном потенциальном согласии на привлечение к уголовной ответственности и последующее осуждение судом при наличии возможности оставить в своей собственности имущество, приобретенное на доходы от совершенных коррупционных деяний [14].

Заканчивая изучение личности коррупционера, необходимо обратить внимание на тесную связь познания данного аспекта с разработкой мер предупреждения коррупционных проявлений. Данное исследование помогает созданию программы антикоррупционного обучения, как необходимого элемента при формировании гражданского общества современной России.

Рассмотрен один из аспектов антикоррупционного образования, связанный с изучением личности преступника, совершающего коррупционные преступления. Показано, что меры по повышению антикоррупционной грамотности обучающейся молодежи способствуют формированию у нее устойчивых моральных убеждений, которые, закрепившись в сознании молодых людей, как основные нормы, принципы и идеалы, в дальнейшем определяют ее антикоррупционное поведение.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ицук Я.Г.* Вопросы антикоррупционного образования (на примере МВД России) // Сб. Межведомственной науч.-практ. конф.: Современное состояние противодействия коррупции в Российской Федерации: проблемы, опыт, перспективы. – М.: ФГКУ "ВНИИ МВД России", 2020. С. 70...75.
2. *Рашинов А.Р.* Избранные труды // [сост. М.В. Кроз, Н.А. Рашинова; предисловие О.Д. Ситковской]; Акад. Ген. прокуратуры Российской Федерации. – М., 2016. С. 96.
3. *Абрамовская О.Р., Майоров А.В.* Криминологические особенности личности коррупционного преступника // Вестник Челябинского гос. ун-та. – 2012, № 37 (291). С.54.
4. *Антонян Ю. М., Кудрявцев В. Н., Эминов В. Е.* Личность преступника. – СПб., 2004. С.12.
5. *Антонян Ю.М., Эминов В.Е.* Личность преступника. – М., 2015. С. 203.
6. *Гончаренко Г.С.* Личность коррупционного преступника // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. – 2008, № 3056.
7. *Кудрявцев В.Н., Эминов В.Е.* Криминология. – 5-е изд. – М., 2013. С. 392.
8. *Петраченко А.Е.* Коррупционная составляющая политической системы современной России: Дис. ... канд. юрид. наук. – СПб., 2012. С.9.
9. *Ванновская О.В.* Психология коррупционного поведения госслужащего. – СПб.: Книжный дом, 2013.
10. *Касперович Ю.Г.* Особенности личности сотрудника ОВД, совершающего преступления коррупционной направленности // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2013, № 1 (52). С.52...55.
11. *Илий С.К.* Криминологическая характеристика личности коррупционера // Сб. науч. статей по мат. III Сибирского антикоррупционного форума: Антикоррупционная безопасность избирательного процесса: состояние и перспективы. – Красноярск, 2018. С. 99...100.

12. Капинус О.С. Криминологическое исследование личности коррупционного преступника // Журнал зарубежного законодательства и сравнительного правоведения. – 2018, № 1. С. 97.

13. Данные судебной статистики по делам коррупционной направленности, Судебный департамент при Верховном суде Российской Федерации [Электронный ресурс] // <http://www.cdep.ru/index.php?id=216> (дата обращения 13.10 2020).

14. Езерская, Т.Н. Аналитический обзор судебной практики по преступлениям коррупционной направленности за 2019 год // Молодой ученый. – 2020, № 19 (309). С. 292...297.

REFERENCES

1. Ishchuk Ya.G. Voprosy antikorrupcionnogo obrazovaniya (na primere MVD Rossii) // Sb. Mezhdomstvennoy nauch.-prakt. konf.: Sovremennoe sostoyanie protivodeystviya korruptsii v Rossiyskoy Federatsii: problemy, opyt, perspektivy. – М.: FGKU "VNI MVD Rossii", 2020. S. 70...75.

2. Ratinov A.R. Izbrannye trudy // [sost. M.V. Kroz, N.A. Ratina; predislavie O.D. Sitkovskoy]; Akad. Gen. prokuratury Rossiyskoy Federatsii. – М., 2016. S. 96.

3. Abramovskaya O.R., Mayorov A.V. Kriminologicheskie osobennosti lichnosti korruptsionnogo prestupnika // Vestnik Chelyabinskogo gos. un-ta. – 2012, № 37 (291). S.54.

4. Antonyan Yu. M., Kudryavtsev V. N., Eminov V. E. Lichnost' prestupnika. – SPb., 2004. S.12.

5. Antonyan Yu.M., Eminov V.E. Lichnost' prestupnika. – М., 2015. S. 203.

6. Goncharenko G.S. Lichnost' korruptsionnogo prestupnika // Izv. vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Obshchestvennye nauki. – 2008, № 3056.

7. Kudryavtsev V.N., Eminov V.E. Kriminologiya. – 5-e izd. – М., 2013. S. 392.

8. Petrachenko A.E. Korruptsionnaya sostavlyayushchaya politicheskoy sistemy sovremennoy Rossii: Dis. ... kand. yurid. nauk. – SPb., 2012. S.9.

9. Vannovskaya O.V. Psikhologiya korruptsionnogo povedeniya gossluzhashchego. – SPb.: Knizhnyy dom, 2013.

10. Kasperovich Yu.G. Osobennosti lichnosti sotrudnika OVD, sovershayushchego prestupleniya korruptsionnoy napravlenosti // Psikhopedagogika v pravookhranitel'nykh organakh. – 2013, № 1 (52). S.52...55.

11. Iliy S.K. Kriminologicheskaya kharakteristika lichnosti korruptsionera // Sb. nauch. statey po mat. III Sibirskogo antikorrupcionnogo foruma: Antikorrupcionnaya bezopasnost' izbiratel'nogo protsess: sostoyanie i perspektivy. – Krasnoyarsk, 2018. S. 99...100.

12. Капинус О.С. Криминологическое исследование личности коррупционного преступника // Журнал зарубежного законодательства и сравнительного правоведения. – 2018, № 1. С. 97.

13. Dannye sudebnoy statistiki po delam korruptsionnoy napravlenosti, Sudebnyy departament pri Verkhovnom sude Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs] // <http://www.cdep.ru/index.php?id=216> (data obrashcheniya 13.10 2020).

14. Ezerskaya, T.N. Analiticheskiy obzor sudebnoy praktiki po prestupleniyam korruptsionnoy napravlenosti za 2019 god // Molodoy uchenyy. – 2020, № 19 (309). S. 292...297

Рекомендована кафедрой уголовной политики Академии управления МВД России. Поступила 25.11.20.

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация производства

<i>Степанова С.М., Голощапова Л.В., Сперанский С.Н., Пахотин Н.Е.</i> Интегральная оценка экономического потенциала промышленного предприятия	5
<i>Земсков В.В., Прасолов В.И.</i> Основные факторы эффективности проектирования бизнес-процессов на швейном производстве	10
<i>Дмитриев Ю.А., Петрухин А.Б., Хартанович К.В., Чистяков М.С.</i> "Цифровизация" текстильной отрасли экономики	15

Материаловедение

<i>Зуева О.Н., Черенцова Г.Г., Рагозинникова Е.В., Беляев Н.М.</i> Особенности классификации и кодирования трикотажных изделий для таможенных целей	21
<i>Дедов А.В., Черноусова Н.В.</i> Прогнозирование воздухопроницаемости нетканых иглопробивных материалов	25
<i>Шустов Ю.С., Лебедева Н.П.</i> Сравнительная оценка качества огнестойких тканей различных поставщиков нефтегазового комплекса	28
<i>Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Москвитина Т.В., Гусев Б.Н.</i> Установление взаимосвязи выполняемых функций геотекстильного материала в строительном объекте с технологическими воздействиями на него	32
<i>Лапшин В.В., Смирнова Н.А., Замышляева В.В.</i> Теоретическое обоснование определения характеристик изгиба текстильных полотен в динамических условиях испытаний	37
<i>Копаница Н.О., Устинов А.М., Пляскин А.С.</i> Использование продуктов текстильного производства в качестве преднапряженного армирования композита	40

Первичная обработка. Сырье

<i>Маматов А.З., Пардаев Х.Н., Мардонов Ж.Ш., Плеханов А.Ф.</i> Определение тепловлажностного состояния хлопка-сырца в барабанной сушилке	46
---	----

Прядение

<i>Севостьянов П.А., Самойлова Т.А.</i> Оценка бутстреп-метода для обработки результатов технологических измерений	50
--	----

Ткачество

<i>Голубев Е.В., Романов В.В.</i> Симуляция натяжения нитей основы при ткачестве	55
--	----

Отделка

<i>Одинцова О.И., Румянцев Е.В., Смирнова А.С., Петрова Л.С., Румянцева В.Е.</i> Микрокапсулирование биологически активных веществ с использованием биосовместимых полиэлектролитов	60
<i>Хасанов О.Х., Исмаилов Р.И.</i> Модификация полиакрилонитрильных волокон мономерными солями на основе аминоклакирилатов с галоидсодержащими веществами	66

Технология нетканых материалов

<i>Белгородский В.С., Будыка А.К., Бокова Е.С., Капустин И.А., Филатов Ю.Н., Филатов И.Ю., Иванов Л.А., Мартынюк Ю.Н., Астахов В.С., Екидин А.А.</i> Новые нетканые материалы и их применение для анализа и защиты от радиоактивных аэрозолей	73
<i>Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю.</i> План непрерывного статистического контроля при промышленном выпуске саморегулируемых нетканых теплоизоляционных материалов	83

Трикотажное производство

- Хабарова Е.Б., Фомина О.П., Заваруев В.А.* Исследование влияния деформационных нагрузок на физико-механические свойства трикотажных полотен 89

Швейное производство

- Янь Цзяци, Кузьмичев В.Е.* Совершенствование технологии кастомизированного проектирования мужских сорочек 95

Текстильные машины и агрегаты

- Крылов А.В., Фомин Ю.Г., Тувин А.А., Шахова И.Ю.* Влияние фрикции валов модулей на затраты мощности 103

Автоматизация и информационные технологии

- Благовещенский И.Г., Балыхин М.Г., Благовещенская М.М., Назойкин Е.А., Логунова Н.Ю.* Анализ применения экспертных систем для контроля и прогнозирования технологических процессов производства 106

- Ершов С.В., Суворов И.А., Кузнецов В.Б., Никифорова Е.Н., Калинин Е.Н.* Синтез 3D-модели тканой армирующей структуры текстильного композита средствами методологии численного объектно-ориентированного моделирования 114

- Балашов А.Б., Хиллов П.А., Крупенников В.А., Киселев А.М., Киселев Н.В., Киселев М.В.* Совершенствование геометрической модели структуры 3D-ткани в ПО "Преформа" 119

Экологическая и производственная безопасность. Промтеплоэнергетика

- Федосов С.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Опарина Л.А.* Возможность термодинамической рекуперации в системе воздушного теплового насоса для автоматизированного управления микроклиматом небольших производств текстильной промышленности 124

- Строкин К.Б., Новиков Д.Г., Коновалова В.С., Осыко А.В., Нармания Б.Е.* Прогнозирование воздействия черной плесени *Aspergillus Niger* на здания и сооружения предприятий текстильной и легкой промышленности 128

- Огурцов В.А., Крупнов Е.И., Алешина А.П., Огурцов А.В., Фатахетдинов А.М.* Двухмерная модель фракционирования мелкодисперсных сыпучих материалов на ситовых тканях 133

Техническая эстетика и дизайн

- Коробцева Н.А., Островский Ю.К., Шимохина Е.С.* Исследование характеристик эпатажного образа в системе имидж-дизайна костюма 138

- Кузьмичев В.Е., Москвин А.Ю., Москвина М.В.* Моделирование цифровых двойников модных исторических фигур 144

- Кащеев О.В., Ермоленко Д.Э.* Анализ и тенденции развития рынка товаров индустрии моды во время пандемии коронавируса при помощи методов математической статистики 151

Механика нити и полотен

- Переборова Н.В., Макаров А.Г., Буряк Е.А., Макарова А.А., Александрова М.И.* Математическое моделирование и системный анализ процессов релаксации текстильных эластомеров хирургического назначения для качественной оценки их функциональных и эксплуатационных свойств 157

- Щербаков В.П., Скуланова Н.С., Полякова Т.И., Халезов С.Л.* Взаимодействие льняной нити с рабочими органами машин 163

Обмен опытом, критика и библиография, краткие сообщения

- Рахматова Г.А., Ииматов А.Б.* Придание лечебных свойств трикотажным изделиям 170

- Федотов И.О., Плеханова С.В., Курденкова А.В., Буланов Я.И.* Исследование влияния низких температур на проницаемость мембранных тканей 173

- Халезов Н.Л., Ицук Я.Г., Шкабин Г.С.* К вопросу формирования программы антикоррупционного образования для высших учебных заведений России 176

CONTENTS

Economics and Production Planning

<i>Stepanova S.M., Goloshchapova L.V., Speranskiy S.N., Pakhotin N.E.</i> Integral Assessment of the Economic Potential of Industrial Enterprises	5
<i>Zemskov V.V., Prasolov V.I.</i> The Main Factors of Efficiency of Designing Business Processes in the Garment Industry	10
<i>Dmitriev Yu.A., Petrukhin A.B., Khartanovich K.V., Chistyakov M.S.</i> "Digitalization" of the Textile Industry of Economy	15

Materials

<i>Zueva O.N., Cherentsova G.G., Ragozinnikova E.V., Belyaev N.M.</i> Features of Classification and Coding of Knitted Goods for Customs Purposes	21
<i>Dedov A.V., Chernousova N.V.</i> Forecasting the Air Permeability of Nonwave Plainship Materials	25
<i>Shustov Yu.S., Lebedeva N.P.</i> Corparative Assessment of Fire-Resistant Fabricsquality from Different Supplirrs of and Gas Complex	28
<i>Lysova M.A., Gruzintseva N.A., Moskvitina T.V., Gusev B.N.</i> Establishing the Relationship between the Functions Performed Geotextile Material in a Construction Object with Technological Influences on it	32
<i>Lapshin V.V., Smirnova N.A., Zamyshlaeva V.V.</i> Theoretical Justification for Determining the Bending Characteristics of Textile Fabrics under Dynamic Test Conditions	37
<i>Kopanitsa N.O., Ustinov A.M., Plyaskin A.S.</i> Use of Textile Products as a Pre-Stressed Composite Reinforcement	40

Preliminary Treatment. Raw Materials

<i>Mamatov A.Z., Pardaev X.N., Mardonov J.Sh., Plekhanov A.F.</i> Determining of the Heat-Moisture State of Raw Cotton in a Drum Dryer	46
--	----

Spinning

<i>Sevostyanov P.A., Samoylova T.A.</i> Evaluation of the Bootstrap Method for Processing Results of Technological Measurements	50
---	----

Weaving

<i>Golubev E.V., Romanov V.V.</i> The Simulation of Tension of the Warp Threads in the Weaving Process	55
---	----

Finishing

<i>Odintsova O.I., Rumyantsev E.V., Smirnova A.S., Petrova L.S., Rumyantseva V.E.</i> Microencapsulation of Biologically Active Substances Using Biocompatible Polyelectrolytes	60
<i>Khasanov O.Kh., Ismailov R.I.</i> Modification of Polyacrylonitrile Fibers Monomeric Salts Based on Aminoalkyl Acrylates with Halogen Containing Substances	66

Technology of Non-Wovens

<i>Belgorodski V.S., Budyka A.K., Bokova E.S., Kapustin I.A., Filatov Yu.N., Filatov I.Yu., Ivanov L.A., Martynyuk Yu.N., Astakhov V.S., Ekidin A.A.</i> New Nonwovens and their Application for Analysis and Protection Against Radioactive Aerosols	73
<i>Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu.</i> Continuous Statistical Control Plan for Industrial Issue of Self-Regulating Nonwoven Thermal Insulation Materials	83

Knitting

<i>Khabarova E.B., Fomina O.P., Zavaruev V.A.</i> The Research of the Influence of Deformation Loads Physical and Mechanical Properties of Knitted Fabrics	89
--	----

Sewing

<i>Yan Jiaqi, Kuzmichev V.E.</i> The Development of E-Bespoke of Men's Shirt	95
--	----

Textile Machines and Aggregates

<i>Krylov A.V., Fomin Yu.G., Tuvin A.A., Shakhova I.Yu.</i> The Influence of the Frictions of the Shafts of the Modules at the Cost of Power	103
--	-----

Automation and Information Technologies

<i>Blagoveschensky I.G., Balykhin M.G., Blagoveschenskaya M.M., Nazoykin E.A., Logunova N.Yu.</i> Analysis of the Use of Expert Systems for Monitoring and Forecasting Production Processes	106
<i>Ershov S.V., Suvorov I.A., Kuznetsov V.B., Nikiforova E.N., Kalinin E.N.</i> Synthesis of a 3D Model of a Woven Reinforcing Structure of a Textile Composition by Means of the Methodology of Numerous Object-Oriented Simulation	114
<i>Balashov A.B., Khilov P.A., Krupennikov V.A., Kiselev A.M., Kiselev N.V., Kiselev M.V.</i> Improvement of the Geometric Model of the 3D Fabric Structure in "Preforma"	119

Ecological and Industrial Safety. Heat Engineering

<i>Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Oparina L.A.</i> The Possibility of Thermodynamic Recovery on the System Air Heat Pump for Automated Climate Control of Small Manufactures of the Textile Industry	124
<i>Strokin K.B., Novikov D.G., Konovalova V.S., Osyko A.V., Narmaniya B.E.</i> Predicting the Impact of Black Mold <i>Aspergillus Niger</i> on Buildings and Structures of Textile and Light Industry	128
<i>Ogurtzov V.A., Krupnov E.I., Aleshina A.P., Ogurtzov A.V., Fatakhedinov A.M.</i> Two-Dimensional Model of Vibroseparation of Fine Bulk Materials through the Holes of Fabric Sieve	133

Technical Aesthetics and Design

<i>Korobtseva N.A., Ostrovsky Yu.K., Shimokhina E.S.</i> The Study of Epatage Image Characteristics in the System of Imagedesign of Costume	138
<i>Kuzmichev V.E., Moskvina A.Yu., Moskvina M.V.</i> Modeling of Digital Twins of Historical Fashionable Bodies	144
<i>Kashceev O.V., Ermolenko D.E.</i> Analysis and Trends in the Development of the Fashion Industry Goods During the Coronavirus Pandemic Using Methods of Mathematical Statistics	151

Mechanics of Threads and Fabrics

<i>Pereborova N.V., Makarov A.G., Buryak E.A., Makarova A.A., Aleksandrova M.I.</i> Mathematical Modeling and System Analysis of the Processes of Relaxation of Textile Elastomers of Surgical Purposes for a Qualitative Assessment of their Functional and Operational Properties	157
<i>Shcherbakov V.P., Skulanova N.S., Poljakova T.I., Khalezov S.L.</i> Interaction of the Linen String with Working Bodies of Machines	163

Experience Exchange, Criticism and Bibliography. Short Items

<i>Rakhmatova G.A., Ishmatov A.B.</i> Giving Medicinal Properties to Knitted Products	170
<i>Fedotov I.O., Plekhanova S.V., Kurdenkova A.V., Bulanov Ya.I.</i> Research of the Influence of Low Temperatures on the Permeability of Membrane Tissues	173
<i>Khalezov N.L., Ishchuk Ya.G., Shkabin G.S.</i> To the Issue of Forming an Anti-Corruption Education Program for Higher Educational Institutions of Russia	176

Вниманию 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 13×18 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 глянцевого) формата не менее 9×12 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@ivgpu.com.

* * *

Редакция обращает внимание авторов на необходимость соблюдения изложенных правил, что ускоряет прохождение статьи в производстве, сокращает время ее напечатания и способствует уменьшению ошибок и опечаток.

Статьи, отклоненные от публикации, не возвращаются.

Авторский гонорар не выплачивается.

РЕДАКЦИЯ