

Министерство образования и науки  
Российской Федерации

**ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ**

# **ТЕХНОЛОГИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В ДЕКАБРЕ 1957 ГОДА, ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

**№ 2 (356)  
2015**

*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 Международную базу данных SCOPUS, индексирующую научные издания, с 1989 года

Электронный вариант журнала размещен на сайте [www.ti.ivgpu.com/index.php/ivttp](http://www.ti.ivgpu.com/index.php/ivttp)

Издание Ивановского государственного политехнического университета.  
Текстильный институт

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

*Г.И. ЧИСТОБОРОДОВ (д.т.н., проф.).*

Заместители главного редактора:

*Н.М. АШНИН (д.т.н., проф.),  
М.Г. БАЛЫХИН (к.э.н., проф.),  
Б.Н. ГУСЕВ (д.т.н., проф.),*

*М.В. КИСЕЛЕВ (д.т.н., проф.),  
Н.Л. КОРНИЛОВА (д.т.н., проф.),  
В.Л. МАХОВЕР (д.т.н., проф.),*

*К.Э. РАЗУМЕЕВ (д.т.н., проф.),  
Б.Б. СТРОГАНОВ (д.т.н., проф.).*

Члены редколлегии:

*Р.М. АЛОЯН  
(чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.),  
В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ (к.т.н., д.с.н.),  
В.Н. БЛИНИЧЕВ (д.т.н., проф.),  
В.В. ВЕСЕЛОВ (д.т.н., проф.),  
В.Ф. ГЛАЗУНОВ (д.т.н., проф.),  
В.А. ЗАВАРУЕВ (д.т.н., проф.),  
В.М. ЗАРУБИН (к.т.н., проф.),  
Е.Н. КАЛИНИН (д.т.н., проф.),  
А.М. КИСЕЛЕВ (д.т.н., проф.),  
К.И. КОБРАКОВ (д.т.н., проф.),  
А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ (д.т.н., проф.),  
Н.А. КУЛИДА (д.т.н., проф.),  
В.В. ЛЮБИМЦЕВ (д.т.н., проф.),*

*С.Д. НИКОЛАЕВ (д.т.н., проф.),  
Ю.В. ПАВЛОВ (д.т.н., проф.),  
С.В. ПАЛОЧКИН (д.т.н., проф.),  
Е.Л. ПАШИН (д.т.н., проф.),  
А.Б. ПЕТРУХИН (д.т.н., проф.),  
А.Ф. ПЛЕХАНОВ (д.т.н., проф.),  
Л. П.РОВИНСКАЯ (д.т.н., проф.),  
В.Е. РОМАНОВ (д.т.н., проф.),  
П.Н. РУДОВСКИЙ (д.т.н., проф.),  
В.В. САФОНОВ (д.т.н., проф.),  
П.А. СЕВОСТЬЯНОВ (д.т.н., проф.),  
Н.А. СМИРНОВА (д.т.н., проф.),  
Г.Г. СОКОВА (д.т.н., проф.),  
А.П. СОРКИН (д.т.н., проф.),*

*Ф.Ю. ТЕЛЕГИН (д.х.н., проф.),  
А.А. ТЕЛИЦЫН (д.т.н., проф.),  
В.И. ТЕРЕНТЬЕВ (д.т.н., проф.),  
С.В. ФЕДОСОВ  
(академик РААСН, д.т.н., проф.),  
А.В. ФИРСОВ (д.т.н., проф.),  
В.Д. ФРОЛОВ (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.),  
Ф.Н. ЯСИНСКИЙ (д.ф.-м.н., проф.).*

Ответственный секретарь *С.Л. ХАЛЕЗОВ.*

*Адрес редакции: 153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21.*

*Тел.: (4932) 41-75-02. Факс: (4932) 41-50-88.*

*E-mail: [ttp@ivgpu.com](mailto:ttp@ivgpu.com)*

*<http://www.ti.ivgpu.com/index.php/ivttp>*

Издание зарегистрировано в Министерстве печати РФ. Регистрационный №796. Сдано в набор 02.04.2015. Подписано в печать 27.04.2015. Формат 60x84 1/8. Бум. кн.-журн. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 19,99; Усл. кр.-отт. 20,24. Заказ

Тираж 400 экз.

"Известия вузов. Технология текстильной промышленности"  
Издание Ивановского государственного политехнического университета.  
Текстильный институт  
153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21.  
E-mail: [ttp@ivgpu.com](mailto:ttp@ivgpu.com)

Издательско-полиграфический комплекс "ПресСто"  
153025, г. Иваново, ул. Дзержинского, 39, оф. 307  
Тел. (4932) 30-42-91, 30-43-07  
E-mail: [pressto@mail.ru](mailto:pressto@mail.ru)

Ministry of Education and Science  
of Russian Federation

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

**TEXTILE  
INDUSTRY  
TECHNOLOGY**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

ESTABLISHED IN DECEMBER OF 1957, 6 ISSUES PER YEAR

**№ 2 (356)  
2015**

*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 bibliographic database (issues since 1989)

The on-line version of the journal is available at [www.ti.ivgpu.com/index.php/ivttp](http://www.ti.ivgpu.com/index.php/ivttp)

Published by Ivanovo State Polytechnic University  
Textile Institute

EDITORIAL BOARD

Chief editor

*G.I. CHISTOBORODOV (d.en.s., prof.)*

Deputy editors:

*N.M. ASHNIN (d.en.s., prof.),*

*M.B. BALYKHIN (c.ec.s., prof.),*

*B.N. GUSEV (d.en.s., prof.),*

*M.V. KISELEV (d.en.s., prof.),*

*N.L. KORNILOVA (d.en.s., prof.),*

*V.L. MAKHOVER (d.en.s., prof.),*

*K.E. RAZUMEEV (d.en.s., prof.),*

*B.B. STROGANOV (d.en.s., prof.)*

Editorial board members:

*R.M. ALOYAN*

*(corr. memb. RAACS, d.en.s., prof.),*

*V.S. BELGORODSKII (c.en.s., d.soc.s),*

*V.N. BLINICHEV (d.en.s., prof.),*

*V.V. VESELOV (d.en.s., prof.),*

*V.F. GLASUNOV (d.en.s., prof.),*

*V.A. ZAVARUEV (d.en.s., prof.),*

*V.M. ZARUBIN (d.en.s., prof.),*

*E.N. KALININ (d.en.s., prof.),*

*A.M. KISELEV (d.en.s., prof.),*

*K.I. KOBRAKOV (d.en.s., prof.),*

*A.R. KORABELNIKOV (d.en.s., prof.),*

*N.A. KULIDA (d.en.s., prof.),*

*V.V. LYUBIMTSEV (d.en.s., prof.),*

*S.D. NIKOLAEV (d.en.s., prof.),*

*YU.V. PAVLOV (d.en.s., prof.),*

*S.V. PALOCHKIN (d.en.s., prof.),*

*E.L. PASHIN (d.en.s., prof.),*

*A.B. PETRUKHIN (d.en.s., prof.),*

*A.F. PLEKHANOV (d.en.s., prof.),*

*L.P. ROVINSKAYA (d.en.s., prof.),*

*V.E. ROMANOV (d.en.s., prof.),*

*P.N. RUDOVSKII (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.P. SORKIN (d.en.s., prof.),*

*F.YU. TELEGIN (d.ch.s., prof.),*

*A.A. TELITSYN (d.en.s., prof.),*

*V.I. TERENT'EV (d.en.s., prof.),*

*S.V. FEDOSOV*

*(acad. RAACS, d.en.s., prof.),*

*A.V. FIRSOV (d.en.s., prof.),*

*V.D. FROLOV (d.en.s., prof.),*

*L.P. SHERSHNEVA (d.en.s., prof.),*

*YU.S. SHUSTOV (d.en.s., prof.),*

*V.P. TSHERBAKOV (d.en.s., prof.),*

*S.S. YUKHIN (d.en.s., prof.),*

*F.N. YASINSKII (d.ph.-m.s., prof.),*

Executive secretary *S.L. KHALEZOV.*

*Address: 153000, Ivanovo, Sheremetev av., 21.*

*Tel.: +7(4932)41-75-02, fax: +7(4932)41-50-88.*

*E-mail: ttp@ivgpu.com*

*http://www.ti.ivgpu.com/index.php/ivttp*

---

Registered with the Ministry of Printing of Russian Federation. Registration no. 796. Passed for typesetting on 02.04.2015. Signed for printing on 27.04.2015. Format 60×84 1/8. Book/journal paper. Offset printing. 19.99 conventional sheets. 20.24 conventional. Order

Circulation of 400.

---

"Proceedings of institutions of higher education. Textile Industry Technology"

Published by Ivanovo State Polytechnic University

Textile Institute

153000, Ivanovo, Sheremetev av., 21.

E-mail: ttp@ivgpu.com

Publishing-printing complex "PresSto"

153025, Ivanovo, Dzerdzinskogo, 39, of. 307

Tel. (4932) 30-42-91, 30-43-07

E-mail: pressto@mail.ru

УДК 338.45

**ПРИМЕНЕНИЕ PDM- И ERP-СИСТЕМ В УПРАВЛЕНИИ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК  
В ТЕКСТИЛЬНО-ШВЕЙНОМ КОМПЛЕКСЕ**

**SUPPLY CHAIN MANAGEMENT OF TEXTILE AND APPAREL INDUSTRY  
BY PDM AND ERP SOFTWARE**

*В.Н. ЕГОРОВ, М.В. ЧЕРНОВА*  
*V.N. EGOROV, M.V. CHERNOVA*

(Ивановский государственный университет,  
Государственная академия промышленного менеджмента им. Н.П.Пастухова)  
(Ivanovo State University, N.P. Pastuhov's State Academy of Industrial Management)  
E-mail: asdf-m@yandex.ru

*Представлено исследование возможностей применения ERP- и PDM-систем в текстильной промышленности. Проведен анализ известного программного обеспечения, факторов его выбора и проблем внедрения. Показаны направления интеграции современных информационных систем в управлении цепями поставок, что открывает новые возможности формирования маркетинговой информации и организационного взаимодействия с поставщиками.*

*The article presents ERP- and PDM-systems possibilities in textile industry. The analysis of software, factors of its choice and implementation challenges are given. Directions of integration of modern information systems into supply chain management are shown. It opens new opportunities for forming of marketing information and organization of interaction with suppliers.*

**Ключевые слова:** Enterprise Resource Planning, Product Data Management, текстильная и швейная промышленность, управление цепями поставок.

**Keywords:** Enterprise Resource Planning, Product Data Management, textiles, apparel, supply chain management.

Изменение требований к организации и управлению предприятиями в текстильной и швейной промышленности в последние годы обусловлены глобализацией этих отраслей [1],[2]. Общество переходит от ин-

дустриальной к информационной экономике, где приоритет отдается управлению знаниями и информацией. Наличие временного лага в формировании рыночной и внутренней информации, доступной пред-

приятно, является одной из проблем, приводящей к нестабильности сроков доставки сырья и продукции. Это требует поиска новых решений повышения качества, снижения затрат, сокращения времени выхода на рынок, быстрой реакции на потребности заказчиков, визуализации поставки сырья, разработки новых каналов сбыта и т.д. Предприятия приходят к пониманию того, что эффективное управление всеми аспектами деятельности во многом зависит от информационных технологий [4]. В таких условиях для предприятий текстильно-швейного комплекса становится актуаль-

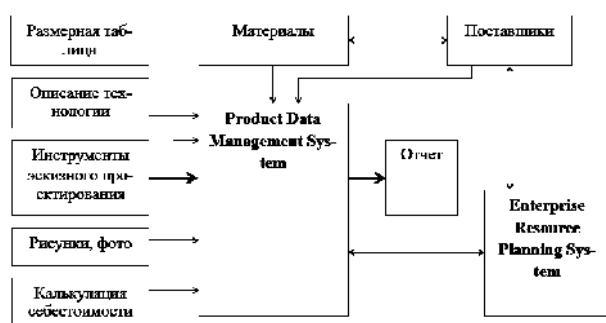


Рис. 1

ERP – это система планирования и контроля различных операций от закупки сырья до продажи товара. ERP способствует оптимальному использованию ресурсов производства, снижает потери сырья и материалов, обеспечивает обмен информацией различных подразделений (финансы, управление персоналом, производство, распределение и хранение запасов) (рис. 2 – система ERP) [5], [6]. ERP определяется в узком смысле как учетно-ориентированная система определения и планирования широкого спектра ресурсов предприятия, необходимых для принятия, выполнения, отгрузки и учета заказов потребителей. В широком смысле ERP – это метод эффективного планирования и контроля всех ресурсов, необходимых для принятия, выполнения, отгрузки и учета клиентских заказов на производственном, торговом или сервисном предприятии.

Системы ERP соединяют производство с цепью поставщиков (рис. 3 – применение

ERP) и Product Data Management (PDM).

PDM-системы могут быть определены как промышленные информационные системы, системы управления производственными данными, системы управления проектными данными, системы управления данными о производственных процессах, системы управления развитием товара, системы распределения и использования данных о продукте (рис. 1 – система PDM) [5].



Рис. 2

информационных систем в управлении цепями поставок текстильного предприятия).

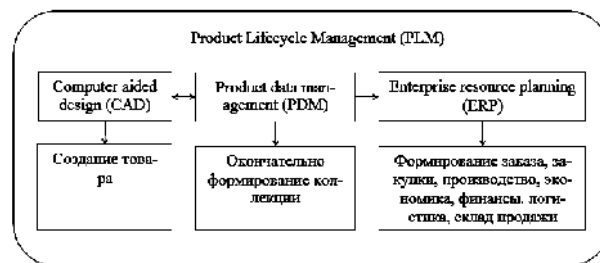


Рис. 3

К функциям ERP-систем, востребованных пользователями, следует отнести управление материалами, производственный контроль, продажи, финансы, контроллинг, контроль качества, системное администрирование, инжиниринг товара, управление проектами, обслуживание производства, кадровое обеспечение, товарный склад, закупки. При этом при применении одного и того же программного обеспечения разные предприятия могут

использовать только отдельные различные его функции.

Ключевые проблемы текстильной и швейной промышленности, которые должны быть приняты во внимание при выборе и реализации ERP-решений, состоят в следующем.

1. Текстильные и швейные предприятия, как правило, продают продукцию через дочерние общества и филиалы, розничные магазины или специализированные магазины по всей стране. В связи с этим огромное значение приобретает логистическое построение цепи поставок от производства до сети продаж.

2. Стандартные учетно-аналитические информационные системы не отвечают развивающимся потребностям предприятий, не обеспечивают релевантную обработку баз данных, не используют преимуществ коммуникационных и сетевых технологий. Хотя некоторые предприятия располагают управленческим программным обеспечением, оно не интегрировано, не объединяет, не дает возможности обмениваться данными и не может выдать информацию по запросу. Существующие системы управления запасами не удовлетворяют требованиям управления цепями поставок. Предприятия не могут отслеживать в режиме реального времени товарные остатки, что влияет на прибыли. Обмен информацией прерывен, не постоянен. Руководитель не имеет возможности принять правильное решение, соответствующие подразделения не могут организовать производство, отправить товары в срок, оперативно и точно рассчитать дату отгрузки, делать прогнозы продаж и анализ, и упускают бизнес возможности.

3. Менеджмент не принимает во внимание влияние цепи поставок на эффективность деятельности предприятия, учитывается только внутренний процесс производства и не рассматриваются воздействия за пределами производственной системы.

4. Прогноз и анализ рыночных продаж проводится по укрупненной номенклатуре товаров. Как правило, предприятия рассматривают только наименование и арти-

кулы (номенклатурные номера). Цвет, стиль, спецификации не принимаются во внимание, поскольку предприятие не может проводить анализ каждого товара, и потому существуют ускользающие из поля зрения аспекты в продвижении и продаже товара.

5. Высокая текучесть кадров на руководящих позициях в отсутствие адекватного мотивационного инструментария негативно сказывается на операционном управлении. Ввиду непривлекательности и бедности текстильно-швейного комплекса квалифицированные управленцы уходят в более интересные отрасли, а неквалифицированные довольно быстро замещаются, поскольку не справляются с решением задач, такими же неэффективными специалистами. Многие предприятия становятся де факто закрытыми системами, поскольку опираются на устаревшие управленческие концепции и избегают помощи внешних консультантов. К тому же и финансовое положение не позволяет пользоваться промышленным консалтингом и знакомиться с инновациями в управлении.

Названные проблемы влияют на понижение операционной эффективности, что приводит к низкой конкурентоспособности отечественных текстильных предприятий, которым следует усилить свои позиции, начиная с развития кооперации, поиска точек взаимовыгодного сотрудничества, оптимизации внутреннего менеджмента и внедрения современных систем управления, удовлетворяющих требованиям конкуренции.

Управление цепями поставок – это концепция менеджмента, которая представляет каждое предприятие звеном невидимого целого, каждое предприятие выполняет функции закупки, производства и продажи и формирует открытую систему согласованного развития. Поскольку управление цепями поставок вовлекает все аспекты деятельности предприятия, то построение системы управления требует не только теоретических выкладок, но и внятного прикладного менеджмента, системного инжиниринга, автоматизации, коммуникационной сети, баз данных, про-

граммного обеспечения и т.д. [3], [5]. Хотя научной управленческой концепции цепей поставок не так много лет, она получила развитие во многих прикладных системах. Например, к их числу можно отнести программные продукты по ERP (табл. 1 – обзор программных продуктов ERP). Некоторые из предложенных систем позиционируются не только как ERP-системы, но и как решения в области PDM. Большинство из них носят многоотраслевой характер без специализации по отдельным

промышленным комплексам. Исключением является CAMS (datatex) – программный продукт, разработанный специально для текстильной промышленности. У компании нет внедрений в России, наибольшее число клиентов приходится на Турцию, Италию, Германию, США, Индию. В некоторых случаях предприятия внедряют самостоятельно разработанные внутренние продукты или комбинируют наиболее удобные модули из разных программных пакетов.

Таблица 1

№ п/п	Наименование продукта	Наименование, web-сайт производителя
Отечественные системы, которые можно отнести к категории ERP		
1	1С: Управление производственным предприятием 1С:ERP Управление предприятием	Компания 1С <a href="http://www.1c.ru">www.1c.ru</a>
2	Галактика	Корпорация "Галактика" <a href="http://www.galaktika.ru">www.galaktika.ru</a>
3	ПАРУС	Корпорация "Парус" <a href="http://www.parus.ru">www.parus.ru</a>
4	RS-Balance 3 ERP	R-Style Softlab Research <a href="http://www.rs-balance.ru">www.rs-balance.ru</a>
Зарубежные ERP-решения, применяемые в России		
5	R/3	SAP AG <a href="http://www.sap.com">www.sap.com</a>
6	Oracle Applications	Oracle <a href="http://www.oracle.ru">www.oracle.ru</a>
7	Baan IV	Baan <a href="http://www.baan.ru">www.baan.ru</a>
8	SyteLine	SYMIX <a href="http://www.frontstep.ru">www.frontstep.ru</a>
9	Computer Aided Manufacturing System	Datatex GmbH <a href="http://www.datatex.de">www.datatex.de</a>
10	Microsoft Dynamics AX	Microsoft <a href="http://www.microsoft.com">www.microsoft.com</a>
11	Epicor Scala	Epicor Software Corporation <a href="http://www.epicor.com">www.epicor.com</a>

При выборе ERP-решения следует исходить из следующих принципов разработки системы управления цепями поставок текстильного и швейного предприятия.

1. Практичность означает, что система должна отвечать потребностям предприятия, быть удобной для сопровождения и использования. Поскольку система исходит из текущих управленческих нужд и задач, но ориентирована на долгосрочное использование, то должны быть возможности расширения и совершенствования по требованиям пользователей.

2. Комплексность. По мере введения в действие отдельных подсистем они должны непрерывно и надежно работать во взаимосвязке и взаимодействии, становясь неотъемлемым рабочим инструментом.

3. Безопасность должна обеспечиваться многоуровневой системой защиты. Доступ к финансовым ресурсам и информа-

ции должен иметь четкую иерархию по уровням безопасности и правам доступа.

4. Принцип опережения. Технический уровень системы должен достичь более высокого уровня, чем существующие аналогичные системы, при соблюдении условия практичности.

5. Открытость. Система должна быть web-ориентированной открытой системой, чтобы она могла быть расширена и последовательно улучшена после ее создания.

Прежде всего следует понимать, что внедрение ERP-решений состоит не только в автоматизации управленческой деятельности, но означает необходимость проведения мероприятий по реинжинирингу бизнес-процессов (BPR). Внедрение ERP-системы не ограничивается установкой программного обеспечения на рабочих местах пользователей. Это комплексный процесс, сочетающий в себе как доработку программного обеспечения, так и проведе-



ние некоторых мероприятий по изменению бизнес-процессов деятельности предприятия, направленных на более полное соответствие логике, заложенной внутри информационной системы [6].

Наиболее важные факторы, которые следует учесть при выборе программного продукта: соответствие программного обеспечения специфике текстильно-швейного комплекса и возможности его доработки и адаптации; стоимость программного обеспечения, сопровождение и доработка, удобство и функциональность. Программное обеспечение должно интегрироваться со специальными системами сбора данных, управления финансами и прогнозирования. Имеет значение стабильность поставщика программного обеспечения, число его заказчиков и количество удачных внедрений в текстильной отрасли.

Внедрение управления цепями поставок, ERP- и PDM-систем – это неизбежный этап, через который прошли текстильные предприятия на мировом рынке. Управление цепями поставок показывает, что предприятие не может участвовать в конкурентной борьбе, опираясь только на внутренние ресурсы, нужно вовлекать и внешние ресурсы (поставщиков, торговых представителей и потребителей) в единую структуру, интегрируя внешние и внутренние силы одновременно. Это позволит эффективно организовать производство и продажи, удовлетворить спрос, осуществить оперативный и своевременный контроль и интеграцию ресурсов, повысить экономическую эффективность и завоевать конкурентное преимущество на рынке. На практике управление цепями поставок часто ограничивается вопросами выбора поставщиков и закрепления позиций, снижения закупочных цен, контроля качества, но не затрагивает взаимоотношения поставщика, производителя, продавца и конечного потребителя. В особенности это относится к текстильной и швейной промышленности, где ERP-системы управления весьма редки. В других отраслях большинство предприятий адаптирует зарубежные продукты, что приводит к малым экономическим

выгодам и низкому эффекту от прикладного внедрения.

Основными проблемами при внедрении ERP-систем являются сопротивление к изменениям, недостаток поддержки со стороны топ-менеджмента, обучение пользователей. Как ни странно, на первый план выходят не финансовые, а организационно-управленческие препятствия. К другим проблемам относят стоимость программного обеспечения, наличие проектной команды, отсутствие четкого представления о функциях ERP-системы.

К рискам, связанным с внедрением ERP-систем, следует отнести слабую заинтересованность топ-менеджмента, автоматизацию существующих избыточных/невостребованных процессов, нереалистичные ожидания, слабый проектный менеджмент, неадекватное обучение персонала, несоответствие возможностей ERP-системы организации и бизнес-процессам самого предприятия, некачественные исходные данные, рассмотрение внедрения ERP-системы узко, только как ИТ-проекта, существенные технические сложности.

## В Ы В О Д Ы

1. Предприятия текстильно-швейного комплекса нуждаются в ERP-решениях, отвечающих их специфическим нуждам. Существующие препятствия к внедрению ERP-систем в текстильной промышленности являются общими и для других отраслей. Развитие экономики знаний и информации требует более оперативного построения информационных конструкций, что обеспечивается внедрением ERP-систем в рамках концепции управления цепями поставок.

2. Важной задачей, поставленной в текстильно-швейном комплексе, является интеграция ERP-систем в управление цепями поставок и поддержку принятия управленческих решений. В современных ERP-системах предусмотрены возможности распределения информации по цепочке поставщиков и торговых партнеров.

3. Внедрение управления цепями поставок на основе PDM- и ERP-решений в текстильной промышленности даст скачок в развитии новых бизнес-возможностей и значительный экономический эффект, в частности, снижение расходов на закупки и увеличение добавленной стоимости продукции, сокращение складских площадей и повышение операционной эффективности, осуществление оперативного контроля и мониторинга бизнес-процессов в торговле и снижение рисков управления в продажах, получение обратной связи с покупателями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бушуева М.А., Бродовский М.А., Коровин Д.И., Масюк Н.Н. Прогнозирование финансовых потоков в текстильном кластере на основе имитационного моделирования // Изв. вузов. Тех-

нология текстильной промышленности. – 2014, №2. С.12...16.

2. Красавцев С.А., Пирогов К.М., Тихомиров С.В. Нечетко-множественный и кластерный подход к оценке состояния текстильной промышленности Ивановской области // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №1. С.15...18.

3. Силаков А.В. Прогнозирование ЖЦТ в условиях нечетких исходных данных // Маркетинг. – 2009, № 3. С. 23...31.

4. Тушавин В.А. Анализ качества ИТ-услуг с использованием классификационных деревьев // Экономика и менеджмент систем управления. – 2013. Т. 10, № 4.1. С. 211...217.

5. Habib A. Management of Textile and Apparel industry by PDM and ERP software // Cotton Bangladesh. – 2011, № 4.

6. Hodge G. Enterprise Resource Planning in Textiles // Journal of Textile and Apparel. Technology and Management. – 2002, Vol. 2. - Issue 3.

Рекомендована кафедрой экономики и управления собственностью ГАПМ им. Н.П. Пастухова. Поступила 10.06.14.

УДК 677.865.3

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ЗАРЯДА ВОРСА  
В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОФЛОКИРОВАНИЯ**

**ESTIMATE OF LIMIT CHARGE PILE  
IN THE ELECTROFLOCKING TECHNOLOGY**

*О. М. ИВАНОВ, С. Ю. ИВАНОВА*  
*O.M. IVANOV, S.YU. IVANOVA*

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)  
(Saint-Petersburg State University of Technology and Design)

E-mail: tpm@yandex.ru

*В работе предложен новый подход к оценке максимального заряда ворса в технологии электрофлокирования. Показана взаимосвязь величины заряда с длиной ворса и напряженностью электрического поля.*

*In this paper we propose a new approach to the maximum charge of pile in technology electroflokirovaniya. The relationship of the charge with a length of cloth and the electric field.*

**Ключевые слова:** электрофлокирование, ворс, флок, плотность ворсового покрова, скорость подачи ворса.

**Keywords:** electroflockinng, pile, flock, the density of pile coating, pile feed rate.

Наиболее распространенное представление о процессе зарядки заключается в том, что плотность заряда распределена вдоль волокна линейно и момент его отрыва от электрода происходит при выполнении условия [1...4], [6]:

$$q\vec{E} + \vec{F} + \vec{G} = 0, \quad (1)$$

где  $qE$  – действие внешнего электрического поля на избыточный заряд

ворсинки;  $F$  – взаимодействие заряда ворсинки с его "изображением" на электроде;  $G$  – вес ворсинки.

Попробуем использовать несколько иной подход. Условия, которым должно подчиняться распределение плотности заряда вдоль волокна, хорошо известны [4]:

$$\operatorname{div}\vec{D} = \rho, \quad \vec{D}(x) = 0, \quad (2)$$

где  $\rho$  – объемная плотность заряда, Кл/м<sup>3</sup>;  
 $D$  – электрическая индукция, В/м.

Согласно этим условиям для электропроводного волокна в любой его точке напряженность должна равняться нулю.

Задача о распределении плотности заряда для незаряженного проводника в электрическом поле с напряженностью  $E$  представлена в работе Ландау Л.Д. и Лившица Е.М. [5]. Волокно в этом случае расположено вдоль силовой линии вдали от электрода. Вид зависимости, описывающей данное распределение с учетом условия (2)? имеет следующий вид:

$$\gamma(x) = \frac{4\pi\epsilon_0 E x}{\ln\left(4 \frac{\ell^2/4 - x^2}{d^2/4}\right) - 2}, \quad (3)$$

где  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная, Ф/м;  
 $E$  – напряженность электрического поля, В/м;  
 $\ell$  – длина проводника (волокна), м;  
 $d$  – диаметр проводника, м.

Это нам дает характер необходимой зависимости распределения плотности заряда вдоль волокна. В нашем случае отличие состоит в том, что волокно находится на поверхности электрода. Поэтому ближний к электроду заряд должен полностью стечь на электрод. Чтобы новое распределение плотности заряда удовлетворяло условиям (2), будем считать его соответствующим распределению (3), но для волокна вместе с его изображением. То есть плотность заряда распределена вдоль ворсинки вдвое большей длины (от  $-\ell$  до  $+\ell$ ), но мы используем только половину этого распределения, соответствующего реальной ворсинке (от 0 до  $\ell$ ).

Величина плотности заряда из соотношения (3) неограниченно возрастает вблизи конца волокна. Однако использование его для расчета величины избыточного заряда затруднительно, так как интеграл функции (3) – расходящийся. Поэтому аппроксимируем эту функцию близкой к ней зависимостью, а затем вычислим заряд. Функцию для аппроксимации можно выбрать, например, в виде:

$$\gamma(x) = 4\pi\epsilon_0 E \frac{\alpha x^k}{(\ell - x)^n}.$$

Определить коэффициенты приведенной зависимости можно на основе метода наименьших квадратов. Показатели степени  $n$  и  $k$  были выбраны постоянными, несмотря на некоторое незначительное снижение точности, а коэффициент  $\alpha$  зависит от длины ворса. В результате эта зависимость принимает следующий вид:

$$\gamma(x) = 4\pi\epsilon_0 E \frac{\alpha x}{\sqrt[5]{\ell - x}}. \quad (4)$$

Вид этой и исходной зависимости (3) для ворса длиной 1 мм и напряженности электрического поля  $E = 4$  кВ/см представлен на рис. 1 (распределение плотности заряда на ворсинке при ее отрыве от электрода; 1 – для зависимости (3), 2 – для зависимости (4)).

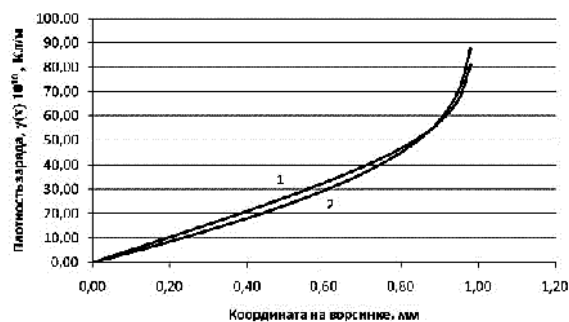


Рис. 1

Как мы видим из графиков, предложенная зависимость (4) вполне соответствует исходной зависимости (3) и может быть использована для расчета заряда. После интегрирования соотношения (4) величина максимального заряда ворса выглядит следующим образом:

$$q_{\max} = 2,78\pi\epsilon_0 \alpha E (\ell)^{9/5}. \quad (5)$$

Кроме этого, существует и другое ограничение величины заряда ворса. Оно связано с возникновением коронного разряда с конца волокна. Приближенная оценка этого значения заряда была сделана в работе [3]. Для волокна диаметром 20

мкм, что соответствует линейной плотности ПА ворса 0,33 текс, для отрицательной полярности она имеет следующий вид:  $q_{к.р} = 3,7 \cdot 10^{-9} \ell$ . Обе оценки и значение коэффициента  $\alpha$  приведены в табл. 1 (макси-

мальный заряд ворса разной длины) для ворса разной длины диаметром 20 мкм и напряженности электрического поля 4 кВ/см.

Т а б л и ц а 1

L, мм	$\alpha$	$q_{\max}$ , Кл	$q_{к.р.}$ , Кл
0,5	$2,55 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-13}$	$1,85 \cdot 10^{-12}$
1,0	$2,32 \cdot 10^{-2}$	$2,85 \cdot 10^{-12}$	$3,7 \cdot 10^{-12}$
1,5	$2,24 \cdot 10^{-2}$	$5,72 \cdot 10^{-12}$	$5,55 \cdot 10^{-12}$

Мы получили предельные значения зарядов для ворса различной длины. Эти значения достаточно хорошо согласуются с теми значениями заряда, которые были получены различными авторами. Измеренные значения зарядов в большинстве случаев меньше указанных величин, но имеют тот же порядок величины. Коэффициент  $\alpha$  зависит от длины волокна и для него легко построить эмпирическую зависимость. С учетом этого оценку максимального заряда ворса разной длины и при разной напряженности можно вычислить из соотношения:

$$q_{\max} = 0,016\pi\epsilon_0 E \ell^{8/5}. \quad (6)$$

Последнее соотношение позволяет легко оценивать предельные значения зарядов для ворса разной длины, но диаметром 20 мкм. Если необходимо получить аналогичную зависимость для ворса другой линейной плотности, то следует вновь начать с распределения плотности заряда (3) и его аппроксимации.

## ВЫВОДЫ

Удалось получить распределение плотности заряда вдоль волокна и оценить его максимальное значение для технологии электрофлокирования на основе достаточ-

но общих физических представлений. Это позволит в дальнейшем осуществлять приближенное прогнозирование свойств ворсового покрова на материале и даже оценивать скорость его формирования.

Ограничение заряда, связанное с коронным разрядом, более сильно сказывается для ворса большей длины и это необходимо учитывать в технологических расчетах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов О.М.* Теоретические аспекты технологии электрофлокирования. – СПб.: СПГУТД, 2004.
2. *Бершев Е.Н.* Физические основы технологии электрофлокирования. – Л., Изд-во Ленинградского университета, 1984.
3. *Попков В.И., Глазов М.И.* Кинетика зарядки и динамика волокон в электрическом поле. – М.: Наука, 1976.
4. *Семенов В.А.* Теория и практика электрофлокирования. – М.: Изд. ВЗПИ, 1992.
5. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Курс теоретической физики. – Т.8. Электродинамика сплошных сред. – М.: Физматлит, 2005.
6. *Шляхтенко П.Г.* Контактная зарядка ворса на электродах флокатора // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1987, № 1. С.42...47.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования текстильных изделий. Поступила 22.01.14.

## КЛАССИФИКАЦИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ ГЕОМАТЕРИАЛОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### CLASSIFICATION OF SYNTHETIC GEOMATERIALS AND THEIR APPLICATION IN MODERN CONSTRUCTION

А.Б. ПЕТРУХИН, Л.А. ОПАРИНА  
A.B. PETRUKHIN, L.A. OPARINA

(Ивановский государственный политехнический университет)  
(Ivanovo State Polytechnic University)  
E-mail: l.a.oparina@gmail.com

*В статье систематизируется информация о видах геосинтетических материалов, применяемых в настоящее время в разных отраслях промышленности и строительства. С позиций ресурсо- и энергосбережения авторы рассматривают возможность применения геосинтетических материалов в практике современного строительства. На основе проведенных исследований предлагается уточненная классификация синтетических геоматериалов, отличающаяся от существующих более полным содержанием и учетом их функционально-технологических характеристик. Подробно описаны сферы применения и преимущества тканого геополотна.*

*In article systematized information about the types geosynthetic-ski materials currently used in different industries and construction. From the standpoint of resource and energy saving of the authors consider the application of geosynthetic-ski materials in the practice of modern construction. On the basis of the conducted research is proposed revised classification of synthetic geomaterials different from the existing ones more full and content based on their functional and technological characteristics is. Detail the scope and advantages of woven geopoly.*

**Ключевые слова:** геосинтетические материалы, строительство, классификация, ресурсо- и энергосбережение, строительство, тканые геоматериалы, нетканые геоматериалы, геополотно.

**Keywords:** geosynthetic materials, construction, classification, resource and energy conservation, construction, woven geomaterials, non-woven geomaterials, geopoliti.

Развитие современной строительной отрасли невозможно без применения инновационных строительных материалов, организационно-технологических решений и технологий. С принятием законодательных актов, направленных на ресурсо- и энергосбережение в России появился реальный спрос на инновационные технологии и материалы, особенно в строительном комплексе, являющемся крупным потребителем энергоресурсов и определяющим ресурсо- и энергосбережение в других от-

раслях промышленности и ЖКХ. Энергоэффективность поставлена в авангарде стратегии инновационного развития России [1], [10]. Усиление "зеленых тенденций" поставило еще одну задачу – комбинировать эффективность строительных материалов и конструкций с безопасностью для человека и окружающей среды [2], [11], [12]. Для этого приняты законодательные акты и директивные документы, выполняются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, реали-

зуются энергосберегающие мероприятия и технологии. От того, как будут спроектированы и построены здания, зависит не только их ресурс- и энергопотребление, но и потребление ресурсов осуществляемых в зданиях производственных процессов. Одним из эффективных направлений является поиск новых строительных ресурс- и энергосберегающих материалов, конструкций и технологий, ярким примером которых являются геоматериалы, внедрение которых в строительную практику является предметом исследования, проводимого авторами. Геосинтетические материалы применяются в мировой практике достаточно давно, основными потребителями являются транспортное, промышленное и гидротехническое строительство [3]. Термин "геосинтетические материалы" объединяет широкую группу материалов, в которых, как минимум, одна из составных частей изготовлена из синтетических или натуральных полимеров, или плоских форм, рулонов или трехмерных структур, применяемых в геотехнике или других областях строительства в контакте с грунтом и (или) другими строительными материалами [4]. Рынок геосинтетических материалов в настоящее время развивается достаточно активно, что подтверждает их перспективность. Региональный анализ промышленности геосинтетических материалов показал, что структура инновационной деятельности в области геоматериалов коррелирует с общим объемом производства, что свидетельствует в первую очередь об экономической перспективности выпуска подобной продукции, а также о заинтересованности в ней регионов и готовности развивать ее ассортиментный ряд [5].

Характерные особенности геосинтетических материалов, их разнообразие, а также выделенные области использования, которые в настоящее время хорошо корреспондируются в различных международных документах, целесообразно классифицировать. В настоящее время в нашей стране нет общепринятой и устоявшейся классификации геоматериалов. Это обусловлено тем, что в настоящее время рынок строительных геоматериалов развива-

ется хаотично, разные производители выпускают разные геоматериалы с различающимися характеристиками и свойствами.

Классификация геосинтетических материалов, предложенная Теличенко В.И. [4], основана на функциональном назначении, особенностях материалов, определяемых составом сырья и технологией изготовления. В основе лежит разделение на три класса по признаку водопроницаемости, определенному авторами как важнейшим для геосинтетики. Дальнейшее разделение на группы и виды обусловлено различиями в сырье и способе производства. Считаем, что данной классификации недостаточно для полного охвата всех геосинтетических материалов, так как она не содержит ни функционального назначения, ни области применения, ни структуры геоматериалов.

В исследовании [6] авторы в основу предлагаемой классификации нетканых геосинтетических материалов предлагают включить ключевые потребительские характеристики, области применения, сырье для производства, тип соединения волокон, основные показатели физико-химических свойств. Данная классификация является полной, однако не учитывает тканые геоматериалы, в то время как эта группа геосинтетических материалов является в настоящее время активно развивающейся и перспективной. По мнению авторов, классификация геосинтетических материалов должна включать и тканые геоматериалы. В исследовании "Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве. Обзорная информация" Ю.М. Львович на основе имеющейся практики, анализа и обобщения выделенных геосинтетических материалов, показателей их физико-механических свойств и областей использования в дорожном строительстве разработал классификацию геосинтетических материалов, построенную на определении "Геосинтетические материалы" – общая классификационная терминология для всех видов синтетических материалов, которые используются в различных отраслях строительства, в том числе и дорожной. Этот термин

включает: геотекстильные материалы, георешетки, госсети, геомембраны и геокомпозиты. Классификация построена на трех группах: исходный материал, область применения, основные требуемые показатели физико-механических свойств. В данной классификации отсутствуют способы упрочнения (соединения волокон), являющиеся важными при организации производства геосинтетических материалов, и их свойства [7]. Аналогичная классификация приведена в Рекомендациях по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог, утвержденных Министерством

транспорта РФ и Государственной службой дорожного хозяйства (Росавтодор) [8].

С целью упорядочения всего многообразия геоматериалов авторами данной статьи предложена уточненная классификация синтетических геоматериалов, отличающаяся более полным содержанием и простотой восприятия, на основе имеющейся практики, анализа и обобщения выделенных геосинтетических материалов, показателей их физико-механических свойств и областей использования (рис. 1 – уточненная классификация синтетических геоматериалов).



Рис. 1



Предлагаемые классификационные признаки группировки синтетических геоматериалов позволяют оценивать все материалы по отдельным характеристикам, благодаря чему появляется полное видение всех свойств и возможностей геоматериалов. Предлагаемая классификация синтетических геоматериалов отличается от существующих более полным содержанием и учетом их функционально-технологических характеристик. Классификация является динамичной и может быть дополнена новыми группировочными признаками, такими как инновационность принимаемых организационно-технологических решений по применению геоматериалов в строительных процессах.

Современные тенденции развития строительной отрасли направлены на внедрение в практику строительного производства геоматериалов с позиций ресурсо- и энергосбережения. Несомненными ресурсо- и энергосберегающими характеристиками обладает тканое геополотно, являющееся перспективным направлением развития промышленности геосинтетических материалов и имеющее значительные преимущества перед неткаными геоматериалами, а именно: длительный срок службы (до 120 лет), высокая прочность и малая деформативность, водостойкость, биостойкость, стойкость к воздействию ультрафиолета, кислотных и щелочных сред; температурная стойкость и самое важное – долговечность [9].

Тканое геополотно изготавливается путем переплетения полиэфирных комплексных нитей высокой прочности.

Основными функциями тканого геополотна являются следующие.

**Армирование:** усиление дорожных и строительных конструкций с целью улучшения их механических характеристик.

**Фильтрация:** пропускание жидкости в структуру материала или сквозь нее с одновременным задерживанием частиц грунта.

**Разделение:** предотвращение взаимного проникновения частиц материалов смежных слоев дорожных и строительных конструкций.

**Дренаживание:** сбор и перенос осадков и грунтовой воды в плоскости материала.

**Борьба с эрозией поверхности:** предотвращение или ограничение перемещения грунта или других частиц по поверхности объекта.

Тканое геополотно используется в качестве армирующей, разделительной и водоотводящей прослойки в дорожном строительстве, строительстве продуктопроводов, а также при возведении грунтовых сооружений во всех видах строительства.

В строительной практике широко применяются именно геосинтетические полимерные материалы, изготовленные из синтетических или натуральных полимеров в виде плоских форм, лент или трехмерных структур. Исходным сырьем для таких материалов преимущественно являются: полипропилен (PP), полиэтилен (PE), высокопрочный полиэтилен (HDPE), полиамид (PA) (капрон), полиэфир (PET) (лавсан).

Сферами применения тканого геополотна являются:

в дорожном строительстве:

- армирование грунтовых дорожных оснований, насыпей, склонов, гидротехнических сооружений,

- разделение разнородных фракций в составе многослойных строительных конструкций,

- стабилизация слабых грунтов при устройстве дорог;

в промышленном и гражданском строительстве:

- стабилизация слабых грунтов объемными ячеистыми структурами,

- защитный фильтр при сооружении горизонтальных трубчатых мягких дренажей,

- устройство разделительно-фильтрующей мембраны при утеплении полов керамзитом или иными пористыми заполнениями,

- устройство свалок и полигонов для хранения бытового промышленного мусора;

в ландшафтном дизайне:

- армирование садовых дорожек,

- стабилизация основания подгазонными решетками,

- сооружение подпорных стенок на участках с перепадом высот,
- усиление берегов небольших гидросооружений (бассейнов, прудов).

Таким образом, синтетические геоматериалы являются перспективными для применения в строительной отрасли, способствуют ресурсо- и энергосбережению, при этом значительными преимуществами обладают тканые геоматериалы.

## ВЫВОДЫ

1. Систематизирована информация о видах геосинтетических материалов, применяемых в настоящее время в разных отраслях промышленности и строительства.
2. С позиций ресурсо- и энергосбережения рассмотрена возможность применения геосинтетических материалов в практике современного строительства, и предложена уточненная классификация синтетических геоматериалов, отличающаяся от существующих более полным содержанием и учетом их функционально-технологических характеристик.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Формирование интегрального показателя энергетической эффективности зданий // Изв вузов. Экономика, финансы и управление производством. – 2011, № 03(09). С.92...95.
2. Голенков В.А., Кобелева С.А. Экологически безопасные, ресурсосберегающие технологии и материалы в жилищном строительстве // Строительство и реконструкция. – 2012, № 2. С. 74...77.
3. Михайлин Р.Г., Федоренко Е.В. Области применения геосинтетических материалов // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2011. Т. 2, С.200...205.
4. Щербина Е.В., Теличенко В.И., Алексеев А.А., Смутчук Б. В., Слепнев П. А. Геосинтетические материалы: классификация, свойства, область при-

менения // Изв. вузов. Строительство. – 2004, № 5. С. 50...55.

5. Вендило А.Г., Мухамеджанов Г.К., Ковалева Н.Е., Бессарабов А.М., Степанова Т.И., Соловьева О.С., Квасюк А.В., Гафитулин М.Ю., Стоянов О.В., Заиков Г.Е. Региональный анализ промышленности геосинтетических материалов // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. Т. 16, № 18. С. 304...308.

6. Нетканый геотекстиль: свойства, области применения, классификация [Электронный ресурс]. URL: [http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=588](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=588) (Дата обращения 20.07.2014).

7. Львович Ю.М. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве // ОИ. Вып. 7. – М.: Информавтодор, 2002.

8. Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог. - Изд. офиц. - Отрасл. дор. метод, док./М-во трансп. Российской Федерации, Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор). – М., 2003.

9. Фатхулина М.Н. Применение геотекстиля в современном строительстве // Информационная среда вуза (XIX Междунар. научн. – практ. конф.): Сб. ст.. – Иваново: Иван. гос. политех. ун-т., 2013. С.283...285.

10. Петрухин А.Б., Матрохин А.Ю., Карева Т.Ю., Гусев Б.Н. Стратегия научно-методического и технического обеспечения выпуска тканей и изделий из натуральных и синтетических волокон// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №6. С. 30...35.

11. Петрухин А.Б., Алоян Р.М., Опарина Л.А., Ставрова М.В. Интегральный показатель энергоэффективности как основа организационного механизма строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий// Жилищное строительство. – 2012, № 3. С. 46...48.

12. Петрухин А.Б., Алоян Р.М., Опарина Л.А., Ставрова М.В. Функциональное моделирование как организационный инструмент проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий // Жилищное строительство. – 2012, №2. С.2...5.

Рекомендована кафедрой организации производства и городского хозяйства. Поступила 26.09.14.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА  
ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА\***

**ENSURING THE REQUIRED LEVEL OF QUALITY  
OF GEOTEXTILES FOR ROAD CONSTRUCTION**

*Н.А. ГРУЗИНЦЕВА, М.А. ЛЫСОВА, Т.В. МОСКВИТИНА, Б.Н. ГУСЕВ  
N.A. GRUZINTSEVA, M.A. LYSOVA, T.V. MOSKVITINA, B.N. GUSEV*

**(Ивановский государственный политехнический университет)  
(Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: ttp@ivgpu.com

*В статье с помощью метода определения компетентности экспертов и обобщенной оценки объектов предложена методика по проектированию требуемого уровня качества геотекстильных материалов.*

*In the article by means of method of determination of competence of experts and generalized estimation of objects methodology offers on planning of the required level of quality of geotextiles.*

**Ключевые слова:** качество, геотекстильные материалы, дорожное строительство, проектирование, методика оценки, комплексный показатель.

**Keywords:** quality, geotextiles, travelling building, planning, methodology of estimation, complex index.

Необходимость строительства и ремонта отечественных автомобильных дорог ставит ряд стратегических задач, среди которых одной из важнейших является проблема использования качественных дорожно-строительных материалов. К числу таких материалов можно отнести геотекстильные полотна, которые широко используются в практике мирового строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог. Кроме того, актуальность проводимых исследований объясняется предстоящим строительством в Ивановской области комбината по производству полиэтилентерефталата (ПЭТФ) текстильного назначения с полным производственным

циклом и необходимостью расширения ассортимента выпускаемых изделий.

Отмечаем, что в настоящее время существуют только методики по оценке качества геотекстильных материалов [1], но для производителей геотекстильной продукции необходимо обеспечить требуемый уровень качества на всех этапах их производства, а для этого необходимы соответствующие средства проектирования (прогнозирования) качества продукции.

Для разработки данной методики в качестве объекта исследования выбран геосинтетический материал с торговым названием "Дорнит", основные характеристики которого согласно классификации [2] представлены в табл. 1.

---

\* Статья подготовлена в рамках выполнения проектной части госзадания №11.1898.2014/К Минобрнауки России.

Т а б л и ц а 1

№	Классификационный признак	Характеристика полотна "Дорнит"
1	Вид полотна	Нетканое
2	Вид сырья	Полипропиленовое Полиэфирное
3	Плотность	250 г/м <sup>2</sup>
4	Технология производства	Термоскрепленное Сухое холстоформирование
5	Область применения	Дорожное строительство Ландшафтный дизайн
6	Функциональное назначение	Разделение слоев дорожных конструкций Армирование (усиление дорожных конструкций) Фильтрация Дренаж

На первом этапе исследования для выявления наиболее значимых показателей качества геотекстильных материалов проводили опрос специалистов в области дорожного строительства, работающих на кафедре автомобильных дорог ИВГПУ. Эксперты оценивали значимость свойств (качественных характеристик) по шкале

порядка от 1 до 12, где оценка 12 соответствовала наиболее значимому показателю. Использование на первом этапе качественных характеристик (свойств) позволяло в какой-то мере уравнивать квалификацию экспертов и повысить достоверность их оценок (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Свойства		Эксперты (Э)						
		Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7
Дефектность	X <sub>1</sub>	5	3	1	2	1	2	8
Ширина	X <sub>2</sub>	6	8	2	9	3	5	7
Толщина	X <sub>3</sub>	11	12	3	11	7	7	7
Плотность (поверхностная плотность)	X <sub>4</sub>	11	11	10	10	7	8	12
Фильтрующая способность	X <sub>5</sub>	12	12	9	12	10	11	12
Прочность на разрыв	X <sub>6</sub>	12	12	12	12	10	11	12
Деформация (удлинение)	X <sub>7</sub>	8	6	11	8	11	11	5
Изотропность	X <sub>8</sub>	9	8	6	9	10	10	11
Водопроницаемость (капиллярность)	X <sub>9</sub>	12	12	8	11	12	12	11
Водопоглощаемость	X <sub>10</sub>	10	9	7	7	11	11	5
Теплостойкость	X <sub>11</sub>	7	5	5	3	8	9	5
Морозостойкость	X <sub>12</sub>	7	5	4	4	9	8	5

В дальнейшем воспользовались методом определения компетентности экспертов и обобщенной оценки объектов [3]. Для этого обозначим через  $A = (a_{ij})$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ , где  $n$  – количество оцениваемых показателей;  $m$  – количество экспертов;  $a_{ij}$  – оценка  $i$ -го свойства  $j$ -м экспертом.

Вычислим матрицу  $C = A^T \cdot A$ , где  $A^T$  – матрица, транспонированная к матрице  $A$ . Коэффициенты компетентности экспертов – это есть компоненты собственно-

го вектора матрицы  $C$ , соответствующего максимальному собственному значению этой матрицы:

$$C\bar{\omega} = \lambda_C \bar{\omega}, \quad \sum_{j=1}^m \omega_j = 1, \quad (1)$$

где  $\lambda_C$  – максимальное собственное значение матрицы  $C$ ;  $\bar{\omega}$  – собственный вектор матрицы  $C$ , соответствующий собственному значению  $\lambda_C$  и условию нормировки.

Для нахождения собственного вектора  $\bar{\omega}$  матрицы  $C$  предварительно вычисляли вектор:

$$c = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt[n]{c_{11}c_{12}\dots c_{1n}} \\ \sqrt[n]{c_{21}c_{22}\dots c_{2n}} \\ \dots \\ \sqrt[n]{c_{n1}c_{n2}\dots c_{nn}} \end{pmatrix}.$$

Тогда собственный вектор матрицы  $C$ , соответствующий максимальному собственному значению и условию нормировки, приближенно равен следующему вектору:

$$C^T = \begin{pmatrix} \frac{c_1}{\sum_{i=1}^n c_i} & \frac{c_2}{\sum_{i=1}^n c_i} & \dots & \frac{c_n}{\sum_{i=1}^n c_i} \end{pmatrix}.$$

Собственный вектор матрицы  $C$  (коэффициенты компетентности экспертов):  $\bar{\omega} = (0,16 \ 0,15 \ 0,12 \ 0,14 \ 0,14 \ 0,15 \ 0,14)$ .

На следующем этапе построили матрицы ранжировок экспертов:

$$Y^j = (y_{ik}^j), \quad j = \overline{1,7}, \quad i, k = \overline{1,12},$$

$$\text{где } y_{ik}^j = \begin{cases} 1, & \text{если } a_{ij} \geq a_{ik}, \\ 0, & \text{если } a_{ij} < a_{ik}, \end{cases} \quad a_{ij}, a_{ik} - \text{ранги,}$$

присваиваемые  $j$ -м экспертом  $i$ -му и  $k$ -му признакам.

Обобщенную ранжировку показателей с учетом компетентности экспертов определяли по формуле:

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } p_{ij} \geq \frac{1}{2}, \\ 0, & \text{если } p_{ij} < \frac{1}{2}, \end{cases}$$

где  $p_{ik} = \sum_{j=1}^m \omega_j y_{ik}^j$  – вероятность того, что

$i$ -й объект предпочтительнее  $k$ -го объекта.

В дальнейшем на основе обобщенной матрицы подсчитывали количество положительных элементов в каждой строке, где итоговая оценка представлена в табл. 3.

Таким образом, показатели (свойства) располагаются в следующем порядке (начиная с наиболее значимых):

$$(X_5 = X_6) > X_9 > X_4 > X_3 > \\ > (X_8 = X_{10}) > X_7 > X_{11} > X_{12} > X_2 > X_1.$$

Определенные числовые значения нормированной и приведенной весомостей свойств приведены в табл.3.

Таблица 3

Показатели	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>
Итоговая оценка	1	2	7	8	12	12	9	5	10	5	4	3
Исправленная оценка	1	2	7	8	11,5	11,5	9	5,5	10	5,5	4	3
Нормированная весомость	0,01	0,03	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,12</b>	0,07	<b>0,13</b>	0,07	0,05	0,03
Весомость, приведенная к условию $\sum_{i=1}^n \alpha = 1$	-	-	<b>0,12</b>	<b>0,14</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,16</b>	-	<b>0,18</b>	-	-	-

Коэффициент конкордации ( $W$ ) находили по методике [4]. В результате его значение соответствовало  $W = 0,66$ , что свидетельствует о хорошей согласованности мнений экспертов.

Для установления требуемого уровня качества исследуемого геотекстильного материала на следующем этапе осуществляли переход от качественных характеристик (свойств) к количественным (показа-

телям качества). В научной литературе нередко смешивают данные характеристики и в соответствующих технических условиях наименования их могут совпадать. Поэтому в табл. 4 приведены наименования наиболее значимых количественных показателей свойств, которым в дальнейшем

присвоен статус показателей качества. Кроме этого, в случае отражения отдельного свойства вместо одного показателя качества двумя (тремя) показателями качества, необходимо осуществить корректировку коэффициентов весомостей.

Т а б л и ц а 4

Кодированное обозначение свойства	Показатели качества (количественный показатель свойства), ед. изм.	Откорректированный коэффициент весомости	Значение показателя качества	
			нормативное	требуемое
X <sub>3</sub>	Показатель толщины, мм	0,12	2,0	2,2
X <sub>4</sub>	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	0,14	243	257
X <sub>5</sub>	Коэффициент фильтрации в плоскости полотна, м/сут	0,10	130	130
	Коэффициент фильтрации в нормативной плоскости полотна, м/сут	0,10	130	130
X <sub>6</sub>	Разрывная нагрузка в продольном направлении, кН/м	0,10	280±8	300
	Разрывная нагрузка в поперечном направлении, кН/м	0,10	380±13	400
X <sub>7</sub>	Условный модуль деформации в продольном направлении, кН/м	0,08	71	85
	Условный модуль деформации в поперечном направлении, кН/м	0,08	60	71
X <sub>9</sub>	Показатель водопроницаемости в нормальной плоскости полотна, м/сут	0,18	20	20

Далее осуществляли проверочный расчет полученного уровня качества по методике [5]. В результате имели:

$$Q = 0,94 \text{ при } Q_{\max} = 1,00.$$

В случае неудовлетворенности уровнем качества геотекстильного материала необходимо внести корректирующие действия в технологию его производства.

## ВЫВОДЫ

Предложена методика по проектированию требуемого уровня качества геотекстильных материалов на основе использования опыта специалистов в области дорожного строительства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шустов Ю.С. Основы научных исследований свойств текстильных материалов. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2012.
2. Гойс Т.О., Матрохин А.Ю. Совершенствование системы классификации геосинтетических материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, № 6.
3. Павлов А.Н., Соколов Б.В. Методы обработки экспертной информации. – СПб.: ГУАП, 2005.
4. Соловьев А.Н., Кирюхин С.М. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
5. Грузинцева Н.А., Овчинников А.А., Лысова М.А., Гусев Б.Н. Совершенствование номенклатуры показателей и оценки качества геотекстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №3. С.28...32.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товароведения, стандартизации и метрологии Текстильного института ИВГПУ. Поступила 27.12.14.

УДК 677.11.051

**ДВУХКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МЯТЬЯ**

**TWOCRITERIAL OPTIMIZATION OF SHOVE PROCESS**

*Л.В. МОЧАЛОВ, Е.С. ХОМЯКОВ, В.Г. ДРОЗДОВ*  
*L.V. MOCHALOV, E.S. KHOMYAKOV, V.G. DROZDOV*

(Костромской государственный технологический университет)  
(Kostroma State Technological University)  
E-mail: info@kstu.edu.ru

*Целью работы является выбор параметров технологического процесса мятья, оптимизирующих умин и прочность. Для решения данной задачи были проведены серии экспериментов и получены две двухфакторные регрессионные модели для прочности и умина из полученной выборки.*

*The purpose of work is the choice of parameters of technological shove process, optimising shoving and durability. For the solution of this task series of experiments have been carried out and two two-factorial regression models for durability and shoving from the received sample are received.*

**Ключевые слова:** оптимизация, процесс мятья, влажность и прочность тресты, отделяемость, умин, двухкритериальная задача.

**Keywords:** optimization, shove process, humidity and durability of stock, separability, shoving, twocriterial problem.

На технологическую эффективность процесса мятья оказывает влияние ряд факторов, основными из которых являются: влажность и прочность льнотресты, отделяемость, глубина захождения рифлей, показатель умина, распределенная нагрузка на слой, толщина обрабатываемого слоя. Из перечисленных факторов определенный интерес представляет влажность и прочность тресты, отделяемость, умин. От них зависит, какой вариант регулировки будет выбран на мьяльной машине. На сегодняшний день регулировку глубины захождения рифлей выбирают с учетом отделяемости и

прочности при технологической влажности в соответствии с рекомендуемыми регулировками, указанными в справочнике по первичной обработке льна [1]. Предлагается учесть еще и влажность, тем самым оптимизировать процесс мятья.

Целью работы является выбор параметров технологического процесса мятья, оптимизирующих умин и прочность.

Для решения рассматриваемой задачи были проведены эксперименты, в результате которых получены две двухфакторные модели для прочности и умина. Модели

были получены для 1,2 пары вальцов при отделяемости 4,4 ед. Остальные вальцы рассчитывались с учетом равенства скоростей.

Модели представляют собой две линейные функции:

$$Y = 30,62 - 0,99w + 0,99i,$$

$$\Pi = 9,93 + 0,13w - 0,19i,$$

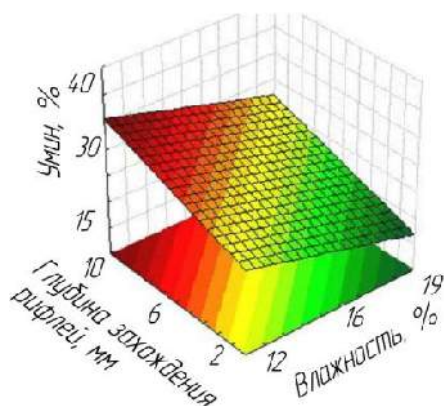


Рис. 1

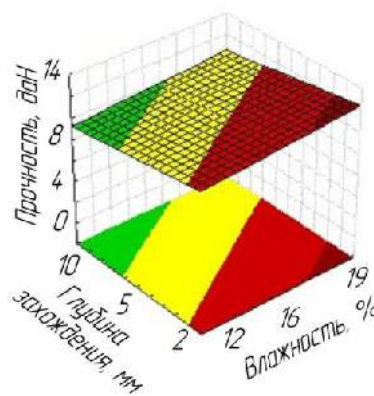


Рис. 2

Тогда математическая модель рассматриваемой задачи будет иметь вид:

$$Y = 30,62 - 0,99w + 0,99i \rightarrow \max,$$

$$\Pi = 9,93 + 0,13w - 0,19i \rightarrow \max$$

при ограничениях:  $\begin{cases} 2 \leq i \leq 10, \\ 12 \leq w \leq 19. \end{cases}$

Решим полученную двухкритериальную задачу [2]. Построим область допустимых решений (рис. 3).

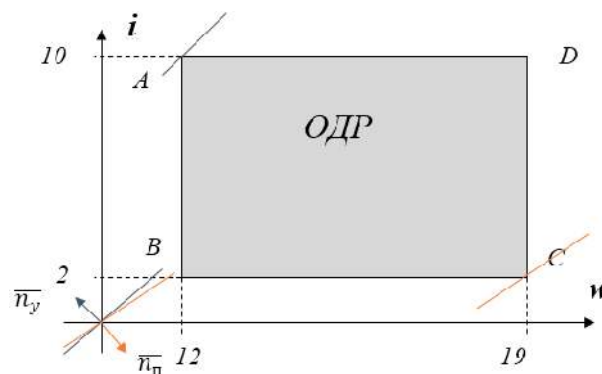


Рис. 3

Найдем образы вершин ОДР:

$$Y(A) = Y(12; 10) = 28,64,$$

$$Y(B) = Y(12; 2) = 20,72,$$

$$Y(C) = Y(19; 2) = 13,79,$$

$$Y(D) = Y(19; 10) = 21,71,$$

$$\Pi(A) = \Pi(12; 10) = 9,59,$$

$$\Pi(B) = \Pi(12; 2) = 11,11,$$

$$\Pi(C) = \Pi(19; 2) = 12,02,$$

$$\Pi(D) = \Pi(19; 10) = 10,50.$$

Следовательно, образ ОДР имеет вершины:

$$A'(28,64; 9,59), B'(20,72; 11,11), C'(13,79; 12,02), D'(21,71; 10,50).$$

Найдем точку утопии:

$$\bar{n}_Y = (-0,99; 0,99), \quad \bar{n}_\Pi = (0,13; -0,19),$$

$$Y(A) = Y(12; 10) = 28,64, \quad \Pi(C) = \Pi(19; 2) = 12,02.$$



Тогда  $M(28,64; 12,02)$  – точка утопии. Обе целевые функции максимизируются, поэтому граница Парето –  $C'B'A'$  (рис. 4 – образ ОДР).

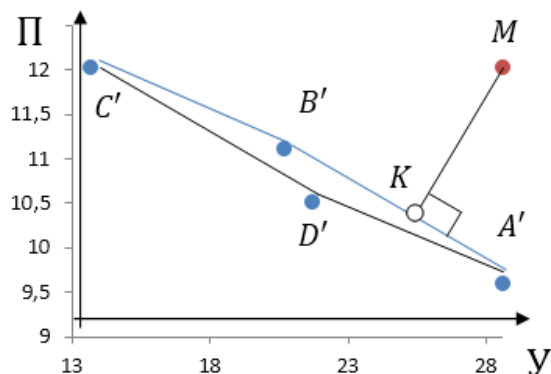


Рис. 4

Найдем идеальную точку  $K(U; П)$  – точку на границе Парето, ближайшую к точке утопии. Опустим перпендикуляр из т. М на  $B'A'$ .

Длина перпендикуляра:

$$|МК| = \sqrt{(У - 28,64)^2 + (П - 12,02)^2}.$$

Уравнение прямой  $B'A'$ :

$$П = -0,192У + 15,09,$$

тогда:

$$|МК|^2 = 1,04У^2 - 58,46У + 829,67 \rightarrow \min,$$

точка минимума:

$$У = 28,19,$$

значит:

$$П = 9,68,$$

идеальная точка:

$$K(28,19; 9,68).$$

Следовательно, глубина захождения и влажность:

$$\begin{aligned} 28,19 &= 30,62 - 0,99w + 0,99i, \\ 9,68 &= 9,93 + 0,13w - 0,19i, \\ w &= 12, i = 9,5. \end{aligned}$$

Максимальные умин и прочность:

$$У = 28,19 \%, \quad П = 9,68 \text{ даН}$$

при влажности  $w = 12 \%$ , глубине захождения  $i = 9,5 \text{ мм}$ .

## ВЫВОДЫ

1. Получены регрессионные модели, позволяющие прогнозирование умина в зависимости от глубины захождения рифлей, а также прочности, влажности льнотресты.
2. Решена двухкритериальная задача, позволяющая оптимизировать процесс мятья.
3. Полученные результаты будут использоваться для проверки работоспособности нейронной сети.
4. Предложенная методика может быть применена не только для оптимизации умина и прочности льнотресты, но и в других технологических процессах, например, в модели пряжи послойной структуры, при оптимизации жесткости пряжи на растяжении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по заводской первичной обработке льна / Под общ. ред. В.Н. Храмцова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
2. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982.

Рекомендована кафедрой высшей математики.  
Поступила 30.09.14.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЧ-СУШКИ ЛЬНЯНОЙ ТРЕСТЫ\*

## THE STUDIES OF FLAX STOCKS MICROWAVE DRYING PROCESS

Д.В.ПОТАПОВ, Н.В.КИСЕЛЕВ  
D.V.POTAPOV, N.V.KISELEV

(Костромской государственной технологической университет)  
(Kostroma State Technological University)  
E-mail: kstu-tplv@yandex.ru

*Приведены результаты исследований процесса СВЧ-сушки льняной тресты на экспериментальном стенде с продувкой холодным воздухом для предотвращения перегрева материала на заключительном этапе сушки.*

*The results of research of the microwave flax stalks drying in the experimental installation with cold air blowing to prevent overheating of the material in the final stages of drying are considered.*

**Ключевые слова:** микроволновая сушка, льняная треста, скорость сушки, удельные затраты энергии.

**Keywords:** microwave drying, flax stalks, drying speed, cost per unit of electric power.

Плохое качество заготавливаемой льно-тресты, потеря значительной части урожая, достигающая до 40...50%, связаны с неблагоприятными погодными условиями и несоблюдением сроков уборки [1]. Наиболее надежным способом решения этой проблемы является искусственная досушка льняной тресты [2] непосредственно в рулонах комбайновой уборки.

Существенным преимуществом микроволновой сушки влажных диэлектрических материалов, по сравнению с конвективной, являются высокая интенсивность и равномерность сушки, обусловленная тем, что энергия СВЧ-поля нагревает непосредственно содержащуюся в материале влагу, а не сам материал, так как их коэффициенты диэлектрических потерь различаются более чем на порядок [3], [4]. В связи с этим изучение возможности и особенностей процесса микроволновой сушки льняной тресты представляет значительный

интерес. Для решения поставленной задачи был создан автоматизированный экспериментальный стенд на базе микроволновой печи SE1070R (рис. 1 – схема экспериментальной установки: 1 – образец тресты; 2 – привод; 3 – перфорированная труба; 4 – подвод воздуха; 5 – СВЧ-камера).

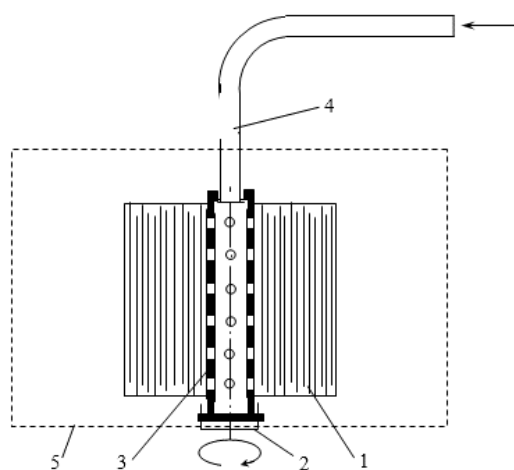


Рис. 1

\* Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки, код проекта 1092.

Особенностью экспериментальной установки является то, что ее конструкция позволяет осуществлять охлаждение образца тресты для предотвращения его перегрева на заключительных этапах сушки путем продувки воздуха миникомпрессором в радиальном направлении. Воздух подводится в центр образца через пластиковую трубку с отверстиями. Для повышения равномерности СВЧ-нагрева образца ему придается вращение от двигателя вращения поддона микроволновой печи.

Удельный расход энергии на испарение влаги рассчитывается исходя из времени сушки, подводимой мощности СВЧ и количества влаги, испаренной из данного образца, определяемой по разности его веса до и после сушки.

Целью экспериментальных исследований являлось изучение зависимости скорости сушки от влажности тресты, оценка удельных затрат энергии и возможности избежать обугливания тресты на заключительной фазе сушки за счет неравномерного СВЧ-нагрева в силу неоднородности электромагнитного поля и недостаточного теплоотвода из внутренних областей образца.

Образцы льняной тресты диаметром 60...70 мм, высотой 170 мм, начальной влажностью 80...135% и средней плотностью 140...155 кг/м<sup>3</sup> подвергались СВЧ-сушке до влажности не более 20%. Средняя мощность СВЧ, подводимая к камере, составляла 600 Вт, скорость вращения образца с приводом от двигателя вращения поддона ~5 об/мин. Расход воздуха при продувке образца составлял 1,6 л/с.

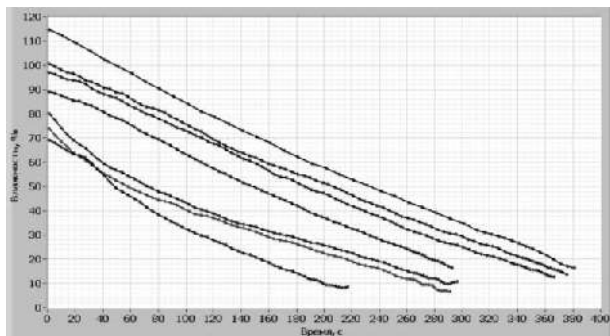


Рис. 2

Полученные кривые при СВЧ-сушке образцов льняной тресты приведены на графиках рис. 2. Видно, что, в отличие от конвективного способа [5], при СВЧ-сушке скорость сушки слабо зависит от влажности. Для исключения влияния на результаты сушки неодинаковых уровней начальной влажности использован алгоритм "отсечки" исходных данных с влажностью более 50%. Тресту с большей влажностью заведомо нецелесообразно подвергать СВЧ-сушке, она должна досушиваться до формирования рулонов в естественных условиях. Полученные кривые сушки образцов при одинаковой влажности приведены на рис. 3.

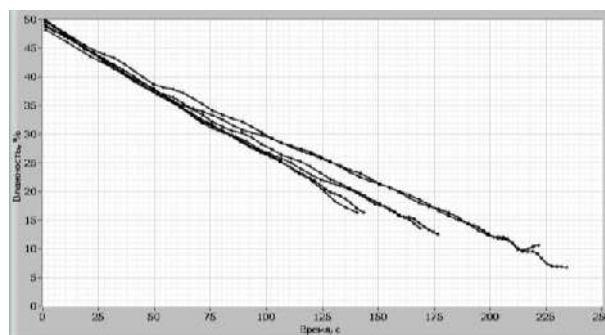


Рис. 3

Изменение скорости сушки изучалось путем непосредственного численного дифференцирования сглаженных кривых сушки в каждом из опытов. Для выявления периода падающей скорости сушки кривые сушки аппроксимировались показательной функцией общего вида:

$$y = a_0 + a_1 a_2^{-a_3 x}. \quad (1)$$

Однако все коэффициенты регрессии оказались незначимыми, что объясняется значительной погрешностью численного дифференцирования кривых сушки. В связи с этим в дальнейшем скорость сушки рассчитывалась по сглаженной обобщенной кривой сушки, полученной после обработки всех опытов.

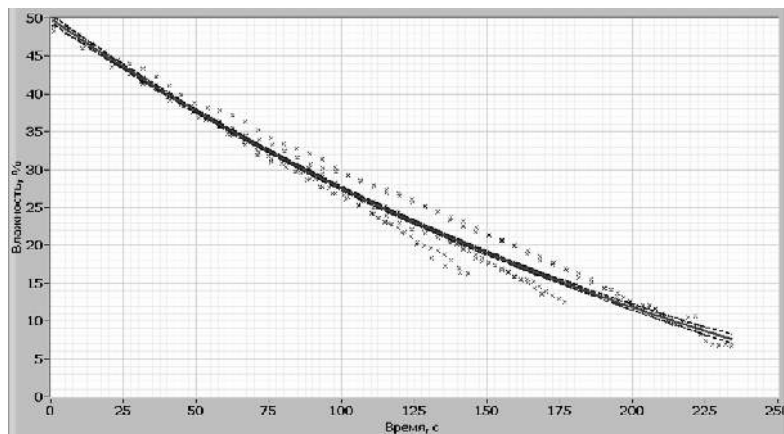


Рис. 4

Обобщенная кривая с доверительными интервалами приведена на рис. 4 (аппроксимация кривой сушки образцов показательной функцией).

Соответствующее уравнение регрессии имеет вид:

$$y = -25,17 \pm 7,4 + (75,09 \pm 7,04) \cdot (0,695 \pm 89000)^{-(0,00974 \pm 3450)x}, \quad (2)$$

где  $y$  – влажность, %;  $x$  – время сушки, с.

Из уравнения (2) следует, что коэффициенты, определяющие показательный характер кривой, оказались незначимыми при доверительной вероятности 0,95.

После аппроксимации кривых сушки линейной функцией получено уравнение:

$$y = 47,08 \pm 0,45 - (0,1831 \pm 0,0037)x. \quad (3)$$

В уравнении (3) все коэффициенты значимы при доверительной вероятности 0,95. Дифференцирование этого уравнения дает значение скорости сушки 0,183%/с, которая в условиях опытов остается практически постоянной. Это свидетельствует о том, что массообмен при СВЧ-нагреве происходит с интенсивностью, определяемой лишь подводимой мощностью и не ограничивается скоростью диффузионного влагопереноса, по крайней мере, до влажности тресты 10%, что позволяет сократить время сушки.

Оценка удельного расхода тепла на испарение влаги показала, что в условиях эксперимента оно составило  $4087 \pm 962$  кДж/кг влаги (по подводимой мощности СВЧ). Следует отметить, что при малом заполнении камеры трестой, имевшем место в ходе опытов, трудно рассчитывать на высокий

к.п.д. СВЧ-тракта установки в силу отсутствия согласования генератора и нагрузки. В результате существенная часть энергии возвращается к магнетрону и рассеивается в нем в виде тепла. Тем не менее, полученное значение удельных затрат тепла на килограмм испаренной влаги не превышает уровня этого показателя для существующих установок СВЧ-сушки древесины. Так, установка СВЧ-ЛЕС потребляет 207 кВт·ч электроэнергии на кубометр высушенной древесины при загрузке  $7,7 \text{ м}^3$ , при этом из материала удалено 931 кг влаги [6], что дает значение 6163 кДж/кг испаренной влаги. При типовом к.п.д. магнетрона 75% по затратам СВЧ-энергии получаем 4622 кДж/кг испаренной влаги. Коэффициент полезного действия магнетрона для СВЧ-нагрева в настоящее время уже достигает 85% [7]. Кроме того, эффективность использования электроэнергии в сушильных установках СВЧ повышается при использовании тепла, рассеивающегося на магнетроне, для получения горячей воды для технологических и бытовых нужд.

Результаты экспериментов также показали, что при конечной влажности тресты на уровне 10...20% охлаждение тресты путем продувки воздухом и вращение образца для компенсации неоднородности поля в

камере позволили избежать случаев локального перегрева и обугливания тресты на заключительном этапе сушки.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что при сушке льняной тресты в диапазоне влажности 10...50% период падающей скорости сушки отсутствует, что позволяет интенсифицировать процесс.

2. Удельные затраты тепла на килограмм испаренной влаги при сушке тресты не превышают аналогичный показатель при СВЧ-сушке древесины.

3. При конечной влажности тресты на уровне 10...20% охлаждение тресты путем продувки воздухом и вращение образца для компенсации неоднородности поля в камере позволяют избежать случаев локального перегрева и обугливания тресты на заключительном этапе сушки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Оробинский Д.Ф.* Уборка льна в условиях Северо-Западного региона России. – Вологда–Молочное: ИЦ ВГМХА, 2007.

2. *Дубкова И.А.* Совершенствование технологии подготовки льнотресты в рулонах к механической переработке: Дис. ... канд. техн. наук.– Кострома, 2000.

3. *Гареев Ф.Х.* Проблемы и перспективы СВЧ-сушки древесины // ЛПИ. – 2004, №1. С.50...52.

4. *Гареев Ф.Х.* Сушка древесины электромагнитными волнами // ЛПИ. – 2004, №9. С.74...78.

5. *Васильев Ю.В.* Совершенствование технологии и оборудования для сушки стланцевой льняной тресты: Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома, 2013.

6. Сушильная установка СВЧ-ЛЕС [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://svch-technologii.ru/economika.html>

7. Магнетрон для СВЧ-нагрева [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/214/2143767.html>

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 26.09.14.

УДК 677.021

## ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ТРЕПАНИИ ЛЬНОСЫРЦА

### TRANSIENTS DURING THE FLAX'S SCUTCHING

*С.М. ВИХАРЕВ, Н.М. ФЕДОСОВА*

*S.M. VIKHAREV, N.M. FEDOSOVA*

(Костромской государственный технологический университет )

(Kostroma State Technological University)

E-mail: svixarev@yandex.ru, fedosovanm@mail.ru

*В статье представлены результаты прогнозирования изменения интенсивности обработки и индекса массы волокна на основании ранее предложенной авторами теории процесса трепания при регулировании частоты вращения трепальных барабанов и скорости движения зажимного транспортера в типовом мяльно-трепальном агрегате.*

*The forecasting' results of change of processing' intensity and fiber's mass index are given in the article. The theory of the scutching's process was proposed by the authors earlier.*

**Ключевые слова:** трепание, лен, переходный процесс, интенсивность, индекс массы, прогнозирование, длина, слой.

**Keywords:** scutching, flax, transient, intensity, mass' index, forecasting, length, layer.

Одним из актуальных направлений практической и научной деятельности в области первичной переработки лубяных культур в настоящее время является создание и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами и производством в целом. Это позволяет оперативно реализовывать мероприятия по дифференциации отдельных операций механической обработки при изменении качества сырья, контролировать и управлять технологическим процессом, более рационально использовать имеющиеся сырьевые, трудовые и энергетические ресурсы, что приводит к росту эффективности производства льняного волокна. К числу проблем, сдерживающих развитие этого направления, относится ограниченность представления о процессах, происходящих при переработке сырья, отсутствие их динамических моделей, учитывающих наличие переходных процессов<sup>1</sup>, которые возникают при оперативном изменении технологических параметров обработки.

Как и в любой динамической системе, при изменении каких-либо параметров процесса обработки лубяного сырья с момента изменения параметра до некоторого его установившегося значения имеет место реакция системы в целом. Изменения продолжительности и характера реакции при управлении процессом получения волокна до настоящего времени практически не изучены, что приводит к существенным погрешностям функционирования существующих систем автоматического управления.

Задача учета переходных процессов при изменении параметров трепания льняного сырья решается двумя путями. В работах [2], [3] процесс переработки рассматривается как

чередование статических состояний, характеризующихся постоянством некоторого обобщенного параметра. В работах [4], [5] применяются упрощенные модели переходного процесса, основанные на качественных рассуждениях о движении координат сырья во время обработки. Стоит также отметить серьезные погрешности подхода к рассмотрению параметра скорости перемещения сырца в секции и приведения динамических значений к статическим путем введения констант, изложенного в [5].

Целью представленной работы является прогнозирование изменения интенсивности обработки [8] и индекса массы волокна<sup>2</sup> при регулировании частоты вращения трепальных барабанов и скорости движения зажимного транспортера на основании теории процесса трепания, изложенной в [6], [7]. С учетом [6], [7] причиной появления переходных процессов по параметру выхода длинного волокна на выходе трепальной машины является различие в характере обработки участков сырьевого слоя, оказавшегося в трепальной секции в момент изменения настроек. Таким образом, для получения сведений о динамике переходного процесса в первую очередь необходимо рассмотреть изменение интенсивности воздействия рабочих органов на слой сырца по длине трепального барабана, учитывая продолжительность обработки и изменение координат положения участка слоя.

Характер изменения интенсивности процесса во времени по длине зоны обработки (трепальной секции) при ступенчатом изменении частоты вращения трепальных барабанов в соответствии с нормированной функцией Хевисайда приведен на рис. 1.

<sup>1</sup> Переходный процесс представляет собой реакцию динамической системы на приложенное к ней внешнее воздействие с момента приложения этого воздействия до некоторого установившегося значения во временной области [1].

<sup>2</sup> Индекс массы волокна – отношение массы чистого волокна в данный момент времени к первоначальной массе всего волокна в данном участке слоя в момент входа в трепальную секцию (определение предложено авторами).

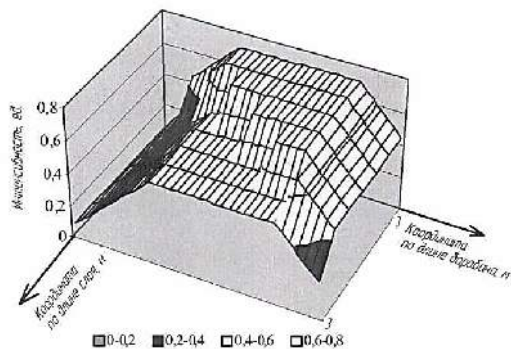


Рис. 1

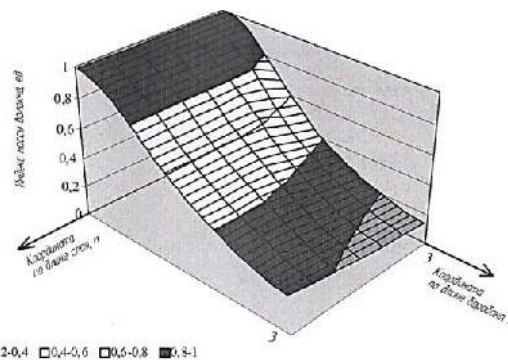


Рис. 2

В данном случае запаздывание учтено для каждого находящегося в зоне обработки элемента слоя по длине трепальных барабанов путем сдвига момента переключения частоты их вращения. Сведения о зависимости изменения интенсивности от частоты вращения барабанов взяты из предыдущих работ [8..12].

С учетом принятых допущений [8] по методикам [7...12] спрогнозировано изменение индекса массы волокна при ступенчатом изменении частоты вращения трепальных барабанов в процессе трепания по длине секции (рис. 2).

Кривая пересечения поверхности изменения индекса массы с плоскостью (O, O, L), где L – это длина трепального барабана, представляет собой графическое описание переходного процесса по выходу длинного волокна (рис. 3).

Зависимости, полученные выше (рис. 1...3) и ранее аналитически [8], достаточно сильно коррелируют, отражая при этом количественную связь выхода длинного волокна с изменением интенсивности обработки.

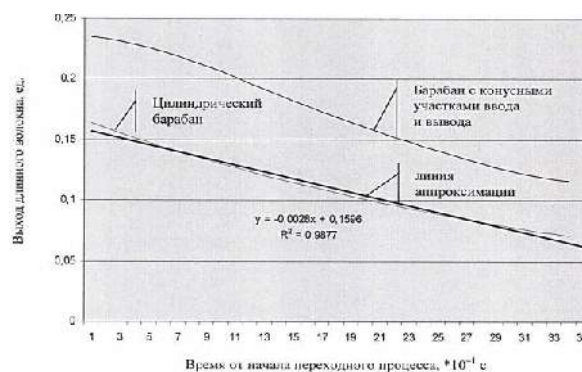


Рис. 3

При изменении параметра скорости транспортера, или, что тождественно, продолжительности обработки сырья в трепальной секции, картины изменения интенсивности и индекса массы волокна по длине трепального барабана будут отличаться (рис. 4...5). Рис. 4 – изменение интенсивности обработки при ступенчатом изменении скорости зажимного транспортера. Рис. 5 – изменение индекса массы волокна по длине трепальной секции при ступенчатом изменении скорости зажимного транспортера.

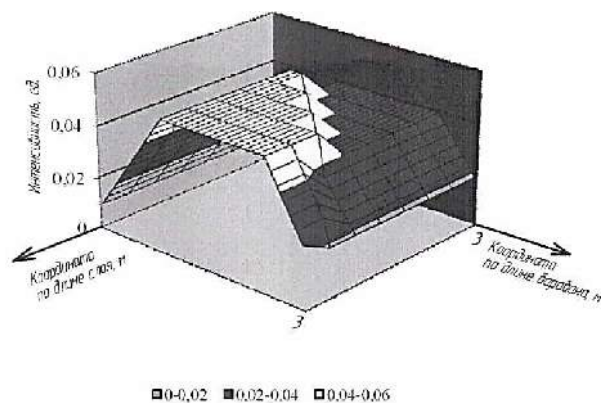


Рис. 4

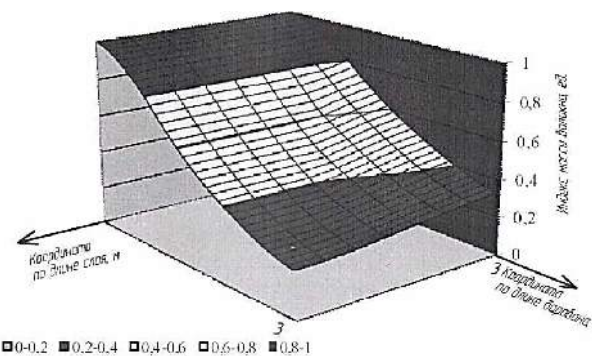


Рис. 5

Следует отметить, что в данном случае, из-за изменения скорости транспортера, зависимость положения пряжи в барабане от времени обработки усложняется. Поэтому тот же график, представленный на рис. 5, в координатах времени будет иметь вид, представленный на рис. 6 (изменение индекса массы волокна во времени при ступенчатом изменении скорости зажимного транспортера).

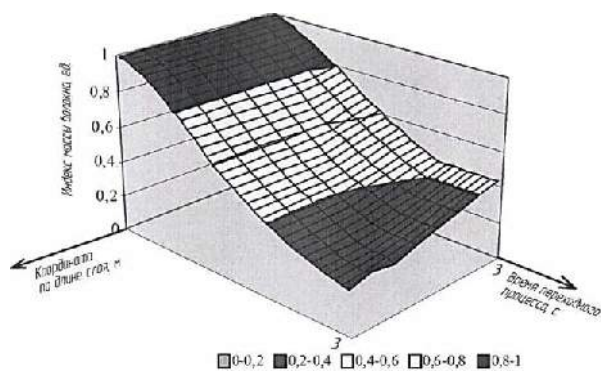


Рис. 6

## ВЫВОДЫ

1. Получены графические зависимости, характеризующие изменение выхода длинного волокна при изменении интенсивности обработки с учетом переходных процессов.

2. Отмечено, в том числе графически, различие в подходе к описанию переходных процессов по скорости транспортера и по частоте вращения трепальных барабанов в зависимости от принятых координат (координата по длине барабана либо время обработки)

3. Показана близость переходного процесса по частоте вращения барабанов к линейной форме для цилиндрического трепального барабана, что подтверждает ранее полученные результаты и предложенные зависимости в [8].

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб: Профессия, 2003.

2. Румянцева И.А. Совершенствование системы контроля параметров качества льняной стланцевой тресты: Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома: КГТУ, 2007.

3. Петров С.С. Управление режимом работы мяльно-трепального агрегата по показателю отделяемости льнотресты: Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома: КГТУ, 2007.

4. Вихарев С.М. Совершенствование конструкции и технологических параметров машины для трепания льна: Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома: КГТУ, 2003.

5. Катков А.А. Управление режимом работы мяльно-трепального агрегата в зависимости от влажности льнотресты: Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома: КГТУ, 2008.

6. Вихарев С.М. Применение теории марковских процессов для моделирования динамики процесса трепания льна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №6С. С.52...54.

7. Вихарев С.М., Федосова Н.М. Динамическое моделирование процесса трепания // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №4С. С.46...49.

8. Вихарев С.М. Совершенствование методов и средств управления процессами получения длинного льняного волокна на мяльно-трепальном агрегате. – Кострома : КГТУ, 2010.

9. Вихарев С.М., Федосова Н.М. Особенности ввода льносырца в конусные части трепальных барабанов и их влияние на процесс обработки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №4. С. 32...34.

10. Вихарев С.М., Федосова Н.М. Влияние технологических параметров процесса трепания на его интенсивность // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №5. С.36...41.

11. Вихарев С.М., Федосова Н.М. Моделирование процесса переработки льняного сырья путем применения теории случайных процессов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №7. С. 8...11.

12. Вихарев С.М., Федосова Н.М. Особенности нагружения сырца в начале трепальной секции // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №8. С.19...21.

Рекомендована кафедрой технологии производства льняного волокна. Поступила 20.06.14.



# ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ В УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВОЛОКНА ОТ ПРИМЕСЕЙ

## STUDY OF WORKERS KINEMATIC PARAMETERS FOR CLEARING DEVICES MODIFIED FIBER FROM IMPURITIES

А.Г. НОСОВ, С.Н. РАЗИН, Е.Л. ПАШИН  
A.G. NOSOV, S.N. RAZIN, E.L. PASHIN

(Костромской государственный технологический университет)  
(Kostroma State University of Technology)  
E-mail: kaf\_tplv@mail.ru

*Проведен анализ траектории и изменения скорости точки пересечения рабочих органов в устройстве для очистки волокна от неволокнистых примесей. Установлена зависимость градиента изменения указанной скорости перемещения только от частоты вращения рабочих органов и их межосевого расстояния.*

*The analysis of the trajectory and speed change points of intersection of the working bodies of the device for clearing fiber from non-fiber impurities. The dependence of the gradient of the velocity of the changes specified only on the speed of working bodies and their center distance.*

**Ключевые слова:** очистка короткоштапельного волокна, вращение, рабочие органы, скорость точки пересечения.

**Keywords:** clearing short fibers, spinning, working bodies, the speed point of intersection.

Качество модифицированного и однотипного льняного волокна во многом определяется наличием в нем костры [1]. Поэтому существует необходимость дополнительной очистки образуемого после обработки на модификаторе ММЛ волокна от неволокнистых примесей, преимущественно от насыпной костры.

Для этой цели предложено использовать сходное с известным решением [2] устройство, представляющее собой раму с закрепленными на ней совершающими вращательное движение валами, на которых установлены с шагом пластины в виде правильных многоугольников с возможностью перекрытия траекторий движения вершин пластин соседних валов (рис 1 – схема устройства для очистки волокна от неволокнистых примесей). Зонай очистки является пространство между нижними краями

пластин и колосниковой решеткой, располагаемой ниже.

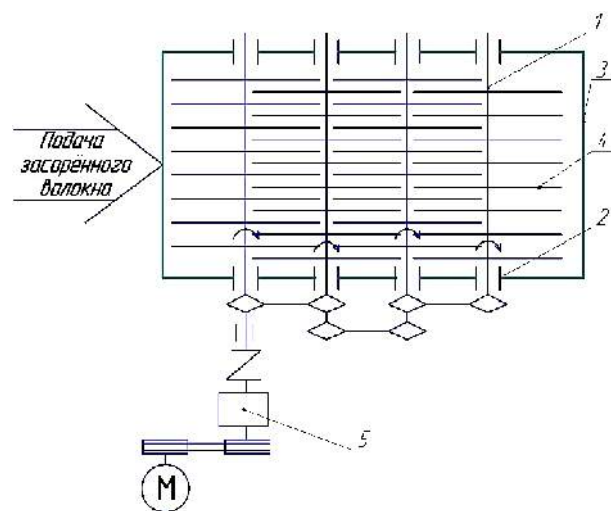


Рис. 1

Устройство для очистки лубяного волокна работает следующим образом. С помощью специального питателя лубяное волокно поступает на устройство для очистки. Воздействие на волокнистую массу со стороны рабочих органов происходит за счет вращения валов 1, которые вращаются синхронно в одну сторону в подшипниках 2, закрепленных на раме 3. На валах расположены рабочие органы 4 в виде правильных многоугольников, обеспечивающих перемещение волокнистого материала в направлении обработки. Связь между соседними рабочими органами обеспечивается цепной передачей, которая обеспечивает передачу крутящего момента от двигателя через редуктор 5. Рабочие органы на валах расположены с шагом так, чтобы их плоскости были параллельны и располагались бы между собой на равных расстояниях. При выборе межосевого расстояния должно обеспечиваться пересечение траектории перемещения вершин пластин относительно друг друга при их вращении.

Костроволокнистая смесь, перемещаясь вдоль активной зоны вследствие вращения пластин, непрерывно встряхивается, тем самым создавая условия для удаления костры. Скорость движения волокон определяется угловой скоростью вращения валов и межосевым расстоянием. Является очевидной зависимость интенсивности встряхивания от режимно-конструктивных параметров очистительного устройства. При предложенной конструкции важно обеспечить условие самоочистки свободных пространств между пластинами на валах, в которых может накапливаться волокно.

$$X_{A1} = \frac{a\sqrt{2}}{2} \cos\left(\frac{-\pi}{4} + \omega t + \alpha_0\right),$$

$$X_{B1} = \frac{a\sqrt{2}}{2} \cos\left(\frac{-3\pi}{4} + \omega t + \alpha_0\right),$$

$$X_{A2} = \ell + \frac{a\sqrt{2}}{2} \cos\left(\frac{-3\pi}{4} + \omega t\right),$$

$$Y_{A2} = \frac{a\sqrt{2}}{2} \sin\left(\frac{-3\pi}{4} + \omega t\right),$$

$$Y_{A1} = \frac{a\sqrt{2}}{2} \sin\left(\frac{-\pi}{4} + \omega t + \alpha_0\right),$$

$$Y_{B1} = \frac{a\sqrt{2}}{2} \sin\left(\frac{-3\pi}{4} + \omega t + \alpha_0\right),$$

$$X_{B2} = \ell + \frac{a\sqrt{2}}{2} \cos\left(\frac{3\pi}{4} + \omega t\right)$$

$$Y_{B2} = \frac{a\sqrt{2}}{2} \sin\left(\frac{3\pi}{4} + \omega t\right),$$

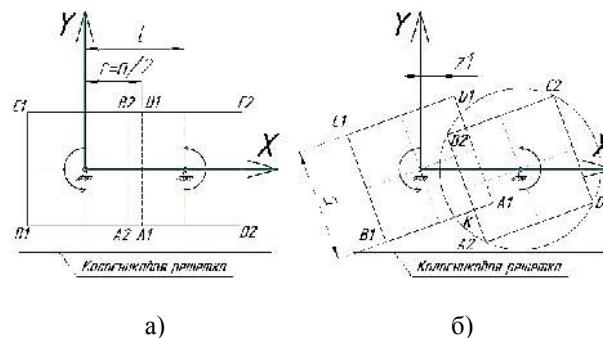


Рис. 2

Для этого межосевое расстояние для валов следует выбирать с учетом следующего условия (рис. 2: а) начальное положение рабочих органов, б) текущее положение рабочих органов):

$$\ell = \frac{a\sqrt{2}}{2} + z_1,$$

где  $z_1$  – небольшой зазор между траекторией движения квадратов и осью соседнего вала;  $a$  – длина стороны квадрата.

Для того, чтобы интенсивность очистки была максимальной необходимо спроектировать устройство так, чтобы изменение скорости движения волокнистой массы при ее переходе с рабочих органов одного вала на рабочие органы другого было максимальным. На рисунке 2 изображены два рабочих органа, например, в форме квадратов.

Допустим, что рациональной конструкцией будет такая, при которой, изменение скорости в т. К при переходе с одного рабочего органа 1 на другой рабочий орган 2 будет максимальным.

Для выявления этого определим координаты точки К пересечения квадратов. Для этого запишем выражение для координат точек A1, B1 и A2, B2:

где  $\alpha_0$  – угол между начальным положением стороны  $A_1B_1$  и оси  $X$ .

$$\frac{Y - Y_{A1}}{Y_{B1} - Y_{A1}} = \frac{X - X_{A1}}{X_{B1} - X_{A1}}.$$

Их можно привести к виду:

$$\begin{cases} y = k_1x + b_1, \\ y = k_2x + b_2, \end{cases} \quad (1)$$

где  $k_1 = \frac{Y_{B1} - Y_{A1}}{X_{B1} - X_{A1}}$ ;  $b_1 = Y_{A1} - X_{A1} \frac{Y_{B1} - Y_{A1}}{X_{B1} - X_{A1}}$ ;

$k_2 = \frac{Y_{B2} - Y_{A2}}{X_{B2} - X_{A2}}$ ;  $b_2 = Y_{A2} - X_{A2} \frac{Y_{B2} - Y_{A2}}{X_{B2} - X_{A2}}$ .

Учитывая, что точка  $K$  принадлежит обеим прямым, получим:

$$\begin{cases} y = \frac{Y_{B1} - Y_{A1}}{X_{B1} - X_{A1}}x + Y_{A1} - X_{A1} \frac{Y_{B1} - Y_{A1}}{X_{B1} - X_{A1}}, \\ y = \frac{Y_{B2} - Y_{A2}}{X_{B2} - X_{A2}}x + Y_{A2} - X_{A2} \frac{Y_{B2} - Y_{A2}}{X_{B2} - X_{A2}}, \end{cases}$$

Вычтя из первого уравнения второе, получим:

$$x_K(k_1 - k_2) + (b_1 - b_2) = 0,$$

$$x_K = -\frac{b_1 - b_2}{k_1 - k_2},$$

тогда

$$y_K = -k_1 \frac{b_1 - b_2}{k_1 - k_2} + b_1 = \frac{-k_1 b_1 + k_1 b_2 + k_1 b_1 - k_2 b_1}{k_1 - k_2}.$$

На рис. 3 представлена траектория перемещения точки  $K$  для рабочих органов в форме квадратов без начального смещения  $\alpha_0 = 0$  (пунктирной линией обозначены  $1/2$  межосевого расстояния валов). Ниже определены выражения для скорости  $V_K$ .

Запишем уравнение прямых, проходящих через  $A_1;B_1$  и  $A_2;B_2$ :

$$\frac{Y - Y_{A2}}{Y_{B2} - Y_{A2}} = \frac{X - X_{A2}}{X_{B2} - X_{A2}}.$$

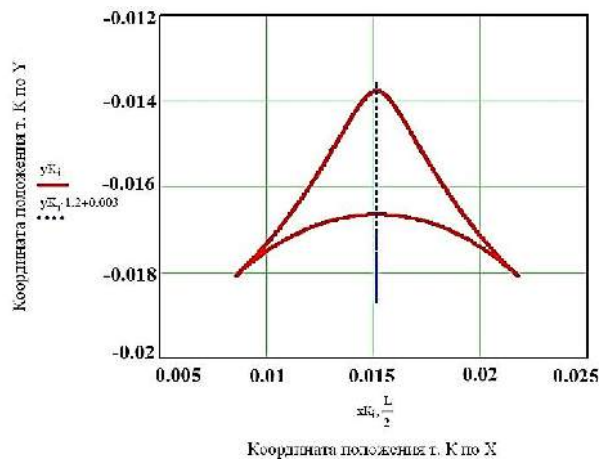


Рис. 3

Для определения скорости  $t$   $K_1$  и  $K_2$ , принадлежащих квадратам 1 и 2 соответственно, воспользуемся формулой Эйлера:

$$\overline{V_{K1}} = \overline{\omega r_{K1}} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ 0 & 0 & \omega \\ x_K & y_K & 0 \end{vmatrix} = \bar{j}\omega x_K - \bar{i}\omega y_K,$$

$$\overline{V_{K2}} = \overline{\omega r_{K2}} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ 0 & 0 & \omega \\ x_K - \ell & y_K & 0 \end{vmatrix} = \bar{j}\omega(x_K - \ell) - \bar{i}\omega y_K.$$

Тогда проекции скорости точек  $K_1$  и  $K_2$  будут:

$$V_{K1X} = -\omega y_K, \quad V_{K2X} = -\omega y_K, \quad (2)$$

$$V_{K1Y} = \omega x_K, \quad V_{K2Y} = \omega(x_K - \ell).$$

Вектор изменения скорости  $\overline{\Delta V}$  найдем из равенства:

$$\overline{\Delta V} = \overline{V_{K2}} - \overline{V_{K1}}.$$

Используя уравнения системы (2), будем иметь:

$$\Delta V_x = 0; \Delta V_y = -\omega \ell.$$

Полученные выражения указывают на то, что скорость движения волокон в горизонтальном направлении при переходе с одного рабочего органа на другой не изменяется, а величина изменения скорости  $\Delta V_y$  определяется угловой скоростью вращения валов  $\omega$  и межосевым расстоянием  $\ell$  (рис. 4 – график изменения скорости (проекция по оси Y) перемещения т. К в зависимости от  $\omega$  и  $\ell$ ).

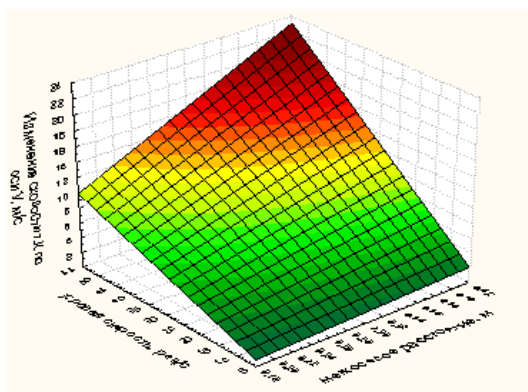


Рис. 4

1. Применительно к новой конструкции очистительного устройства для удаления костры из модифицированного льняного волокна предложено в качестве параметра интенсивности воздействий на него использовать вектор изменения скорости обрабатываемого материала в точке пересечения контуров кромок вращающихся рабочих органов.

2. На основе анализа траектории точки пересечения кромок вращающихся рабочих органов установлено, что скорость движения волокон в горизонтальном направлении при переходе с пластин одного вала на другой не изменяется, а величина изменения скорости по оси Y определяется угловой скоростью вращения валов  $\omega$  и межосевым расстоянием  $\ell$  и не зависит от начального положения рабочих органов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разин С.Н., Пашин Е.Л. Теоретические основы совершенствования механической модификации льна. – Кострома: КГТУ, 2005.
2. Патент РФ № 2358048. Устройство для очистки волокна от неволокнистых примесей. Авторы: Е.Л. Пашин, П.В. Беляев. Опубл. 10. 06. 2009.

Рекомендована кафедрой технологии льняного волокна. Поступила 15.06.14.

УДК 677.11.017.2/7:519.22

**ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ВОЛОКОН КОТОНИЗИРОВАННОГО ЛЬНА**

**RESEARCH AND SIMULATION  
OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF COTTONIZED FLAX FIBER**

*А. С. ДЯГИЛЕВ, А. Г. КОГАН*  
*A.S. DYAGILEV, A.G. KOGAN*

(Витебский государственный технологический университет)  
(Vitebsk State Technological University)  
Email: dygilev@gmail.com

*Предложена методика исследования и имитационного моделирования физико-механических свойств текстильных волокон. На основе предложенной методики проведено исследование физико-механических свойств волокон котонизированного льна.*

*Proposed a method for the investigation and simulation of physical and mechanical properties of textile fibers. On the basis of the proposed method a study of physical and mechanical properties of cottonized flax fibers.*

**Ключевые слова:** волокна, котонизированный лен, физико-механические свойства, моделирование.

**Keywords:** fibers, cottonized flax, physical and mechanical properties, simulation.

Ключевой качественной характеристикой продуктов прядения является их неровнота, которая зависит как от особенностей технологических процессов их формирования, так и от физико-механических характеристик перерабатываемых текстильных волокон. Для оценки неравномерности продуктов прядения широко используются методы компьютерного имитационного моделирования, позволяющие

сравнивать реально вырабатываемые продукты прядения с продуктами, которые можно было бы получить при эффективной работе всех задействованных механизмов. Использование таких методов особенно актуально в случаях разработки нового ассортимента изделий, когда отсут-

ствуют аналоги, производимые по той же технологии и из такого же сырья.

В условиях РУПТП "Оршанский льнокомбинат" разрабатывается ассортимент пряжи из котонизированного льяного волокна с использованием оборудования, ранее применявшегося для производства хлопчатобумажной пряжи, при этом льноволокно предварительно проходит обработку на линии котонизации фирмы Temaфа. Таким образом, для решения проблем оптимизации параметров технологических процессов и прогнозирования физико-механических свойств вырабатываемых продуктов прядения актуальна задача исследования вероятностных свойств физико-механических характеристик котонизированного льна.

Имитационные модели продуктов прядения используют большие массивы данных, содержащие сведения о физико-механических свойствах перерабатываемых волокон. Получить необходимый объем данных экспериментальным путем не представляется возможным, в связи с этим необходимо разработать методику, позволяющую генерировать неограниченно большие объемы данных о физико-механических свойствах волокон котонизированного льна, обладающих вероятностными характеристиками реально перерабатываемых волокон.

Текстильные волокна обладают комплексом физико-механических свойств, статистически взаимосвязанных между собой и представляющих многомерную случайную величину. При этом определяющее влияние на неровноту продуктов прядения по линейной плотности и разрывной нагрузке оказывают длина и линейная плотность перерабатываемых волокон [1], что обуславливает особое внимание, уделяемое этим характеристикам.

Как известно из математической статистики и теории вероятностей, точечные оценки характеристик случайной величины (среднее значение или коэффициент вариации) не могут полностью охарактеризовать вероятностные свойства случайной величины. Исчерпывающей характеристикой случайной величины является ее

функция распределения. При этом реальный вероятностный закон распределения физико-механических свойств перерабатываемых волокон, как правило, не подчиняется модельным законам распределения (нормальному, логнормальному и т.д.), что обусловлено влиянием большого числа факторов на формирование этих свойств. В связи с этим особый интерес для исследования вероятностных характеристик длин  $L$  волокон котонизированного льна представляет использование ядерной оценки функции плотности вероятностей Парзена-Розенблатта, [2], [3], которая позволяет представить эмпирическую функцию распределения в виде конечной суммы случайных, нормально распределенных величин:

$$f(L) = \frac{1}{mh} \sum_{i=1}^m K\left(\frac{L - \ell_i}{h}\right), \quad (1)$$

где  $K(\ )$  – функция Гауссова ядра;  $m$  – число ядер;  $h$  – величина сглаживающего окна;  $L$  – значение длины волокна, для которого вычисляется значение функции плотности вероятности. При использовании Гауссова ядра величина сглаживающего окна  $h$  рассчитывается методом Сильвермана [5].

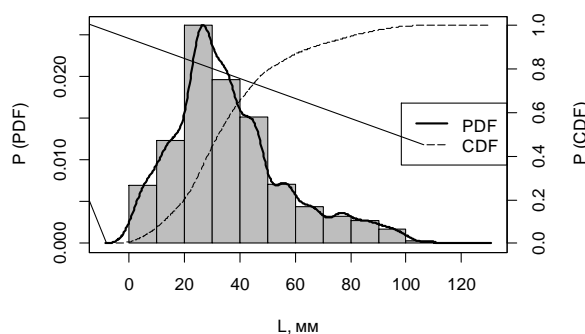


Рис. 1

На рис. 1 приведена гистограмма распределения, ядерные оценки плотности распределения  $f(L)$  (PDF) и интегральной функции распределения  $F(L)$  (CDF) длин волокон котонизированного льна. Расчеты проводились с помощью языка статистической обработки данных R [6].

Проинтегрировав ядерную оценку функции распределения  $F(L) = \int_{-\infty}^L f(L)dL$ ,

можно, используя метод обратного преобразования Н.В. Смирнова [7], генерировать массивы значений длин волокон котонизированного льна:

$$L = F^{-1}(\xi), \quad (2)$$

где  $F^{-1}(\cdot)$  – обратная интегральная функции распределения;  $\xi$  – случайная величина с равномерным распределением  $\xi \sim U(0,1)$ .

Ядерная оценка плотности распределения с высокой степенью достоверности аппроксимации описывает распределение длин волокон котонизированного льна. Однако имеет существенный недостаток, не позволяющий использовать ее для моделирования случайной выборки длин волокон. Поскольку ядерная оценка функции плотности распределения принимает не нулевые значения при отрицательных значениях  $L$  (рис. 1), то в генерируемой выборке будут присутствовать отрицательные значения длин волокон, что противоречит физическому смыслу поставленной задачи моделирования.

Для решения этой проблемы можно воспользоваться логарифмическим преобразованием, основанным на тождестве:

$$L = e^{\ln(L)}, \quad (3)$$

справедливом при положительных значениях длины  $L$  волокон ( $L > 0$ ), так как логарифмы длин волокон (в отличие от самих длин волокон) могут принимать отрицательные значения при длине волокон менее 1 мм.

Таким образом, алгоритм генерирования значений длин волокон котонизированного льна состоит из этапов:

- расчет логарифмов значений длин волокон котонизированного льна, где  $\ln(L)$  определены на множестве  $(-\infty; +\infty)$ ;

- расчет ядерной оценки функции плотности распределения логарифмов

длин волокон:  $f(\ln(L))$  и обратной интегральной функции распределения функции;

- расчет обратной интегральной функции распределения и генерирование случайной выборки логарифмов длин методом обратного преобразования Н.В. Смирнова:  $\ln(L) = F^{-1}(\xi)$ ;

- расчет случайной выборки длин волокон  $L = e^{\ln(L)}$  на основе сгенерированной случайной выборки логарифмов длин волокон.

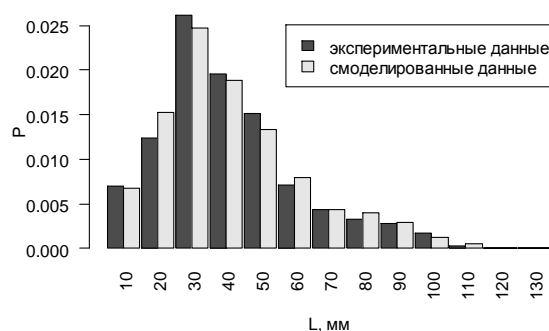


Рис. 2

На рис. 2 приведены гистограммы распределения 1000 экспериментально полученных и смоделированных значений длин волокон котонизированного льна. В результате статистической оценки, с помощью критериев согласия Колмогорова-Смирнова ( $p\text{-value} = 0,53$ ) и Пирсона ( $p\text{-value} = 0,41$ ), установлено: нет оснований отвергать гипотезу о том, что обе выборки подчиняются одному закону распределения вероятностей.

Измерение линейной плотности отдельных волокон – трудоемкий процесс, требующий использования сверхточного измерительного оборудования. Так, при длине волокна 40 мм и линейной плотности 0,5 текс его масса составляет  $2 \cdot 10^{-7}$  г. При этом между длинами и линейными плотностями волокон котонизированного льна существует статистическая связь. Таким образом, для получения данных о линейных плотностях волокон можно использовать регрессионную модель, устанавливающую зависимость между длиной

и линейной плотностью волокон котонизированного льна.

Зависимость линейной плотности волокон котонизированного льна от их длины имеет нелинейный характер. При этом с увеличением длины волокон наблюдается увеличение их толщины и линейной плотности. Модель, описывающая зависимость линейной плотности  $T$  от длины  $L$  волокон, должна отвечать следующим требованиям: для волокон нулевой длины моделируемая линейная плотность должна быть равна нулю; модель не должна иметь асимптоты, то есть фиксированного предельного значения линейной плотности волокон. Таким требованиям отвечает модель:

$$T = a_0 L^{a_1} u, \quad (4)$$

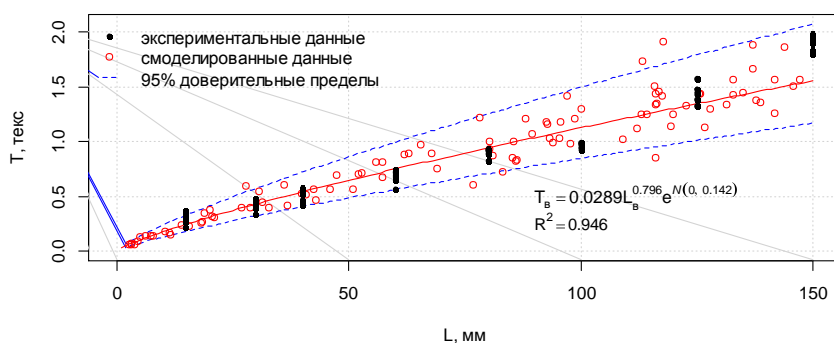


Рис. 3

На рис. 3 приведена оценка параметров регрессионной модели (4) и результаты моделирования значений линейных плотностей для 100 равномерно распределенных значений длин волокон котонизированного льна.

При оценке соответствия распределения остатков регрессионной модели (5) нормальному распределению с помощью критерия согласия Шапиро-Уилка достигаемый уровень значимости  $p\text{-value} = 0,1915$ , следовательно, нет оснований для отклонения нулевой гипотезы о нормальном законе распределения ошибки регрессионной модели. Это позволяет моделировать новые значения линейной

где  $a_0$  – параметр масштаба;  $a_1$  – параметр формы;  $u$  – ошибка модели.

Для применения классического аппарата регрессионного анализа и оценки параметров регрессионной модели обычным методом наименьших квадратов [4] модель (4) можно линеаризовать с помощью логарифмирования:

$$\ln(T) = \beta_0 + \beta_1 \ln(L) + \varepsilon, \quad (5)$$

где  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  и  $\varepsilon$  – параметры линеаризованной модели, связанные с параметрами модели (4) соотношениями:  $a_0 = e^{\beta_0}$ ,  $a_1 = \beta_1$ ,  $u = e^{\varepsilon}$ .

плотности волокон котонизированного льна, используя в качестве ошибки модели (5):  $\varepsilon \sim N(0, 0,142)$ , соответственно для модели (4):  $\hat{u} = e^{N(0, 0,142)}$ .

Таким образом, для моделирования данных о длинах и линейных плотностях волокон котонизированного льна с сохранением статистической связи, присутствующей в экспериментальных данных, необходимо: в модель (4) в качестве входных значений подставить значения, сгенерированные на основе приведенного выше метода с использованием ядерной оценки функции плотности распределения и обратного преобразования Н.В. Смирнова.



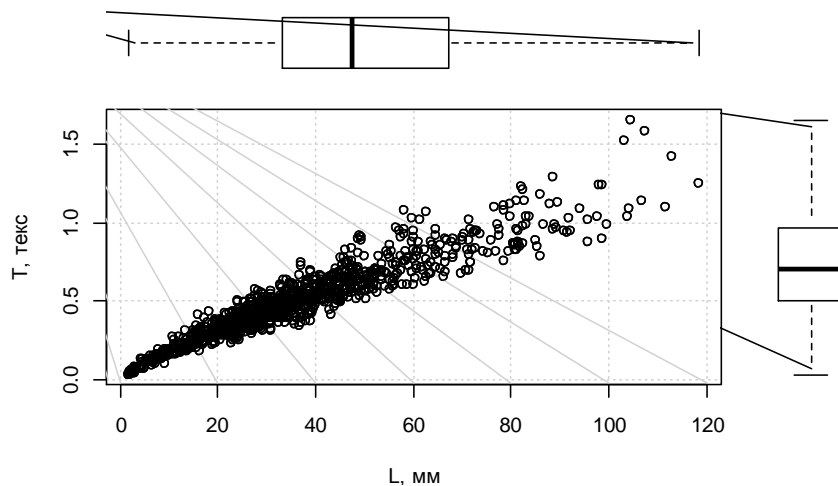


Рис. 4

На рис. 4 приведены результаты моделирования 1000 пар значений длин и линейных плотностей волокон котонизированного льна.

## ВЫВОДЫ

1. Предложена методика генерирования случайной выборки значений линейных плотностей волокон котонизированного льна с вероятностным законом распределения реально перерабатываемых волокон.

2. Предложена методика моделирования совместного распределения длин и линейных плотностей волокон котонизированного льна, позволяющая сохранить статистическую взаимосвязь между ними, присутствующую в экспериментальных данных.

3. Предложенные методики могут использоваться для генерирования входных данных имитационных моделей продуктов прядения при оценке качественных показателей текстильных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Севостьянов А. Г. Методы исследования неровноты продуктов прядения. – М.: Гостехиздат, 1962.
2. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode. Ann. Math. statist. – 33, 3, 1962. P. 1065...1076.
3. Rosenblatt M. Remarks on some nonparametric estimates of a density function. Ann. Math. statist. – 27, 3, 1956. P.832...837.
4. Дягилев А.С., Коган А.Г. Методы и средства исследований технологических процессов. – Витебск: ВГТУ, 2012.
5. Silverman B.W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis, Chapman and Hall. – London, 1986.
6. R Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
7. Вадзинский П.Н. Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: Наука, 2001.

Рекомендована кафедрой прядения натуральных и химических волокон. Поступила 20.12.13.

**МЕТОД КОНТРОЛЯ ЗА ХОДОМ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРЯДЕНИЯ  
И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ ПРЯЖИ**

**METHOD OF MONITORING THE TECHNICAL CHARACTERISTICS  
OF THE NODES RING SPINNING MACHINES  
AND CONTINUOUS CONTROL OF PARAMETERS OF YARN PRODUCED**

*Д.Н. БЕЛЯЕВ, А.А. СТОЛЯРОВ*  
*D.N. BELYAEV, A.A. STOLYAROV*

(Ивановский государственный политехнический университет)  
(Ivanovo State Polytechnical University)  
E-mail: stolyarovanatoly@yandex.ru

*В статье рассматривается вопрос оснащения технологического оборудования прядильного производства системами автоматики для оперативного контроля технологических параметров и нормирования качественных показателей пряжи и нитей.*

*The article discusses the issue of equipping of technological equipment of spinning production automation systems for operational control of technological parameters and regulation of quality indicators yarn and threads.*

**Ключевые слова:** прядильная машина, автоматические системы контроля, качество пряжи, структура пряжи, свойства пряжи.

**Keywords:** spinning machine, automatic control systems, quality yarn, yarn structure, properties yarn.

В выполнении качественной и продуктивной работы самым весомым и фундаментальным критерием является верная постановка задачи. Следствием неполного, нелогичного, либо некорректно поставленного задания, зачастую является непредсказуемая сложность его реализации, а если задача вовсе не поставлена, то нет смысла приступать к работе.

В настоящее время на отечественном рынке, к сожалению, преобладают товары импортного производства. Для повышения конкурентоспособности текстильной продукции, выпускаемой российскими производителями, необходимо решать самые разнообразные задачи, в том числе необходимо проанализировать и выявить слабые звенья в цикле производства. Составляющие этого цикла могут составить достаточно емкий перечень, охватывая всю многогранность производственной

системы. Приоритетными направлениями нашего исследования являются совершенствование кольцевой прядильной машины и разработка технических средств контроля вырабатываемой пряжи.

Задача оснащения отечественного прядильного оборудования системами автоматики для оперативного контроля технологических параметров и нормирования качественных показателей пряжи и нитей является наиболее значимой в настоящее время. Мониторинг состояния оборудования в режиме реального времени способствует повышению эффективности производства, а применение современных микропроцессорных узлов, интегрированных с ЭВМ и оснащенных современными средствами коммутации, как проводными (USB), так и беспроводными (Bluetooth, Wireless USB, Wi-Fi), делает устройство

актуальным в современном мире информационных технологий.

Прежде чем анонсировать нашу разработку, следует сказать, что оно обладает всеми достоинствами образца, способного занять свое место на рынке метрологических систем и приборов. Устройство позволяет определять показания числа кручений движущегося продукта, а также основные характеристики узлов кольцевой прядильной машины, принимающих непосредственное участие в процессе формирования нити и пряжи.

Прибор собран на базе электронных компонентов зарубежных производителей, широко распространенных на российском рынке. Минимизация размеров современных деталей позволяет выполнить прибор в компактном исполнении, не теряя при этом в функциональности. Схемотехническое решение составлено таким образом, что при функциональном расширении, изменении требований или условий работы, делает устройство максимально универсальным – доработка коснется лишь программной части, тем самым открываются большие перспективы для изобретателей и разработчиков промышленных лабораторий.

В дополнении к указанным функциям устройство способно осуществлять вычисление составляющих и расчетных величин [5], благодаря которым можно контролировать технологический процесс кольцевой прядильной машины в зоне формирования продукта. Собранные данные образуют массив, выявляя закономерность их изменения, а также причины и элементы зависимости, влияющие на качество пряжи. Применение средств обратной связи даст возможность коррекции и управления технологическим процессом.

В качестве функционального ядра выбран современный высокопроизводительный микроконтроллер (МК) компании Silicon Laboratories, поддерживающий возможность передачи данных на ЭВМ по шине USB. Программирование микроконтроллера производилось с учетом теории и технологии изготовления пряжи кольцевого способа прядения. Основой для программирования устройства явля-

ются математические выражения определения крутки пряжи, которую та приобретает в процессе формирования. Компоненты математического выражения описывают рабочие характеристики основных узлов машины (частота вращения веретен, бегунка, скорость вращения выпускного цилиндра и пр.).

Известно, что за один оборот бегунка по бортику кольца пряжа получает одно кручение, следовательно, задача состоит в определении числа оборотов на отрезке продукта, подаваемого в зону кручения [5]. Регистрация периодов вращения происходит путем преобразования механического движения в электрический сигнал различного рода датчиками. При попадании бегунка в высокочастотное электромагнитное поле индуктивного датчика на его выводах возникает сигнал, который служит стартовой отметкой для запуска вычислительных операций на МК. Обладая релейной (бинарной) характеристикой, выходной сигнал чувствительного элемента кратковременным изменением уровня напряжения сообщает о появлении объекта в его активной зоне.

Для регистрации показателей вращения выпускного цилиндра используется оптический датчик с диффузионным отражением от объекта или так называемый датчик черной метки. На поверхность цилиндра наносятся маркерная метка либо полоска самоклеющейся пленки. Коэффициент контрастности метки и поверхности цилиндра подбирается таким образом, чтобы на выводе датчика возбуждался импульс, схожий с тем, который получен на выходе индуктивного преобразователя. Далее сигнал пропускается через триггер Шмитта. Триггер необходим для приведения неправильной формы сигнала, пришедшего с датчика, к виду прямоугольного импульса, а также для устранения явления "дребезга". После чего импульс усиливается до требуемого значения и удовлетворяющий всем условиям поступает на цифровой вход МК для дальнейшей обработки. В настоящее время в структуре современных датчиков присутствуют все необходимые узлы, которые обеспечивают на выводах

сигнал требуемой формы. Применение таких образцов позволяет избежать усложнения схемы прибора, упростить процесс изготовления и отладки.

Прибор оснащен аналоговым входом для подключения источников аналогового сигнала. Известно устройство динамометрического веретена [6], устройство для измерения натяжения нити между бегунком и паковкой [7] и схемы измерения натяжения пряжи в точке наматывания [3], [4]. В качестве аналого-цифрового звена устройства используется 16-разрядный преобразователь фирмы Analog Devices. Режим

коррекции в отключенном состоянии тензорезистивного датчика [3] присваивает показанию на выводах значение начальной точки отсчета, приняв его за ноль. В момент прихода импульса с бегунка на контроллере срабатывает прерывание. МК дает команду, и преобразователь приступает к обработке значения, пришедшего с выхода усилителя, характеризующего мгновенное натяжение нити в точке наматывания. Как только данные оцифрованы, МК их считывает и помещает в соответствующий регистр.

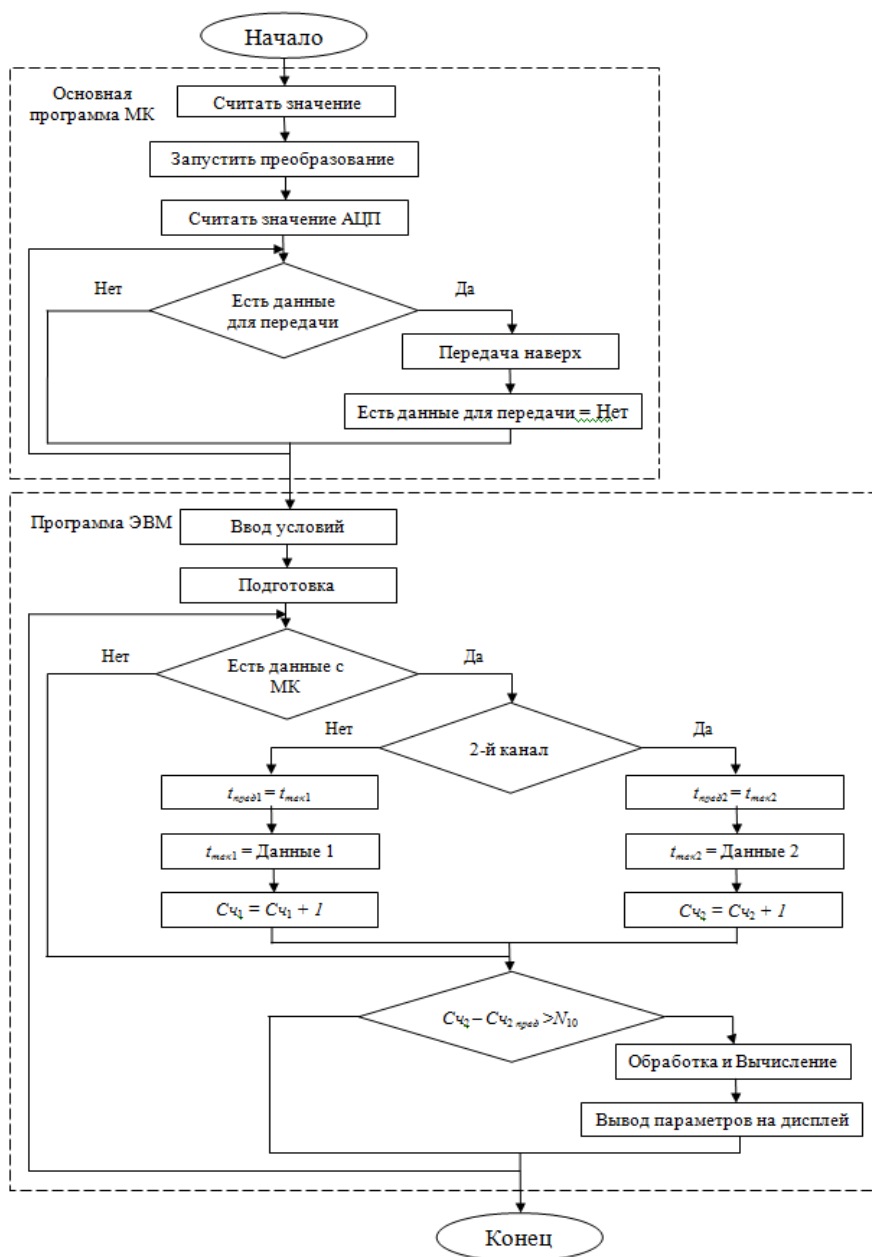


Рис. 1

Отслеживать и выполнять все необходимые расчеты и манипуляции будет прикладная программа на ЭВМ, а устройство будет осуществлять процесс измерения, приводить результаты к соответствующему виду и посылать их на верхний уровень. Объективное распределение задач системы устройство – ЭВМ позволит увеличить точность измерений, повысить быстродействие, переместив основную нагрузку на ЭВМ, а также снизить энергопотребление и значительно упростить процесс разработки. На рис.1 представлена блок-схема алгоритма программы.

В МК запущен таймер в 32-разрядном режиме, который реализован средствами двух 16-разрядных. Это позволит избежать ошибок, возникших вследствие переполнения таймера. Модуль захват/сравнение настроен на работу в режиме захвата, управляемый фронтом импульса. В этом режиме активный фронт на внешнем выводе приведет к захвату значения таймера/счетчика ПМС и загрузке его в 16-разрядный регистр захвата/сравнения соответствующего модуля. Показания таймера  $T_{\text{пред}}$  и  $T_{\text{тек}}$  являются основными данными, участвующими в алгоритме. Значения  $|\Delta T| = T_{\text{пред}} - T_{\text{тек}}$  достаточно для расчета частоты вращения. Из известных значений диаметров находятся соответствующие длины окружностей ( $S_K$  и  $S_{B.Ц.}$ ) и, следовательно, скорости вращения. В качестве примера для пояснений используются технические характеристики узлов кольцевой прядильной машины П-66-5М4: диаметр выпускного цилиндра – 25мм, диаметр кольца – 42 мм, частота вращения веретена – 13000 мин<sup>-1</sup>. Значения вводятся в окно программы, так как являются исходными данными для расчетов. В данном случае процесс точных измерений производится примерно 270 раз в секунду, причем скорость вычислительных операций изменяется в зависимости от рабочей частоты вращения. Предельный диапазон работы измерительного устройства для частот вращения веретена достаточно широкий и принят от 10 000 до 40 000 об/мин. Это позволит эксплуатировать прибор на

кольцепрядильных машинах различного класса.

Момент прихода значений таймера на ЭВМ несет в себе информацию о совершении бегунком или выпускным цилиндром одного полного оборота. Прикладная программа сохраняет их в массив и увеличивает значение счетчика ( $C_{ч1}$  и  $C_{ч2}$ ) на 1. Значение счетчика служит множителем для последующего определения длин исходного и готового продукта. На основании анализа теории кручения волокнистого материала [1], [2], а именно методики определения коэффициента укрутки – как отношение длины полученного продукта к длине мычки – с каждым оборотом веретена бегунок или метка на поверхности выпускного цилиндра проходит одинаковое расстояние. При условии известного диаметра кольца и цилиндра не составляет труда определить это расстояние, а следовательно узнать количество волокнистого материала, которое потребовалось затратить на изготовление известной длины готовой пряжи или нити.

Согласно данным, приведенным в [5], показания укрутки пряжи на отрезке длиной в 1 м варьируется в пределах 2...6%. Исходя из нашей методики максимальная погрешность в измерении этого параметра при тех же условиях возрастает до 8% и более. Причиной такой большой ошибки являются относительно большие значения диаметров выпускного цилиндра и кольца, так как в метровом отрезке продукта укладывается только 7 полных значений  $S_K$ , что соответствует отметке 0,92 м. Взяв во внимание высокую скорость и инерционность вращающихся органов, измерения можно проводить каждые 10 м. Аналогично максимальная погрешность в измерении периодов вращения выпускного цилиндра составит около 6%. Значения отклонений, полученные аналитическим методом, выходят за допустимые пределы, делая устройство непригодным для применения в данной области. Решение проблемы сводится к следующему: в начале программы создается условие, определяющее номер импульса, фронт которого будет максимально ближе к этой отмет-

ке ( $N_{10}$ ), тем самым формируя условие ( $S_{ч1} - S_{ч2} > N_{10}$ ), при котором периодически, через каждые 10 метров продукта, будут рассчитываться текущие значения крутки и других параметров; после чего десятикратное значение будет приводиться к нормальному виду и помещаться в массив. Такой ход повысит точность измерения, снизив погрешность на порядок.

Таким образом, в расчетах производных и составляющих величин будут принимать участие только результаты десятиметровой отметки – 3 раза в секунду, согласно [5]. Для удобного наблюдения за измерительным процессом последние значения будут выводиться из массива на экран каждую секунду. Стоит отметить, что при всех нюансах работы программы полученные в процессе измерения результаты не будут утеряны, а будут помещаться в память программы, откуда их можно извлечь. По завершению измерительного цикла результаты можно оформить в удобной для обработки, изучения и хранения форме средствами графиков, схем или таблиц.

Основным достоинством данной разработки является то, что процесс контроля осуществляется в ходе формирования пряжи, чего нельзя сказать о лабораторном оборудовании. Мониторинг технологического состояния узлов кольцевой прядильной машины, участвующих в процессе крутки, позволит выявить слабые места, а также установить закономерность и причины, влияющие на качество получаемой продукции. Доступна возможность сохранять результаты измерений в памяти ЭВМ на протяжении, например, рабочей смены или намотки партии. На основании резуль-

татов измерения можно сформировать графики и использовать их как задающее воздействие в средствах обратной связи.

В целом применение прибора сократит время, затрачиваемое на нормирование крутки, сократит вероятность брака и, как следствие, повысит производительность труда и качество выпускаемой продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Корицкий К.И.* Вопросы структуры и проектирования хлопчатобумажной пряжи. – М.-Л.: Государственное издательство легкой промышленности, 1940.
2. *Соколов Г.В.* Вопросы теории кручения волнообразных материалов. – М.: Государственное научно-техническое издательство легкой промышленности СССР, 1957.
3. *Столяров А.А.* Способ определения натяжения нити на кольцевой прядильной машине в зоне бегунок-паковка // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, №5. С.28...31.
4. *Столяров А.А.* Построение и анализ диаграммы натяжения нити на кольцевой прядильной машине // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №2. С.28...31.
5. *Павлов Ю.В. и др.* Теория процессов, технология и оборудование прядения хлопка и химических волокон / Под ред. Ю.В. Павлова. – Иваново: ИГТА, 2000.
6. Патент на изобретение № 2202662 Российской Федерации, МПК<sup>7</sup> D 01 H 13/26. Веретено динамометрическое [Текст] / Бархоткин Ю.К., Столяров А.А. Оpubл. 20.04.2003, Бюл. № 11.
7. Патент на изобретение № 2485226 Российской Федерации, МПК<sup>7</sup> D 01 H 13/26. Устройство для измерения натяжения нити между бегунком и паковкой кольцевой прядильной машины [Текст] / Столяров А.А. Оpubл. 20.06.2013, Бюл. №17.

Рекомендована кафедрой технологии текстильных изделий. Поступила 15.05.14.

## К ВОПРОСУ ОБ УКЛАДКЕ ВОЛОКНИСТОГО ПРОДУКТА В НЕПОДВИЖНЫЙ КОНТЕЙНЕР

### ON THE LAYING FIBER PRODUCTS IN FIXED CONTAINERS

*С.В. ВОЛКОВ, Н.К. ПАКУЛОВА, В.В. ВОЛКОВ*  
*S.V. VOLKOV, N.K. PAKULOVA, V.V. VOLKOV*

(Пензенский государственный технологический университет)  
(Penza State Technological University)  
E-mail: signumsw@mail.ru

*В работе рассмотрен вариант укладки волокнистой ленты в неподвижный контейнер с помощью оригинального устройства, лишенного недостатков механизмов планетарного типа. Проанализированы кинематические особенности функционирования и технологические последствия его применения на соответствующем переходе переработки продукта.*

*In the paper version of the laying of the sliver into the fixed container using the original device, devoid of drawbacks mechanisms of planetary type. Analyzed the kinematic features of functioning and technological implications of its use in the relevant passage of the product.*

**Ключевые слова:** укладка волокнистой ленты, неподвижный контейнер, лентовод, спираль Архимеда, крутка.

**Keywords:** laying the sliver, a fixed container, the gears, Archimedean spiral, twist.

В традиционных технологических процессах прядения на соответствующих переходах применяется укладка полупродукта (ленты) во вращающийся контейнер. Данный способ вполне приемлем как по технологическим, так и по эксплуатационным условиям производства, но до определенного уровня производительности оборудования. С увеличением скоростей выпуска растет и скорость вращения контейнеров с лентой, вес которых может достигать десятков килограммов, что сопровождается рядом негативных последствий в виде повышенных энергопотребления и виброактивности оборудования. Аналогичные последствия вызывает и неизбежное при этом увеличение скоростей вращения верхних лентоукладчиков. Кроме того, рост производительности связан с более скоростным срабатыванием питающих контейнеров, сопровождающимся увеличением динамических нагрузок на

питающую ленту. В результате волокнистая лента получает дополнительную неконтролируемую вытяжку, вызывающую рост неровноты и обрывности на питании.

Одним из способов решения указанных проблем является укладка волокнистого продукта в неподвижный контейнер. Существует известное многообразие конструкций, обеспечивающих такую укладку [1]. Однако в основном это механизмы планетарного типа, конструктивно сложные и не обладающие приемлемой динамикой при работе на повышенных скоростях. При этом геометрия укладки витков ленты аналогична традиционному способу и не сопровождается достаточным ее упрочением за счет кручения.

Авторами предложен способ укладки ленты в неподвижный контейнер без использования планетарных механизмов. При этом продукт укладывается не по циклоиде, а по спирали Архимеда, что

уменьшает объем незаполненного пространства и сопровождается некоторой круткой ленты из-за более высокой частоты вращения лентовода при уменьшении радиуса раскладки. На рис.1 представлена схема устройства укладки.

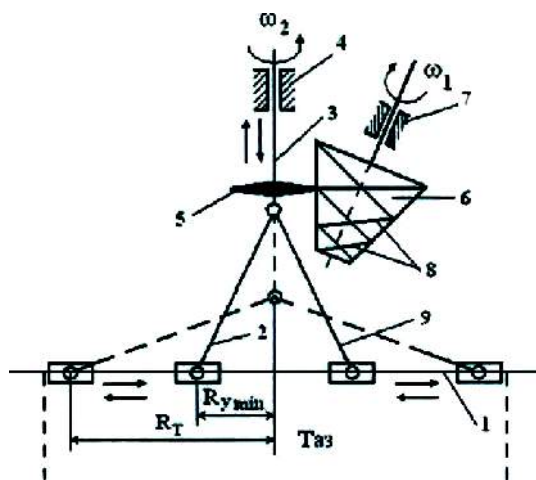


Рис. 1

Работа устройства заключается в следующем. Ведущий конический вал 6, вращаясь с постоянной скоростью, приводит во вращение вертикальную трубку лентовода 3 через фрикционный ролик 5, входящий в плотный контакт со спиральной канавкой встречного направления вала 6. В результате верхний лентовод 3 одновременно совершает два движения: вращательное и поступательное параллельно образующей конуса 6. Опускание трубки 3 вызывает перемещение наклонного лентовода 2 по радиальному пазу тарелки 1, увеличивая непрерывно радиус спирали (витка ленты). По достижении максимума радиуса укладки процесс повторяется в обратном порядке из-за попадания ролика 5 в канавку встречного направления вала 6.

Обозначим через  $\varphi_1$ ,  $\omega_1$ ,  $R_1$  и  $\varphi_2$ ,  $\omega_2$ ,  $R_2$  – угол поворота, угловую скорость и радиус соответственно конического вала 6 и радиуса-вектора производящей точки спирали в контейнере. Известно, что радиус спирали в функции угла поворота луча  $\varphi_2$  можно представить в виде [2]:

$$R_2(\varphi_2) = \frac{a(\varphi_2^3 + 1)^{3/2}}{(\varphi_2^2 + 2)}, \quad (1)$$

$R_2$  примем за параметр горизонтального перемещения выходного отверстия лентовода 2. Тогда скорость его радиального перемещения (производящая точка спирали):

$$V_2 = \frac{dR_2}{dt} \quad (2)$$

и

$$\frac{V_2}{\omega_2} = a > 0. \quad (3)$$

Постоянная  $a$  входит в выражение для расстояния между витками спирали:

$$S = 2\pi a,$$

откуда

$$a = \frac{S}{2\pi}. \quad (4)$$

Перемещение выходного конца наклонного лентовода 2 связано с перемещением вертикальной трубки 3 по правилу прямоугольного треугольника:

$$y = \sqrt{L^2 - R^2}, \quad (5)$$

где  $L$  – длина наклонного лентовода.

Вертикальное перемещение лентовода со скоростью  $V_b = \frac{dy}{dt}$  происходит параллельно образующей конуса вала 6, поэтому

$$y = \frac{y'}{\cos\alpha}, \quad (6)$$

где  $y'$  – перемещение точки по спиральной канавке конуса вдоль его оси;  $\alpha$  – угол конуса.

Если  $h$  – шаг нарезки, то

$$y' = \frac{h}{2\pi} \varphi_1. \quad (7)$$

Из (6) имеем:

$$y = \frac{h\varphi_1}{2\pi\cos\alpha}.$$



Учитывая, что

$$\varphi_2 = \varphi_1 \frac{R_{li}}{r}, \quad (8)$$

где  $R_{li}$  – текущий радиус конуса в точке контакта с роликом 5;  $r$  – радиус ролика 5.

Преыдущее выражение можно переписать в виде:

$$\varphi_2 = \varphi_1 \frac{h}{r} \operatorname{tg} \alpha = \varphi_1 d \operatorname{tg} \alpha, \quad (9)$$

где  $d = \frac{h}{r}$ .

Теперь, подставляя в (1) вместо  $\varphi_2$  выражение (9) и далее в (5), получаем:

$$y(\varphi) = \sqrt{L^2 - \frac{a^2 \left[ (\varphi_1 d \operatorname{tg} \alpha)^3 + 1 \right]^3}{\left[ (\varphi_1 d \operatorname{tg} \alpha)^2 + 2 \right]^2}}. \quad (10)$$

Скорость перемещения вертикальной трубки лентовода с учетом того, что  $b = d \operatorname{tg} \alpha$ , равна:

$$\frac{dy}{d\varphi} = \frac{a^2 (\varphi_1^3 b^3 + 1)^3 \left( \frac{4b^2 \varphi_1}{\varphi_1^2 b^2 + 2} - 9b^3 \varphi_1 \right)}{2\sqrt{L^2 (\varphi_1^2 b^2 + 2)^2 - a^2 (\varphi_1^3 b^3 + 1)^3}}. \quad (11)$$

Для практических целей более удобны полученные выражения как функции времени, учитывая, что  $\varphi_1 = \omega_1 t$ :

$$y(t) = \sqrt{L^2 - \frac{a^2 \left[ (\omega_1 t b)^3 + 1 \right]^3}{\left[ (\omega_1 t b)^2 + 2 \right]^2}}. \quad (12)$$

Скорость вертикального перемещения:

$$V_b = \frac{a^2 (\omega_1^3 t^3 b^3 + 1)^3 \left( \frac{4b^2 \omega_1 t}{\omega_1^2 t^2 b^2 + 2} - 9b^3 \omega_1 t \right)}{2\sqrt{L^2 (\omega_1^2 t^2 b^2 + 2)^2 - a^2 (\omega_1^3 t^3 b^3 + 1)^3}}. \quad (13)$$

Угловую скорость вала 6  $\omega_1 = \text{const}$  находим исходя из скорости выпуска ленты  $V$ :

$$V = \omega_{2\min} R_T, \quad (14)$$

где  $\omega_{2\min}$  – минимальная угловая скорость вращения лентовода;  $R_T$  – радиус контейнера.

Но  $\omega_2 = \omega_1 \frac{R_1}{r}$ , где  $r$  – радиус приводного ролика 5.

Тогда из (14) имеем:

$$\omega_1 = \frac{Vr}{R_{1\min} R_T},$$

или

$$\omega_1 = \frac{Vr}{R_{1\max} R_{2\min}}. \quad (15)$$

Параметры  $V$ ,  $R_T$ ,  $R_{2\min}$  – известны, значения радиусов большого и меньшего оснований конуса  $R_{1\min}$  и  $R_{1\max}$ , радиус приводного ролика  $r$  выбирается из конструктивных соображений.

Данный способ укладки отличается тем, что продукт при наработке контейнера получает крутку, переменную как во времени, так и по его длине. Как известно, величина крутки  $K$  определяется геометрией и кинематикой работы устройства укладки [3]. Из уравнения баланса круток имеем:

$$ndt = dN + VdtK(t), \quad (16)$$

где  $ndt$  – число кручений продукта за время  $dt$ ;  $dN$  – дифференциал числа кручений в зоне;  $Vdt$  – длина продукта, поступившего из зоны кручения за время  $dt$ ;  $VdtK(t)$  – число кручений, вынесенное продуктом за время  $dt$ .

Учитывая, что  $dN$  определяется длиной зоны кручения  $H$  и функцией  $K(t)$ :

$$dN = HdK(t). \quad (17)$$

С учетом (16) получаем:

$$HdK=ndt-VKdt. \quad (18)$$

Использование при этом постоянной времени зоны кручения  $T=H/V$  ( $V$  – скорость движения продукта) требует специальной оговорки. Дело в том, что  $H$  меняется непрерывно от максимального до минимального значения соответственно положению вертикальной трубки 3. Поэтому в нашем случае  $T=H(t)\omega(t)$  и в результате получаем:

$$\frac{H(t)\omega(t)}{V} \frac{dV}{dt} + K = \frac{n(t)}{V}. \quad (19)$$

Зависимости  $H(t)$  и  $\omega(t)$  известны из предыдущего рассмотрения, тогда крутка на единицу длины продукта равна

$$K = [n(t) - H(t)\omega(t)]/V. \quad (20)$$

Прочность волокнистой ленты определяется в первую очередь цепкостью волокон и в меньшей степени силами трения между ними (отсутствует давление в продукте). В нашем случае продукт получает некоторую крутку, вызывающую появление дополнительных сил трения между волокнами из-за их взаимного огибания по винтовым кривым. При малых крутках (как в данном случае) упрочняющее действие кручения продукта будет связано с увеличением сил сопротивления скольжения волокон  $F_x$ . Из формулы Эйлера вытекает, что

$$F_x = \frac{q\ell}{\mu} \frac{e^{\mu\phi} - 1}{\phi},$$

где  $q$  – цепкость волокон;  $\ell$  – длина волокна;  $\mu$  – коэффициент трения;  $\phi$  – угол огибания.

С учетом того, что  $\phi = \ell/\beta$  ( $\beta$  – угол кручения), можно количественно оценить упрочняющее действие крутки на волокнистую ленту при спиральной укладке. Прочность ее оказывается существенно выше, чем ленты без кручения, особенно при выпуске в контейнеры малых диаметров.

## ВЫВОДЫ

1. Практически доказана возможность осуществления укладки волокнистой ленты в неподвижный контейнер без использования планетарных механизмов.

2. Укладка по спирали Архимеда сопровождается не только уменьшением незаполненного пространства в контейнере, но и повышением прочности ленты из-за крутки, что благоприятно скажется на последующих технологических переходах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зырянов Е.В. Анализ и компьютерное моделирование процессов укладки ленты в контейнеры различной формы: Дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2007.
2. Погорелов А.В. Аналитическая геометрия. – М.: Наука, 1978.
3. Севостьянов А.Г., Севостьянов П.А. Моделирование технологических процессов. – М.: Легкая индустрия, 1984.

Рекомендована кафедрой технологии машиностроения. Поступила 03.02.15.

## О ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛУГРУБОЙ И ГРУБОЙ ОВЕЧЬЕЙ ШЕРСТИ ПО ГРЕБЕННОЙ СИСТЕМЕ ПРЯДЕНИЯ

### ABOUT PROCESSING OF SEMICOARSE AND COARSE SHEEP WOOL ON COMBING SPINNING

*И.М. ДЖУРИНСКАЯ, М.Б. ОТЫНШИЕВ, Г.Н. АБДЫКАРИМОВ*  
*I.M. JURINSKAYA, M.B. OTYNSHIYEV, G.N. ABDYKARIMOV*

(Алматинский технологический университет, Казахстан)  
(Almaty Technological University, Kazakhstan)

E-mail: indi\_06.79@mail.ru

*В статье рассматриваются результаты переработки грубой и полугрубой шерсти по камвольной системе прядения. Показана возможность предварительного обезволашивания неоднородной шерсти и последующей переработки пуха на стандартном технологическом оборудовании и получения качественной пряжи.*

*The article discusses the results of the processing of coarse and semi-coarse sheep wool for worsted spinning system. The possibility of pre-dehairing inhomogeneous wool and subsequent processing of down fibers on a standard technological equipment and obtaining high-quality yarn.*

**Ключевые слова:** овечья шерсть, пух, кардочесальные машины, натуральные волокна.

**Keywords:** heep wool, underwool, carding machines, natural fibers.

Удельный вес грубой и полугрубой овечьей шерсти в общем объеме производства овечьей шерсти ежегодно увеличивается и в настоящее время достиг 80%, что обусловлено увеличением в структуре овцеводства пород овец мясосального направления. Грубая и полугрубая овечья шерсть недостаточно востребована. Для обеспечения спроса на овечью грубую и полугрубую шерсть необходима разработка комплексной технологии переработки шерсти, обеспечивающей получение из нее качественной продукции в виде пуха, топса, пряжи и готовых изделий.

В статье приводятся результаты исследования технологических процессов переработки неоднородной грубой и полугрубой шерсти, начиная с немытой шерсти и заканчивая прядением. Исследования проводились в ТОО "Фабрика ПОШ-Тараз" (Казахстан). Сортировку немытой шерсти проводили по стандарту 30702–2000

(Шерсть. Торговая сельскохозяйственно-промышленная классификация) [1] с подразделением по тонине на 3 сорта: 1 сорт – 34 мкм и менее; 2 сорт – 34,6...38,5 мкм, 3 сорт – 38,6...45,5 мкм. В пределах каждого сорта проводили также дифференциацию шерсти по длине (пуховая зона – 55 мм и выше (2 длина), ниже 55 мм (3 длина).

Выход шерсти I и II сортов составил соответственно 56,2 и 30,4%, а 2 длины по данным сортам – соответственно 88,4 и 86,6%. Удельный вес шерсти III сорта составил 13,4%, в том числе 89,1% второй и 10,9% третьей длины.

Для получения пуха осуществляли трепание и увлажнение шерсти на щипально-замамливающей машине марки Роландо (Италия). Эмульсирование шерсти проводили однопроцентным водным раствором препарата Афилян 5071. Расход эмульсии составил 8%.

Выделение пуха из грубой шерсти производилось на кардочесальной машине фирмы Октир. Для повышения степени очистки грубой шерсти от мертвых, остевых и переходных волокон было проведе-

но повторное двойное и трехкратное кардочесание.

Данные по выходу пуха и отходов при кардочесании приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оборудование и кратность переработки	Масса шерсти, кг	Выход			
		основная часть		отход	
		кг	%	кг	%
Однопрочесная	1895	1201	63,4	694	36,6
Двухпрочесная	1201	867	72,2	334	27,8
Трехпрочесная	867	750	86,5	117	13,5
Итого	1895	750	39,6	1145	60,4

Выход продукции при 3-кратном прочесе на машине Октир из 1895 кг мытой грубой шерсти составил 750 кг или 39,6%. Анализ данных табл. 1 также показывает, что с повышением кратности прочеса шер-

сти содержание пуховых волокон в прочесе последовательно повышается: с 63,4 до 72,2 и до 86,5%. Морфологический состав получаемой продукции приведен в табл. 2.

Таблица 2

Вид шерсти (сырья)	Тонина			Извитость, град/мм
	М, мкм	Сv, %	CF, %	
Исходная шерсть	30,94	40,80	60,44	46,50
Шерсть с лабазы	29,64	42,71	62,30	50,91
Пух однопрочесный	23,51	44,71	85,31	67,21
Пух двухпрочесный	22,66	45,26	86,57	73,67
Пух трехпрочесный	23,08	44,54	85,27	74,54

Так, средняя тонина шерсти после 1, 2 и 3 прочеса на кардочесальной машине Октир снижается относительно исходной шерсти с 30,94 мкм, соответственно, до 23,51; 22,36 и 23,08 мкм, или на 31,6; 36,5 и 34,1%. С повышением кратности прочеса улучшается показатель "комфорт-фактор" (CF), отражающий содержание в составе волокон с тониной до 30 мкм – с 60,44 до

85,27%. Улучшение качества проявляется и по извитости волокон – с 46,5 до 74,54 град/мм, что указывает на приобретение ими более желательной мелковолнистой формы извитости. Тонина отдельных типов волокон шерсти по процессам переработки грубой шерсти на кардочесальной машине приведена в табл. 3.

Таблица 3

Вид шерсти (сырья)	Средняя тонина, мкм	В том числе по типам волокон							
		пух		переходный волос		тонкая ость		средняя ость	
		М, мкм	Сv, %	М, мкм	Сv, %	М, мкм	Сv, %	М, мкм	Сv, %
Исходная	30,94	23,41	19,6	37,01	14,6	62,80	9,6	77,56	1,0
Из лабаза	29,64	22,0	21,9	38,64	14,8	61,94	10,0	77,55	1,9
Пух однопрочесный	23,51	19,99	18,9	39,48	15,3	61,60	9,9	77,6	1,7
Пух двухпрочесный	22,66	19,48	24,9	37,98	16,4	61,76	7,4	78,06	1,6
Пух трехпрочесный	23,08	19,69	24,7	37,67	15,8	60,77	10,6	76,94	1,2

Снижение средней тонины получаемой продукции в виде пуха в процессе прочеса шерсти на кардочесальной машине происходит в основном за счет выпадения гру-

бых волокон и снижения средней тонины пуховых волокон. Так, если в прочесе средняя тонина переходных, средних и тонких остевых волокон изменяется не-

значительно – соответственно с 37,01 до 37,67; с 62,80 до 60,77 и с 77,56 до 76,94 мкм, то по пуховым волокнам данный уровень значителен – с 23,41 до 19,69 мкм или на 18,9%.

Пуховая продукция, получаемая в процессе прочеса грубой шерсти на кардочесальной машине, подвергалась лишь незначительному укорочению. Так, если длина пуховых волокон в исходной шерсти находилась в пределах 70 мм, то после 1, 2 и 3 прочеса она уменьшилась незначительно – соответственно на 5, 10 и 10...15 мм.

Переработка пуха из полугрубой шер-

сти в гребенную ленту осуществлялась комплектом технологического оборудования французской компании Schlumberger, включающей три перехода ленточных машин GC15, гребнечесальной машины ERA типа LM и два перехода ленточных машин GC15.

По результатам переработки выход гребенной ленты из пуха составил 77%. Основные отходы составили отходы при гребнечесании – 17%. Тонина и извитость пуха из полугрубой шерсти по переходам изготовления гребенной ленты приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Вид шерсти (сырья)	Тонина			Извитость, град/мм
	М, мкм	Св, %	CF,%	
Исходный пух	23,36	37,00	86,30	69,20
Лента перед гребнечесанием	23,97	39,29	83,85	64,97
Гребнечесание	24,75	39,69	82,69	57,94
Гребенная лента	24,88	39,06	81,70	51,70

Так, тонина исходного пуха повысилась после переработки на ленточной машине 1, 2 и 3 переходов с 23,36 до 23,97 мкм или на 2,6%, на гребнечесальной машине – до 24,75 мкм или на 6,0%, а после 4 и 5 переходов – еще на 0,13 мкм или на 0,5%.

В результате тонина шерсти в гребенной ленте составила 24,88 мкм, коэффициент вариации 39,06%. Показатель "комфорт фактор" составил 81,70%, что на 4,6% ниже, чем в исходном пухе. Соответственно ухудшился показатель извитости волокон – до 51,70 град/мм против 69,20 град/мм в исходном пухе.

Средняя длина волокон в гребенной ленте составила при этом 50,5 мм.

Гребенная лента (топс) в количестве 50 тонн была выработана из светло-серой полугрубой шерсти, которая в дальнейшем была реализована на экспорт по цене 5,5...6,0 долларов за 1 кг. Тогда как мытая полугрубая шерсть имеет цену около 2 дол/кг. Таким образом, дополнительный доход от более глубокой переработки шерсти составил до 2 дол/кг.

Выработка гребенной пряжи проводилась на оборудовании ровничном assortименте Сант-Андрея Наварра. Пряжа нара-

батывалась на кольцепрядильно-мотальной линии, включающей кольцепрядильную машину фирмы Zinser (Германия) с 968 веретенами и мотальный автомат фирмы Savio (Италия). Была выработана пряжа линейной плотностью 67×2 текс (№ 14,9/2) и 110×2 текс (№9,09/2). Выход пряжи из гребенной ленты составил 93,1%. По физико-механическим показателям пряжа соответствовала 1 сорту по действующему стандарту на ткацкую пряжу.

## В Ы В О Д Ы

1. Грубая и полугрубая овечья шерсть может быть переработана в гребенную пряжу при соответствующей подготовке ее к прядению.

2. Выход гребенной ленты из обезволащенного пуха полугрубой шерсти составляет 77%, выход гребенной пряжи из обезволащенного пуха полугрубой шерсти составляет 71,67%, а в расчете на исходную полугрубую невытую шерсть выход гребенной пряжи составляет 25,2%, то есть из 1 кг полугрубой невытой шерсти можно получить 352 г пуха, а из него 271 г гребенной ленты или 252 г гребенной пряжи.

3. При трехкратной переработке на кардочесальной машине и гребнечесании средняя длина волокон составила 50,5 мм.

4. Реализация полугрубой овечьей шерсти в виде топса (гребенной ленты) может принести дополнительный доход до 2 долларов на 1 кг шерсти.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 30702–2000. Шерсть. Торговая сельскохозяйственно-промышленная классификация.

2. ГОСТ 17511–83. Пряжа гребенная чистошерстяная и полушерстяная (смешенная) для трикотажного производства. Технические условия.

Рекомендована кафедрой технологии текстильного производства. Поступила 26.02.15.

---

УДК 677.023

**АНАЛИЗ СКОРОСТИ СМАТЫВАНИЯ НИТИ С МОТАЛЬНЫХ ПАКОВОК**

**ANALYSIS IN THE COILING THREAD WINDING PACKAGES**

*А.И. ПАНИН, О.А. РАКОВА, И.В. РЫБАУЛИНА, Н.А. НИКОЛАЕВА*  
*A.I. PANIN, O.A. RAKOVA, I.V. RYBAULINA, N.A. NIKOLAEVA*

(Московский государственный университет дизайна и технологий,  
Текстильный институт им. А.Н.Косыгина)  
(Moscow State University of Design and Technology, The Kosygin Textile Institute)  
E-mail: tekstil-52@mail.ru

*Производительность технологического оборудования и качество выпускаемой продукции во многом определяются скоростью сматывания нити с питающих паковок. Оптимизация данного параметра требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, чему и посвящена данная работа.*

*Productivity of processing equipment and quality of let-out production in many respects are defined by speed of taking-up of a thread from feeding package. Optimization of this parameter demands additional theoretical and experimental studies to that this work is devoted.*

**Ключевые слова:** паковки, сматывание, намотка, скорость, параметр.

**Keywords:** packing, winding, winding, the speed setting.

Сматывание нити с мотальной паковки во многом обеспечивает стабильность технологических процессов выработки текстильных изделий или полуфабрикатов. Постоянство скорости и величины натяжения нити при сматывании являются одними из главных требований, предъявляемых мотальным паковкам, так как эти параметры определяются структурой намотки мотальных паковок, их формой и направлением сматывания (с наружной или внутренней поверхности паковки).

Особенно важно обеспечить постоянство скорости сматывания нити с паковки и ее натяжение при работе на малых ско-

ростях, например, в вязании, швейном производстве, при формировании намоткой композитных материалов и т.д., где технологический процесс выработки текстильных изделий связан с дозированным расходом нити (для обеспечения постоянной длины нити в петле, стабильной длине стежка и т.д.)

В качестве питающих мотальных паковок в текстильном производстве применяются как цилиндрические, так и конические бобины крестовой намотки, а также цилиндрические катушки (шпули), которые могут быть неподвижными во время схода с них нити, или вращаются во-

круг своей оси под действием силы натяжения нити. Причем угол скрещивания витков  $\rho$ , обеспечивающий надежное закрепление витков в смежных слоях намотки, может быть постоянным или переменным, в зависимости от типа мотального оборудования, на котором формируется паковка.

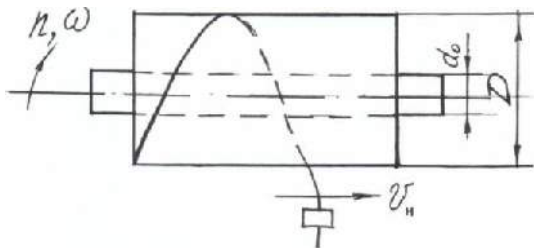


Рис. 1

На рис. 1 показана схема формирования цилиндрической паковки (бобины). Окружная скорость намотки нити определяется по формуле:

$$v_0 = \pi D n, \quad (1)$$

где  $D$  – текущий диаметр намотки мотальной паковки (бобины);  $n$  – частота вращения паковки.

Переносная скорость движения нити вдоль образующей паковки (скорость нитеводителя) определяется по формуле:

$$v_n = n h, \quad (2)$$

где  $h = \frac{h_k}{i_0}$  – шаг намотки;  $i_0$  – общее передаточное отношение от нитеводителя к веретену, создаваемое мотальным механизмом;  $h_k = \frac{2H}{k}$  – шаг намотки, или шаг

пазового кулачка нитераскладчика;  $H$  – высота намотки паковки;  $k$  – число оборотов кулачка нитераскладчика за цикл движения нити.

Угол скрещивания витков  $\beta$  может быть определен из выражения:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{v_n}{v_0} = \frac{\pi h}{\pi D n} = \frac{h}{\pi D} = \frac{h_k}{\pi D i_0}. \quad (3)$$

Для машин фрикционного типа:

$$i_0 = \frac{d_b}{D} \neq \operatorname{const},$$

где  $d_b$  – диаметр мотального барабанчика;  $D$  – текущий диаметр намотки бобины.

Тогда:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{h_k D}{\pi D d_b} = \frac{h_k}{\pi d_b} = \operatorname{const}.$$

У прецизионных мотальных механизмов [1]  $i_0 = \operatorname{const}$ , и поскольку  $h_k = \frac{2H}{k} = \operatorname{const}$ , то  $\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$  гиперболически уменьшается с увеличением  $D$  – диаметра намотки паковки.

Пусть теперь мы будем сматывать нить с цилиндрической бобины с некоторой скоростью  $\vartheta$ . Схема сматывания нити с цилиндрической паковки показана на рис. 2.

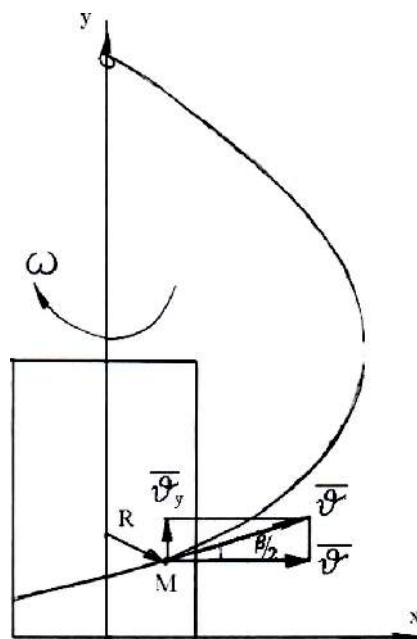


Рис. 2

Очевидно, что при отсутствии рывков и срывов витков с поверхности паковки скорость сматывания нити можно определить из выражения:

$$\vartheta = \sqrt{v_0^2 + v_n^2}. \quad (4)$$



Рассмотрим действие сил, возникающих при осевом сматывании нити, показанных на рис. 2, где изображена цилиндрическая бобина в осях хоу, причем ось х проходит по основанию паковки, а ось у совпадает с осью бобины. В точке М – отрыва нити от паковки – вектор скорости  $\bar{\vartheta}$  направлен по касательной к баллону сматываемой нити, совершающему вращение с угловой скоростью  $\omega$  относительно оси паковки.

Вектор скорости  $\bar{\vartheta}$  можно разложить на два составляющих  $\bar{\vartheta}_x$  и  $\bar{\vartheta}_y$ , спроектировав их на плоскость хоу.

Угол наклона касательной  $\bar{\vartheta}$  совпадает с углом подъема витков  $\frac{\beta}{2}$ ; R – текущий радиус намотки паковки.

Поскольку вектор  $\bar{\vartheta}_x = -a \bar{\vartheta}_0$  и  $\bar{\vartheta}_y = -a \bar{\vartheta}_n$ , где  $a \geq 0$ , то скорость сматывания нити (4) с учетом выражения  $\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{\vartheta_y}{\vartheta_x} = \frac{\vartheta_n}{\vartheta_0}$ , откуда  $\vartheta_y = \vartheta_x \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$ , можно представить в виде:

$$\vartheta^2 = \vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 = \vartheta_x^2 + \vartheta_x^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2} = \vartheta_x^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}). \quad (5)$$

Так как

$$\sin^2 \frac{\beta}{2} + \cos^2 \frac{\beta}{2} = 1,$$

то

$$\operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2} + 1 = \frac{1}{\cos^2 \frac{\beta}{2}},$$

а

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{hn}{\pi D n} = \frac{h}{\pi D} = \frac{h_k}{i_0 \pi D},$$

следовательно можно записать, что:

$$\vartheta_x = \frac{\vartheta}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}}} = \vartheta \cos \frac{\beta}{2}, \quad (6)$$

а

$$\omega = \frac{\vartheta_x}{R}. \quad (7)$$

Если  $\beta/2 = 0$ ,  $\vartheta_x = \vartheta$ , что соответствует сматыванию нити с вращающейся паковки, то угловая скорость вращения при этом будет:

$$\omega = \frac{\vartheta}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}}} = \frac{\vartheta \cos \frac{\beta}{2}}{R}. \quad (8)$$

Если же  $\beta/2 = 90^\circ$ , то  $\vartheta_x = 0$  и  $\omega = 0$ .

То есть осевое сматывание нити с неподвижной паковки наиболее эффективно при большом значении угла скрещивания витков  $\beta$ .

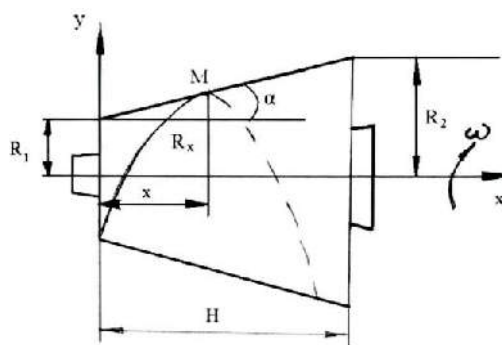


Рис. 3

Рассмотрим процесс сматывания нити с бобины конической формы, схема которой показана на рис. 3.

На рис. 3 видно, что в точке М, лежащей на поверхности паковки  $R_x = R_1 + x \operatorname{tg} \alpha$ . В этом случае окружная скорость наматывания нити может быть определена по формуле:

$$\vartheta_0 = \omega R_x = \omega (R_1 + x \operatorname{tg} \alpha), \quad (9)$$

где  $\omega$  – угловая частота вращения бобины;  $R_x$  – текущий радиус намотки;  $R_1$  – радиус малого торца бобины;  $\alpha$  – угол конуса намотки (патрона).

Скорость нитеводителя определяется по формуле:

$$\vartheta_n = hn = \frac{\omega}{2\pi} h, \quad (10)$$

где  $h$  – шаг намотки.

Угол подъема витков можно найти из выражения:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{\vartheta_n}{\vartheta_0} = \frac{h\omega}{2\pi\omega(R_1 + x\operatorname{tg}\alpha)} = \frac{h}{2\pi(R_1 + x\operatorname{tg}\alpha)}. \quad (11)$$

Так как  $h = \frac{h_k}{i_0}$ , то

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{h_k}{2\pi i_0 (R_1 + x\operatorname{tg}\alpha)}, \quad (12)$$

а

$$\vartheta_x = \vartheta \cos \frac{\beta}{2}. \quad (13)$$

На прецизионных мотальных машинах  $h_k = \operatorname{const}$  и  $i_0 = \operatorname{const}$ , поэтому угол скрещивания витков  $\beta$  уменьшается по мере приближения к большему торцу бобины, а следовательно, скорость при разматывании нити будет уменьшаться в этом же направлении:

$$\omega = \frac{\vartheta_x}{R} = \frac{\vartheta \cos \frac{\beta}{2}}{(R_1 + \operatorname{tg}\alpha)}. \quad (14)$$

Если  $\alpha = 0$  и  $\beta = 0$ , то  $R_1 = R_2 = R$ , тогда

$$\omega = \frac{\vartheta \cos 0}{(R + 0)} = \frac{\vartheta}{R}, \quad (15)$$

что соответствует сматыванию нити с цилиндрической бобины.

Если  $\beta/2 = 90^\circ$ , то  $\omega = 0$ , но

$$\cos \frac{\beta}{2} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}}},$$

а

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{h_k}{2\pi i_0 (R_1 + x\operatorname{tg}\alpha)}. \quad (16)$$

У прецизионных машин

$$h_k = \frac{2H}{k} = \operatorname{const}.$$

У машин фрикционного типа  $h_k$  – переменная величина. Например, для мотальных машин М-2 график изменения  $h_k$  от радиуса намотки паковки  $R_x$  показан на рис. 4.

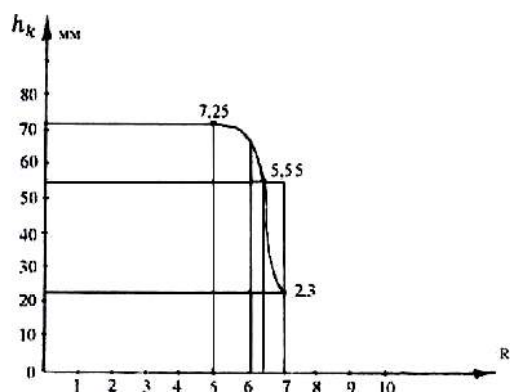


Рис. 4

Переменный характер изменения  $h_k$  приводит к хаотичному расположению нити в одном слое намотки, переменному значению угла подъема витков и, следовательно, колебанию скорости сматывания нити при сходе слоя намотки.

## ВЫВОДЫ

1. На скорость сматывания нити с мотальных паковок влияние оказывают как форма намотки, так и структура – расположения нитей; так, цилиндрические бобины обеспечивают постоянство скорости сматывания нити с вращающихся паковок даже при малых значениях угла скрещивания витков.

2. При сматывании нити с конических бобин, формируемых на машинах фрикционного типа, угол скрещивания витков  $\beta$  уменьшается по мере приближения к большему торцу бобины, в том же направлении уменьшается и скорость сматывания нити в слое намотки.

3. При сматывании нити с конических бобин, формируемых на машинах фрикционного типа, хаотичность структуры

намотки обуславливает и колебания скорости сматывания нити даже в одном слое ее намотки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев В.П., Панин И.Н. Исследование процесса формирования бобин сотовой намотки на машине «Бандомат»// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1983, №3.

Рекомендована кафедрой ткачества. Поступила 30.09.13.

УДК 677.053.74.001.5

### 3-D МОДЕЛИ ФОРМЫ ПАКОВКИ ПАРТИОННОГО СНОВАНИЯ

### 3-D SHAPE MODEL OF A PACKAGE OF BATCHES WARPING

*Н.А. КУЛИДА, А.В. КРУГЛОВ*  
*N.A. KULIDA, A.V. KRUGLOV*

(Ивановский государственный политехнический университет)  
(Ivanovo State Polytechnical University)  
E-mail: info@ivgpu.com

*Получены математические модели формы паковки партионного снования, позволяющие описать различные пороки намотки: нецилиндричность, бугристость, некруглость и др. Полученные модели использованы при определении объема пряжи на паковке.*

*Mathematical models of the form of a package of batches reason to describe various vices winding: acylindrical, roughness, out of round, etc. the models used are designed when determining the amount of yarn on a package.*

**Ключевые слова:** партионное снование, форма намотки, цилиндрическая система координат, пороки намотки, объем паковки.

**Keywords:** beam warping, batches base form of winding, cylindrical coordinate system, vices, coiling, the volume of take-up package.

В настоящее время при изучении процесса формирования сновальных валов чаще всего используется плоская модель формы паковки или 2-D модель, в соответствии с которой любое ее поперечное сечение имеет вид кольца [1...4], а сама паковка представляется в виде полого прямого кругового цилиндра. При использовании модели намотки в виде спирали Архимеда [5], [6] объем намотки также вычисляется для прямого кругового цилиндра, то есть принимается ограничение об отсутствии пороков намотки. Подобное представление не позволяет решать зада-

чи, связанные с отклонением формы паковки от цилиндрической.

В соответствии с [7] неправильная форма паковки относится к порокам намотки и представляет собой "...порок в виде намотки нити бугристой, жгутовой, лентами завышенного или заниженного диаметра, с наличием вогнутости или выпуклости поверхности...", аналогичное определение порока намотки в виде бугристости как порока в виде выступов отдельных слоев намотки химической нити имеется в стандарте [8].

Для описания формы паковки используем модель в цилиндрической системе

координат [9] либо, когда это удобно, в декартовой системе координат. Пряжа на сновальном валу в отсутствие пороков намотки занимает объем полого цилиндра, в котором внешний цилиндр имеет радиус  $R$ , а внутренний –  $r$ . В цилиндрической системе координат выберем плоскость с полярной системой координат с полюсом  $O$  и полярной осью  $Ox$ . Ось аппликат  $Oz$  выберем таким образом, чтобы увеличение полярного угла  $\varphi$  при наблюдении с положительного направления оси аппликат  $Oz$  происходило против часовой стрелки.

Совместим ось полого цилиндра с полярной осью  $Ox$ , а его основание с плоскостью с полярной системой координат. Тогда уравнение поверхности внешнего цилиндра имеет вид  $\rho(\varphi, z) = R$ , а внутреннего –  $\rho(\varphi, z) = r$ . Будем в дальнейшем считать, если это не оговаривается особо, что внутренняя поверхность намотки пряжи не имеет отклонений от формы прямого кругового цилиндра, поэтому уравнение поверхности внутреннего цилиндра всегда имеет вид  $\rho(\varphi, z) = r$ . Тогда множество точек тела паковки в цилиндрической системе координат может быть описано как

$$S\{(\varphi, \rho, z) | 0 \leq \varphi \leq 2\pi, r \leq \rho \leq R, 0 \leq z \leq H\}, \quad (1)$$

где  $H$  – длина сновального вала.

При намотке с пороком, когда сновальный вал имеет, например, форму кругового усеченного конуса:

$$S\{(\varphi, \rho, z) | 0 \leq \varphi \leq 2\pi, r \leq \rho \leq \rho_0 + az, 0 \leq z \leq H\}, \quad (2)$$

где  $a = (\rho_k - \rho_0)/H$ , а  $\rho_k, \rho_0$  – радиус сечения конуса при  $z$ , равном соответствен-

но 0 и  $H$ , при этом, если  $\rho_k > \rho_0$ , то  $a > 0$ , в противном случае  $a < 0$ .

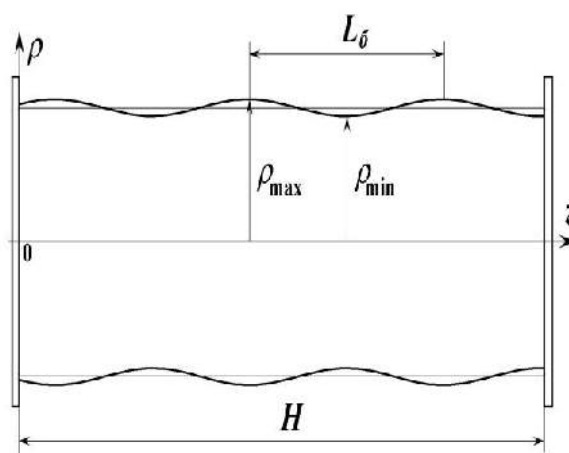


Рис. 1

При формировании паковки с бугристостью намотки (рис. 1 –  $\rho(z) = 0,30 + 0,012 \sin(12,6z + 0,14)$ ) возможно представление ее в виде периодически изменяющегося вдоль аппликаты  $z$  радиуса:

$$\rho(z) = \bar{\rho} + b \sin(2\pi z / L_b + \delta),$$

где  $L_b$  – длина волны бугристости;  $b = (\rho_{\max} - \rho_{\min})/2$  – амплитуда изменений радиуса  $\rho$  от  $\rho_{\min}$  до  $\rho_{\max}$ ;  $\bar{\rho}$  – среднее значение радиуса паковки;  $\delta$  – начальный угол изменений радиуса, определяемый смещением волны бугристости относительно начала координат. Если это смещение обозначить как  $\Delta$ , то  $\delta = 2\pi\Delta / L_b$ . Тогда множество точек тела паковки с бугристостью:

$$S\{(\varphi, \rho, z) | 0 \leq \varphi \leq 2\pi, r \leq \rho \leq \bar{\rho} + b \sin(2\pi z / L_b + \delta), 0 \leq z \leq H\}. \quad (3)$$

Если одновременно с бугристостью наблюдается порок намотки, при котором образующие не параллельны оси намотки, то есть паковка имеет форму усеченного конуса (поверхность 1, рис. 2), координата  $\rho$  определяется выражением

$$\rho(z) = \bar{\rho} + az + b \sin(2\pi z / L_b + \delta)$$

и

$$S\{(\varphi, \rho, z) | 0 \leq \varphi \leq 2\pi, r \leq \rho \leq \bar{\rho} + az + b \sin(2\pi z / L_b + \delta)\}. \quad (4)$$

Можно построить модели, описывающие другие пороки намотки, например, если образующая является параболой с вершиной в середине вала, то паковка имеет вид, представленный поверхностью 2 на рис. 2 (Поверхность 1:  $\rho(z) = 0,30 + 0,029z + 0,012\sin(12,6z + 0,14)$ . Поверхность 2:  $\rho(z) = 0,041z^2 - 0,057z + 0,30$ ).

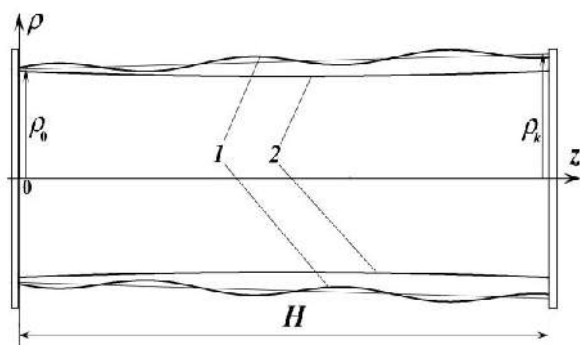


Рис. 2

Аналогично определяется уравнение образующей, когда паковка представляет собой бочку параболической или сферической формы.

Другая группа пороков намотки связана с отличием поперечного сечения паковки от круга, например, при овальной форме поперечного сечения. В этом случае радиус намотки зависит не только от  $z$ , но и угла  $\varphi$ .

Пусть в поперечном сечении сновальный вал имеет форму эллипса. Тогда в полярной системе координат с началом в центре вращения уравнение эллипса [9]:

$$\rho(\varphi) = ab(a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi)^{-0,5}, \quad (5)$$

где  $a, b$  – полуоси эллипса.

Множество точек тела паковки с формой в виде эллиптического цилиндра:

$$S\{(\varphi, \rho, z) | 0 \leq \varphi \leq 2\pi, r \leq \rho \leq ab(a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi)^{-0,5}, 0 \leq z \leq H\}. \quad (6)$$

Современное математическое программное обеспечение позволяет наглядно осуществить визуализацию принятой модели формы намотки. Например, в Mathcad

[10] в цилиндрической системе координат паковка с бугристостью имеет вид рис. 3-а, бочкообразная форма намотки показана на рис. 3-б.

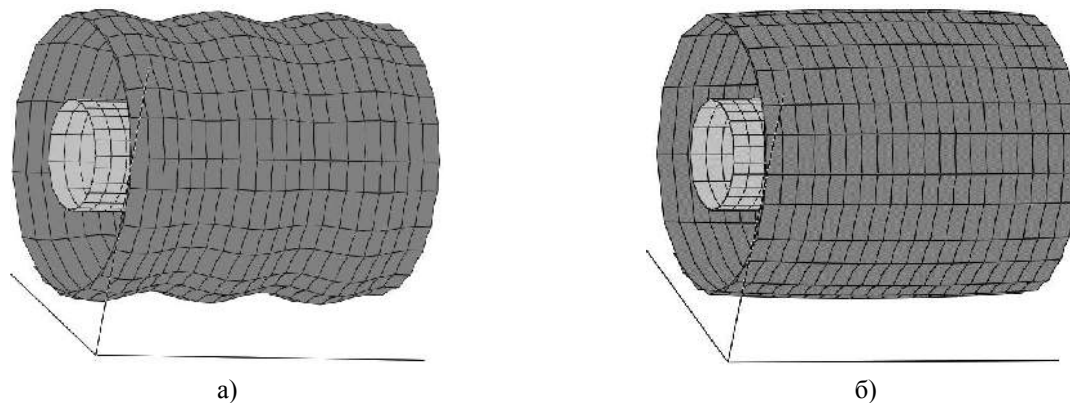


Рис. 3.

Описанные отклонения формы от идеальной обуславливают погрешность вычисления объема паковки и связанную с ней погрешность определения плотности намотки. Получим формулы вычисления объема паковки при различных пороках ее формирования.

Для паковки в форме полого усеченного конуса внутренняя ограничивающая поверхность есть цилиндр  $\rho(\varphi, z) = r$ , а внешняя – усеченный конус с радиусами оснований  $\rho_0$  и  $\rho_k$ . Тогда, учитывая, что  $\rho(z) = \rho_0 + az$ , получаем известную формулу объема усеченного конуса:

$$V = \iiint_{(V)} dz \rho d\rho d\varphi = \int_0^{2\pi} \left[ \int_r^{\rho_0+az} \left( \int_0^H dz \right) \rho d\rho \right] d\varphi = \pi \left( \rho_0^2 H + \rho_0 a H^2 + \frac{a^2 H^3}{3} - r^2 H \right) = \pi H \left( \frac{\rho_0 \rho_k + \rho_k^2 + \rho_0^2}{3} - r^2 \right). \quad (7)$$

При вычислении объема для паковки в форме тела, ограниченного поверхностью вращения, удобнее использовать декартову систему координат, в которой в соответствии с [11] объем вычисляется по формуле  $V = \pi \int_{z_1}^{z_2} f^2(z) dz$ , где  $f(z)$  – функ-

ция, описывающая образующую поверхности вращения;  $z_1, z_2$  – координаты плоскостей, перпендикулярных оси вращения  $OZ$  и ограничивающих поверхность.

Для той же паковки в форме усеченного конуса:

$$V = \pi \int_{z_1}^{z_2} f_1^2(z) dz - \pi \int_{z_1}^{z_2} f_2^2(z) dz = \pi \int_0^H f_1^2(z) dz - \pi \int_0^H f_2^2(z) dz,$$

где  $f_1(z) = \rho_0 + az$ ,  $f_2(z) = r$ .

Отсюда

$$V = \pi \int_0^H (\rho_0 + az)^2 dz - \pi \int_0^H r^2 dz = \pi H \left( \frac{\rho_0 \rho_k + \rho_k^2 + \rho_0^2}{3} - r^2 \right).$$

Если паковка имеет форму поверхности вращения с образующей в виде параболы, обращенной выпуклостью вверх или вниз, начало декартовой системы координат целесообразно разместить в вершине параболы. Тогда для паковки в форме параболической бочки:

$$f(z) = -e_1 z^2 + e_2,$$

$$V = \pi \int_{-H/2}^{H/2} (e_2 - e_1 z^2)^2 dz - \pi \int_{-H/2}^{H/2} r^2 dz = \pi \int_{-H/2}^{H/2} (e_2^2 - 2e_2 e_1 z^2 + e_1^2 z^4) dz - \pi \int_{-H/2}^{H/2} r^2 dz = \pi \left( e_2^2 H - \frac{e_2 e_1 H^3}{6} + \frac{e_1^2 H^5}{80} \right) - \pi r^2 H.$$

С учетом выражений для  $e_1$  и  $e_2$ :

$$V = \frac{\pi H}{15} (8\rho_{\max}^2 + 4\rho_{\max} \rho_{\min} + 3\rho_{\min}^2) - \pi r^2 H. \quad (8)$$

$$\text{где } e_2 = \rho_{\max}, \quad e_1 = \frac{4(\rho_{\max} - \rho_{\min})}{H^2},$$

Здесь  $\rho_{\max}, \rho_{\min}$  – соответственно максимальный и минимальный радиусы паковки для этого случая.

Тогда:

Аналогично для паковки с образующей в виде параболы, обращенной выпуклостью вниз:

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_{-H/2}^{H/2} (e_2 + e_1 z^2)^2 dz - \pi \int_{-H/2}^{H/2} r^2 dz = \pi \int_{-H/2}^{H/2} (e_2^2 + 2e_2 e_1 z^2 + e_1^2 z^4) dz - \pi \int_{-H/2}^{H/2} r^2 dz = \\ &= \pi \left( e_2^2 H + \frac{e_2 e_1 H^3}{6} + \frac{e_1^2 H^5}{80} \right) - \pi r^2 H. \\ V &= \frac{\pi H}{15} (8\rho_{\min}^2 + 4\rho_{\max} \rho_{\min} + 3\rho_{\max}^2) - \pi r^2 H. \quad (9) \end{aligned}$$

Для паковки с моделью формы (3):

$$V = \iiint_{(V)} dz \rho d\rho d\varphi = \int_0^{2\pi} \left[ \int_r^{\rho_0 + b \sin(2\pi z/L_b + \delta)} \left( \int_0^H dz \right) \rho d\rho \right] d\varphi = \int_0^{2\pi} \left[ \int_0^H \left( \frac{[\rho_0 + b \sin(2\pi z/L_b + \delta)]^2}{2} - \frac{r^2}{2} \right) dz \right] d\varphi.$$

Преобразовывая, найдем:

$$V = \int_0^{2\pi} \left[ \int_0^H \left( \frac{\rho_0^2 + 2b\rho_0 \sin(2\pi z/L_b + \delta) + b^2 \sin^2(2\pi z/L_b + \delta)}{2} - \frac{r^2}{2} \right) dz \right] d\varphi. \quad (10)$$

В частном случае, при  $\delta = 0$ :

$$V = \pi H (\rho_0^2 - r^2 + 0,5b^2) + [0,25b^2 L_b \sin(2\pi H/L_b) - b^2 L_b \cos^3(\pi H/L_b) \sin(\pi H/L_b) - 2b\rho_0 L_b \cos^2(\pi H/L_b) + 2b\rho_0 L_b]. \quad (11)$$

Для случая, когда поперечное сечение паковки представляет собой эллипс, в декартовой системе координат уравнение поверхности, ограничивающей паковку,

имеет вид:  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ , отсюда объем:

$$V = \iiint_{(V)} dx dy dz = \int_{-a}^a \left[ \int_{-b\sqrt{1-x^2/a^2}}^{b\sqrt{1-x^2/a^2}} \left( \int_0^H dz \right) dy \right] dx - \int_{-r}^r \left[ \int_{-\sqrt{r^2-x^2}}^{\sqrt{r^2-x^2}} \left( \int_0^H dz \right) dy \right] dx =$$

$$= H \int_{-a}^a \left[ \int_{-b\sqrt{1-x^2/a^2}}^{b\sqrt{1-x^2/a^2}} dy \right] dx - H \int_{-r}^r \left[ \int_{-\sqrt{r^2-x^2}}^{\sqrt{r^2-x^2}} dy \right] dx = 2H \int_{-a}^a [b\sqrt{1-x^2/a^2}] dx - 2H \int_{-r}^r [\sqrt{r^2-x^2}] dx = \pi H (ab - r^2). \quad (12)$$

В общем случае при известной форме паковки могут использоваться алгоритмы численного вычисления интегралов  $\iiint_V dx dy dz$  или  $\iiint_V dz \rho d\rho d\varphi$ , которые реализуются микропроцессорной системой мониторинга процесса снования [12].

## ВЫВОДЫ

1. Получены 3-D модели формы сновальной паковки при разных вариантах пороков намотки.

2. Получены выражения для объема паковки при различных пороках намотки, которые могут быть использованы при косвенном определении плотности намотки сновального вала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев В.А., Вайнер И.И., Ерошкин Ю.В. Расчет паковок рулонного типа на основе кинематических параметров наматывания // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1988, № 1. С. 29...32.
2. Ефремов Е.Д. Характеристики намотки нитей на сновальном валу // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1988, № 1. С. 32...35.
3. Кленов В.Б. Математическая модель процесса формирования паковок рулонного типа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1973, № 1. С. 124...127.
4. Тягунов В.А. Методика определения плотности намотки пряжи на ткацких паковках // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1987, № 5. С. 51...53.
5. Кутьин А.Ю., Кутьин Ю.К. Необходимые и достаточные условия для формирования намотки с постоянной плотностью в партионном сновании // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, № 1. С. 49...53.

6. Кутьин А.Ю., Кутьин Ю.К. О моделировании процесса формирования цилиндрических паковок рулонного типа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001, №2. С.113...117.
7. ГОСТ 28003–88. Пороки текстильных нитей. Термины и определения.
8. ГОСТ 30125–94. Волокна химические. Термины и определения пороков.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Наука, 1973.
10. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad

– СПб.: Питер, 2005.

11. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: АСТ: Астрель, 2006.

12. Демидов Н.А. Микропроцессорная система контроля кинематических параметров партионного снования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 4. С.159...161.

Рекомендована кафедрой автоматизации и радиоэлектроники. Поступила 30.06.14.

УДК 677.024

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ

### STUDY OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES COTTON FABRICS

С.Д. НИКОЛАЕВ, И.В. ПАЛАГИНА, Р.Е. МАСТРАКОВ  
S.D. NIKOLAEV, I.V. PALAGINA, R.E. MASTRAKOV

(Московский государственный университет дизайна и технологии)  
(Moscow State University of Design and Technology)  
E-mail: nsd0701@mail.ru

*Структура ткани определяет ее свойства. Проведен анализ структуры суровых и готовых тканей. Показано, что свойства ткани имеют лучшие показатели у тканей, у которых порядок фазы строения в суровой и готовой ткани отличается незначительно. Теоретические исследования подтверждены экспериментом.*

*Tissue structure determines its properties. The analysis of the structure of gray cloth and finished fabrics. It is shown that the properties of the fabric are the best indicators in the tissues in which the order of the phase structure in a stark howl and the finished fabric is slightly different. Theoretical studies confirmed by experiment.*

**Ключевые слова:** структура, свойства, ткани, линейная плотность, основа, уток.

**Keywords:** structure, properties, fabric, linear density, warp yarns, weft yarns

В работах, проводимых на кафедре ткачества МГТУ им. А.Н.Косыгина (ныне МГУДТ), было сказано о том, что строение ткани во многом предопределяет ее свойства [1...3]. Выявим, как влияет разница в строении суровых и готовых

тканей на значения полуцикловых характеристик.

Для исследования брали 11 тканей, характеристика которых представлена в табл. 1.



Т а б л и ц а 1

№ п\п	Номер артикула	Ширина, см	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Линейная плотность пряжи, текс основа, уток	Плотность ткани, нит/дм	
					по основе	по утку
1	Перкаль арт. С-25	164±2,5 157±2,5	103±5 100 (не более)	11,8 9	421±8	472±14
					440±9	462±14
2	Миткаль арт.43	92±1,5 80±1,5	100±5 99±5	18,5 БД 18,5 БД	247±5	240±7
					284±6	232±7
3	Бязь арт.142(4764)	90,5±1,5 80,0±1,5	140±7 138±7	29 БД 29 БД	228±6	211±6
					258±6	200±6
4	Бязь арт.157(4799)	165±2,5 150±2,0	150±8 150±8	29 БД или К 29 БД или К	236±5	236±7
					260±5	224±7
5	Миткаль арт. С58	165±2,5 145±2,0	119±6 105±5	20 БД 20 БД	265±5	270±8
					302±6	255±8
6	Ткань ТД арт.7298	101±2,0 100±2,0	155±8 153±8	10,8 х 2 10,8 х 2	323±6	324±6
					326±8	320±8
7	АМ-93 арт.7300	154±2,5 147±2,0	164±8 156±8	11,8 х 2 11,8 х 2	317±6	320±10
					328±7	300±9
8	АХКР сур. арт. С4285	140±2,0	158±0	11,8 х 4 11,8 х 4	170±3	162±5
9	АСТ-100 арт.7347	153,5±2,0 146±2,0	202±10 200±0	10 х 4 10 х 4	215±4	232±7
					222±4	220±7
10	Батист арт.1503	162±2,0 150±2,0	69±4 66±3	10 10	281±6	335±10
					303±6	328±10
11	Миткаль арт.1645	83±1,5 72±1,5	109±5 109±5	20 БД 100% хл.	249±5	240±7
					282±6	232±7

Параметры строения тканей определяли экспериментально и расчетным путем.

Экспериментальное исследование параметров строения ткани проводили по методике, изложенной в [4], где разработан оптический метод исследования строения текстильных материалов на основе использования новых информационных технологий. При исследовании строения текстильных материалов оптическим методом на основе геометрических моделей, полученных по микросрезам тканей, измерение параметров нитей и ткани проводится по их оптическим сечениям. Оптические сечения фиксируются на компьютере в виде картинки. Полученная картинка используется для определения параметров строения ткани.

Расчетные значения параметров строения тканей проводили по методике, изложенной в [4]. В основе данного метода используется нелинейная теория изгиба упругих стержней. Она изложена во многих работах, проводимых в МГУДТ [5...12].

В табл. 2...4 (табл. 2 – порядок фазы строения хлопчатобумажных тканей полотняного переплетения, полученной расчетным путем; табл. 3 – порядок фазы строения хлопчатобумажных тканей полотняного переплетения, полученной экспериментально; табл.4 – порядок фазы строения и натяжение основных и уточных нитей хлопчатобумажных тканей полотняного переплетения полученные расчетным путем) представлены данные экспериментальных и теоретических исследований хлопчатобумажных тканей.

Т а б л и ц а 2

№		Перкаль арт. С-25	Миткаль арт.43	Бязь арт.142(4764)	Бязь арт.157(4799)	Миткаль арт. С-58
1	Φ <sub>сур</sub>	3,337	5,172	5,463	5	4,888
2	Φ <sub>гор.</sub>	3,676	6,177	6,458	5,879	5,994
	Ткань ТД арт. 7298	АМ-93 арт.7300	АХКР суровая арт.С4285	АСТ-100 арт.7347	Батист арт.1503	Миткаль арт.1645
1	4,981	4,943	5,289	4,45	3,969	5,220
2	5,111	5,532	-	5,054	4,526	6,139

Таблица 3

№		Перкаль арт. С-25	Миткаль арт.43	Бязь арт.142(4764)	Бязь арт.157(4799)	Миткаль арт. С-58
1	Ф <sub>сур</sub>	3,35	5,11	5,40	5,01	4,90
2	Ф <sub>гот.</sub>	3,60	5,94	5,84	5,75	5,92
	Ткань ТД арт.7298	АМ-93 арт.7300	АХКР суровая арт.С4285	АСТ-100 арт.7347	Батист арт.1503	Миткаль арт.1645
1	4,99	4,90	5,15	4,60	4,10	5,20
2	5,15	5,48	-	5,00	4,72	5,90

Таблица 4

№		Перкаль арт. С-25	Миткаль арт.43	Бязь арт.142(4764)	Бязь арт.157(4799)	Миткаль арт. С-58
1	F <sub>о</sub> , сН	31,9	50,0	78,3	78,3	54
2	F <sub>у</sub> , сН	26,5	39,4	56,2	62,1	33,6
3	Ф <sub>сур.</sub>	3,337	5,172	5,463	5	4,888
4	Ф <sub>гот.</sub>	3,676	6,177	6,458	5,879	5,994
5	Ф <sub>нат.</sub>	3,667	5,590	5,463	5,100	4,888
	Ткань ТД арт.7298	АМ-93 арт.7300	АХКР суровая арт.С4285	АСТ-100 арт.7347	Батист арт.1503	Миткаль арт.1645
1	58,3	63,7	127,4	108,0	27,0	54
2	42,7	51,4	139,4	121,0	22,5	46,7
3	4,981	4,943	5,289	4,450	3,969	5,220
4	5,111	5,532	-	5,054	4,526	6,139
5	4,864	4,943	5,231	4,831	4,331	5,220

На их основе можно сделать следующие выводы:

- порядок фазы строения тканей в суровом виде меньше порядка фазы строения тканей в готовом виде, что связано с изменением плотностей ткани по основе и по утку в процессе отделки;

- расчеты и экспериментальные данные имеют хорошее соответствие, что свидетельствует о корректности предложенного нами метода.

Используемый в работе метод исследования позволяет рассчитать натяжение основы и утка в процессе фронтального прибора утка к опушке ткани. Результаты расчета приведены в табл. 5 (технологические параметры изготовления тканей заданного строения).

В ряде случаев в процессе фронтального прибора невозможно получить такой же порядок фазы строения ткани, как в суровом виде, после прохождения релаксационных процессов.

Таблица 5

№ п/п	Номер артикула ткани	h <sub>о</sub> /h <sub>у</sub>		Фаза строения ткани		Натяжение при приборе, сН	
		при приборе	суровая ткань	при приборе	суровая ткань	основы (F <sub>о</sub> )	утка (F <sub>у</sub> )
1	Перкаль С-25	0,50	0,41	3,667	3,337	33	27
2	Миткаль арт.43	1,35	1,09	5,590	5,172	50	47
3	Бязь арт.142	1,26	1,26	5,463	5,463	90	98
4	Бязь арт.157	1,05	1	5,1	5	90	70
5	Миткаль арт.С58	0,95	0,95	4,888	4,888	59	51
6	Ткань ТД арт.7298	1,05	0,99	5,098	4,981	67	47
7	АМ-93 мерс. арт.7300	0,97	0,97	4,943	4,943	60	47
8	АХКР сур. арт.С4285	1,19	1,16	5,347	5,289	124	130
9	АСТ-100 арт.7347	0,92	0,78	4,831	4,450	122	136
10	Батист арт.1503	0,71	0,59	4,331	3,969	30	18
11	Миткаль арт.1645	1,12	1,12	5,220	5,220	62	56

В табл. 6 представлены значения полу

цикловых характеристик исследуемых тканей.

Таблица 6

№ п/п	Номер артикула ткани	Основа		Суровая ткань вдоль основы		
		разрывная нагрузка, сН	разрывное удлинение, %	разрывная нагрузка		разрывное удлинение, %
				полоски сН	на 1 нить, сН	
1	Перкаль С-25	142	6,1	240	114	9,6
2	Миткаль арт.43	204	5,7	205	166	10,4
3	Бязь арт.142	319	5,7	346	304	11,2
4	Бязь арт.157	319	5,7	338	286	11,1
5	Миткаль С-58	220	5,5	278	210	11,1
6	Ткань ТД арт.7298	257	6,4	372	230	11,2
7	АМ-93 арт.7300	281	6,5	425	268	11,4
8	АХКР сур. арт.С4285	562	6,7	445	524	13,2
9	АСТ-100 арт.7347	476	6,3	415	386	11,7
10	Батист арт.1503	119	6,2	140	100	9,6
11	Миткаль арт.1645	220	5,5	265	213	10,4
№ п/п	Номер артикула ткани	Уток		Суровая ткань вдоль утка		
		разрывная нагрузка, сН	разрывное удлинение, %	разрывная нагрузка		разрывное удлинение, %
				полоски, сН	На 1 нить, сН	
1	Перкаль С-25	104	6,0	196	83	10,2
2	Миткаль арт.43	204	5,7	200	167	9,6
3	Бязь арт.142	319	5,7	330	313	10,9
4	Бязь арт.157	319	5,7	340	288	10,9
5	Миткаль С-58	220	5,5	285	211	10,2
6	Ткань ТД арт.7298	257	6,4	380	235	11,2
7	АМ-93 арт.7300	281	6,5	427	266	11,6
8	АХКР сур. арт.С4285	562	6,7	425	524	12,4
9	АСТ-100 арт.7347	476	6,3	440	379	12,6
10	Батист арт.1503	119	6,2	160	96	9,8
11	Миткаль арт.1645	220	5,5	250	208	9,8

В табл. 7 представлены данные, показывающие уменьшение разрывной нагрузки полоски ткани, приходящейся на одну

нить, по сравнению с разрывной нагрузкой основных и уточных нитей.

Таблица 7

№ п/п	Номер артикула ткани	Уменьшение разрывной нагрузки на 1 нить в ткани, %		Разница ПФС суровой ткани и в ткани на станке
		по основе	по утку	
1	Перкаль С-25	80,3	79,8	0,330
2	Миткаль арт.43	81,4	81,9	0,418
3	Бязь арт.142	95,3	98,1	0
4	Бязь арт.157	89,7	90,3	0,100
5	Миткаль С-58	95,5	95,9	0
6	Ткань ТД арт.7298 сур.каландр	89,5	91,4	0,117
7	АМ-93мерс. арт.7300	95,4	94,7	0
8	АХКР сур. арт.С4285	92,3	93,2	0,058
9	АСТ-100 арт.7347	81,1	79,6	0,381
10	Батист арт.1503	84,0	80,7	0,362
11	Миткаль арт.1645	96,8	94,5	0

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

- полуцикловые характеристики хлопчатобумажной пряжи по кардной и гребенной (для тонких нитей) выше, чем для пряжи с машины БД;
- падение разрывной нагрузки полоски ткани как в направлении основы, так и утка по отношению к разрывной нагрузке нитей составляет 80...97%, причем наибольшее падение наблюдается в тканях, в которых разница между ПФС суровой ткани и ткани на станке наибольшая;
- рост разрывного удлинения полосок ткани по сравнению с разрывным удлинением нитей идет быстрее в тканях, в которых используется пряжа большей линейной плотности;
- рост разрывного удлинения полосок тканей в направлении основы, по сравнению с разрывным удлинением основной пряжи, идет быстрее по сравнению с ростом разрывного удлинения полосок ткани в направлении утка, по сравнению с разрывным удлинением уточной пряжи в тканях, имеющих ПФС > 5 и наоборот.

## ВЫВОДЫ

1. Предложен метод расчета порядка фазы строения суровой, готовой ткани и ткани, находящейся на станке в процессе формирования, на основе линейной теории изгиба стержней.

2. Разработан метод расчета натяжения утка, обеспечивающего изготовление тканей на станке такого же порядка фазы строения, как и в суровой ткани.

3. Выявлено влияние различных запорочных параметров изготовления ткани на порядок фазы строения как суровой ткани, так и ткани, находящейся на станке.

4. Установлено, что порядок фазы строения тканей в суровом и готовом виде отличаются друг от друга.

5. На основе исследованных тканей установлено, что:

- для ряда артикулов тканей порядок фазы строения суровой ткани и ткани, находящейся на станке, различны;
- чем больше разница в порядках фа-

зы строения суровой ткани и ткани, находящейся на станке, тем больше падение прочностных показателей тканей по сравнению с прочностными показателями пряжи.

6. Составлено программное обеспечение в среде Q-basic и рассчитаны оптимальные значения натяжения основы и утка при прибое для исследованного ассортимента тканей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев С.Д., Руденко Л.Г. Исследование строения и свойств суровых и готовых тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1991, №1. С.45...48.
2. Кащеева М.М., Николаев С.Д. Экспериментальные исследования условий изготовления, свойств и строения углеродных тканей специального назначения // Швейная промышленность. – 2009, №5. С.41...42.
3. Николаев С.Д., Мартынова А.А., Юхин С.С., Власова Н.А. Методы и средства исследования технологического процесса ткачества. – М.: МГТУ им.А.Н.Косыгина, 2003.
4. Никишин В.Б. Разработка автоматизированного метода расчета параметров строения тканей: Дис. ... канд.техн.наук. – М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина.
5. Николаев С.Д., Ковалева О.В., Ликучева А.А., Николаева Н.А., Рыбаулина И.В. Проектирование технологии тканей заданного строения. – М.: МГТУ им.А.Н.Косыгина, 2007.
6. Мельяченко Ж.В., Николаев С.Д. Взаимосвязь технологических параметров ткачества и параметров строения вырабатываемых тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1991, №1. С.47...49.
7. Егоров Н.В., Щербаков В.П. Исследование свойств нитей Русар для изготовления технических тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №1. С.26...29.
8. Щербаков В.П. Моделирование формы, расчет параметров трикотажной петли // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, №5. С.82...86.
9. Щербаков В.П., Болотный А.П. Уточнение аналитического описания напряженно-деформированного состояния нити // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №6. С.113...118.
10. Щербаков В.П., Кащеев О.В. Проектирование шерстяной пряжи малых линейных плотностей для ткани SUPER 100 // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №1. С.54...60.

11. Щербаков В.П., Кащеев О.В. Уточненный вариант проектирования шерстяной пряжи малых линейных плотностей для ткани SUPER 100 // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №2. С. 55...60.

12. Щербаков В.П., Цыганов И.Б., Полякова Т.И., Скуланова Н.С., Попова Е.Р. Теория и расчет силовых факторов, определяющих равновесную структуру крученой нити // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №6. С.166...171.

13. Щербаков В.П., Дмитриев О.Ю., Цыганов И.Б., Скуланова Н.С., Попова Е.Р. Теоретические

основы и экспериментальное определение жесткости нити при кручении и изгибе // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №1. С.156...162.

14. Щербаков В.П., Копылова Ю.А., Грачев А.В. Автоматизированное проектирование прочности многокомпонентной пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №4. С.128...132.

Рекомендована кафедрой ткачества. Поступила 26.09.14 .

УДК 677.074.168.6

## РАЗРАБОТКА ОБЛЕГЧЕННЫХ СТРУКТУР ТКАНЕЙ ПОЛОТНЯНОГО И ПЕРЕВИВОЧНОГО ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ ИЗ ПОЛИИМИДНЫХ И ПАРААРАМИДНЫХ НИТЕЙ

### DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT STRUCTURES OF FABRICS OF PLAIN AND LENO MADE OF POLYIMIDE AND PARA-ARAMID THREADS

*П.Е. САФОНОВ, Н.М. ЛЕВАКОВА, С.С. ЮХИН*  
*P.E.SAFONOV, N.M. LEVAKOVA, S.S. YUKHIN*

(ООО «ТЕКС-ЦЕНТР»,  
Московский государственный университет дизайна и технологии)  
(ООО "ТЕХ-CENTER",  
Moscow State University of Design and Technology)  
E-mail: info@teks-centre.ru, office@msta.ac.ru

*Проведенные исследования доказывают возможность изготовления облегченных структур сепарационных и армирующих тканей из высокопрочных и высокомодульных нитей с поверхностной плотностью 3...8 г/м<sup>2</sup> на модифицированном ткацком станке СТБ-2-180ШЛ. Полученные ткани могут быть использованы для изготовления экранно-вакуумной теплоизоляции космических аппаратов.*

*The carried out researches prove possibility of manufacturing of lightweight structures separation and reinforcement fabrics of high-strength and high-modulus threads with surface density 3...8 g/m<sup>2</sup> on a modified weaving looms STB-2-180SHL. The received fabrics can be used to make screen-vacuum thermal protection of spacecraft.*

**Ключевые слова:** высокопрочные и высокомодульные комплексные нити, облегченные ткани перевивочного и полотняного переплетения, поверхностная плотность.

**Keywords:** high-strength and high-modulus complex threads, lightweight fabric Leno and plain weave, surface density.

Для создания материалов технического и специального назначения в настоящее время широкое распространение получили термостойкие, высокопрочные и высокомодульные комплексные нити, например параарамидные и полиимидные. Данные нити обладают целым рядом уникальных свойств, таких как высокое значение удельной прочности при растяжении, способность сохранять механические характеристики в широком диапазоне температур, и химическая стойкость [1...3]. При этом предельная температура длительной эксплуатации параарамидных нитей составляет 250...300°C, температура разложения 450...550°C, а полиимидных нитей 270...320°C и 420...450°C соответственно [4].

Объектом данного исследования являются армирующие и сепарационные ткани облегченных структур на основе термостойких, высокопрочных и высокомодульных параарамидных и полиимидных нитей, предназначенные для изготовления экранно-вакуумной теплоизоляции (ЭВТИ) космических аппаратов.

Удовлетворить экстремальным требованиям при эксплуатации ЭВТИ способны ткани на основе термостойких, высокопрочных и высокомодульных параарамидных нитей *Руслан* (спПАБИ), *Армалон* (ПФТА) и/или полиимидных нитей *Аримид*. На основании обзора патентов [5], [6] были сформулированы основные требования, предъявляемые к сепарационным и армирующим тканям, используемым для производства ЭВТИ.

1. Повышение надежности изделия в условиях эксплуатации космического аппарата. Достигается при изготовлении ткани из высокопрочных и высокомодульных нитей, арамидных и/или аримидных. При этом особое внимание должно уделяться вопросам сохранения свойств нитей в процессе текстильной переработки.

2. Уменьшение веса ткани. Уменьшение веса ткани до значений 3...8 г/м<sup>2</sup> возможно при изготовлении их перевивочным переплетением из нитей малой линейной плотности.

3. Уменьшение пылевосотделения ткани. Достигается благодаря шадящему режиму переработки высокопрочных и вы-

сокомодульных комплексных нитей, что должно исключить разрушение отдельных филаментов комплексных нитей. Для снижения пылевосотделения ткани также целесообразно использовать монопнити.

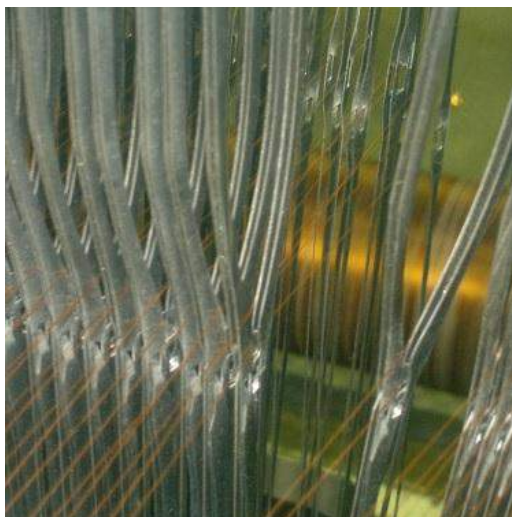
4. Обеспечение антистатических свойств ткани. Достигается путем введения в структуру ткани электропроводящих нитей, например, мишурных или металлизированных нитей с определенным шагом по основе и утку.

В рамках проводимого исследования рассмотрены вопросы, относящиеся к изучению явления снижения свойств нитей в процессе ткачества и разработке шадящего режима переработки комплексных нитей, что должно способствовать снижению их повреждаемости, а также вопрос о снижении поверхностной плотности тканей для ЭВТИ.

Уменьшение веса ткани сопровождается значительными сложностями, связанными с увеличением степени подвижности систем нитей. Это приводит к раздвижке ткани в процессе намотки на вальцы и товарный валик. Увеличенная подвижность нитей в ткани также осложняет работу с ней при изготовлении ЭВТИ, что может привести к увеличению количества брака. Возможным выходом из сложившейся ситуации является изготовление ткани перевивочным переплетением, особенности строения которого исключают подвижность нитей утка относительно основы.

Преимущество перевивочного переплетения по отношению к полотняному заключается в том, что оно обеспечивает устойчивую форму и размер отверстия, это позволяет сократить количество нитей основы и утка на единицу длины и тем самым добиться минимально возможной поверхностной плотности материала.

В данной работе для изготовления ткани перевивочного переплетения в условиях производства ООО "ТЕКС-ЦЕНТР" был модифицирован станок СТБ-2-180ШЛ с использованием ремизных рам и галев специальной конструкции. На рис. 1 представлены фотографии перевивочных галев, установленных на станке СТБ-2-180ШЛ в момент заступа (рис. 1-а) и в момент образования зева (рис. 1-б).



а)

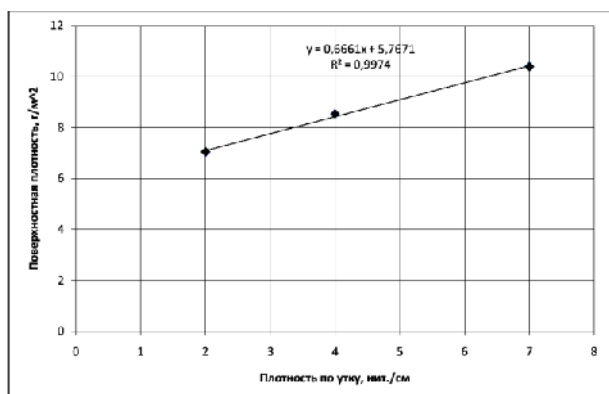


б)

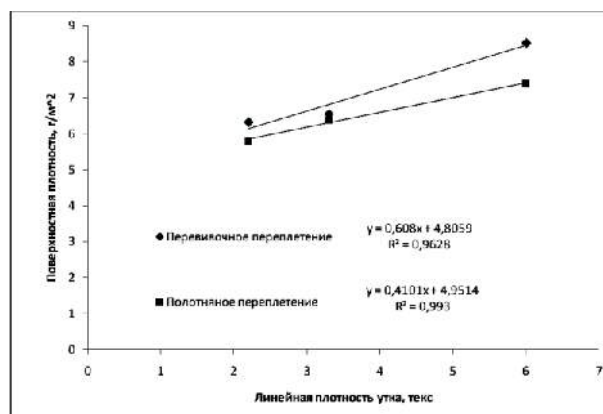
Рис. 1

На модифицированном станке СТБ-2-180ШЛ были изготовлены ткани из параарамидных нитей поверхностной плотностью 2,4...3 г/м<sup>2</sup> и ткани из арамидных нитей поверхностной плотностью 6,5...8,5 г/м<sup>2</sup>. Для тканей перевивочного переплетения из полиимидных нитей *Аримид*

установлена зависимость поверхностной плотности от плотности по утку (рис. 2-а). Также получены зависимости поверхностной плотности тканей полотняного и перевивочного переплетений от линейной плотности нитей утка, при плотности ткани по основе и утку 4 нити/см (рис. 2-б).



а)



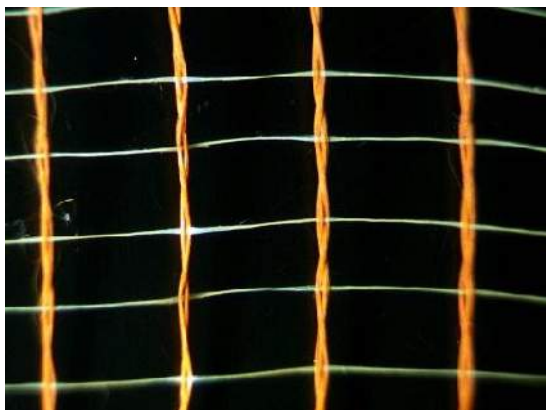
б)

Рис. 2

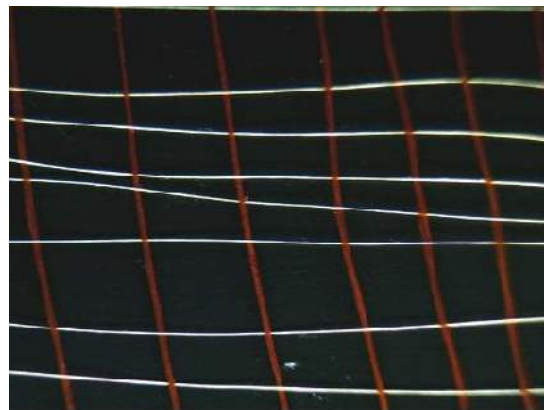
Как видно из данных рис. 2, все зависимости имеют линейный характер. При этом установлено, что при прочих равных условиях (плотность нитей в ткани по основе и утку, линейная плотность нитей) ткани полотняного переплетения имеют поверхностную плотность в среднем на 8% меньше, чем ткани перевивочного переплетения. Это объясняется большей уработкой нитей основы в структуре ткани перевивочного переплетения, что можно

считать недостатком данного вида переплетения.

Однако, как было сказано выше, при создании облегченных структур тканей только перевивочное переплетение позволяет изготовить ткани из параарамидных и полиимидных нитей, устойчивые к раздвижке систем нитей, что и проиллюстрировано на рис. 3 (а – перевивочное переплетение; б – полотняное переплетение).



а)



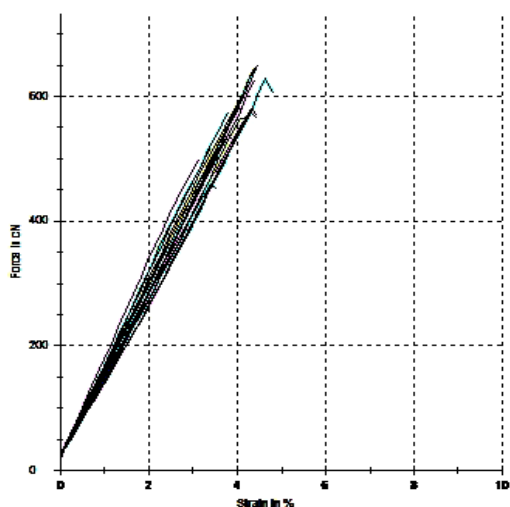
б)

Рис. 3

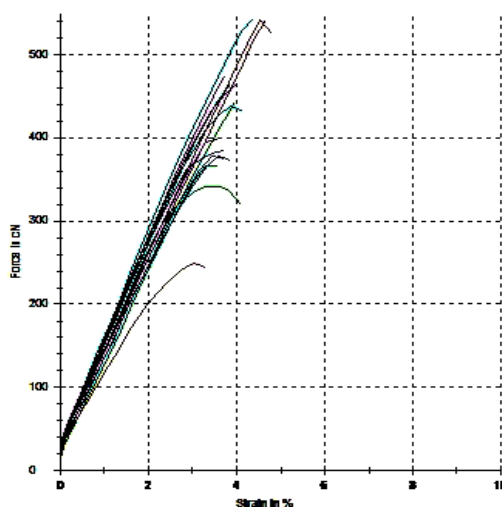
При изготовлении тканей из высокопрочных и высокомодульных комплексных нитей необходимо обращать внимание на то, что данные нити значительно снижают свойства в процессе текстильной переработки. В работах [7], [8] было установлено, что в процессе снования и ткачества арамидные нити *Руслан* значительно снижают такие показатели свойств, как разрывная нагрузка, удлинение при разрыве и удельная работа разрыва, что в свою очередь может негативно отразиться на эксплуатационных свойствах тканей. Разрывная нагрузка нитей основы, в зависимости от переплетения ткани, может в процессе снования и ткачества сократиться от 10 до 35%, а показатель работы разрыва нитей основы сокращается от 20 до 50%.

На снижение свойств высокопрочных и высокомодульных комплексных нитей в значительной мере оказывает влияние степень изгиба в ткани [4], что особенно актуально для тканей перевивочного переплетения, характеризующихся значительным изгибом нитей основы.

При исследовании свойств нитей было установлено, что в процессе изготовления ткани перевивочного переплетения из арамидных нитей 3,3 текс происходит снижение разрывной нагрузки основы на 27%, а при изготовлении ткани полотняным переплетением лишь на 3,7%. На рис. 4 для сравнения представлены диаграммы разрыва арамидных нитей основы 3,3 текс из ткани полотняного (рис. 4-а) и перевивочного переплетения (рис. 4-б).



а)



б)

Рис. 4



Установлено, что при изготовлении ткани перевивочным переплетением из арамидных нитей 11,1...15,4 текс происходит снижение разрывной нагрузки основы на 9,5...12,7%, удлинения – на 12,5...14,8% и работы разрыва – на 19,2...22,2%. А при изготовлении ткани полотняным переплетением нити основы снижают разрывную нагрузку на 5,3%, удлинение – на 5,5% и работу разрыва – на 9,4%, что свидетельствует о гораздо более напряженных условиях при изготовлении ткани перевивочного переплетения.

Таким образом, в качестве мероприятий по снижению повреждаемости высокопрочных и высокомодульных комплексных нитей при изготовлении тканей перевивочного переплетения предлагается: наносить специальные текстильно-вспомогательные вещества на стадии перемотки и/или снования нитей, способствующие сохранению отдельных филанментов и снижающие коэффициент трения нити, а также использовать гарнитуру (глазки галев и зубья берда) с профилем, исключаящим значительные перегибы нити.

## ВЫВОДЫ

1. Сформулированы основные требования, предъявляемые к армирующим и сепарационным тканям, используемым для производства экранно-вакуумной теплоизоляции.

2. На модифицированном станке СТБ-2-180ШЛ изготовлены образцы тканей перевивочного переплетения из термостойких, высокопрочных и высокомодульных нитей поверхностной плотности от 2,4 до 8,5 г/м<sup>2</sup>, устойчивых к раздвижке.

3. Установлено, что при изготовлении ткани перевивочного переплетения комплексные нити значительно снижают механические показатели свойств, что обусловлено значительной степенью изгиба нитей при формировании ткани.

4. Сделан вывод о целесообразности разработки щадящего режима изготовления облегченных тканей перевивочного переплетения из термостойких, высокопрочных и высокомодульных нитей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Любин Дж. / Пер. с англ. Геллера А.Б., Гельмонта М.М. / Под ред. Геллера Б. Э. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 1. – М.: Машиностроение, 1988.
2. Тканые конструкционные композиты: Пер. с англ. / Под ред. Т.-В. Чу и Ф. Ко. – М.: Мир, 1991.
3. Адрова Н.А., Бессонов М.М., Лайус Л.А., Рудаков А.П. Полиимиды – новый класс термостойких полимеров. – Л.: Наука, 1968.
4. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009.
5. Патент РФ номер RU 2397926 С2. Экранно-вакуумная теплоизоляция космического аппарата с внешним комбинированным покрытием. 24.06.2008.
6. Патент РФ номер RU 2344972. Экранно-вакуумная теплоизоляция космического аппарата. 15.03.2007.
7. Сафонов П.Е., Левакова Н.М., Юхин С.С., Буланова М.Е. Разработка рациональных структур мягкой баллистической защиты на основе арамидных нитей Руслан // Вопросы оборонной техники. Серия 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. – М.: ФГУП "НТЦ "Информтехника", 2013, Вып. 3(170) – 4(171). С.27...33.
8. Сафонов П.Е. Разработка оптимальных технологических параметров изготовления арамидных тканей технического назначения: Дис.... канд. техн. наук. – М.: МГУДТ, 2013.

Рекомендована кафедрой проектирования текстильных изделий. Поступила 15.12.14.

**НОВЫЙ СПОСОБ ИССЛЕДОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ ТКАНИ  
В ЗОНЕ ВАЛЬЯН-ГРУДНИЦА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРВОПРИВОДА\***

**NEW WAY OF RESEARCH OF A TENSION OF A FABRIC  
IN THE DOFFER/BREAST BEAM ZONE  
WITH SERVO-DRIVER USE**

*А.П. ГРЕЧУХИН*  
*A.P. GRECHUKHIN*

(Костромской государственный технологический университет)  
(Kostroma State Technological University)  
E-mail: niskstu@yandex.ru

*В статье представлен способ определения натяжения ткани в зоне вальян-грудница с использованием сервопривода в составе: частотный преобразователь, программируемый контроллер, серводвигатель. Для управления серводвигателем использовали контур с обратной связью, что позволяет получать значения крутящего момента на валу серводвигателя по градусам поворота главного вала станка. Предложен способ исключения из общего момента на валу серводвигателя динамической и статической составляющих, связанных с движением самого механизма.*

*In article the way of definition of a tension of a fabric in in the doffer/breast with servo-driver use in structure is presented: the frequency converter, the programmed controller, a servomotor. For management of a servomotor used a feedback control contour, therefore could receive an apportion on degrees of turn of the main shaft. For elimination of influence of the dynamic making and static component caused by a friction in support, the weight of the mechanism transferring rotation on the doffer, defines inertial characteristics of a drive.*

**Ключевые слова:** натяжение ткани, момент на валу двигателя, вальян, грудница.

**Keywords:** fabric tension, the moment on an engine shaft, doffer, breast.

Известно, что натяжение ткани при прибое является важнейшим технологическим показателем процесса ее формирования [1] и определяет степень напряженности процесса ткачества вместе с натяжением нитей основы при прибое и силой прибоя. Комплексные теоретические и экспериментальные исследования процесса формирования ткани должны включать исследования натяжения ткани или ссылки на их фактические значения, как, например, это сделано в работах [2...7]. Традиционно натяжение ткани исследовалось с

помощью тензобалочки на груднице или валика-консоли [8]. При этом требуется определенное изменение конструкции ткацкого станка, что, как правило, ведет к изменению геометрии заправочной линии.

Следует отметить, что за последние 15 лет в литературе практически не встречаются работы, анализирующие изменение натяжения ткани в зоне перед грудницей. Исследователи ограничиваются анализом натяжения нитей основы в зоне скало-ламели, как, например, это сделано в работе [9].

\* Работа выполнена по гранту РФФИ № 14-08-00475.

Нами проведена модернизация ткацкого станка СТБ2-175 с целью расширения ассортиментных возможностей. При этом товарный регулятор заменен сервоприводом. В состав сервопривода входят: частотный преобразователь, программируемый контроллер и серводвигатель. В качестве последнего использовали серводвигатель переменного тока DeltaElectronics марки ЕСМА-Е11315FS (1,5 кВт) [10] на валу товарного регулятора, внешний вид серводвигателя представлен на рис. 1.



Рис. 1

Для управления указанным серводвигателем использовали сервопреобразователь

DeltaElectronics марки ASD-A21521-M [10]. Подбор оборудования осуществлялся исходя из номинального момента на валу двигателя для обеспечения отвода ткани. В указанной модели номинальный момент составляет 7,16 Н·м. При этом поддержка требуемого момента осуществляется во всем диапазоне рабочих скоростей вала двигателя.

Программное обеспечение Data Scope [10] фирмы DeltaElectronics позволяет в режиме реального времени измерять крутящий момент на валу двигателя (в процентах к номинальному значению). Нами предлагается использовать эту возможность для контроля за натяжением ткани в зоне перед грудницей. Вращающий момент на валу серводвигателя равен моменту на вальяне. Зная диаметр вальяна, можно легко определить натяжение ткани при входе на него.

Значения крутящего момента определяются через градусы поворота главного вала станка. Вид экспериментальных данных в окне программы DataScope представлен на рис. 2.

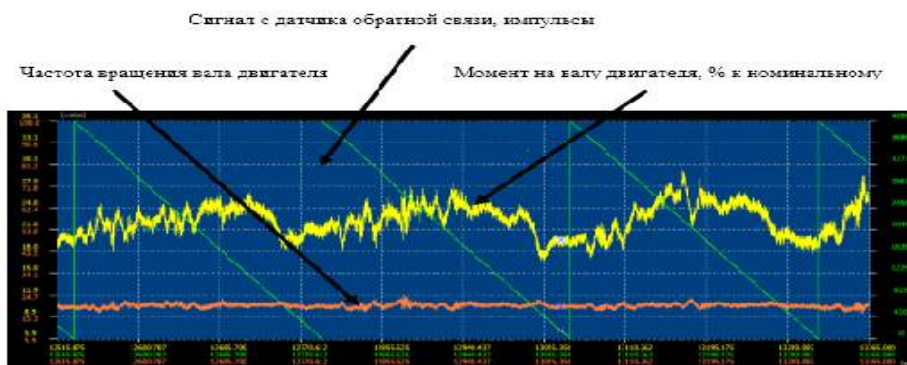


Рис. 2

Момент на валу двигателя можно определить следующим образом [11]:

$$M_{\text{двиг}} = M_{\text{вал}} + M_{\text{дин}} + M_{\text{стат}}, \quad (1)$$

где  $M_{\text{двиг}}$  – крутящий момент на валу двигателя;  $M_{\text{вал}}$  – крутящий момент на валу двигателя от натяжения ткани;  $M_{\text{дин}}$  – динамический крутящий момент на валу дви-

гателя;  $M_{\text{стат}}$  – статический крутящий момент сопротивления на валу двигателя.

Динамическая составляющая момента вызвана неравномерной скоростью вращения вальяна. В представленном примере она колебалась в пределах от 17 до 24 об/мин за цикл работы станка. Статическая составляющая момента возникает вследствие трения в опорах механизма, передающего вращение на вальян.

Тогда

$$M_{\text{вал}} = M_{\text{двиг}} - M_{\text{дин}} - M_{\text{стат}}. \quad (2)$$

Формула для расчета динамического момента на валу двигателя выглядит следующим образом:

$$M_{\text{дин}} = \varepsilon(I_{\text{рот}} + I_{\text{прив}}), \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – угловое ускорение вала двигателя, рад/с<sup>2</sup>;  $I_{\text{рот}}$  – момент инерции ротора двигателя ( $11,9 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>2</sup> [9]);  $I_{\text{прив}}$  – момент инерции нагрузки, приведенный к оси вращения вала двигателя ( $1,3 \cdot 11,9 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>2</sup>).

С целью исключения динамической составляющей из результатов измерения необходимо определить инерционные характеристики привода. Для этого в программном обеспечении сервопривода есть специальная функция, которая выдает значение момента инерции подвижных частей привода, приведенного к валу двигателя (отнесенное к моменту инерции ротора двигателя). Во всех экспериментах товарный валик отключали. Отношение момента инерции подвижных частей привода, приведенного к оси вращения вала двигателя к моменту инерции ротора двигателя, составило 1,3. Для расчета углового ускорения вальяна использовался сигнал пропорциональный частоты вращения, который сглаживался с помощью быстрого преобразования Фурье в среде Mathcad. Переведя значение частоты вращения в рад/с и найдя первую производную по времени, получаем значение углового ускорения и на его основе определяем зависимость значения динамической составляющей крутящего момента.

Значение  $M_{\text{стат}}$  замеряли, пустив привод в работу с постоянной скоростью, приблизительно равной средней рабочей скорости (20 об/мин). Полученные значения момента составили 4,5% от номинального значения (7,16 Н·м). График значений  $M_{\text{стат}}$  на валу серводвигателя представлен на рис. 3.

Зная динамическую и статическую составляющие крутящего момента, по формуле (2) определяли момент, вызванный натяжением ткани.

Результаты вычислений на интервале времени 250 мс, приблизительно соответствующему одному обороту главного вала станка, представлены на рис. 4.

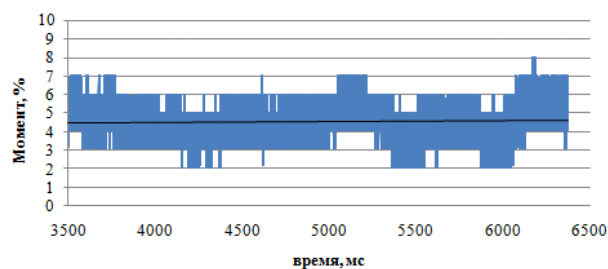


Рис. 3

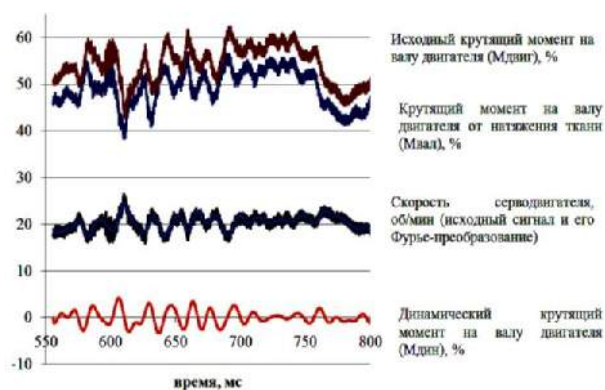


Рис. 4

Зная экспериментально полученный закон изменения крутящего момента, можно определить зависимость натяжения ткани от времени. Таким же образом могут быть получены данные крутящего момента на валу двигателя от технологической нагрузки при установке сервоприводов на другие механизмы станка (рапирный механизм передачи точной нити, главный вал станка, батанный механизм и др.).

Приведем пример расчета натяжения ткани в зоне вальян–грудница при прибое на станке СТБ2-175. Можно либо построить график зависимости натяжения ткани от времени, либо определить натяжение ткани в конкретный момент времени.

Количество импульсов датчика обратной связи на 1 оборот главного вала станка – 4096. Прибой в 70° поворота главного вала станка. Датчик установлен так, что 4096 импульсов датчика совпадает с 0° поворота главного станка. Тогда количество импульсов от нулевой точки ( $K_{\text{имп}}$ ):

$$K_{\text{имп}} = \frac{4096 \cdot 70}{360} \approx 796.$$

Поскольку количество импульсов уменьшается по мере вращения главного вала станка (рис. 2), то значение, в котором необходимо определять натяжение ткани, составляет  $4096 - 796 = 3300$  импульсов.

Был проведен эксперимент по определению натяжения ткани в зоне вальян – грудница при выработке льняной ткани на станке СТБ2-175 с плотностью по утку 130 нит/10 см, по основе – 164 нит/10 см. В основе и в утке использовали льняную пряжу 50 текс БМВЛ. Получено значение по результатам 52 замеров 39,84 %, относительная ошибка измерений 2,29 %.

Значения момента в программе Data Score получены в процентах от номинального значения. Необходимо осуществить перевод единиц измерения из процентов в ньютонь. Расчет натяжения ткани ведется по формуле:

$$F_{\text{тк}} = \left( \frac{M_{\text{вал}}}{100} Mi \right) / mR_{\text{в}}, \quad (4)$$

где  $F_{\text{тк}}$  – натяжение ткани, Н;  $M$  – номинальный момент на валу двигателя;  $i$  – передаточное отношение (56,75);  $m$  – количество нитей в основе (2688);  $R_{\text{в}}$  – радиус вальяна (0,08 м).

Используя формулу (4), получаем значение 0,752 Н.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана методика определения натяжения ткани на ткацком станке в зоне вальян–грудница с использованием сервопривода. Использование современных сервоприводов позволяет определять инерционные характеристики механизмов, значения крутящего момента на валу двигателя в режиме реального времени, что значительно упрощает задачу определения нагрузок на исполнительном механизме.

2. Предложенную методику можно использовать при определении нагрузок на исполнительных механизмах, заменяющих и прочие узлы и механизмы ткацкого станка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев В.А., Волков П.В. Ткачество. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
  2. Налетов В.В. Влияние дополнительного перемещения ткани в сторону грудницы в процессе приобоя утка на условия приобоя на ткацком станке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1973, № 3. С.75...80.
  3. Налетов В.В. Влияние принудительной подачи ткани навстречу берду во время приобоя утка на условия приобоя на ткацком станке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1974, № 4. С. 63...66.
  4. Ямицков С.В. Развитие теории формирования ткани и методов прогнозирования технологических параметров процесса ткачества: Дис. ... докт. техн. наук. – Кострома, КГТУ, 1997.
  5. Примаченко Б.М. Разработка методов прогнозирования структуры и эксплуатационных свойств тканей бытового и технического назначения на основе технологических параметров их производства: Дис. ... докт. техн. наук. – Санкт-Петербург: СПбГУТиД, 2009.
  6. Степанов С.Г. Развитие теории формирования и строения ткани на основе нелинейной механики гибких нитей: Дис. ... докт. техн. наук. – Иваново: ИГТА, 2007.
  7. Проталинский С.Е. Развитие теории и вопросы приложения механики нитей к задачам текстильной технологии: Дис. ... докт. техн. наук. – Кострома: КГТУ, 1999.
  8. Севостьянов А.Г., Кудинов А.Е., Литвинов М.С. и др. Методы и средства исследования механико-технологических процессов в текстильной промышленности: лабораторный практикум: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Севостьянова. – М.: Легпромбытиздат, 1986.
  9. Брут-Бруляко А. Б. Ерохова М.Н. Исследование влияния величины заступа на натяжение основных нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №4. С. 81...84.
  10. [http://www.deltronics.ru/product/servo/series\\_57.html?vkl=files-vkl](http://www.deltronics.ru/product/servo/series_57.html?vkl=files-vkl).
  11. Кацман М.М. Электрический привод. – 5-е изд., стер. – М.: Издательский центр "Академия", 2013.
- Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 26.03.15.

УДК 675.026.11

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ПЛАЗМЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ ТКАНЕЙ  
В ПРОЦЕССЕ ПРИДАНИЯ ИМ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СВОЙСТВ**

**ASSESS THE FEASIBILITY OF PLASMA MODIFICATION IN THE PROCESS  
MAKE THEM ANTIBACTERIAL PROPERTIES**

*И.В. КРАСИНА, М.В. АНТОНОВА, С.В. ИЛЮШИНА, А.С. ПАРСАНОВ*  
*I.V. KRASINA, M.V. ANTONOVA, S.V. ILUSHINA, A.S. PARSANOV*

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)  
(Kazan State Research Technological University)

E-mail: ant.mar1984@rambler.ru

*В статье представлены результаты исследований гигиенических и механических свойств тканей специального назначения после их модификации в низкотемпературной плазме пониженного давления.*

*The article presents the results of studies of hygienic and mechanical properties of tissues special purpose after their modification in the low-temperature low-pressure plasma.*

**Ключевые слова:** натуральные волокна, механические свойства, гигиенические свойства, низкотемпературная плазма.

**Keywords:** natural fibers, mechanical properties, hygienic properties, low-temperature plasma.

Во многих исследованиях, проведенных ранее, показано, что обработка плазмой ВЧЕ-разряда пониженного давления является эффективным методом изменения поверхностных свойств текстильных материалов и волокон [1...6]. В данном исследовании оценивается возможность применения низкотемпературной плазмы пониженного давления для обработки технических тканей в процессе придания им антибактериальных свойств. Для исследований

выбраны образцы ткани марки Премьер-Комфорт 250А артикул 18422, содержащей в своем составе полиэстер (20%) и антистатическую нить.

Эффективная пропитка антибактериальным препаратом текстильных материалов, имеющих в своем составе синтетические волокна, несколько затруднена, так как поверхность таких тканей обладает преимущественно гидрофобными свойствами. Для придания тканям гидрофиль-

ных свойств, значительно облегчающих процесс пропитки антибактериальными препаратами, была проведена обработка материалов в неравновесной низкотемпературной плазме.

Цель плазменной обработки заключалась в активации поверхности текстильных материалов, что в дальнейшем благоприятно влияет на впитывающую способность ткани. Придание антибактериальных свойств текстильным материалам проводилось путем их пропитки водным коллоидным раствором наночастиц серебра, с концентрацией по металлу  $\sim 10$  мг/мл. Концентрацию раствора наночастиц варьировали в пределах 0,1...0,3%, путем разбавления исходного коллоидного раствора дистиллированной водой (ГОСТ6709–72). Пропитка текстильных материалов осуществлялась посредством полного помещения каждой пробы в раствор антибактериального препарата. После пропитки образцы материала извлекались из раствора серебра и просушивались в подвешенном состоянии без прямого попадания солнечных лучей до полного высыхания при температуре воздуха 22...26° С. Далее проводилась оценка полученных гигиенических и физико-механических свойств [7].

Для исследования структуры и поверхностных изменений текстильных материалов использовали конфокальный лазерный сканирующий микроскоп Olympus OLS LEXT 4000. С помощью этого микроскопа выявлены изменения морфологической структуры поверхности ткани: после обработки плазмой ВЧЕ-разряда образцы имеют более рыхлую и упорядоченную структуру. В дальнейшем это позволит жидким растворам проникать вглубь волокна, не задерживаясь на его поверхности. Такие свойства волокна помогут закреплению наночастиц серебра именно внутри волокон, что будет препятствовать их полному свободному вымыванию из материала.

Основными физическими характеристиками текстильных материалов, обуславливающими их гигиенические свойства, являются показатели намокаемости, капиллярности, гигроскопичности и паропроницаемости тканей.

Модификация образцов ткани в ВЧЕ-разряде перед пропиткой их в растворе наночастиц серебра способствует увеличению показателя капиллярности ткани, что благотворно влияет на ее гигиенические свойства.

На рис. 1 (динамика подъема столба жидкости в образцах суровой ткани марки ПремьерКомфорт 250А) представлены экспериментальные данные по изменению показателя капиллярности ткани специального назначения до и после ее модификации.

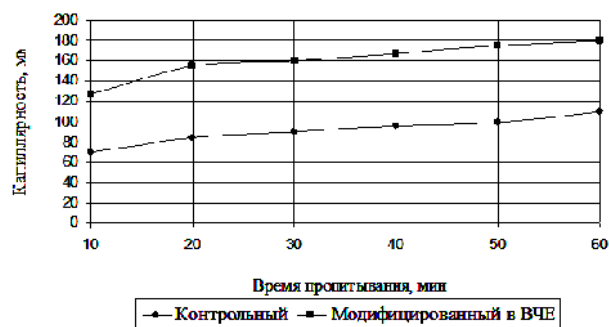


Рис. 1

Капиллярность тканей характеризует поглощение влаги продольными капиллярами материала и зависит не только от способности волокон и нитей смачиваться, но и от направления капилляров. Капиллярность изделий оценивается высотой подъема жидкости в пробе, погруженной одним концом в жидкость на один час. В тканях капиллярное поглощение значительно выше за счет ориентированного расположения нитей вдоль и поперек полотна. В ткани, модифицированной высокочастотной плазмой пониженного давления, подъем столба жидкости достигает 180 мм, что говорит о достаточной ее намокаемости, в отличие от немодифицированной, где капиллярность достигает максимум 120 мм.

При общей оценке гигиенических свойств текстильных материалов нельзя не учитывать такой показатель, как водопоглощаемость, который характеризуется количеством поглощенной воды при непосредственном погружении образцов в воду.

Водопоглощаемость определяют по привесу образца ткани, погруженного в воду на 1 минуту. Экспериментально установлено, что привес образца ткани марки ПремьерКомфорт 250А артикул 18422, модифицированной в потоке плазмы ВЧЕ - разряда, после проведения погружения его в воду на 1 минуту составляет 178%. Намокаемость ткани считается достаточной, если капиллярность ее находится в пределах 100...140 мм и водопоглощение составляет более 100%. Следовательно, намокаемость этой ткани считается достаточной.

Одним из важных показателей гигиенических свойств текстильных материалов является их смачиваемость, которая характеризуется показателем краевого угла смачивания, а также временем растекания капли воды по поверхности материала. Краевой угол смачивания немодифицированного в ВЧЕ-разряде материала марки ПремьерКомфорт 250А составляет 58°. После обработки текстильных материалов плазмой ВЧЕ-разряда пониженного давления происходит полное растекание капли на поверхности материала, и краевой угол смачивания не определяется. Это подтверждает теорию об увеличении гидрофильных свойств поверхности ткани [7].

При оценке гигиенических свойств тканей нельзя не учитывать такой показатель, как их гигроскопичность, так как гигроскопические свойства текстильных изделий определяют не только их взаимодействие с влагой, но и их гигиеничность. При

определении показателя гигроскопичности тканей выявлено, что обработка образцов только в растворе наночастиц серебра не оказывает существенного влияния на их гигроскопичность. Достаточные гигроскопические свойства материалов ПремьерКомфорт объясняются их составом, в котором имеются волокна хлопка (до 80%). Как известно, натуральные волокна, такие как хлопок, шерсть и лен, обладают самыми высокими показателями гигроскопичности. Однако обработка тканей в ВЧЕ-разряде пониженного давления способствует увеличению данного показателя в среднем на 1,5%.

Модификация текстильных материалов для производства одежды специального назначения наночастицами серебра с применением обработки плазмой ВЧЕ-разряда пониженного давления не приводит к ухудшению характеристик паропроницаемости материалов. Это говорит о том, что после плазменной обработки тканей специального назначения не будет происходить нарушения воздухо- и парообмена в пододежном пространстве при носке изделия и будет обеспечиваться поддержание нормальных функций терморегуляции человеческого тела.

Сравнительные характеристики гигиенических свойств модифицированных в высокочастотной плазме пониженного давления и в растворе наночастиц серебра текстильных материалов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Свойства	Ткань хлопковая марки ПремьерКомфорт	
	до модификации в потоке плазмы	после модификации в потоке плазмы
Смачивающая способность, с (по времени впитывания капли воды)	40	1
Капиллярность, мм	120	180
Краевой угол смачивания, °	58	не определяется
Гигроскопичность, % не менее	6	7
Паропроницаемость, мг/см <sup>2</sup> ·ч	36,2	38,5
Воздухопроницаемость, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·с	10...40	10...40
Водопоглощаемость, %	152	178

Основными механическими характеристиками текстильных материалов, обуславливающими их прочностные свойства, являются показатели прочности на разрыв и относительное удлинение.

При изменении гидрофобных свойств в сторону гидрофильности могут изменяться также и физико-механические характеристики тканей, что крайне нежелательно.



Поэтому выбор режимов плазменной обработки основывался с параллельным контролем изменения гигиенических и механических характеристик.

Для определения механических характеристик ткани отбирались точечные пробы согласно ГОСТ 3813–72. Определение прочности на разрыв и удлинения определяли методом полоски. Испытания образцов проводили на универсальной испытательной машине Shimadzu AGS-X для физико-механических испытаний различных материалов. На рис. 2 (изменение предела прочности ткани в процессе ее обработки: 1 – исходный образец; 2 – образец, модифицированный в плазме; 3 – образец, модифицированный в плазме с пропиткой антибактериальным препаратом) представлены результаты экспериментов.

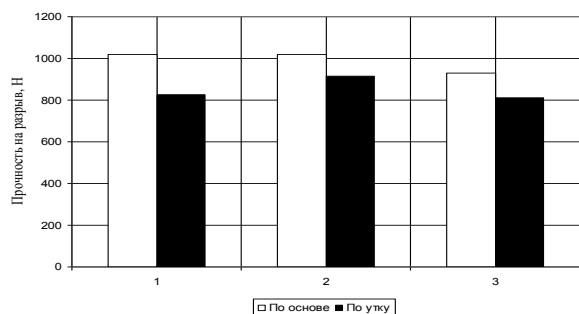


Рис. 2

Предел прочности на разрыв изменяется в процессе обработок ткани незначительно и находится в пределах нормы.

Относительное удлинение образцов ткани изменяется в пределах 2% от исходного образца, и составляет примерно 16% по основе и 15% по утку [6].

## ВЫВОДЫ

1. Анализируя полученные характеристики испытуемых материалов, можно сделать вывод, что модификация тканей специального назначения в высокочастотной плазме пониженного давления не приводит к ухудшению их гигиенических показателей. Такие показатели, как гигроскопичность, воздухопроницаемость и паропроницаемость, остаются в пределах нормы, а увеличение таких показателей, как капиллярность, смачиваемость и водопоглощаемость, способствует лучшему проникновению антибактериального препарата вглубь во-

локон, а следовательно, повышаются антимикробные свойства тканей.

2. Из приведенных результатов экспериментальных исследований, видно что такие показатели, как прочность на разрыв и относительное удлинение тканей специального назначения, остаются в пределах нормы. Следовательно, можно говорить о целесообразности применения для тканей специального назначения плазменной модификации перед их пропиткой в растворе наночастиц серебра в процессе придания им антибактериальных свойств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Илюшина С.В.* Технология получения технических тканей с антиадгезионными свойствами // Вестник Казанского технологического университета. – 2012, Т.18. №18. С. 50...51.
2. *Абдуллин И.Ш., Лутфуллина Г.Г., Тихонова В.П., Шаехов М.Ф., Красина И.В.* Волокнистые высокомолекулярные материалы легкой промышленности в процессах обработки потоком плазмы ВЧ-разряда // Информационный листок №71-015-04. – Казань: Татарский центр научно-технической информации, 2004.
3. *Тимошина Ю.А.* Разработка трикотажных и нетканых волокнистых материалов с антибактериальными свойствами: Дис... канд. техн. наук. – Казань: Казан. нац исслед. технол. ун-т, 2014.
4. *Сергеева Е.А., Букина Ю.А., Брысаев А.С.* Влияние плазменной обработки волокнистых материалов на их модификацию наночастицами серебра // Вестник Казанского технологического университета. – 2013, №4. С. 82...84.
5. *Антонова М.В., Красина И.В., Сафаров В.Г., Парсанов А.С.* Влияние низкотемпературной плазменной обработки на прочностные свойства хлопчатобумажного бинта // Вестник Казанского технологического университета. — Казань: Казан. гос. технол. ун-т., Изд-во КНИТУ, 2014. Т.17, № 13. С.126...127.
6. *Антонова М.В., Красина И.В., Илюшина С.В.* Методы придания антибактериальных свойств текстильным волокнам // Вестник Казанского технологического университета. – Казань: Казан. гос. технол. ун-т. Изд-во КНИТУ, 2014. Т.17, № 18. С.56...61.
7. *Антонова М.В., Красина И.В.* Исследование влияния низкотемпературной плазмы на гигиенические свойства ткани специального назначения // Вестник Казанского технологического университета. – Казань: Казан. гос. технол. ун-т. Изд-во КНИТУ, 2014. Т.17, № 23. С.97...99.

Рекомендована кафедрой технологии химических, натуральных волокон и изделий. Поступила 03.03.15.

УДК 677.051.174

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ  
ВОЛОКНИСТОЙ СМЕСИ В БУНКЕРНОМ ПИТАТЕЛЕ  
С ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОЩАДЬЮ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ШАХТЫ**

**MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF FIBROUS  
MIXTURE MOTION IN HOPPER FEEDER WITH VARIABLE  
CROSS-SECTIONAL AREA OF THE COLUMN**

*М.А. ТУВИН, И.Г. ХОСРОВЯН, Т.Я. КРАСИК, Г.А. ХОСРОВЯН, А.А. ТУВИН*  
*M.A. TUVIN, I.G. KHOSROVYAN, T.YA. KRASIK, G.A. KHOSROVYAN, A.A. TUVIN*

(Ивановский государственный политехнический университет)  
(Ivanovo State Politechnical University)  
E-mail: ti@ivgpu.com

*Рассматривается механическое состояние волокнистой смеси в бункерном питателе, когда плотность волокнистой смеси линейно зависит от напряжения сжатия, а боковые стенки установлены под углом к вертикали. Выведено дифференциальное уравнение, описывающее воздействие сил притяжения и трения на распределение напряжения сжатия волокнистой смеси.*

*Discusses the mechanical condition of the fibrous mixture in the hopper feeder, when the density of the fibrous mixture is linearly dependent on the pressure of compression, and the side walls set at an angle to the vertical. Receive the differential equation describing the influence the forces of gravity and friction on the stress distribution in the compression of the fibrous mixture.*

**Ключевые слова:** волокно, бункерный питатель, сжатие волокон.

**Keywords:** fiber, hopper feeder, compression of the fibers.

Одной из целей модернизации технологической линии для осуществления разработанного нами способа получения многослойных волокнистых материалов [1] являлось снижение неровноты волокнистого настила на выходе из первого устройства этой линии – бункерного питателя. Модер-

низация касалась, в частности, геометрических характеристик шахты бункерного питателя.

Ниже приводится разработка общей теории разработанного нами бункерного питателя с переменной площадью поперечного сечения. В качестве базы для предла-

гаемой теоретической разработки использовались идеи, высказанные в [2], где рассматривалась общая методика решения задачи по расчету линейной плотности настила на выпуске из бункерного питателя с шахтой с постоянным сечением. Предлагаемая работа является основой для построения теории выравнивающей способности бункерного питателя с учетом его геометрических параметров по аналогии с [3].

Схема бункерного питателя представлена на рис. 1.

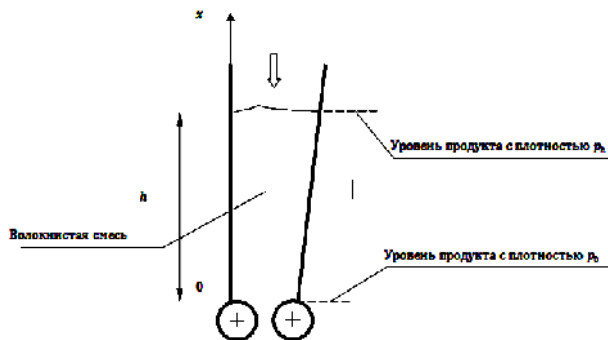


Рис. 1

Высота заполнения шахты равна  $h$ . Координатную ось  $Ox$  направим вдоль вертикального ребра бункера в направлении, противоположном вектору ускорения свободного падения. Начало системы координат  $Ox$  расположим на нижней горизонтальной грани столба смеси в бункере. Пусть плотность волокнистого продукта в шахте  $\rho$ , а плотность волокнистой составляющей в массе продукта в бункере  $\rho_b$ . Обозначим засоренность волокнистой массы через  $u_3$ . Доля волокнистой составляющей в общей массе продукта в данной объеме составляет  $u_b = 1 - u_3$ .

Площадь поперечного сечения шахты  $S$  бункера зависит от  $x$ . Определим  $S(x)$ . В нижнем сечении шахты расстояние между передней и задней стенками равно  $a_0$ , а угол наклона стенки бункера –  $\gamma$  (рис. 2 – схема столба волокнистой смеси в шахте бункера).

Линия, по которой располагается стенка, описывается уравнением:

$$a(x) = k_a x + m_a.$$

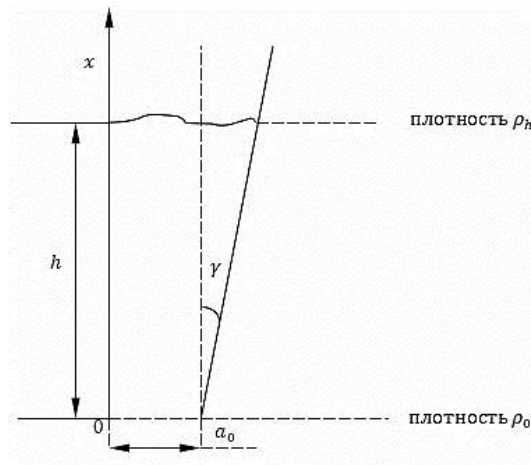


Рис. 2

График функции  $a(x)$  представлен на рис. 3. Величина  $k_a$  равна тангенсу угла наклона прямой линии  $a(x)$ :

$$k_a = \text{tg}(\gamma).$$

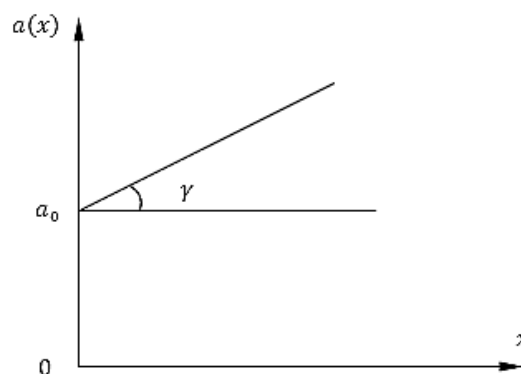


Рис. 3

То есть:

$$a(x) = [\text{tg}(\gamma)]x + m_a.$$

Из условий при  $x = 0$  следует, что  $m_a = a_0$ , а

$$a(x) = [\text{tg}(\gamma)]x + a_0.$$

Обозначим через  $b$  ширину бункера. Отсюда:

$$S(x) = \{[\text{tg}(\gamma)]x + a_0\}b.$$

Выделим тонкий слой в столбе волокнистого продукта высотой  $dx$  на

расстоянии  $x$  (рис. 4 – схема сил, действующих на тонкий слой волокнистой смеси). Обозначим верхнюю грань этого слоя через  $C_u$ , а нижнюю – через  $C_d$ . Полагаем, что нижняя грань слоя содержит точку  $x$  (рис. 4).

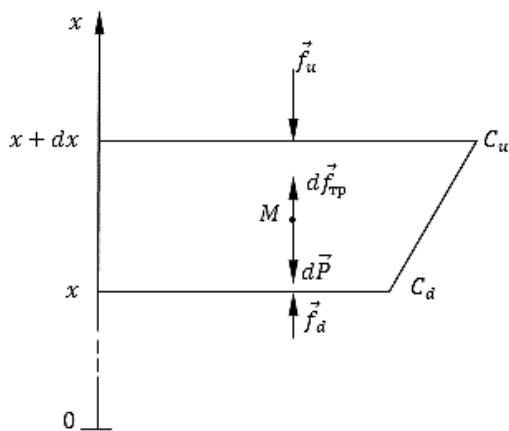


Рис. 4

Обозначим через  $f_d$  силу, которая действует на нижнюю грань выделенного слоя со стороны нижележащего столба волокон высотой  $x$ . Отношение силы  $f_d$  к площади поперечного сечения бункера в точке  $x$  обозначим через  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{f_d}{S}.$$

Считаем, что зависимость, учитывающая изменение плотности волокнистой составляющей смеси при изменении давления  $\sigma$ , описывается линейной моделью:

$$\rho_b = k\sigma + \rho_{bn},$$

где  $k$  – коэффициент сжимаемости волокнистого продукта;  $\rho_{bn}$  – плотность волокнистой составляющей продукта в несжатом состоянии (при  $\sigma = 0$ ).

Очевидно, что плотность волокнистой смеси вычисляется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \Delta &\approx -[\sigma(x) + \sigma'(x)dx][a(x) + a'(x)dx] + \sigma(x)a(x) = \\ &= -[\sigma(x)a(x) + \sigma'(x)a(x)dx + \sigma(x)a'(x)dx + \sigma'(x)a'(x)(dx)^2] + \sigma(x)a(x) = \\ &= -\{\sigma(x)a(x) + [\sigma'(x)a(x) + \sigma(x)a'(x)]dx + \sigma'(x)a'(x)(dx)^2\} + \sigma(x)a(x). \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{y_b}(k\sigma + \rho_{bn}).$$

Масса волокнистого продукта в выделенном элементе равна:

$$m = \rho a(x)bdx.$$

Проекция на ось  $Ox$  силы притяжения, действующей на выделенный элемент столба волокон, равна:

$$dP = -g\rho a(x)bdx,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

В положительном направлении оси  $Ox$  на грань  $C_d$  действует нижележащий столб смеси с силой:

$$f_d = \sigma(x)a(x)b.$$

Грань  $C_u$  подвергается действию со стороны верхних слоев волокон, которое характеризуется силой:

$$f_u = -\sigma(x+dx)a(x+dx)b.$$

Тогда можно записать, что на элемент столба действует суммарная сила  $\vec{f}_d + \vec{f}_u$ , проекция которой на ось  $Ox$  равна:

$$df = (f_u + f_d) = [-\sigma(x+dx)a(x+dx) + \sigma(x)a(x)]b.$$

Обозначим:

$$\Delta = -\sigma(x+dx)a(x+dx) + \sigma(x)a(x).$$

Так как приближенно

$$\sigma(x+dx) \approx \sigma(x) + \sigma'(x)dx$$

и

$$a(x+dx) \approx a(x) + a'(x)dx,$$

то имеем:

Пренебрегая членами второй порядка малости, получаем, что

$$\Delta \approx -[\sigma'(x)a(x) + \sigma(x)a'(x)]dx.$$

Тогда:

$$df = -[\sigma'(x)a(x) + \sigma(x)a'(x)]b dx.$$

Вдоль боковых граней выделенного слоя волокон действуют силы нормального давления и трения. Пусть  $df_{тр}$  – сила трения, действующая на выделенный элемент. Полагаем, что давление на боковые стенки  $\sigma_w$  линейно зависит от величины  $\sigma$ :

$$\sigma_w = \mu \sigma,$$

где  $\mu$  – коэффициент поперечного распора (отношение давления волокнистого продукта на стенки бункера к давлению, сжимающему слой в вертикальном направлении).

$$\rho a(x)b dx \frac{d^2x}{dt^2} = -\rho g a(x)b dx - [\sigma'(x)a(x) + \sigma(x)a'(x)]b dx + 2\mu k_{тр} [a(x) + b]\sigma(x) dx.$$

Считаем, что ускорение выбранного элемента волокнистого столба равно нулю.

$$-\rho g a(x)b dx - [\sigma'(x)a(x) + \sigma(x)a'(x)]b dx + 2\mu k_{тр} [a(x) + b]\sigma(x) dx = 0.$$

Имеем:

$$\begin{aligned} & -\rho g a(x)b dx - [\sigma'(x)a(x) + \sigma(x)a'(x)]b dx + 2\mu k_{тр} [a(x) + b]\sigma(x) dx = \\ & = -\rho g a(x)b - [\sigma'(x)a(x) + \sigma(x)a'(x)]b + 2\mu k_{тр} [a(x) + b]\sigma(x) = \\ & = -\{[\sigma'(x)a(x) + \sigma(x)a'(x)]b - 2\mu k_{тр} [a(x) + b]\sigma(x) + \rho g a(x)b\} = \\ & = -a(x)b \left\{ \left[ \sigma'(x) + \frac{\sigma(x)a'(x)}{a(x)} \right] - \frac{2\mu k_{тр} [a(x) + b]\sigma(x)}{a(x)b} + \rho g \right\} = \\ & = -a(x)b \left\{ \left( \sigma'(x) + \frac{\sigma(x)}{a(x)} \right) a'(x) - \frac{2\mu k_{тр} [a(x) + b]}{b} \right\} + \rho g \}. \end{aligned}$$

Следовательно, уравнение движения волокнистой смеси в шахте можно записать в следующем виде:

В соответствии с законом Кулона-Амонтона величина силы трения равна:

$$df_{тр} = k_{тр} \Pi \sigma_w dx,$$

где  $k_{тр}$  – коэффициент трения волокнистого продукта о стенки бункера;  $\Pi = 2[a(x)+b]$  – периметр горизонтального сечения шахты.

Следовательно:

$$df_{тр} = 2\mu k_{тр} [a(x)+b] \sigma dx.$$

Опираясь на второй закон Ньютона, запишем следующее уравнение движения элемента столба волокон:

$$dm \frac{d^2x}{dt^2} = dP + df + df_{тр}.$$

Таким образом, имеем:

Отсюда получаем:

$$\sigma'(x) + \frac{\sigma(x)}{a(x)} \left\{ a'(x) - \frac{2\mu k_{тр} [a(x) + b]}{b} \right\} + \rho g = 0.$$

Так как

$$a'(x) = k_a,$$

то

$$\sigma'(x) + \frac{\sigma(x)}{a(x)} \left\{ k_a - \frac{2\mu k_{\text{тр}}[a(x)+b]}{b} \right\} \rho g = 0.$$

Обозначим:

$$\Phi(x) = \frac{k_a b - 2\mu k_{\text{тр}}[a(x)+b]}{a(x)b}.$$

Тогда:

$$\sigma'(x) + \Phi(x)\sigma(x) + \rho g = 0.$$

Уравнение получено на базе законов механики и является математической моделью, определяющей взаимосвязь между механическими характеристиками волокнистого продукта и геометрическими размерами шахты питателя.

## ВЫВОДЫ

1. На основе применения законов механики выведено уравнение движения волокнистой смеси в бункерном питателе с переменной площадью поперечного сечения шахты.

2. Получена математическая модель, описывающая механические напряжения, действующие на слои волокнистой смеси в бункерном питателе с переменной площадью поперечного сечения шахты, а также определяющая взаимосвязь между механическими характеристиками волокнистого продукта и геометрическими параметрами шахты питателя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2471897 Российская Федерация. Способ получения многослойных волокнистых материалов и устройство для его осуществления / Хосровян Г.А., Хосровян А.Г., Красик Т.Я., Хосровян И.Г., Жегалина Т.В.– Оpubл. 10.01.2013.
2. Красик Т.Я., Хосровян А.Г., Хосровян Г.А. Общая теория движения волокнистых материалов в шахте бункерных питателей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №1. С.75...79.
3. Красик Т.Я., Хосровян А.Г., Хосровян Г.А. Методика определения линейной плотности настила на выходе из бункерного питателя, оснащенного системой обеспыливания // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №5. С.79...82.
4. Хосровян И.Г., Хосровян А.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А. Разработка теории выравнивающей способности устройства для получения многослойных волокнистых материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №6. С.79...82.

Рекомендована кафедрой технологии машиностроительного производства. Поступила 29.02.15.

УДК 677.025

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
НОВЫХ СТРУКТУР ТРИКОТАЖА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ  
С ЭЛЕМЕНТАМИ ЕГО СТРУКТУРЫ**

**DESIGN METHODS OF NEW STRUCTURES JERSEY FORMED  
WITH THE USE OF ADDITIONAL OPERATIONS WITH ELEMENTS  
OF THE STRUCTURE**

*Л.А. КУДРЯВИН, С.И. ПИВКИНА, О.П. ФОМИНА, В.А. ЗАВАРЧЕВ*  
*L.A. KUDRYAVIN, S.I. PIVKINA, O.P. FOMINA, V.A. ZAVARUEV*

(Московский государственный университет дизайна и технологии)  
(Moscow State University of Design and Technology)  
E-mail: office@msta.ac.ru

*Разработан трикотаж комбинированного ажурно-прессового переплетения, обладающий стабильной уравновешенной петельной структурой и пониженной распускаемостью. Предложена матричная подсистема кодирования для кулирных производных переплетений, учитывающая операции процесса петлепереноса. Предложенная матричная подсистема является основой для проектирования программы воспроизводства трикотажа с использованием современных CAD/CAM-подсистем вязальных машин.*

*Designed Jersey combined interlacing, with stable well-balanced buttonhole structure. Proposed matrix subsystem of the coding for weft-knitting derivatives interlacing, taking into account the operation of the loop transfer process. The proposed matrix subsystem is the basis for the design of the program of reproduction Jersey with the use of modern CAD/CAM subsystems knitting machines.*

**Ключевые слова:** комбинированное переплетение, матричная подсистема кодирования, проектирование программы вязания.

**Keywords:** combined -interlacing, matrix subsystem coding, designing programs knitting.

Жесткие требования рынка текстильных изделий в соответствии с быстро меняющимися требованиями моды заставля-

ют производителей быстро изменять и создавать новые оригинальные модели, рисунки и структуры трикотажа.

Современные предприятия, выпускающие трикотажные изделия, оснащены вязальными машинами и автоматами с подсистемами CAD/CAM [1] с различными для каждого из производителей этих систем регламентными, закодированными, стандартными наборами для построения программ вязания, что позволяет быстро изменять рисунки и модели изделий. С целью облегчения процесса проектирования структур трикотажа получили применение так называемые "матричные подсистемы автоматизированного проектирования", которые [2] [3] позволяют получать информацию о виде, количестве и взаимном расположении элементов петельной структуры в раппорте переплетения, а также разрабатывать программы воспроизводства трикотажа на современных машинах [4]. Существующие матричные подсистемы позволяют проектировать структуры трикотажа, состоящего из простейших элементов его структуры ЭСТ (остов петли, набросок, протяжка), без учета операций с уже образованными ЭСТ трикотажа.

Предложена система проектирования различных структур трикотажа как известных переплетений, так и новых, вырабатываемых при использовании дополнительных операций с элементами его структуры.

Сущность предлагаемой системы рассмотрим на примере. Требуется спроектировать структуру трикотажа комбинированного переплетения на базе сочетания петельных рядов переплетения двуластик и прессовых переплетений, не закручивающихся с краев, менее материалоемких, чем базовое переплетение двуластик, с ажурно-рельефным узорным эффектом, обладающих пониженной распускаемостью и возможностью использования в качестве новых оригинальных структур трикотажа платочно-шарфового ассортимента и участков незакручивающегося низа трикотажных изделий, например, юбок и верхнетрикотажных, изделий, носящихся "на выпуск".

При проектировании различных видов трикотажа на базе переплетения двуластик использовалась универсальная обобщен-

ная матрица структуры с цифровой системой кодирования элементов, в которой цифрами соответственно 1, 0, 2 обозначены остовы, протяжки и наброски, причем лицевые элементы структуры обозначены знаком "+", а изнаночные знаком "-". На рис. 1 представлен пример универсальной обобщенной матрицы структуры одного из видов проектируемого трикотажа, схема взаимной расстановки и график прокладывания нити на иглы при его вязании.

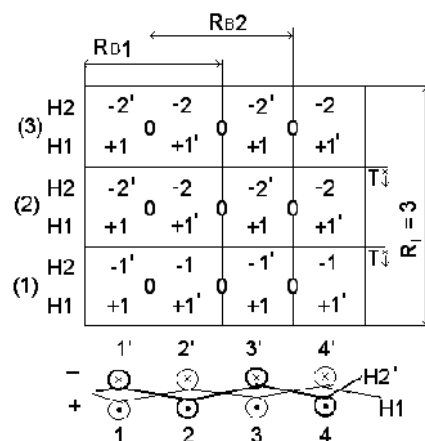


Рис. 1

Каждый петельный ряд данного трикотажа образован из двух систем нитей H1 и H2. Иглы, на которые прокладываются нити H1 и H2, а также образованные из них элементы петельной структуры обозначены соответственно простыми цифрами и цифрами со штрихом. Для описания полного петельного ряда трикотажного переплетения двуластик в виде матрицы используем сдвоенную строку, в которой нижний ряд цифр описывает петельную структуру лицевой стороны, а верхний – изнаночной. В трикотаже переплетения двуластик петельные столбики расположены один напротив другого, и, следовательно, элементы петельной структуры, образованные из одной нити, располагаются в сдвоенной строке в шахматном порядке. Операции петлепереноса элементов петельной структуры обозначены символами "Т" со стрелками (векторами), указывающими направление переноса. Раппорты прокладывания каждой из систем нитей H1 и H2 по горизонтали обозначены соот-



ветственно  $R_{B1}$  и  $R_{B2}$ , а раппорт образованного переплетения по вертикали  $R_H$ .

$$\begin{aligned} (3) &= [H1(+1, -2); H2(-2, +1)]; Z_0=Z=2; \\ (2) &= [H1(+1, -2); H2(-2, +1)] T \downarrow^X; Z_0=Z+Z_T; Z_0=2+1=3; \\ (1) &= [H1(+1, -1); H2(-1, +1)] T \downarrow^X; Z_0=Z+Z_T; Z_0=2+1=3. \end{aligned}$$

В данной записи каждый петельный ряд описывается отдельной строкой с указанием номера ряда. В квадратных скобках описана последовательность элементов петельной структуры в раппорте вязания отдельно для каждой нити. При необходимости выполнения дополнительной операции петлепереноса после квадратных скобок указывается его буквенное обозначение  $T \downarrow^X$  с вектором направления петлепереноса. Буквенные и условно-графические обозначения аналогичны обозначениям, используемым в обобщенной матрице структуры. Для определения количества технологических циклов при образовании каждого петельного ряда, количества и вида каждая строка аналитической записи дополняется их описанием, где  $Z_0$  – общее количество циклов, за которое образуется один ряд трикотажа, с учетом циклов петлепереноса;  $Z$  – количество циклов вязания;  $Z_T$  – количество циклов петлепереноса.

Таким образом, такая аналитическая запись дает всю информацию для дальнейшего проектирования, построения графиков прокладывания нитей и технологических расчетов.

На рис. 2 представлена заправочная технологическая информация в виде графиков последовательности прокладывания нитей в каждом технологическом цикле при выработке разрабатываемого трикотажа, построенная на основе данной аналитической записи. По графику прокладывания нитей проектируется программа управления электронной вязальной машиной путем перевода операций петлеобразования и петлепереносов в коды стандартных CAD/CAM подсистем, принятых у производителей вязальных машин данной фирмы, например: Steiger(Model 32) –

Приведенная матрица структуры может быть описана условной буквенно-цифровой аналитической записью:

Швейцария, Stoll (M1, Sintrae-Sirix) – Германия, Shima-Seiki (Simatronik) – Япония, Protti – Италия и других.

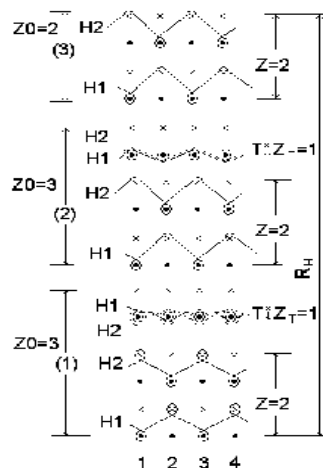


Рис. 2

Макроструктура разработанного трикотажа приведена на рис. 3. Петельный ряд (1) представляет собой ряд сдвоенных лицевых и изнаночных остонов петель, образованных из различных нитей, стремящихся закрутиться в противоположные стороны и образующих рельефный узорный эффект поверхности трикотажа.

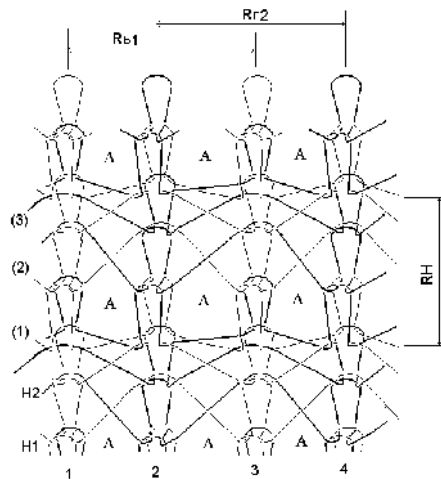


Рис. 3

Петельный ряд (2), представляет собой ряд одинарного прессового переплетения трикотажа, каждый остов петли имеет наброски из разных нитей, скрещивающихся между соседними петельными столбиками, выполненные путем петлепереноса так, что петельные ряды одинарного трикотажа не закручиваются по вертикали. Между соседними петельными рядами (1) и (2) образуются ажурные отверстия, обозначенные на рис. 3 буквой А. Третий петельный ряд трикотажа образован так же, как и второй ряд, но наброски данного ряда не переносятся на иглы противоположной игольницы. Трикотаж спроектированного комбинированного переплетения выработан на вязальной машине фирмы Steiger Vesta 130 E, и, как показали экспериментальные исследования, основные его свойства соответствуют запланированным при проектировании.

## ВЫВОДЫ

1. Предложена матричная подсистема кодирования структуры трикотажа для кулирных переплетений с учетом операций процесса петлепереноса элементов петельной структуры.

2. Использована матричная подсистема кодирования структуры трикотажа как основа для проектирования программы его воспроизводства с использованием современных CAD/CAM подсистем вязальных машин различных фирм-производителей.

3. Экспериментальные исследования образцов трикотажа, спроектированного по предлагаемой матричной подсистеме и выработанных на вязальной машине, подтвердили ее практическую пригодность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявин Л.А. Автоматизированное проектирование основных параметров трикотажа. – М.: 2002.

2. Кудрявин Л.А., Шустов Е.Ю., Шустов Ю.С. Разработка методов визуализации структуры трикотажа при его автоматизированном проектировании. – М., 2005.

3. Кудрявин Л.А., Березкин А.Г. Метод автоматизированного проектирования и машинной визуализации структуры трикотажа кулирных комбинированных переплетений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №3.

4. Колесникова Е.Н., Кудрявин Л.А., Галактионова А.Ю., Муракаева Т.В. Разработка программ для плосковязальных машин фирмы "Steiger". – М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2008.

Рекомендована кафедрой технологии трикотажного производства. Поступила 10.09.14.

УДК 687.002.001.572:658.6

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ  
СООТВЕТСТВИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**MODELLING AND ALGORITHMIZATION  
OF THE CONFORMITY ASSESSMENT PROCEDURE  
OF GARMENTS SAFETY AND QUALITY**

*И.А. ШЕРОМОВА, Г.П. СТАРКОВА, А.С. ЖЕЛЕЗНЯКОВ*  
*I.A. SHEROMOVA, G.P. STARKOV, A.S. ZHELYAZNYAKOV*

(Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,  
Новосибирский технологический институт (филиал)  
Московского государственного университета дизайна и технологии)  
(Vladivostok State University Economics and Service,  
Novosibirsk State Technological Institute (branch)  
Moscow State University of Design and Technology)  
E-mail: irina.sheromova@vvsu.ru, galina.starkova@vvsu.ru, gas@ntimgudt.ru

*В статье приведены результаты аналитических исследований и построения алгоритмов процедур контроля, которые позволяют разработать концепцию компьютерной технологии подтверждения соответствия швейных изделий требованиям безопасности и качества, в соответствии с принципами технического регулирования.*

*This article contains the results of analytical treatments and constructing algorithms of control procedures that allow to develop concept of computer technology of garments safety and quality requirements conformity assessment in accordance to the principles of technical regulation.*

**Ключевые слова:** техническое регулирование, технический регламент таможенного союза, безопасность, качество, швейные изделия, подтверждение соответствия.

**Keywords:** technical regulation, technical regulations of the Customs Union, safety, quality, garments, conformity assessment.

В рамках исследования системы технического регулирования (СТР) [1], как базовой основы обеспечения безопасности и качества промышленной продукции в це-

лом и продукции легкой промышленности в частности, в работе проанализирована и построена ее формальная структура (рис. 1

– блок-схема системы технического регулирования (СТР).

Используя теорию соотношений и символы бинарной логики структуру и взаи-

мосвязь формируемых документов СТР, отраженную на рис. 1, можно представить в предикатной форме вида:

$$\text{СТР} \supset \left\{ \forall [Y_1 = \varphi_1(X_i) \vee Y_2 = \varphi_2(X_j) \vee Y_3 = \varphi_3(X_k)] \right\} \quad i = \overline{1, n_1}; \quad j = \overline{1, n_2}; \quad k = \overline{1, n_3}, \quad (1)$$

где  $\forall$  – квантор общности;  $Y_1, Y_2$  – сертификаты соответствия и декларации соответствия, оформляемые в рамках обязательного подтверждения соответствия требованиям технических регламентов таможенного союза;  $Y_3$  – сертификаты соответствия, оформляемые при процедуре добровольного подтверждения соответствия и подтверждающие соответствие изделий

требованиям стандартов, договоров и т.п.;  $X_i, X_j, X_k$  – перечень входных документов, устанавливающих требования безопасности и качества, в том числе ТР ТС, технические регламенты РФ, стандарты различных категорий и иные документы, необходимые для проведения процедур подтверждения соответствия изделий в рамках требований СТР (рис. 1).

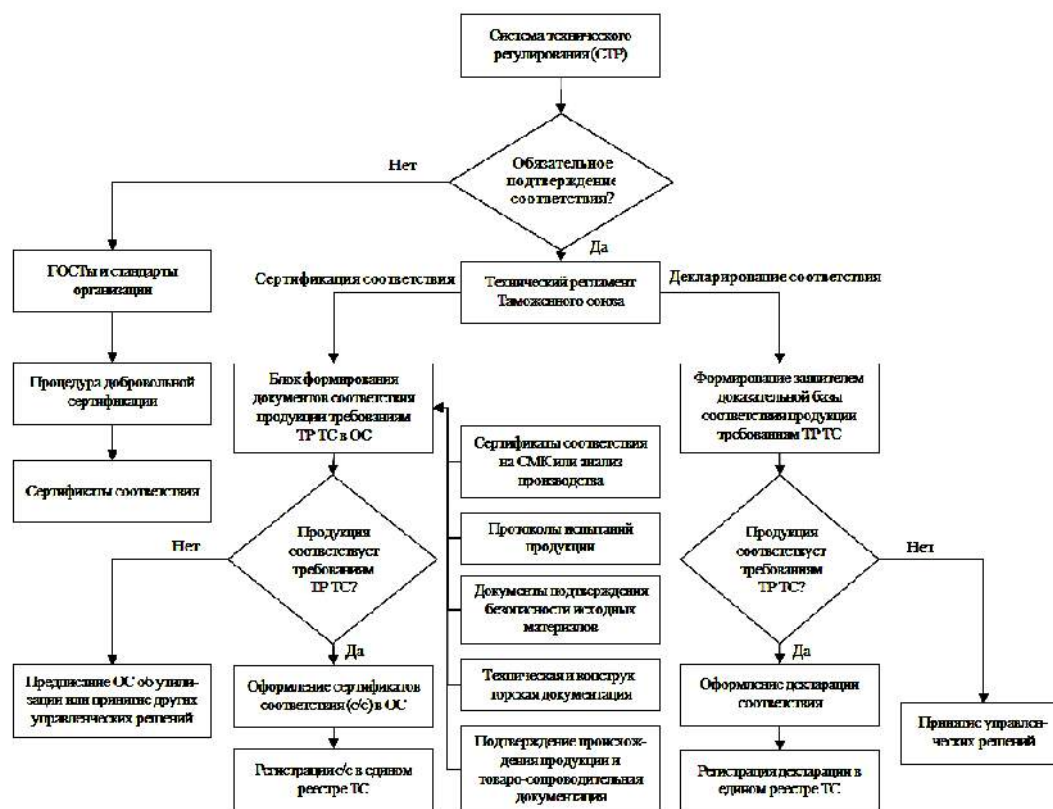


Рис. 1

В комплексе вопросов моделирования СТР, как основы для обеспечения безопасности и качества продукции российских предприятий, в том числе швейных и швейно-трикотажных изделий [3], важное место занимает вопрос формализации процедуры подтверждения соответствия на основе результатов испытаний, проводи-

мых в рамках формирования доказательной базы соответствия продукции требованиям нормативных документов (НД). При этом следует учесть, что в общем случае сущность данной процедуры принципиально не меняется в зависимости от обязательности и формы подтверждения соответствия. Данная процедура сводится к

определению экспериментальным путем фактических значений показателей безопасности и/или качества и установлению путем сравнения их соответствия требованиям НД, а также документальному оформлению соответствия или несоответствия.

Для формализации процедуры подтверждения соответствия нормативным требованиям введем символьные обозначения комплексной характеристики готовых изделий (Y), как множества некоторых видов оценок  $(U_i^j)$ , соответствующих требованиям ТР ТС и стандартов на продукцию, действующих в отношении швейных и швейно-трикотажных изделий [1], [2], [4]:

$$Y \supseteq \{U_i^j\}, i = \overline{1,3}, j = \overline{1, n_k}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество характеристик  $j$ -го вида соответствия требованиям безопасности и качества изделий;

$U_1 \supseteq (u_1^j), U_2 \supseteq (u_2^j), U_3 \supseteq (u_3^j)$  – подмножество показателей биологической, химической безопасности и качества изделий соответственно.

Следует отметить, что согласно действующим нормативным требованиям перечисленное множество оценок безопасности и качества готовых швейных изделий, контролируемых субъектом подтверждения соответствия (органом по сертификации (ОС) или декларантом соответствия), при обязательном подтверждении соответствия практически ограничивается перечнем требований ТР ТС, то есть подмножество показателей потребительского качества в данной системе оценок отсутствует. Однако при добровольной сертификации, а также при итоговом контроле качества готовой продукции на предприятии, как части процедуры получения доказательств соответствия, вышеназванное множество оценок может быть расширено за счет внесения в перечень контролируемых характеристик показателей потребительского качества, нормативные значения которых

устанавливаются стандартами, договорами и иными документами.

Каждый конкретный  $j$ -й подвид показателя безопасности и потребительского качества готового изделия, а также требуемый перечень логических действий эксперта ОС (при подтверждении соответствия) или контролера на предприятии (при итоговом контроле качества готовой продукции) для последующей формализации процесса удобно представить в виде некоторого подмножества символов и их отношений:

$$\begin{aligned} U_1 &\supseteq (u_1^1; u_1^2; \dots; u_1^{n_1}), \\ U_2 &\supseteq (u_2^1; u_2^2; \dots; u_2^{n_2}), \\ U_3 &\supseteq (u_3^1; u_3^2; \dots; u_3^{n_3}) \end{aligned} \quad (3)$$

Если следовать условиям, что все элементы рассматриваемого множества характеристик могут определяться только как "да-нет" и использовать логическую функцию "эквивалентности" [5] "да  $\Leftrightarrow 1$ ", а "нет  $\Leftrightarrow 0$ ", то процедура принятия решения по соответствию органолептических и инструментальных показателей нормативным требованиям качества может быть записана в виде логической функции:

$$Y = \left( \bigwedge_{i=1}^3 U_i = 1 \vee 0 \right), \quad (4)$$

где  $\wedge, \vee$  – соответственно знаки бинарных функций логического умножения "И" и сложения "ИЛИ".

Исследуя формулу записи (4) соответствующих функций отображения результатов контроля и экспертизы качества изделий, можно видеть, что принимаемые при этом решения могут быть внесены в базу данных как в соответствии с нормативными требованиями к каждому отдельному ее подвиду, так и ко всем видам показателей безопасности и качества посредством выполнения логических операций.

Для всех показателей каждого подвида или вида оценок качества при соответствии нормативным требованиям "да" автоматически по умолчанию вносится как

код "1", а при несоответствии – "нет" как код "0". Таким образом, в формируемых программными средствами результатах оценки соответствия по показателям безопасности и/или качества фиксируются типы несоответствий и их количество для каждого подвида и вида безопасности и качества.

На основе полученной информации и при условии равенства "1" логического произведения (4) изделие считается соответствующим декларируемым требованиям, что является основанием (одним из оснований) для оформления документов, подтверждающих соответствие. При наличии несоответствий некоторых характеристик или подсистем видов безопасности и/или качества требованиям органолептических и измерительных показателей изделия могут быть приняты другие управленческие решения. Таким решением на уровне органа по сертификации является оформление письменного отказа в выдаче

документов, подтверждающих соответствие продукции требованиям нормативных документов (что может быть сделано автоматически), с последующей передачей информации об этом через информационную сеть в соответствующие органы государственного контроля (надзора).

На предприятии информация, сформированная по результатам оценки соответствия продукции требованиям безопасности и качества, установленным НД, передается по локально-информационной сети лицам, принимающим решения по управлению системой качества на предприятии. На основании данной информации оформляется декларация соответствия, передаваемая на утверждение и регистрацию в ОС, принимается решение о возможности передачи готовой продукции потребителям в соответствии с заключенными договорами либо разрабатывается план корректирующих мероприятий по управлению качеством выпускаемой продукции.

Т а б л и ц а 1

Данные, участвующие в оценке соответствия	Устойчивость окраски к действию, баллы:			Содержание свободного формальдегида, мг/г	Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Гигроскопичность, %
	стирки	пота	трения			
Фактическое значение показателя	4	4	4	0	385	14,2
Нормативное значение показателя	не менее 3	не менее 3	не менее 3	не более 75	не менее 100	не менее 4
Соответствие	да	да	да	да	да	да
Присваиваемый код	1	1	1	1	1	1
Результат логического умножения	1					

В табл. 1 (результаты оценки соответствия по показателям биологической и химической безопасности блузки детской из вискозного трикотажного полотна) в качестве примера приведены результаты выполнения этапов процедуры подтверждения соответствия требованиям ТР ТС [2] по предложенному алгоритму партии швейно-трикотажных изделий на примере блузки детской для девочек подросткового возраста из трикотажного вискозного набивного полотна. Рассматриваемое множество показателей безопасности и качества включает в себя показатели биоло-

гической и химической безопасности из перечня, установленного в отношении одежды для детей и подростков в [2]. Приведенное фактическое значение показателей является условным. Также условно считаем, что показатели химической безопасности, не указанные в табл. 1, находятся в норме. Нормативные значения показателей установлены на основании требований ТР ТС [2]. Из таблицы видно, что все фактические значения исследуемых показателей соответствуют их нормативным значениям, в связи с чем каждому результату сравнения присвоен код "1". Ре-

зультат логического умножения

$Y = \left( \bigwedge_{i=1}^2 U_i = 1 \vee 0 \right)$  равен "1", следовательно,

но, изделие можно считать соответствующим декларируемым требованиям.

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования информационного содержания нормативных документов, регламентирующих безопасность и качество швейно-трикотажных изделий, показали, что в общем случае представляется возможным использовать теорию множеств и отношений для моделирования процедуры контроля безопасности и качества изделий, и в полном соответствии с нормативной документацией формализовать процедуру подтверждения соответствия изделий требованиям системы технического регулирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон № 184-ФЗ "О техническом регулировании" (с изменениями и дополнениями от 21.07.2011) - М., 2011.

2. ТР ТС 007/2011. О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков (с изменениями на 27 ноября 2012 года). – Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 23 сентября 2011 года N 797.

3. Дремлюга О.А., Шеромова И.А., Железняков А.С. Новые методы и технические средства для обеспечения качества швейно-трикотажных изделий. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2012.

4. ГОСТ 4103–82. Изделия швейные. Методы контроля качества. – М.: Изд-во стандартов, 1983.

5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – СПб.: Лань, 2010.

Рекомендована кафедрой сервисных технологий Института сервиса, моды и дизайна ВГУЭС. Поступила 30.09.14.

УДК 7.012:001.891; 687.016:001.891

## АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАСТНИКОВ МОДНОГО ПРОЦЕССА В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ МОДЫ

## ANALYSIS OF ACTIVITY OF PARTICIPANTS OF FASHION PROCESS IN THE CONDITIONS OF FASHION INDUSTRY

Н.В. ЧУПРИНА  
N.V. CHOUPRINA

(Киевский национальный университет технологий и дизайна)  
(Kiev National University of Technologies and Design)

E-mail: chouprina@ukr.net

*Рассмотрены аспекты взаимодействия участников индустрии моды в процессе внедрения модных инноваций и удовлетворения потребительского спроса в модных стандартах и продуктах моды.*

*The aspects of co-operation of participants of fashion industry are considered in the process of introduction of fashion innovations and satisfaction of consumer demand in fashion standards and products of fashion.*

**Ключевые слова:** участники модного процесса, субъекты индустрии моды, модные стандарты, модные объекты, модная инновация.

**Keywords:** participants of fashion process, subjects of fashion industry, fashion standards, fashion objects, fashion innovation.

Какую бы функцию в деятельности индустрии моды ни выполняли те или иные ее субъекты [1, с.68...71], все они формируют систему взаимозависимых контактов с другими структурными компонентами моды. Общеизвестно, что все поведенческие ситуации осуществляются в контексте удовлетворения потребностей индивида и формирования социально значимых ценностей. Следовательно, анализируя деятельность субъектов индустрии моды с точки зрения поведения участников модного процесса, следует обратить внимание на тот факт, что посредством своей проектно-производственной, а также социально-коммуникативной активности они осуществляют влияние на развитие предметно-окружающей среды, эволюцию социокультурных норм и ценностей. Исходя из этого деятельность субъектов индустрии моды направлена на ценности моды и модные стандарты, а также на другие объекты индустрии моды, что является главным связующим фактором функционирования ее как системы.

Именно специфика деятельности каждого субъекта индустрии моды как участника модного процесса является основой для их деления на "...три большие внутренние дифференцированные категории:

- "производители", создающие модные стандарты и объекты;
- "потребители", усваивающие и использующие их в своем поведении;
- "распространители", передающие модные стандарты и объекты от производителей к потребителям" [2, с.117].

Характеризуя роль данных категорий участников модного поведения как субъектов индустрии моды, следует отметить, что их деятельность, с одной стороны, влияет, а с другой стороны, зависит от деятельности других категорий. Так, деятельность "производителей" (в число которых входят субъекты, связанные с проектированием, разработкой и тиражированием модных стандартов и образцов) состоит в создании модных объектов, которые будут привлекать внимание и удовлетворять потребности "потребителей" (включая представителей всех категорий fashion-рынка),

не взирая на результаты оценки созданных объектов различными категориями "распространителей" (включая комментарии масс-медиа и некоторых прогрессивных категорий "потребителей").

Естественно, основную функцию в процессе проектирования новых модных объектов выполняют дизайнеры и модельеры [3, с.53...94]. С одной стороны, их деятельность в значительной степени подчиняется уровню восприятия и одобрения массовым потребителем, но, с другой стороны, их креативность в известной степени способствует социокультурному (а частично и научно-техническому) прогрессу общества в целом.

Добившись признания у потребителей (к числу которых можно отнести и "распространителей" модных стандартов и объектов), дизайнеры или модельеры сами приобщаются к категории "распространителей", так как приобретают публичность, а с ней и функцию осуществления PR-коммуникаций. Кроме того, они существенно влияют на формирование имиджа публичных личностей в других областях деятельности (спорт, кино-, театральная и музыкальная индустрия, искусство и политика...). По стереотипному мнению массового потребителя, именно они имеют достаточно возможностей, вкуса, культурной подготовки и времени, чтобы активно и продуктивно участвовать в модном процессе. А это, в свою очередь, становится достаточным аргументом для того, чтобы сформировать в глазах общественного мнения влиятельную категорию "распространителей" модных объектов и стандартов [5, с.87...93].

Однако описанная категория участников модного процесса является "распространителями" модных стандартов и объектов только для "потребителей". Сами же они используют информацию о модных инновациях и тенденциях от тех участников этой "внутренней дифференцированной категории", которые формируют и детализируют прогнозы и механизмы распространения новых потенциально модных тенденций и стандартов, приходящих на смену существующим [4, с.112...125].



При этом результаты их прогнозирования могут быть настолько радикальными, что не согласуются с морально-этическими или социально-культурными нормами общества, которых придерживается массовый потребитель. С другой стороны, произведенные и распространенные модные стандарты и объекты достигают потребителей и воспринимаются ими во всех значениях. В конечном итоге потребители, благодаря своему активному участию в модном процессе, сами становятся распространителями модных стандартов и образцов в обществе.

Кроме того, если рассматривать значение непосредственных "распространителей" модных стандартов в обществе, то их функция очевидна. Особенное значение имеют те участники модного процесса, которые в структуре индустрии моды со-

ставляют вспомогательный и торговый сегменты. Именно эти субъекты индустрии моды непосредственно формируют у потребителей восприятие модности объекта моды, а затем удовлетворяют их потребность обладания этим объектом.

При этом не стоит забывать, что каждый отдельный индивид, который исполняет ту или иную роль в модном процессе, является "потребителем", использующим модные стандарты и продукты в своем поведении.

На основе изложенного выше можно сделать вывод, что все участники модного процесса, к какой бы категории ни причислялись, помимо этого выполняют функции, присущие другим категориям участников, что представлено на рис. 1 (анализ поведения участников модного процесса в условиях индустрии моды).

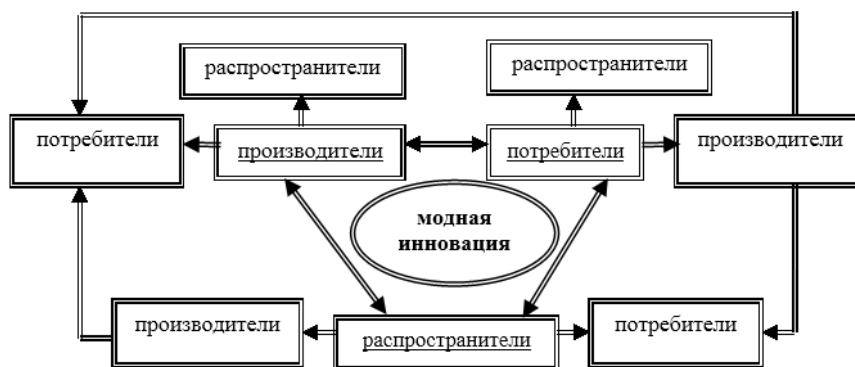


Рис. 1

Итак, влияние потребителей модного продукта в условиях функционирования индустрии моды является значительным, если не основополагающим. Их восприятие любого модного продукта зависит от многих факторов, например, от образа жизни, общественного мнения, состояния рынка. И каждый производитель модного продукта, безусловно, должен это учитывать в своей деятельности, если хочет добиться общественного признания и коммерческого успеха. При этом выбор средств взаимного общения с потенциальным потребителем зависит от целевой аудитории, уровня дизайнерского бренда и целей, которые стоят перед проектантами и производителями нового модного объек-

та. На современном этапе функционирования индустрии моды подобные мероприятия трансформировались в профессиональную деятельность шоу-румов. Кроме того, их опыт активно перенимают дизайнерские бренды, которые работают не в массовом секторе рынка.

Таким образом, именно тесное взаимодействие между "производителями" и "потребителями", при помощи "распространителей", позволяет индустрии моды осуществлять свою основную цель – как можно более полное удовлетворение потребительского спроса в модных стандартах и продуктах моды. При этом результатом взаимодополняющей деятельности всех участников модного процесса следует счи-

тать модную инновацию, суть которой состоит в постоянном обновлении модных стандартов и объектов под влиянием определенных факторов.

Одним из таких факторов следует считать степень быстроты и емкости восприятия потребителем тех или иных модных инноваций. Психологическая подоплека разной реакции потребителей на модную инновацию состоит в том, что любое изменение воспринимается в сознании человека как более или менее радикальное [6]. Поэтому быстрота и емкость восприятия потребителем модной инновации используется многими субъектами индустрии моды для осуществления сегментации потребительского рынка по признаку отношения к моде. Такие различия в восприятии модных инноваций потребителями не только формируют плавное, но непрерывное обновление модных стандартов в обществе, но и регламентируют взаимозависимость между категориями участников модного процесса ("производители", "потребители", "распространители").

## ВЫВОДЫ

В современной индустрии моды достижение успеха зависит от оптимального сочетания оригинальности дизайна модного продукта, грамотных технологий его продвижения на потребительском рынке, использования современных технологий тиражирования товара и подробного знания требований и предпочтений потреби-

теля. Поэтому представители таких категорий участников модного процесса, как "производители" и "распространители", стремятся изучить суть психологии потребления, степень потребительского удовлетворения каждым новым продуктом моды, а также нужд и потребностей массового потребителя в модной одежде как объекте и продукте индустрии моды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чуприна Н.В. Аналіз модних продуктів як об'єктів індустрії моди // Вісник ХДАДМ. – Харків, 2012. Вип. 13. С.68...71.
2. Гофман А.Б. Мода и люди. Новая теория моды и модного поведения. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2004. С. 117.
3. Чуприна Н.В. Методологія сучасних наукових досліджень з дизайну: Навч. посібник. – Київ: КНУТД, – 2011. С. 53...94.
4. Чуприна Н.В. Прогнозування формоутворення як етап художнього проектування костюма: монографія / Н.В. Чуприна. – Київ: КНУТД, 2010. С. 112...125.
5. Колосніченко М.В. Мода і одяг. Основи проектування та виготовлення одягу. – К.: КНУТД, 2010. С. 21...27.
6. Колосніченко О.В. Розвиток дизайнерських методів розробки нових форм одягу на основі символіки трипільської культури (The development approaches to the new forms of clothes creation with signs and symbols of tripill culture by designing methods) // Vlakna a Textil. – Bratislava, 2013. – Iss. 2. – P.41...45

Рекомендована кафедрою художественного моделювання костюма. Поступила 01.07.14.

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ  
КОНСТРУКТИВНО-ДЕКОРАТИВНОГО РЕШЕНИЯ  
АВТОРСКИХ МОДЕЛЕЙ ГОЛОВНЫХ УБОРОВ**

**RESEARCH AND DEVELOPMENT  
OF CONSTRUCTIVE AND DECORATIVE SOLUTIONS  
COPYRIGHT MODELS HEADWEAR**

*Н.А. КРЮКОВА, Н.А. ЛИСИНА*  
*N.A. KRYUKOVA, N.A. LISINA*

(Поволжский государственный университет сервиса)  
(Volga Region State University of Service)  
E-mail: natalakrukova@yandex.ru, kaf\_tiko@tolgas.ru

*В статье представлены результаты разработки конструктивно-декоративного решения мягких головных уборов типа шлем, ориентированного на создание изделий индивидуализированного спроса. В основе разработки конструктивного решения лежит использование программы трехмерного моделирования Rhinoceros 3D, в основе разработки декоративного решения – использование отделки перфорацией, выполненной в технике гильоширования.*

*The article presents the results of constructive and decorative solutions soft headwear helmet type, oriented on the creation of individualized products demand. The elaboration of constructive solutions is the use of three-dimensional modeling program Rhinoceros 3D, the basis of the development of decorative solutions – use of finishes perforations in the technique of guilloche.*

**Ключевые слова:** головной убор, шлем, трехмерное моделирование, Rhinoceros 3D, перфорация, гильоширование.

**Keywords:** headwear, helmet, D modeling, Rhinoceros 3D, perforation, guilloche.

Появление новых объемно-пространственных решений форм головных уборов, усложнение их конструкций ставят перед проектировщиками головных уборов задачи по постоянному улучшению их эргономических и эстетических свойств, а также сложные технические задачи по воплощению разработанных дизайнерских проектов.

Целью исследования явилась разработка конструктивно-декоративного решения женского головного убора типа шлем как элемента авторской коллекции.

Мягкие головные уборы типа шлем являются модным трендом на протяжении уже нескольких сезонов. Модели их чрез-

вычайно разнообразны и напоминают в ряде случаев древнерусские и европейские средневековые воинские шлемы или буденовки, в других случаях – шлемы пилотов, балаклавы и др. Во всех случаях наиболее важным требованием является полное соответствие модели головного убора художественному замыслу автора и предполагаемой пространственной ориентации относительно головы человека.

Современное развитие компьютерных технологий позволяет перенести процесс макетирования в виртуальную трехмерную среду и облегчить его с помощью специальных средств для создания трехмерного образа модели на экране монитора и полу-

чения плоских лекал. Известные САПР одежды, позволяющие создавать конструкции в трех измерениях (СТАПРИМ, "Грация", "Леко", "АССОЛЬ", Lectra, Gerber и др.), в большей степени ориентированы на проектирование плечевой и поясной одежды. При разработке виртуальных манекенов учет параметров головы как исходного объекта для моделирования головных уборов не предусматривается. Такой подход обусловил поиск других решений. Анализ современных информационных технологий позволил выявить возможности проектирования головных уборов с использованием программы трехмерного моделирования Rhinoceros 3D. Данная программа используется преимущественно в промышленном дизайне, архитектуре, ювелирном и автомобильном дизайне, в мультимедиа и графическом дизайне и др. [1].

Нами разработан алгоритм построения конструкции головных уборов на виртуальном манекене в программе трехмерного моделирования Rhinoceros 3D. На рис. 1 представлены этапы работы алгоритма в программе Rhinoceros 3D и их последовательность; на рис. 2 показан пример построения конструкции авторской модели головного убора типа шлем по разработанному алгоритму в программе Rhinoceros 3D.

Нами разработан алгоритм построения конструкции головных уборов на виртуальном манекене в программе трехмерного моделирования Rhinoceros 3D. На рис. 1 представлены этапы работы алгоритма в программе Rhinoceros 3D и их последовательность; на рис. 2 показан пример построения конструкции авторской модели головного убора типа шлем по разработанному алгоритму в программе Rhinoceros 3D.

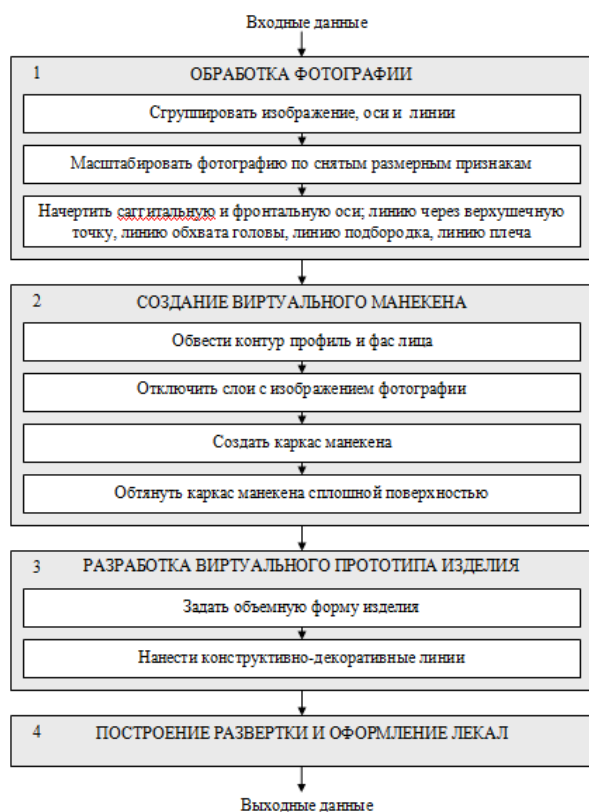


Рис. 1

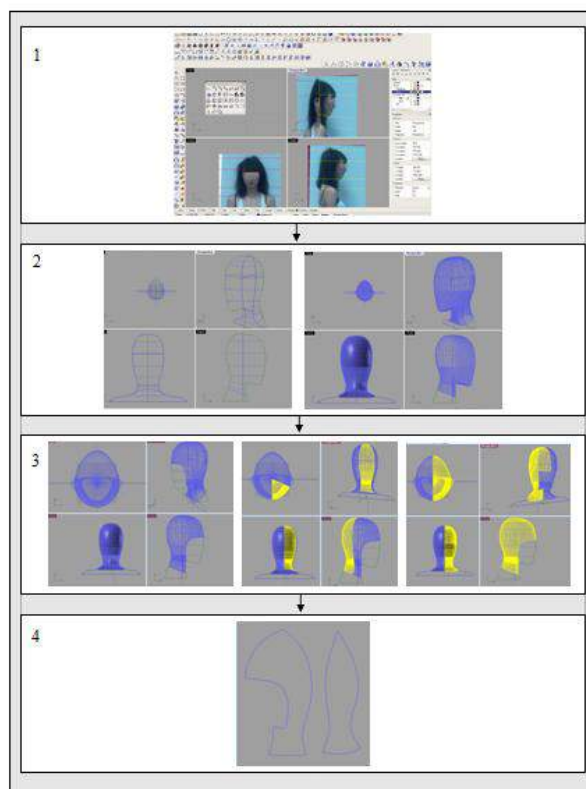


Рис. 2

Установление рациональной формы и размеров деталей проектируемых моделей головных уборов с помощью программного обеспечения Rhinoceros 3D обеспечило высокое качество посадки готовых образцов (рис. 3 – готовые образцы авторских

моделей головных уборов типа шлем) и соответствие первоначальному художественному замыслу по степени прилегания к голове и шее, по форме и расположению выреза и др.



Рис. 3

Нами разработаны два варианта конструктивно-декоративного решения: 1) – шлем с вырезом, расположенным на лицевой части головы, с декором в виде перфорации с отверстиями округлой формы (рис. 3-а); 2) – шлем с вырезом, расположенным на затылочной части головы, с декором в виде перфорации с отверстиями фигурной формы (рис. 3-б).

Анализ декоративного оформления швейных изделий, проведенный ранее [2], позволил сделать заключение о том, что декор активно реагирует на изменение моды вследствие своей мобильности, а иногда даже превосходит эти изменения, являясь как бы индикатором моды. Это в полной мере относится к такому виду отделки, как перфорация, являющейся в настоящее время одной из ключевых модных тенденций в декорировании швейных изделий.

Поскольку имеющиеся в специальной литературе сведения о данном виде отделки носят в основном описательный характер, то нами были выполнены теоретические и экспериментальные исследования отделки швейных изделий перфорацией. Проведенный анализ традиционных и инновационных способов выполнения перфорации как фигурного прорезного рисунка позволил составить классификацию видов перфорации, используемых при отделке швейных изделий, выделив следующие

ее группы:

- перфорация, полученная вырезанием ножницами на неосыпаемых тканях и на трикотаже;
- перфорация, полученная прорубанием текстиля с помощью профессиональных дыроколов или на прессах; используется, как правило, в кожгалантереи и позволяет создавать декорированную кожу, украшенную различными рисунками и орнаментами;
- перфорация, полученная в результате гильоширования – выжигания по ткани;
- перфорация, полученная за счет лазерной обработки текстиля.

Для выполнения перфорации на авторских моделях головных уборов был выбран способ гильоширования [3]. Выжигание по ткани основано на свойстве тканей, состоящих из химических волокон, плавиться и склеиваться под действием высокой температуры. На качество образования рисунка на ткани оказывают влияние такие факторы, как химическая природа свариваемого материала, температурные пределы его размягчения и плавления, давление в зоне обработки материала, температура и время прогрева материала, толщина материала и др. Особенностью декоративного оформления изделий в технике гильоширования является игра с имитацией. В ре-

зультате ранее гладкие ткани, из которых были изготовлены авторские модели головных уборов, украшает перфорированный рисунок различной формы.

Таким образом, проектирование и изготовление мягких головных уборов, которые выкраиваются по лекалам, разработанным в программе Rhinoceros 3D, с использованием отделки перфорацией, выполненной в технике гильоширования, дают практически неограниченные возможности для дизайна, конструкции и декора.

Практическая значимость полученных результатов работы подтверждена созданием коллекции одежды, в состав которой вошли разработанные авторские модели головных уборов, которая демонстрировалась на международных и региональных конкурсах.

## ВЫВОДЫ

1. Предложено конструктивно-декоративное решение авторских моделей головных уборов, обладающих рядом свойств, существенно влияющих на эстетические и эргономические показатели качества. Среди них можно выделить следующие: полное соответствие конструктивного решения художественному замыслу автора и предполагаемой ориентации относительно головы человека за счет по-

строения конструкции в программе трехмерного моделирования Rhinoceros 3D; оригинальность моделей вследствие декорирования перфорацией, выполненной в технике гильоширования.

2. Разработан алгоритм построения мягких головных уборов типа шлем на виртуальном манекене в программе Rhinoceros 3D.

3. Выполнен анализ способов отделки швейных изделий перфорацией и составлена их классификация.

4. Изготовлены образцы авторских моделей головных уборов в соответствии с предложенным конструктивно-декоративным решением.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основы трехмерного моделирования в программе Rhinoceros [Электронный ресурс]: URL: <http://diductio.ru/course/869> (дата обращения: 18.06.2013)

2. Крюкова Н.А., Конопальцева Н.М. Технологические процессы в сервисе. Отделка одежды из различных материалов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007.

3. Котенкова З.П. Выжигание по ткани. Изделия в технике гильоширования. – М.: Академия Развития, 2002.

Рекомендована кафедрой управления качеством и технологии в сервисе. Поступила 01.07.14.

УДК 677.024

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕМИЗКИ  
В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЗЕВА**

**INTERACTING ELEMENTS HEALDS  
DURING THE FORMATIONS OF YAWNS**

*А.Н. ГАВРИЛОВ, Е.Н. ХОЗИНА, В.А. МАКАРОВ*  
A.N. GAVRILOV, E.N. HOZINA, V.A. MAKAROV

(Московский государственный университет дизайна и технологии)  
(Moscow State University of Design and Technology)  
E-mail: gawriloff.alexej@mail.ru

*Исследованы взаимодействия галев и основных нитей в процессе зевобразования. Выявлено, что перемещения галев и основных нитей носят нелинейный характер и не могут быть описаны непрерывной функцией, по которой движутся ремизные рамы. Рассчитана высота технологического зева, которая всегда меньше перемещения ремизной рамы на величину суммарного зазора ремизная рама – нить основы.*

*Investigated the interaction of heddles and warp threads and shedding process. Revealed that the move heddles and warp threads is non-linear and can not be described by a continuous function for which move heald frame. Calculating the height of technological pharynx, which is always less movement heald frame on the value of the total gap heald frame – warp.*

**Ключевые слова:** галево, ремизка, высота зева.

**Keywords:** heddle, healds, yawns.

Технологическим рабочим органом зевобразовательного механизма (ЗОМа) ткацкой машины (ТМ) является ремизка, которая состоит из ремизной рамы (РР), оснащенной планками-галевоносителями, галевами, свободно расположенными на этих планках и взаимодействующими с нитями основы. Каждая из нитей основы проходит сквозь глазок каждого галева [1], [2].

Последовательность взаимодействия всех элементов ремизки в процессе обра-

зования зева основы на ТМ показана на рис. 1 (фазы взаимодействия галевоносителей ремизки с галевом и основной нитью). В процессе взаимодействия ремизной рамы, ее планок-галевоносителей, с надетыми на них галевами и "пробранной" в глазки галев основой, можно, при их совместном движении, выделить восемь характерных фаз их взаимодействия.

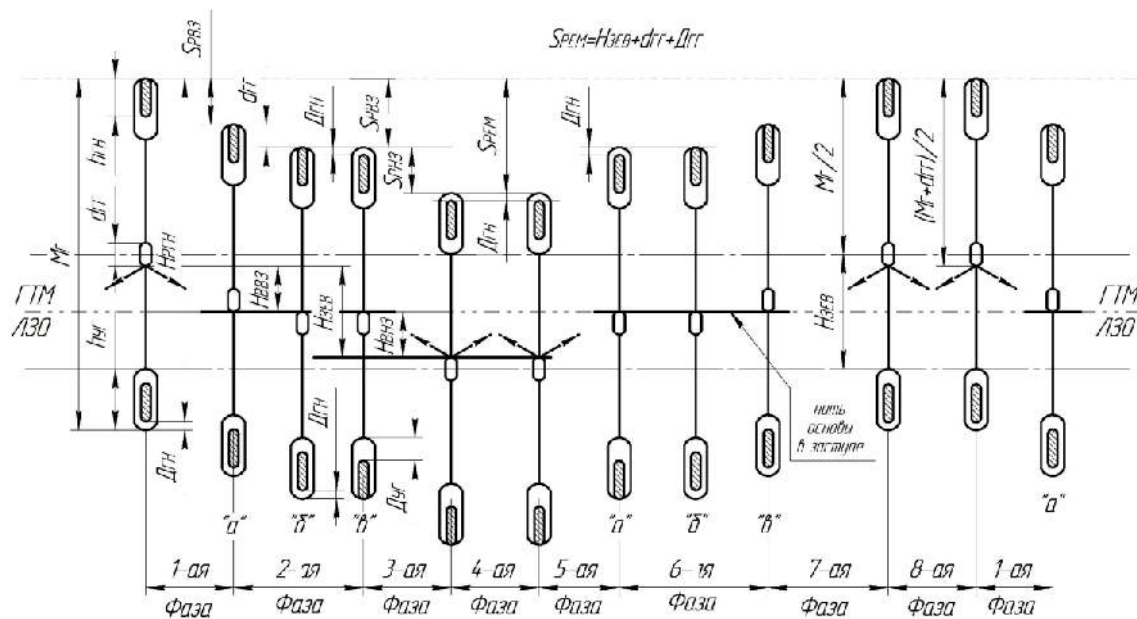


Рис. 1

За начало процесса примем верхнее положение ремизки при открытом зеве (1-я фаза движения ремизки).

В начале 1-й фазы движения (рис. 1) галево верхним ушком висит на планке галевоносителя, основная нить верхней ветви открытого зева с натяжением  $T_{ВВЗ}$  взаимодействует с нижней поверхностью глазка галева. Верхняя часть галева натянута основной нитью, а нижняя часть галева висит свободно. Нижнее ушко галева как снизу, так и сверху имеет зазор с поверхностью планки галевоносителя. Величина нижнего зазора  $D_{ГН}$  равна:

$$D_{ГН} = M_{Г} - H_{РГН} \text{ (мм);} \quad (1)$$

где  $M_{Г}$  – мах галева;  $H_{РГН}$  – величина рассадки планок галевоносителей.

Из крайнего верхнего положения ремизка идет вниз, опускается. Первая фаза взаимодействия продолжается до тех пор, пока основная нить имеет натяжение  $T_{ВВЗ}$ , которое обеспечивает силовое замыкание основной нити, галев и галевоносителей и обуславливает их указанное расположение. В 1-й фазе движения перемещение ремизки  $S_{РВЗ} = H_{ВВЗ}$ , где  $H_{ВВЗ}$  – высота верхней ветви зева. Фаза движения заканчивается, когда нить основы расположится параллельно линии заступа основы (ЛЗО).

При этом нить основы будет иметь минимальную длину и заправочное натяжение  $T_{ЗАПР}$ .

Во 2-й фазе ремизка, в соответствии с заданным законом движения, будет продолжать опускаться, проходя положение заступа основы (рис.1). Галево, продолжая висеть на верхней планке галевоносителя, перестает взаимодействовать с нитью основы, пока и поскольку верхняя дуга глазка галева не коснется основной нити [3], [4]. Нить, имеющая заправочное натяжение  $T_{ЗАПР}$ , принимает положение цепной линии, расположенной от точки взаимодействия ткани с поверхностью опушкодержателя (ОД) до огибания поверхности технологического элемента (пруток лямельного прибора и/или нижняя поверхность рейки основонаблюдателя) заправочной линии основы (ЛЗО), который ограничивает вылет заднего зева основы.

Опускаясь совместно с ремизной рамой, галево, силой своей инерции и силой веса, ударяет по основной нити, увеличивая прогиб нити и ее натяжение. На этапе "б" 2-й фазы взаимодействия ремизная рама выходит из непосредственного кинематического и силового контакта с галевом и основной нитью, которые остаются в этом положении некоторое время, то есть до момента касания нижней кромки нижнего



галевоносителя с нижней поверхностью нижнего ушка галева, то есть до этапа "в" 2-й фазы.

Во 2-й фазе основная нить фактически выстаивает или колеблется около этого положения сначала свободно, затем совместно с галевом, а перемещение ремизной рамы равно суммарному зазору нить основы - ремизная рама (СЗРО) и определяется как:

$$\text{СЗРО} = D_{\text{ГН}} + d_{\text{ГГ}} \text{ (мм)}, \quad (2)$$

где  $d_{\text{ГГ}}$  – длина глазка галева "в свету".

В конце фазы 2 этап "в" ремизная рама ударно воздействует на нижнее ушко галева, захватывает его и, перемещая его вниз, натягивает нить основы, увеличивая ее натяжение от  $T_{\text{ЗАПР}}$  до максимального натяжения нижней ветви зева  $T_{\text{НВЗ}}^{\text{max}}$  при полностью открытом зеве. В большинстве случаев натяжение нижней ветви зева больше, чем верхней [5], [6].

В 3-й фазе взаимодействия перемещение ремизки  $S_{\text{РНЗ}}$  равно высоте (глубине) нижней ветви зева  $H_{\text{НВЗ}}$ . Общее перемещение ремизки равно:

$$S_{\text{РЕМ}} = H_{\text{ЗЕВ}} + \text{СЗРО}. \quad (3)$$

В 4-й фазе нить основы некоторое время будет оставаться в положении открытого зева, то есть на нижнюю планку галевоносителя будут действовать галева, натянутые основными нитями с натяжением:

$$T_{\text{ВВЗ}} (T_{\text{НВЗ}}) = T_{\text{ЗАПР}} + \Delta T_{\text{ЗЕВ}}, \quad (4)$$

где  $\Delta T_{\text{ЗЕВ}}$  – дополнительное натяжение при зевобразовании [7], [8].

$\Delta T_{\text{ЗЕВ}}$  – является функцией линейной жесткости основной нити, длины основной нити в заправке, длины основной нити с учетом величины зева, разности длины нити в зеве и в заправке, высоты верхней и нижней ветвей зева, длины переднего и вылета заднего зева, порядкового номера ремизки.

В 5-й фазе ремизка движется вверх, натяжение основы уменьшается и при перемещении нити и глазка галева к ЛЗО галево повисает на нити, а контакт внутренней поверхности нижнего ушка галева с

нижней поверхностью нижнего галевоносителя оканчивается, наступает 6-я фаза их взаимодействия.

На этапе "а" – "б" 6-й фазы движения ремизки галево повисает на нити и висит или колеблется вместе с нитью. Ремизная рама, двигаясь дальше вверх на расстояние  $D_{\text{ГН}}$ , верхней поверхностью верхнего галевоносителя ударяет в верхнее ушко галева и увлекает его вверх на расстояние  $d_{\text{ГГ}}$ , снимая его с основной нити (этап "б" – "в" 6-й фазы). Основная нить остается свободной от воздействия галева и ремизной рамы, выстаивает и/или свободно колеблется в зоне "заступа" относительно ЛЗО. Колебания основной нити, как в, так и после области ее заступа (фазы 2 и 6 "а, б, в"), могут быть зафиксированы высокочастотной тензометрической аппаратурой, рис. 4 (осциллограмма натяжения основы в процессе зевобразования  $T_{\text{ВВЗ}} < T_{\text{НВЗ}}$  (импульсные нагрузки на основную нить при прохождении ею области заступа могут превышать или быть равны натяжению в нижней ветви зева  $T_{\text{НВЗ}}$ ) [9], [10].

В фазе 7 галево перемещается вместе с ремизной рамой вверх, нижней поверхностью глазка ударяет снизу вверх по основной нити (расположенной на ЛЗО) и доводит ее до положения открытого зева. Удар галева происходит в слабо натянутую нить, имеющую натяжение  $T_{\text{ЗАПР}}$ . Поднимаясь вверх, галево увеличивает ее натяжение в открытом зеве от  $T_{\text{ЗАПР}}$  до  $T_{\text{ВВЗ}}^{\text{max}}$ .

Ремизная рама, закончив подъем, выстаиваетверху и взаимодействие элементов ремизки вступает в фазу 8. По окончании выстояверху ремизная рама снова опускается, то есть движение и взаимодействие ее элементов возвращается в 1-ю фазу, рассмотренную выше.

На графиках рис. 2-а (соотношение движений ремизной рамы  $S_{\text{РЕМ}}$  и основной нити  $S_{\text{ОН}}$ ) и 2-б (зависимость высоты зева  $H_{\text{ЗЕВ}}$  от величины перемещения ремизки  $S_{\text{РЕМ}}$ , оснащенной витыми галевами с махом  $M_{\text{Г}} = 280\text{мм}$ ) видно, что в области заступа движение основной нити прерывается на фазовом угле  $D_{\text{ФН}}$ , и поэтому высота образуемого зева  $H_{\text{ЗЕВ}}$  меньше перемещения ремизки  $S_{\text{РЕМ}}$  на величину СЗРО.

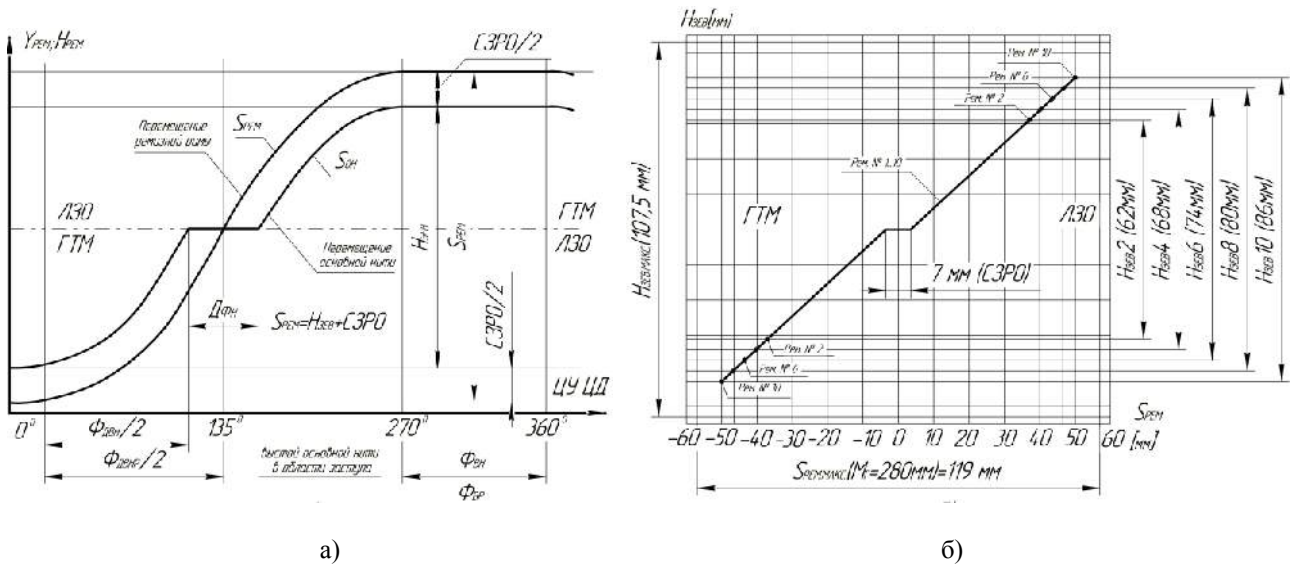


Рис. 2

На ТМ используются ремизные рамы и галева разных типов и различного "маха". На рис. 3-а и 3-б показано взаимодействие двух соседних ремиз и их галев при открывании максимального зева. Рис. 3-а: взаимодействие галева с основной нитью

при открытом зеве; рис. 3-б: расчет максимальной высоты зева  $H_{ЗЕВ}$  и максимально возможного хода ремизной рамы  $S_{РЕМ}$  с витыми и пластинчатыми галевами махом  $M_{Г} = 280; 281$  мм.

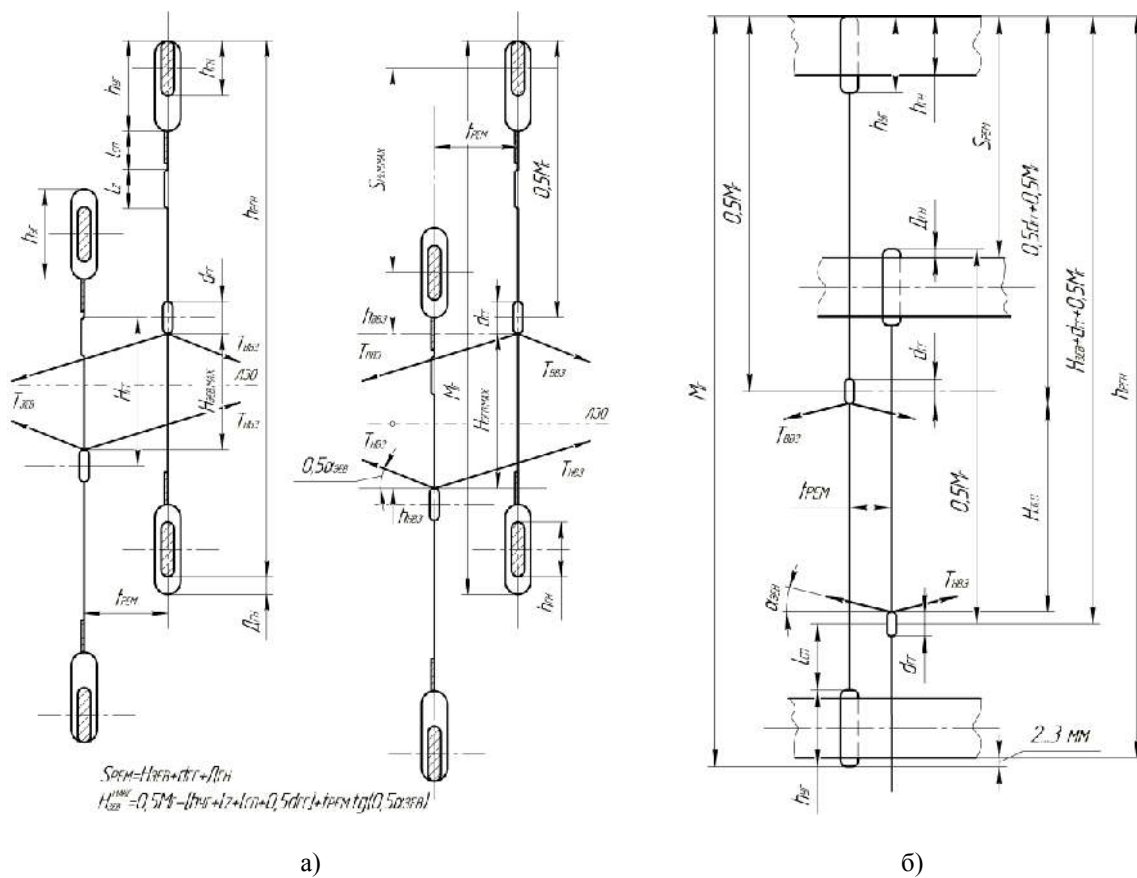


Рис. 3

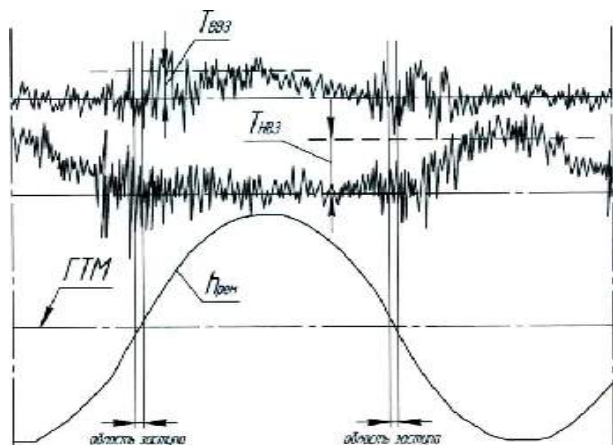


Рис. 4

Максимальная высота зева зависит от маха галева, но ограничивается ушком галева, элементами стебля галева, лежащими ниже ушка галева, и размером глазка галева в "свету". Максимальная величина возможной высоты зева может быть опреде-

лена исходя из параметров галева по формуле:

$$H_{ЗЕВ}^{max} = M_{Г}/2 - [h_{УГ} + \ell_{Z} + \ell_{СП} + d_{ГГ}/2] + t_{РЕМ} \operatorname{tg} (\alpha_{ЗЕВ}/2), \quad (5)$$

$$S_{РЕМ}^{max} = H_{ЗЕВ}^{max} + СЗРО, \quad (6)$$

где  $H_{ЗЕВ}^{max}$  – максимальная высота зева по нитям основы;  $\ell_{Z}$ ,  $\ell_{СП}$  – часть галева;  $M_{Г}$  – мах галева, мм;  $h_{УГ}$  – длина ушка галева в свету, мм;  $t_{РЕМ}$  – шаг ремизных рамок, мм;  $\alpha_{ЗЕВ}$  – угол зева, град;  $S_{РЕМ}^{max}$  – максимальное перемещение ремизной рамы, мм.

В табл. 1 приводятся значения максимальных ходов ремиз, высот и углов зева для ТМ типа СТБ (У) с кулачковым и кареточным приводом ЗОМ для галев с махом 280 и 330 – витые, 281 и 331 мм – пластинчатые.

Таблица 1

№	Параметр	Обозначение	Витые галева		Пластинчатые галева	
			280	330	281	331
1	№ ремизки от берда	i	10	18	10	18
2	Мах галева, мм	$M_{Г}$	280	330	281	331
3	Рассадка галевоносителей, мм	$H_{РГН}$	277	327	278	328
4	Зазор галево – галевоносители, $M_{Г} - H_{РГН}$ , мм	$D_{ГН}$	3	3	3	3
5	Запретный участок галева, мм	$Lz + \ell_{СП}$	18	19	8	10
6	Ширина галевоносителя, мм	$h_{ГН}$	10	10	22	22
7	Ушко галева в свету, мм	$h_{УГ}$	16	16	26	26
8	Зазор ушко галева – галево-носитель, $h_{УГ} - h_{ГН}$ , мм	$D_{УГ}$	6	6	4	4
9	Глазок галева в свету, мм	$d_{ГГ}$	4	5	6	7
10	Суммарный зазор ремизка – основа, мм	СЗРО	7	8	9	10
11	Максимальная возможная высота зева, мм	$h_{ЗЕВ}^{max}$	107,5	131	107	130
12	Максимальный возможный угол зева, град	$\alpha_{ЗЕВ}^{max}$	34°	34°	34°	34°
13	Максимальный ход ремизки, мм	$S_{РЕМ}^{max}$	114,5	139	116	140

На практике на ТМ типа СТБ(У) устанавливаются и применяются так называемые "веерные" зевы, у которых как верхняя, так и нижняя ветвь зева имеет различные углы зева для каждой ремизки, причем у первых (от берда) ремизок этот угол выше (28...30° град.), а у последних ниже

(20...18° град.), то есть нити основы при открытом зеве образуют некоторый "веер", а не лежат в одной плоскости, как у "чистого" зева. В табл. 2 приводятся значения высот типичного "веерного" зева, наиболее часто встречающегося на практике.

Таблица 2

№ ремиз	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H_{ЗЕВ}$ , мм	62	62	66	68	72	74	78	80	84	86
$S_{РЕМ}$ , мм	71	71	75	77	81	83	87	89	93	95
$\alpha_{ЗЕВ}$ , град	25,7	23,7	23,3	22,4	22,2	21,4	21,2	20,6	20,5	20,0

Перемещение ремизки происходит по закону движения, заложенному в профиль кулачков привода ЗОМа [11], [12] или ремизоподъемной каретки. Однако основная нить в области "заступа" не взаимодействует с ремизной рамой на некотором фа-

зовом угле (ФУ) цикловой диаграммы (ЦД). В табл. 3 приведены значения величины фазового угла  $\Delta\Phi_n$  выстоя основной нити в заступе в зависимости от вида закона движения ремизки и ее номера.

Т а б л и ц а 3

Режим работы	№ ремизок	2	4	6	8	10
1. Традиционный закон	ФУ выстоя, град	16,8	14,4	13,2	12,2	11,4
2. Кареточный закон	ФУ выстоя, град	17,5	16,0	14,7	13,6	12,6
3. Полуплавный закон	ФУ выстоя, град	19,2	17,5	16,0	14,9	13,8

## ВЫВОДЫ

1. В процессе зевобразования движение галев и основных нитей носит нелинейный характер и не может быть описано непрерывными функциями, соответствующими движению ремизной рамы. В области заступа перемещение основной нити ремизкой прерывается на цикловом угле  $\Delta\Phi_n$ .

2. Высота технологического зева  $H_{ЗЕВ}$  всегда меньше перемещения ремизной рамы  $S_{РЕМ}$  на величину суммарного зазора ремизная рама – нить основы  $S_{ЗРО} = d_{ГТ} + d_{ГН}$ .

3. Для всего работающего блока ремиз ТМ суммарный зазор ремизная рама – нить основы одинаков, он не зависит от настройки механизма ремизного движения, номера ремизки и ее функции (кромочная, фоновая, закреповая), а зависит от вида и типоразмера галев и конструкции ремизной рамы.

4. Основная нить при образовании зева подвержена циклически повторяющимся, знакопеременным, поперечным, импульсным воздействиям от галева и ремизной рамы, которые передаются ей галевом при заступе основы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мальшев А.П., Воробьев П.А. Механика и конструктивные расчеты ткацких станков. – М.: Машгиз, 1962.  
2. Малафеев Р.М., Светик Ф.Ф. Машины текстильного производства. – М.: МГФ "Знание" и "Машиностроение", 2002.

3. Ефремов Е.Д., Ефремов Д.Е., Паикова Т.Ф., Шутов С.А. Взаимодействие основной нити с галевом ремизки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1987, № 5. С. 49...51.

4. Секованова Л.А. Метод оценки контактных напряжений при взаимодействии основной нити с глазком галева // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, №3. С. 51...55.

5. Ефремов Е.Д., Паикова Г.Ф. О разнотянутости верхней и нижней ветвей зева // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1987, №3. С. 43...46.

6. Чугин В.В., Ялинич С.М. Неравномерность натяжения нитей ремизками в фазе открытого зева в цикле зевобразования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1987, № 4. С.49...51.

7. Гордеев В.А. Динамика механизмов отпуска и натяжения основы ткацких станков. – М.: Легкая индустрия, 1965.

8. Дрохлянский И.М. Деформации при зевобразовании на станках СТБ // Текстильная промышленность. – 1971, № 7. С. 41...43.

9. Степанов С.Г., Степанов О.С. Колебания нитей основы в фазе заступа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, №3. С.50...54.

10. Королёв А.Н., Терентьев В.И. Исследование натяжения основы на высокоскоростном ткацком станке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №3. С.100...101.

11. Макаров В.А., Лебзак А.В., Хозина Е.Н. Методика анализа законов движения применяемых в приводе зевобразующих механизмов ткацкого станка // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, №5. С. 76...80.

12. Макаров В.А., Лебзак А.В., Хозина Е.Н. О выборе закона движения, применяемого в приводе зевобразующего механизма ткацкого станка // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, №6. С. 83... 88.

Рекомендована кафедрой технологических машин и оборудования. Поступила 08.09.14.

**СИНТЕЗ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ  
С РАЗВЯЗКОЙ ПОСТУПАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ**

**SYNTHESIS AND THE KINEMATIC ANALYSIS  
OF MECHANISMS OF PARALLEL STRUCTURE  
WITH THE OUTCOME OF PROGRESS**

*Н.Ю. НОСОВА, В.А. ГЛАЗУНОВ, С.Ю. МИСЮРИН, Д.Н. ФИЛИППОВ  
N.YU. NOSOVA, V.A. GLAZUNOV, C.YU. MISYURIN, D.N. FILIPPOV*

(Московский государственный университет дизайна и технологий,  
Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ",  
Московский государственный технологический университет им. Н.Э. Баумана)  
(Moscow State University of Design and Technology,  
National Research Nuclear University "MEPHI",  
Bauman Moscow State Technical University)  
E-mail: office@msta.ac.ru

*В работе представлен механизм с шестью степенями свободы с развязкой поступательных и вращательных движений, что является значительным преимуществом перед аналогичными механизмами, не имеющими развязки. Для данного механизма аналитически решена прямая и обратная задача кинематики, что стало возможным благодаря выбранной конструкции механизма.*

*This paper presents a mechanism with six degrees of freedom decoupled translational and rotational movements, which is a significant advantage over similar mechanisms that do not have a solution. For this mechanism analytically solved direct and inverse kinematics problem, which was made possible thanks to the chosen design of the mechanism.*

**Ключевые слова:** манипулятор параллельной структуры, прямая и обратная задачи кинематики, рабочее пространство, абсолютные и обобщенные координаты.

**Keywords:** manipulator of parallel structure, direct and inverse kinematics, workspace, absolute and generalized coordinates.

В текстильной и легкой промышленности с повышением уровня автоматизации повышаются и требования к механизмам, используемым как в основных технологических, так и вспомогательных транспортных операциях. Встречаются два основных типа механизмов – механизмы с открытой кинематикой и механизмы с параллельной структурой [1...4]. Оба типа механизмов имеют свои преимущества и недостатки. Механизмы с открытой кинематикой более просты в управлении, имеют развязку по приводам и достаточно просты в управле-

нии, однако они менее грузоподъемные. Механизмы параллельной структуры имеют преимущества по таким характеристикам, как жесткость конструкции, грузоподъемность, точность позиционирования.

Пространственные механизмы параллельной структуры используются для выполнения различных технологических и технических операций, в зависимости от поставленной задачи и установленной программы управления. Следует также отметить, что во многих случаях манипуляционному механизму не требуется шесть

степеней свободы. Часто требуется либо только поступательные, либо только вращательные движения.

Одной из самых известных схем манипулятора параллельной структуры, выходное звено которого совершает только поступательно-направляющее движение, является манипулятор "DELTA", предложенный Р. Клавелем (рис. 1) [5]. Несмотря

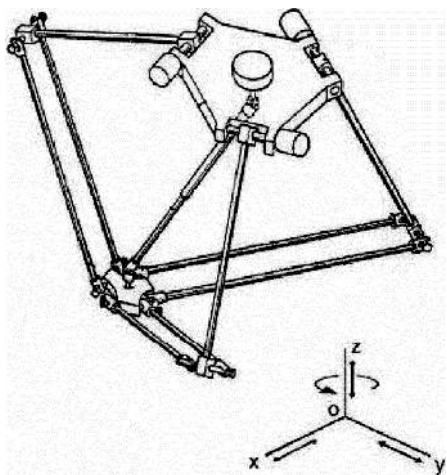


Рис. 1

Поступательно-направляющее движение имеет также манипуляционный механизм типа "ORTHOGLIDE" [6], [7]. Он содержит три кинематических цепи и три поступательных двигателя (рис. 2). В каждой цепи имеет место шарнирный параллелограмм, что обеспечивает постоянство ориентации выходного звена. Данная схема во многом сходна со схемой манипулятора "DELTA", однако вращательные двигатели заменены на поступательные.

Наряду с преимуществами механизмы параллельной структуры имеют и недостатки – ограниченное рабочее пространство, наличие особых положений в окрестности рабочего пространства, трудности поведения параметрического синтеза механизма. Развитие аналитических и численных методов анализа и синтеза пространственных механизмов параллельной структуры в последнее время позволило значительно расширить области их применения. Так, в работах [8...10] исследовалась возможность расширения рабочего пространства за счет согласованного синтеза параметров механизма и закона

на то, что все двигатели этого манипуляционного механизма вращательные, выходное звено не меняет свою ориентацию. За счет того, что промежуточные звенья механизмов имеют малую массу, механизм является малоинерционным и имеет весьма высокое быстродействие.

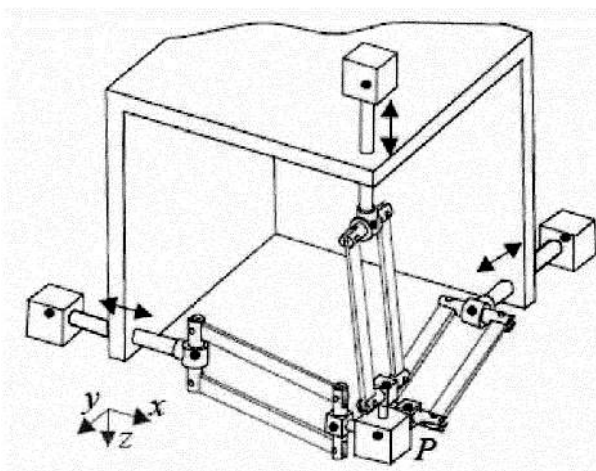


Рис. 2

управления. В работах [11], [12] проведены расчеты (решена прямая и обратная задача кинематики, определены особые положения, определено рабочее пространство) механизмов с тремя и четырьмя степенями свободы.

Одной из важнейших задач анализа, синтеза и управления для манипуляторов параллельной структуры является кинематическая задача о положениях, которая заключается в определении взаимосвязи между обобщенными и абсолютными координатами. Абсолютными координатами называются координаты в декартовой системе координат, определяющие положение выходного звена. Обобщенными (независимыми) координатами называются координаты, описывающие изменение положения входных звеньев.

Рассмотрим обратную задачу кинематики (о положениях) механизма параллельной структуры с поступательно-направляющими двигателями, расположенными по осям декартовой системы координат, в той их части, которая определяет поступательные движения (рис. 3 – манипулятор с шестью степенями свободы).

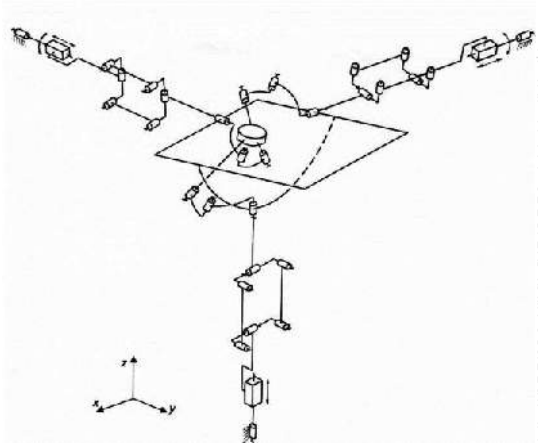


Рис. 3

Поступательные движения обусловлены тем, что в каждой цепи имеется шарнирный параллелограмм, две вращательные кинематические пары и линейный двигатель. Эту структуру заменим на механизм "пирамида" (рис. 4-а), который может быть использован для схем типа ORTHOGLIDE (рис. 4-б).

Замещающий механизм получается из исходного таким образом, что все кинематические цепи мысленно сдвигаются к центру выходного звена. Обобщенными координатами будут отрезки, характеризующие положения точек  $B_1, B_2, B_3$ . Абсолютными координатами выходного звена (иными словами, выходными координатами) будут координаты точки  $A$ . Чтобы показать, что два механизма эквивалентны друг другу, проведем их структурный анализ. Для этого посчитаем число степеней свободы  $W$  данных манипуляционных механизмов по формуле А.П. Малышева для пространственных механизмов:

$$W = 6(n-1) - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3, \quad (1)$$

где  $n$  – число звеньев;  $p_5$  – число пар пятого класса (одноподвижных пар);  $p_4$  – число пар четвертого класса (двухподвижных пар);  $p_3$  – число пар третьего класса (трехподвижных пар).

Используем формулу (1) для определения числа степеней свободы заменяющего механизма "пирамида" (рис. 4-а). В общей сложности получаем 7 звеньев, 3 однопо-

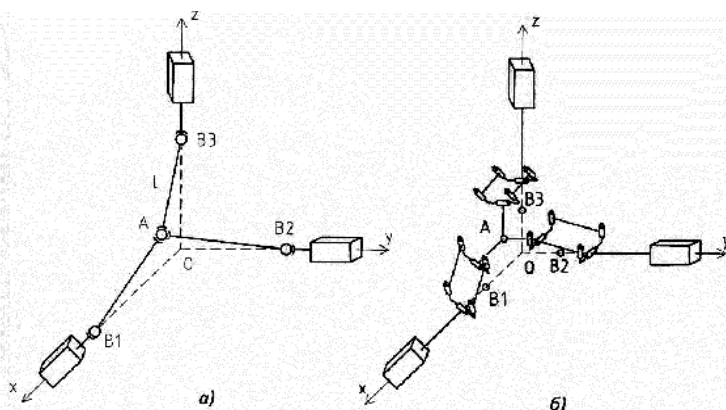


Рис. 4

движных кинематических пары и 6 трехподвижных кинематических пар в механизме. Подставив значения в (1), имеем:

$$W = 6(7 - 1) - 5 \cdot 3 - 3 \cdot 6 = 3.$$

Получили механизм с тремя степенями свободы.

Рассмотрим схему типа ORTHOGLIDE (рис. 4-б). Используем формулу (1) для определения числа степеней свободы данного механизма. В общей сложности получаем 17 звеньев и 21 одноподвижную кинематическую пару в механизме. Подставив значения в (1), получаем:

$$W = 6(17-1) - 5 \cdot 21 = -9.$$

Данный результат не является верным, так как не учитываются шарнирные параллелограммы. Число степеней свободы шарнирного параллелограмма равно единице по формуле П.Л. Чебышева для плоских механизмов, следовательно, мы можем его рассматривать как одноподвижную поступательную кинематическую пару. Двенадцать вращательных кинематических пар трех параллелограммов заменяем тремя поступательными кинематическими парами. Подсчитав число степеней свободы при этом условии, имеем:

$$W = 6(11-1) - 5 \cdot 12 = 0.$$

Данный результат также является неверным.

Заменим шарнирные параллелограммы карданным шарниром. Подставив значения в (1), получаем:

$$W = 6(14-1) - 5 \cdot 15 = 3.$$

Таким образом, число степеней свободы равно трем. Следовательно, замена кинематической схемы на аналог позволила определить подвижность механизма.

Обратная задача кинематики состоит в определении значения входных переменных ( $x_{B1}$ ,  $y_{B2}$ ,  $z_{B3}$ ) по известным значениям выходных ( $x_A$ ,  $y_A$ ,  $z_A$ ).

В системе координат хуз расположена точка А, положение которой не совпадает с началом координат точкой О. Необходимо определить координаты  $x_{B1}$ ,  $y_{B2}$ ,  $z_{B3}$ , то есть, на какое расстояние  $L_x^*$ ,  $L_y^*$ ,  $L_z^*$  переместятся входные звенья механизма.

Точка А имеет координаты ( $x_A$ ;  $y_A$ ,  $z_A$ ). Чтобы узнать, на какое расстояние переместились входные звенья механизма относительно начала координат, запишем следующие уравнения:

$$\begin{aligned} (x_A - x_{B1})^2 + (y_A - y_{B1})^2 + (z_A - z_{B1})^2 &= L^2, \\ (x_A - x_{B2})^2 + (y_A - y_{B2})^2 + (z_A - z_{B2})^2 &= L^2, \\ (x_A - x_{B3})^2 + (y_A - y_{B3})^2 + (z_A - z_{B3})^2 &= L^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $L$  – длина промежуточного звена каждой цепи.

Координаты  $y_{B1}^2$ ,  $z_{B1}^2$ ,  $x_{B2}^2$ ,  $z_{B2}^2$ ,  $x_{B3}^2$  и  $y_{B3}^2$  обратятся в ноль, поскольку соответствующие входные звенья расположены вдоль координатных осей.

Решив систему независимых квадратных уравнений (2), получаем:

$$x_{B1} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A},$$

где  $B = -2x_A$ ,  $C = x_A^2 + y_A^2 + z_A^2 - L^2$ ,

$$y_{B2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A},$$

где  $B = -2y_A$ ,  $C = x_A^2 + y_A^2 + z_A^2 - L^2$ ,

$$z_{B3} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A},$$

где  $B = -2z_A$ ,  $C = x_A^2 + y_A^2 + z_A^2 - L^2$ .

Для прямой задачи кинематики значения положений входных звеньев механизма ( $x_{B1}$ ,  $y_{B2}$ ,  $z_{B3}$ ) считаются известными, а неизвестными являются выходные параметры ( $x_A$ ;  $y_A$ ,  $z_A$ ). Эта задача допускает несколько решений, соответствующих различным сборкам механизма.

Из полученных трех уравнений системы (2) необходимо найти три неизвестных, а именно  $x_A$ ;  $y_A$ ,  $z_A$ , причем эти уравнения зависимы между собой.

Решая систему уравнений (2), имеем:

$$x_A = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A},$$

где  $A = b^2 + d^2$ ,  $B = -2x_{B1} + 2ab + 2cd$ ,  $C = x_{B1}^2 + a^2 + c^2 - L^2$ ,

$$y_A = a + bx_A,$$

где  $a = \frac{y_{B2}^2 - y_{B1}^2}{2y_{B2}}$ ,  $b = \frac{2x_{B1}}{2y_{B2}} = \frac{x_{B1}}{y_{B2}}$ ,

$$z_A = c + dx_A,$$

где  $c = \frac{z_{B3}^2 - x_{B1}^2}{2z_{B3}}$ ,  $d = \frac{2x_{B1}}{2z_{B3}} = \frac{x_{B1}}{z_{B3}}$ .

Знак  $\pm$  у подкоренного выражения для переменной  $x_A$  говорит о том, что возможны различные сборки механизма.

## ВЫВОДЫ

1. Тенденция конструирования пространственных механизмов с несколькими степенями свободы в последнее время развивается по пути создания механизмов параллельной структуры с замкнутыми кинематическими цепями.

2. Замена кинематической схемы на аналог позволила определить подвижность механизма по формуле Малышева-Чебышева.



3. Упрощенная кинематическая схема механизма позволила решить прямую задачу кинематики для пространственного механизма с тремя степенями свободы в явном виде.

4. На основании полученных решений прямой задачи кинематики получены все возможные конфигурации (сборки) механизма при заданных значениях входных параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Merlet J.P. Parallel Robots. Solid mechanics and its applications.- Merlet-Kluwer. // Academic Publishers. – 2000. P. 394.

2. Kong X., Gosselin C. Type Synthesis of Parallel Mechanisms. // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2007. P. 272.

3. Gogu G. Structural Synthesis of Parallel Robots. Part 2: Translational Topologies with Two and Three Degrees of Freedom. // Springer Science + Business Media B.V. 2009.

4. Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. – М.: Наука. 1991. С. 94.

5. Clavel R. Delta, a fast robot with parallel geometry // In 18th Int. Symp. on Industrial Robot., Lausanne. – April, 26-28, 1988. P. 91...100.

6. Chablat D., Wenger Ph. United States Patent Application Publication. Pub. No.: US 2007/0062321 A1. Pub. Date: Mar. 22, 2007. Device for the movement and orientation of an object in space and use thereof in rapid machining. Sainte Luce Sur Loire (FR).

7. Chablat D., Wenger Ph., Staicu, S. Dynamics of the Orthoglide parallel robot. // UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering. – V. 71, (3), 2009. P. 3...16.

8. Kreinin G.V. and Misyurin S.Yu. On Some General Laws in Drive Dynamics. ISSN 1052-6188 // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – Vol. 37, №6, 2008. P.546...551.

9. Kreinin G.V. and Misyurin S.Yu. A Systematic Approach to Synthesis of a Drive System. ISSN 1052-6188 // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. –Vol. 40, №6, 2011. P.507...511.

10. Kreinin G.V. and Misyurin S.Yu. Influence of the Gear Ratio on the Dynamics of a Control-System Drive. ISSN 1052-6188 // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. –Vol. 41, № 6, 2012. P. 486...491.

11. Shirinkin, M.A., Glazunov, V.A., Palochkin, S.V. Development of the manipulation mechanism of the parallel structure with four degrees of freedom, Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2010, (1). P. 102...107.

12. Shirinkin, M.A., Glazunov, V.A., Palochkin, S.V., Hejlo, S.V. Solving the problem on speeds and special configurations of the manipulator of parallel structure, Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2011, (3). P. 95...101.

Рекомендована кафедрой прикладной механики. Поступила 04.09.14.

УДК 677.021.166

## К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА В МНОГОКАМЕРНЫХ СМЕШИВАЮЩИХ МАШИНАХ

### ON THE QUESTION OF OPTIMIZING THE PROCESS OF MIXING THE FIBROUS MATERIAL IN THE MULTI-CHAMBER MIXING MACHINES

V.V. ВОЛКОВ, А.Д. СЕМЕНОВ, С.В. ВОЛКОВ, Н.К. ПАКУЛОВА  
V.V. VOLKOV, A.D. SEMENOV, S.V. VOLKOV, N.K. PAKULOVA.

(Пензенский государственный технологический университет,  
Пензенский государственный университет)  
(Penza State University of Technology, Penza State University)  
E-mail: mycolo@rambler.ru

*Проведено исследование по оптимизации процесса смешивания волокнистого материала в многокамерных смешивающих машинах. Найдены условия оптимального смешивания в исследуемых машинах.*

*Research on optimization of the mixing process in a multi-chamber mixing machines has been performed. We find conditions of optimal mixing in the test machines.*

**Ключевые слова:** многокамерная смешивающая машина, кипный питатель, оптимальная расстановка кип, динамические характеристики машин.

**Keywords:** multi-chamber mixing machine, stack feeder, optimal placement of stacks, dynamic characteristics of the machine.

В многокамерных смешивающих машинах эффект смешивания достигается благодаря разности скоростей выпуска материала из камер или разности высот наполнения камер смешиваемым материалом при постоянной скорости выпуска [1]. Реальный процесс смешивания сопровождается изменением массы волокна  $M$  и производительности  $Q$  смешивающей машины, а следовательно, и изменением ее постоянной времени, то есть смешивающая машина является динамическим звеном с переменными параметрами. Будем считать, что выполняется условие равенства входной и выходной производительности, при этом постоянная времени смешивающей машины меняется значительно медленнее, чем ее производительность. При таких допущениях смешивающую машину можно рассматривать как квазистационарную систему.

Оценка смешивающей способности обоих типов машин может быть проведена на основе их динамических характеристик, в качестве которых можно рассматривать временные или частотные характеристики. Таким образом, смешивающая способность машины будет определяться, во-первых, динамическими характеристиками входных сигналов машины, под которыми будем подразумевать изменение производительности смешиваемых компонентов на входе машины, во-вторых, динамическими характеристиками самой машины [2].

В работе [3] получено уравнение динамики процесса смешивания:

$$\tau(x)\omega(\tau)\frac{d\tau}{dx} = h(x), \quad (1)$$

где  $\omega(\tau)$  – нормированная по постоянной времени  $T$  функция веса машины;  $\tau(x)$  и  $h(x)$  – время нахождения материала в машине и высота наполнения машины смешиваемым материалом в продольном сечении  $x$  соответственно.

Для получения наибольшей постоянной времени машины  $T$  в работе [3] доказано, что для улучшения процесса смешивания необходимо, чтобы в машине находилось как можно больше материала из условия:

$$\int_0^1 \tau(t)\omega(t)dt = \int_0^1 h(x)dx = \max. \quad (2)$$

В результате решения вариационной задачи была получена оптимальная функция веса машины:

$$\omega(t) = 1, \quad (3)$$

и ее передаточная функция:

$$W(p) = \frac{1 - e^{-pT}}{pT}. \quad (4)$$

Если синхронизировать работу смешивающей машины с работой кипного питателя в соответствии с алгоритмом [3], то теоретически можно добиться "идеального" смешивания. Алгоритм синхронизации кипного питателя и смешивающей машины с  $V = \text{const}$  заключается в последовательном наполнении камер смешивающей машины при движении питателя с постоянной скоростью вдоль ставки. По окончании прохода вдоль ставки питатель останавли-

вается и ожидает сигнала освобождения от волокна какой-либо камеры. После этого открывается клапан этой камеры, кипный питатель возобновляет движение и наполняет пустую камеру, далее процесс повторяется.

Однако для такого "идеального" смешивания (в общем случае) необходимо, чтобы число камер смешивающей машины равнялось числу кип смешиваемых компонентов.

Если использовать четное количество кип каждого из смешиваемых компонентов и оптимально располагать кипы на рабочем поле кипного питателя симметрично относительно центра ставки кип, число камер можно сократить вдвое, а объем машины – вчетверо. Алгоритм оптимальной расстановки кип приведен в работе [4].

В качестве критерия оптимальности, характеризующего неравномерность подачи, предложено использовать средневзвешенное значение дисперсий процентного состава (коэффициент вариации) по каждому компоненту на каждом шаге их подачи:

$$I = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m \frac{(x_{ij} - x_{0j})^2}{x_{0j}}, \quad (5)$$

где  $k$  – число последовательных циклов подачи;  $x_{ij}$  – текущее содержание компонентов смеси на  $j$ -м шаге подачи.

В исходной постановке имеем задачу целочисленного программирования, ре-

куррентное соотношение для определения оптимальных значений  $x_{ij}$  на каждом шаге последовательной процедуры задается уравнение Беллмана:

$$I_{j+1} = \min_{x_{ij} \in X} \{I_j, x_{ij}\}. \quad (6)$$

На первом шаге рассчитывают значение критерия (6) для различных вариантов сочетания подачи  $m$  компонентов и находят его минимум на сочетании  $C_m^{m_1}$ , где  $m_1 < m$ . На втором шаге находят минимум (6) с учетом значений  $x_{ij}$ , найденных на первом шаге на сочетаниях  $C_m^{m_2}$  и т.д.

Рассмотрим это на простейшем примере. Пусть имеется три смешиваемых компонента: А, Б и В. Количество смешиваемых компонентов соответственно равно А - 2, Б - 4, В - 6, то есть выполняется условие четности.

Пусть компоненты располагаются на рабочем поле кипного питателя произвольно, как показано в табл. 1.

Таблица 1

А	Б	Б	В	В	В
А	Б	Б	В	В	В

В табл. 2 показано расположение смешиваемых компонентов в бункерах смешивающей машины, при выполнении условий "идеального" смешивания (произвольное расположение компонентов в ставке) согласно табл. 1.

Таблица 2

1 Бункер		2 Бункер		3 Бункер		4 Бункер		5 Бункер		6 Бункер		7 Бункер		8 Бункер		9 Бункер		10 Бункер		11 Бункер		12 Бункер		
А	А																							
Б	Б																					А	А	
Б	Б																				А	А	Б	Б
В	В																	А	А	Б	Б	Б	Б	
В	В															А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	
В	В													А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	
В	В									А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	В	В	В	В	
В	В							А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	
Б	Б					А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	
Б	Б			А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	
А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	Б	Б	Б	Б
А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	Б	Б	А	А

Из табл. 2 следует, что каждый бункер заполняется при прямом и обратном проходе питателя.

Если теперь расположить компоненты на рабочем поле оптимально (табл. 3), то число камер сокращается вдвое, а объем машины – вчетверо (табл. 4 – расположение смешиваемых компонентов в камерах смешивающей машины (оптимальная расстановка кип)).

Таблица 3

В	Б	А	Б	В	В
В	В	Б	А	Б	В

Таблица 4

1		2		3		4		5		6	
Бункер		Бункер		Бункер		Бункер		Бункер		Бункер	
В	В										
В	Б									В	В
Б	А							В	В	В	Б
А	Б					В	В	В	Б	Б	А
Б	В			В	В	В	Б	Б	А	А	Б
В	В	В	В	В	Б	Б	А	А	Б	Б	В
В	В	В	Б	Б	А	А	Б	Б	В	В	В

Основной проблемой при такой организации процесса смешивания является точное дозирование волокнистой смеси за один проход кипного питателя. В работе [5] рассмотрена задача такого управления дозированием с использованием самонастраивающихся микропроцессорных регуляторов, реализующих идентификационный алгоритм адаптивного управления в параметрически адаптивной системе.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что для смешивающих машин с разной высотой наполнения камер при постоянной скорости выпуска можно путем синхронизации ее работы с

работой кипного питателя добиться "идеального" смешивания.

2. Показано, что использование четного количество кип каждого из смешиваемых компонентов при их оптимальном расположении на рабочем поле кипного питателя, симметрично относительно центра ставки, число камер смешивающей машины можно сократить вдвое, а объем машины – вчетверо.

3. Предложено для автоматического дозирования смешиваемых компонентов использовать самонастраивающиеся микропроцессорные регуляторы, реализующие идентификационный алгоритм адаптивного управления в параметрически адаптивной системе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. СССР, № 1670002. Машина для смешивания волокнистого материала. / В. Ю. Баталин, А. Д. Семенов, В. Н. Терентьев, В. П. Сашкин. Опубл. 1991. БИ № 30.
2. Гинзбург Л.Н., Хавкин В.П. и др. Динамика основных процессов прядения / В трех частях. – Ч.3. – М.: Легкая индустрия, 1970.
3. Волков В.В., Семенов А.Д. Математическая модель процесса смешивания //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, №5. С. 24...28.
4. Волков В.В., Семенов А.Д., Сатаева Р.Ф., Юдина Е.Ю. Стабилизация внутренней неровноты продуктов прядения на основе синхронизации режимов работы кипного питателя и смешивающей машины //Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2012 №1. С.34...37.
5. Волков В.В., Семенов А.Д., Сатаева Р.Ф., Короткова Н.Н. Стабилизация процессов дискретного дозирования массы хлопка в кипном питателе на основе идентификационного алгоритма адаптивного управления в параметрической адаптивной среде // Дизайн. Материалы. Технология. – 2011, №5(20). С. 39...42.

Рекомендована кафедрой технологии машиностроения. Поступила 20.03.15.

УДК 677.023:62-83

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ  
В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СНОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ**

**MATHEMATICAL MODEL OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS  
IN THE MOTOR DRIVE SYSTEM WARPERS**

*А.И. ТИХОНОВ, Л.Н. БУЛАТОВ, В.Ф. ГЛАЗУНОВ*  
*A.I. TICHONOV, L.N. BULATOV, V.F. GLAZUNOV*

(Ивановский государственный энергетический университет)  
(Ivanovo State Power University)  
E-mail: ait@dsn.ru

*В статье представлена разработка математической модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, ориентированная на решение задачи оптимизации энергетических характеристик электропривода сновальной машины.*

*The article describes the development of a mathematical model of asynchronous motor with squirrel-cage rotor, focused on solving the problem of optimizing the energy characteristics of the electric warping machine.*

**Ключевые слова:** сновальная машина, асинхронный двигатель, численное моделирование, конечно-элементный расчет.

**Keywords:** warping machine, induction motor, numerical modeling, finite element calculation.

Применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением [1] для механизма намотки сновальных валов позволяет улучшить его энергетические и эксплуатационные характеристики, а также повысить эффективность партионного снования [2]. При этом возможная минимизация потерь в используемом асинхронном двигателе (АД) с короткозамкнутым ротором достигается поддержанием соответствующего отношения проекций вектора тока

статора на оси ортогональной системы координат  $d$  и  $q$ . Установленное в [3] существенное влияние на критерии оптимизации параметров электродвигателя обуславливает необходимость совершенствования его математической модели, позволяющей учитывать нелинейности и вариацию параметров. Использование для этой цели известной полевой модели, построенной на методе конечных элементов, требует значительного времени.

Здесь рассмотрим комбинированную быстродействующую полевую динамическую модель АД, построенную на основе многомерной сплайновой аппроксимации результатов серии расчетов магнитного поля [4], [5].

При построении модели вводятся допущения:

1) обмотки статора и ротора симметричные, токи статора и ротора создают в зазоре синусоидальную намагничивающую силу;

2) картина магнитного поля определяется только величиной и направлением результирующей намагничивающей силы (НС) машины и не зависит от того, какими именно обмотками создается эта НС.

В основе метода лежит возможность расчета переходных процессов в АД на ос-

новании предварительно полученных зависимостей потокосцеплений каждого  $m$ -го контура с током (обмотки статора или стержня ротора) от составляющих результирующей НС машины  $F_x$  и  $F_y$  и угла поворота ротора  $\alpha$ , то есть

$$\Psi_m = f(F_x, F_y, \alpha). \quad (1)$$

Для построения этих зависимостей предварительно рассчитываются матрицы потокосцеплений, которые затем аппроксимируются трехмерными сплайнами. Для расчета матриц потокосцеплений используется библиотека конечно-элементного расчета магнитного поля [6].

Составляющие НС вычисляются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \sum_{m=1}^N \left( i_m \sum_{k=1}^{N_{sm}} [W_{km} \cos(p\varphi_{km})] \right) = \sum_{m=1}^N (i_m K_{xm}), \\ F_y &= \sum_{m=1}^N \left( i_m \sum_{k=1}^{N_{sm}} [W_{km} \sin(p\varphi_{km})] \right) = \sum_{m=1}^N (i_m K_{ym}), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $i_m$  – ток в  $m$ -м контуре;  $W_{km}$  – число витков в  $k$ -й секции  $m$ -го контура;  $\varphi_{km}$  – угол наклона нормали  $k$ -й секции  $m$ -го контура;  $N$  – число контуров с током;  $N_{sm}$  – число секций  $m$ -го контура;  $p$  – число пар полюсов машины;  $K_{xm}$ ,  $K_{ym}$  – коэффициенты, зависящие от конструкции и расположения обмоток статора и стержней ротора.

Зависимости (1) формируются в ходе серии расчетов магнитного поля при различных значениях величин  $F_x$ ,  $F_y$  и  $\alpha$ , варьируемых на всем диапазоне их возможного изменения. Полученные зависимости раскладываются в ряд Фурье с целью исключения «шумов» от гармоник высших порядков (при тестировании метода применялось устранение 12-й гармоники и выше). Очищенные от шумов зависимости (1) аппроксимируются трехмерными сплайнами.

В динамическом режиме АД описывается системой уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\Psi_m}{dt} &= u_m - i_m r_m \Big|_{m=1}^{m=N}, \\ \frac{d\alpha}{dt} &= \omega, \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J} (M - M_b), \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где  $u_m$  – мгновенные значения фазных напряжений на обмотках статора (для контуров ротора  $u_m = 0$ );  $r_m$  – сопротивление  $m$ -го контура;  $\omega$  – частота вращения ротора;  $J$  – момент инерции на валу ротора;  $M$  – электромагнитный момент АД;  $M_b$  – внешний момент на валу ротора.

С учетом разложения

$$\begin{aligned}
 \frac{d\Psi_m}{dt} &= \frac{\partial\Psi_m}{\partial F_x} \frac{dF_x}{dt} + \frac{\partial\Psi_m}{\partial F_y} \frac{dF_y}{dt} + \frac{\partial\Psi_m}{\partial \alpha} \frac{d\alpha}{dt} = \\
 &= \sum_{j=1}^N \left( \frac{\partial\Psi_m}{\partial F_x} \frac{dF_{xj}}{dt} + \frac{\partial\Psi_m}{\partial F_y} \frac{dF_{yj}}{dt} \right) + \frac{\partial\Psi_m}{\partial \alpha} \frac{d\alpha}{dt} = \\
 &= \sum_{j=1}^{3+Z_2} \left( \frac{\partial\Psi_m}{\partial F_x} K_{xj} + \frac{\partial\Psi_m}{\partial F_y} K_{yj} \right) \frac{di_j}{dt} + \frac{\partial\Psi_m}{\partial \alpha} \frac{d\alpha}{dt} = \\
 &= \sum_{j=1}^{3+Z_2} L_{mj} \frac{di_j}{dt} + \frac{\partial\Psi_m}{\partial \alpha} \frac{d\alpha}{dt},
 \end{aligned} \tag{4}$$

где  $Z_2$  – количество стержней ротора (при этом  $N = 3 + Z_2$ , так как первые три уравнения описывают контуры, образованные фазными обмотками статора);

$$L_{mj} = \frac{\partial\Psi_m}{\partial F_x} K_{xj} + \frac{\partial\Psi_m}{\partial F_y} K_{yj} \tag{5}$$

– взаимная индуктивность  $j$ -го и  $m$ -го контуров с током.

При расчете элементов матрицы коэффициентов  $L_{mj}$  используются частные производные функции (1), аппроксимированной трехмерными сплайнами. Аналогично рассчитываются и элементы матрицы, являющиеся частными производными функции (1) по углу поворота  $\alpha$ .

Система уравнений (3) принимает вид:

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \dots \\ i_N \\ \omega \\ \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1N} & \frac{\partial\Psi_1}{\partial \alpha} & 0 \\ L_{21} & L_{22} & \dots & L_{2N} & \frac{\partial\Psi_2}{\partial \alpha} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{N1} & L_{N2} & \dots & L_{NN} & \frac{\partial\Psi_N}{\partial \alpha} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} u_1 - r_1 i_1 \\ u_2 - r_2 i_2 \\ \dots \\ u_N - r_N i_N \\ 0 \\ \frac{1}{J}(M - M_B) \end{pmatrix}. \tag{6}$$

При работе над моделью особое внимание было уделено методам расчета электромагнитного момента. В комбинированной модели АД момент рассчитывается на основе магнитной энергии  $W$ . По этому методу:

$$M = \frac{\partial W}{\partial \alpha} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial\Psi_i}{\partial \alpha} i_i \right), \tag{7}$$

где  $\frac{\partial\Psi_i}{\partial \alpha}$  – частная производная от пото-

косцепления  $i$ -й обмотки по углу поворота ротора, рассчитанная по сплайнам.

Система уравнений (6) представляет собой динамическую нелинейную модель АД, которая может быть интегрирована в модель привода механизма сновального вала. Особенность данной модели в том, что при численном решении уравнения динамики САУ матрица коэффициентов должна пересчитываться на каждом шаге интегрирования в зависимости от текущих значений токов и угла  $\alpha$ . Для этого модель сопровождается набором сплайнов, ап-

проксимирующих функции (1) для каждого контура с током, по которым рассчитываются данные коэффициенты.

Следует отметить, что построение функций (1), требующее серии расчетов магнитного поля, может потребовать до нескольких часов расчетного времени, что характерно для полевых моделей. Однако решение системы уравнений (6), интегрированной в систему уравнений динамики САУ, осуществляется в реальном времени аналогично упрощенным моделям АД. При этом точность расчета динамики АД оказывается сопоставимой с точностью полевых моделей. Это значит, что при расчете динамики АД могут быть учтены разного рода несимметрии (например, несимметрия воздушного зазора), насыщение отдельных участков магнитной цепи (например, кромок зубцов), а также влияние на работу машины формы и несимметрии питающего напряжения.

Кроме того, модель можно усложнить, разбив каждый стержень ротора на  $n$  слоев, считая каждый слой самостоятельным контуром. Количество уравнений в модели (6) при этом увеличивается и становится равным  $N = 3 + n \cdot Z_2$ . Такая модель позволяет учесть влияние на динамику АД эффекта вытеснения тока в пазах ротора.

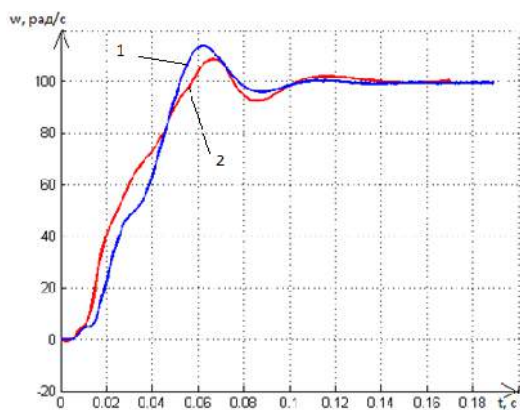


Рис. 1

Для проверки достоверности результатов, получаемых с использованием данной модели, реализованной с учетом эффекта вытеснения тока, был проведен расчет прямого пуска АД 4А112МА6УЗ,  $P_n = 3$  кВт;  $n_n = 950$  об/мин;  $U_n = 220/380$  В;

$\text{КПД} = 81\%$ ;  $\cos\varphi = 0,76$ ;  $J = 0,017$  кг·м<sup>2</sup>. На рис. 1 приведены расчетные 1 и экспериментальные 2 зависимости скорости электродвигателя от времени, показывающие приемлемую точность для практического использования при развитии математической модели электропривода механизма сновального вала.

## ВЫВОДЫ

Разработанная на основе многомерной сплайновой аппроксимации результатов серии расчетов магнитного поля математическая модель АД позволяет учитывать необходимые в процессе оптимизации энергетических характеристик электропривода сновальной машины нелинейности и вариацию параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В.Ф., Виноградов А.Б., Шишков К.С. Асинхронный электропривод механизма формирования сновальных валов // Вестник ИГЭУ. – 2011, № 1. С. 83...87.
2. Кулида Н.А. Теоретические основы повышения эффективности партионного снования. – Иваново: ИГТА, 2003.
3. Глазунов В.Ф., Шишков К.С. Минимизация потерь мощности в асинхронном электроприводе механизма намотки сновальных валов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 2. С.129...133.
4. Булатов Л.Н. Автоматизация проектирования асинхронных машин с использованием полевых динамических моделей: Дис...канд. техн. наук. – Иваново, 2013.
5. Булатов Л.Н., Тихонов А.И. Разработка динамической модели асинхронной машины с использованием результатов конечно-элементного расчета // Вестник ИГЭУ. – 2012, Вып. 4. С. 32...34.
6. Тихонов А.И., Булатов Л.Н. Платформенезависимая библиотека конечно-элементного моделирования магнитного поля / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – №2011614852. Заявка № 2011613040, приоритет от 28.04.2011, Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22.06.2011.

Рекомендована кафедрой физики. Поступила 28.10.14.



УДК 628.3

**ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА  
ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

**PERFECTION OF TECHNOLOGY AND MEANS FOR SEWAGE TREATMENT  
IN CATTLE-BREEDING FARMS**

*Х.Х. ГУБЕЙДУЛЛИН, И.И. ШИГАПОВ, А.И. ПАНИН, А.В. ПОРОСЯТНИКОВ, С.С. ЛУКОЯНЧЕВ  
H.H. GUBEYDULLIN, I.I. SHIGAPOV, A.I. PANIN, A.V. POROSYATNICOV, S.S. LUKOYANCEV*

(Технологический институт – филиал  
Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии им П.А.Столыпина)  
(Institute of Technology – a branch of Ulyanovsk State Agricultural Academy named Pyotr Stolypin)  
E-mail: tiugsha@gmail.com

*Разработано новое устройство для аэрации жидкости на основе барботажных аэраторов, которые обеспечивают значительное снижение энергозатрат за счет специальной структуры диспергирующего слоя фильтросных труб.*

*Association of processes of hashing and oxidation has demanded working out of the new device for liquid aeration on a basis sparging aerators which provide considerable decrease in power inputs, at the expense of special structure of a dispersing layer filtered pipes.*

**Ключевые слова:** спиралевидная структура намотки, навозосодержащие стоки, пористая перегородка, барботаж, производительность, степень очистки, суспензии, осадок.

**Keywords:** helical structures of winding, muckcontaining waste, porous baffle, sparging, productivity, the level of purification, suspensions, sludge.

В настоящее время очистка сточных вод животноводческих предприятий является очень актуальной проблемой. В нашей стране только несколько крупнейших предприятий используют очистные сооружения, но анализы показывают, что и после обработки показатели загрязнения далеки от норм, регулируемых СанПиН по

очистке сточных вод с животноводческих ферм. В настоящее время стоки животноводческих ферм и комплексов включены как источники загрязняющих и биогенных веществ, пагубно влияющих на водные объекты. Однако на данных объектах отсутствует аналитический контроль за навозосодержащими стоками и их биохимическим состоянием.

мическим составом. Стоки доильных залов представляют собой смесь естественных выделений животных, остатков корма, подстилки, песка, моющих средств, которая сильно разбавлена водой, используемой на технологические нужды, попадающей в стоки при различных системах смыва и уборки помещений доильных залов. Они имеют сложный химический состав и характеризуются большой загрязненностью. В гигиеническом отношении наиболее информативны для оценки навозосодержащих стоков такие показатели, как рН, взвешенные вещества, прозрачность, БПК, ХПК, азот аммиака, микробное число.

Для решения этой проблемы в Технологическом институте разработано устройство для разделения навозных стоков на фракции, представленное на рис. 1. Устройство для разделения навоза на фракции отличается тем, что в качестве выгрузочного приспособления используется спирально-винтовой механизм. А с целью повышения производительности и рециркуляции жидкой фракции устройство

снабжено аэрационной колонной. Стоки животноводческих ферм поступают в устройство для разделения навоза на фракции через подводящий патрубок. В камере смешения стоки перемешиваются с помощью спирально-винтового устройства и обогащаются кислородом для развития активного ила от аэрационной колонны через перфорированное дно. Осветленная жидкая фракция через перфорацию перегородки вытесняется из камеры смешения в аэрационную зону, очищается во взвешенном слое и по отводящему патрубку поступает для дальнейшей очистки и фильтрации. Твердая фракция с помощью спирально-винтового устройства перемещается горизонтально вдоль камеры смешения, затем вертикальным спирально-винтовым устройством выгружается через разгрузочный лоток для дальнейшего использования. Непрерывная рециркуляция жидкой фракции обеспечивается аэратором, исходные навозные стоки эжектируются.

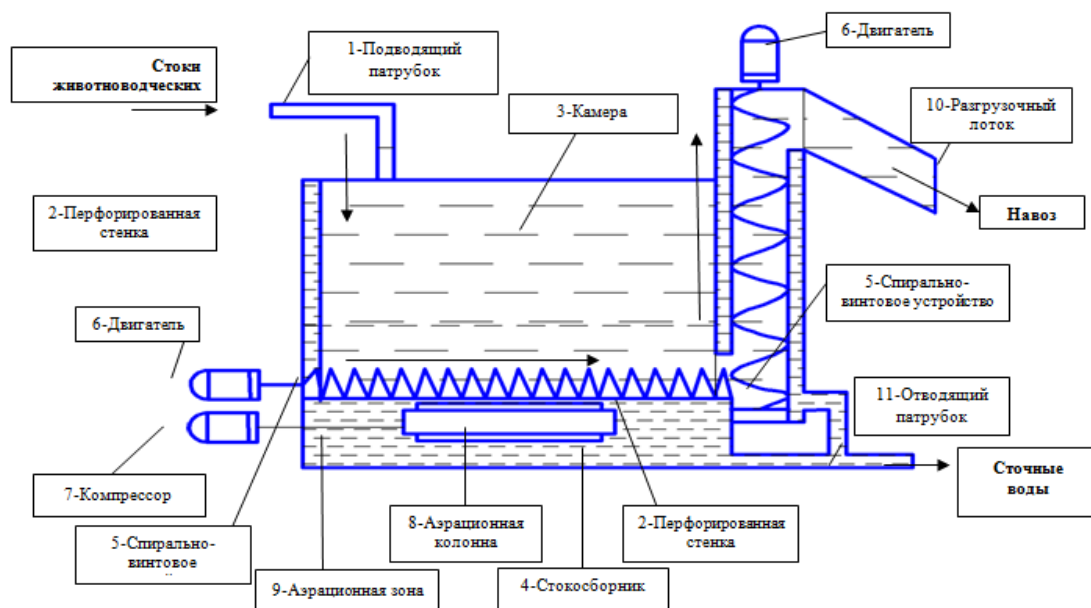


Рис. 1

Эффективность процесса очистки в аэротенках зависит от состава и свойства навозосодержащих стоков. Аэробные процессы в аэротенках протекают при подаче в обрабатываемый сток достаточного ко-

личества кислорода, необходимого для жизнедеятельности аэробных групп микроорганизмов. Насыщение кислородом воздуха происходит пневматическим или механическим путем. В результате есте-

ственного размножения микроорганизмов-минерализаторов и сорбирующей способности активного ила его количество в аэротенках все время возрастает. Обработанная вода вместе с активным илом поступает во вторичный отстойник, где происходит их разделение. Часть осевшего активного ила возвращается в аэротенки для повторного использования. Излишек ила тормозит процесс очистки вследствие ухудшения кислородного режима в аэротенках, поэтому избыточную часть его непрерывно удаляют. Конструктивно аэротенки могут объединяться с первичными или вторичными отстойниками. На сегодняшний день нами предложены новые разработки для очистки вод от стоков животноводческих ферм, которые вызывают большой интерес. Считается, что биологическая очистка – наиболее надежный и эффективный метод обеззараживания навозосодержащих стоков. С целью устранения вышеуказанных и других недостатков в Технологическом институте – филиале Ульяновской ГСХА были проведены работы также по созданию новых аэрационных систем, в результате которых были созданы барботажные аэраторы, применяемые в устройстве для разделения навозных стоков на фракции. В связи с этим наиболее эффективным способом очистки сточных вод животноводческих предприятий является использование трубочатых текстильных барботажных аэраторов (рис. 2) в аэротенках [1, 2, рис. 5-а, б].



Рис. 2

При использовании трубочатых текстильных аэраторов полностью отпадает необходимость в засыпных фракциях, так как сам процесс насыщения кислородом осуществляется за счет прохождения ее через слоисто-каркасную намотку аэратора. Наши аэраторы обеспечивают возможность получения мелкопузырчатой массы воздушного потока, то есть создания равномерной мелкопузырчатой аэрации, размеры пузырьков воздуха должны быть на выходе из диспергирующего слоя минимальны и одинаковы, 1...2 мм в диаметре, что позволяет увеличить поверхность взаимодействия активного ила со стоками, а также исключения застойных зон под аэраторами, то есть дополнительный их барботаж, который получается за счет формирования спиралевидной структуры намотки [3], [4] диспергирующего слоя аэратора (рис. 3).



Рис. 3

Поскольку главная задача диспергирующих слоев аэраторов – это обеспечение формирования постоянного потока пузырьков воздуха минимального размера, а также создание требуемой скорости подачи воздуха в сточные воды, то весьма актуальным становится вопрос о пористости и проницаемости материалов, из которых изготавливаются диспергирующие слои аэраторов. Так как проникновение воздуха сквозь твердое тело (пористую перегородку) может происходить по трещинам и порам, то проницаемость зависит от пористости перегородки, которая определяется объемом пор в единице объема тела и выражается формулой [5], [6]:

$$\Pi = \frac{V_{\text{пор}}}{V}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем диспергирующего слоя аэратора;  $V_{\text{пор}}$  – объем, занимаемый порами в общем объеме элемента диспергирующего слоя аэратора.

Так как основная масса аэраторов, применяемых в очистных сооружениях, выпускаются в виде труб с профильным каркасом и сформированном на нем диспергирующим покрытием, то целесообразно пористость диспергирующих перегородок выразить через объемную плотность.

Объемная плотность текстильной намотки пористой перегородки:

$$\gamma = K_3 \gamma_H, \quad (2)$$

где  $K_3$  – коэффициент заполнения объема пористой перегородки волокнистым (нитевидным) материалом;  $\gamma_H$  – плотность нити, г/см<sup>3</sup>.

Поскольку масса пористой перегородки диспергирующего слоя

$$G = \gamma V = \gamma V_H, \quad (3)$$

где  $V_H$  – объем, занимаемый нитями в общем объеме пористой перегородки диспергирующего слоя, тогда очевидно:

$$V = V_{\text{пор}} + V_H \quad (4)$$

и

$$V_H = V k_3 = \frac{V \gamma}{\gamma_H}. \quad (5)$$

Тогда :

$$V_{\text{пор}} = V - V_H = V - V k_3 = V(1 - k_3).$$

Пористость структуры диспергирующего слоя аэратора:

$$\Pi = \frac{V_{\text{пор}}}{V} = 1 - k_3 = 1 - \frac{\gamma}{\gamma_H}. \quad (6)$$

Из полученного выражения следует, что для увеличения пористости (воздухопроницаемости) перегородки диспергирующего слоя аэраторов необходимо уменьшать плотность самих волокон и объемную плотность всей перегородки.

На практике иногда пользуются понятием коэффициента пористости, который определяется по формуле:

$$K_{\Pi} = \frac{V}{V_H} = \frac{\gamma_H}{\gamma}. \quad (7)$$

Тогда пористость:  $\Pi = 1 - 1/K_{\Pi}$ .

Если в качестве пористой перегородки используется сомкнутая намотка, то:

$$\gamma = \frac{1}{C^2}, \quad (8)$$

$$\gamma_H = \frac{4}{\pi C^2},$$

где  $C$  – коэффициент, характеризующий рыхлость нити.

Тогда пористость сомкнутой намотки нитей на каркас аэратора составит:

$$\Pi = 1 - \frac{\gamma}{\gamma_H} = 1 - \frac{\pi}{4} = 0,125. \quad (9)$$

Данная величина будет постоянной для любого вида нитей и характеризует максимально возможную объемную плотность пористой перегородки, обусловленную упорядоченным (без промежутков) расположением нитей в структуре намотки (диспергирующего слоя). Спиралевидная намотка относится к замкнутым, характеризующимся сотовой (ячеистой) структурой расположения нитевидного материала на каркасе (рис. 3). Их плотность зависит от степени замыкания намотки  $P$  и может быть определена по формуле, описанной в работе [3]:

$$\gamma = \frac{4T_P \cos \frac{\beta}{2}}{\pi D \delta \cdot 10^5 \sin \beta} = \frac{4T_P \cos \frac{\beta}{2} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{h \delta \cdot 10^5 \sin \frac{\beta}{2} \cos \frac{\beta}{2}} = \frac{2T_P}{h \delta \cdot 10^5 \cos \frac{\beta}{2}}, \quad (10)$$

где  $T$  – линейная плотность нити, текс;  $D$  – диаметр намотки паковки, см;  $\delta$  – толщина объемного слоя пористой перегородки, см;  $\beta$  – угол скрещивания витков;  
 $h = \frac{\pi D}{\beta} = \frac{h_k}{i_o}$  – шаг витков намотки, см;  
 $h_k = \frac{2H}{k}$ ;  $i_o$  – общее передаточное отношение от веретена к кулачку нитеводителя.

При формировании замкнутых (сотовых) намоток общее передаточное отношение от нитеводителя к паковке определяется по формуле:

$$i_o = \frac{1}{k} \left( \frac{z}{p} + n_1 \right), \quad (11)$$

где  $k$  – число оборотов кулачка нитеводителя за цикл движения нитеводителя;  $z$  – кратность замыкания намотки;  $z=1$ ;  $n$  – целая часть числа  $ki_o$ .

Путем изменения  $i_o$ , а следовательно изменяя и степень замыкания намотки  $P$ , можно варьировать требуемой плотностью намотки паковок в довольно широких пределах и обеспечивать тем самым требуемую пористость и проницаемость перегородки диспергирующего слоя аэраторов.

При

$$p = \left[ \frac{h \cos \frac{\beta}{2}}{d} \right]$$

получаем  $p$ -сомкнутую намотку, соответствующая  $p$ -сомкнутой, то есть все пространство на развертке намотки заполняется нитями, поэтому для формирования спиралевидных (сотовых) замкнутых намоток должно соблюдаться условие:

$$1 \leq p \leq \left[ \frac{h \cos \frac{\beta}{2}}{d} \right],$$

где

$$\cos \frac{\beta}{2} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}}},$$

поскольку:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{V_n}{V} = \frac{h_k n_k}{\pi D_B}.$$

Приняв в формуле величину  $\delta$  равной двум диаметрам нити ( $\delta = 2d$ ), получим:

$$\gamma = \frac{T_p}{hD \cdot 10^5 \cos \frac{\beta}{2}}.$$

С учетом имеем:

$$\gamma = \frac{\sqrt{1 + \frac{h_k}{\pi^2 D^2 i_o^2}}}{hD \cdot 10^5}, \quad \text{г/см}^2.$$

Подставляя в данную формулу требуемые значения параметров замкнутой, спиралевидной (сотовых) намоток, можно определить теоретическое значение объемной плотности структуры намотки, а следовательно, и ее пористости.

Спиралевидная структура намотки является производной от замкнутых и сомкнутых структур – поры у данного вида намотки, в радиальном направлении, располагаются по спиралам Архимеда и образуют каналы, что позволяет разгонять поток пузырьков воздуха по направлению каналов в структуре намотки и выбрасывать их по касательной к поверхности фильтросной трубы, значительно увеличивая зону аэрируемых объемов стоков.

## ВЫВОДЫ

1. Навозосодержащие стоки доильных залов представляют собой сложное сообщество микроорганизмов и являются экологически опасными источниками загряз-

нения водных и почвенных ресурсов. Применение барботажных аэраторов в системах очистки сточных вод обеспечивает значительное снижение энергозатрат за счет специальной структуры диспергирующего слоя фильтросных труб.

2. Барботажные аэраторы обеспечивают улучшение качества очистки сточных вод при отсутствии потерь воздуха, улучшение седиментационных характеристик активного ила и снижение себестоимости очистки одного кубического метра стоков до 15%.

3. Спиралевидная структура намотки паковок, используемых в качестве аэраторов, обладает спиралевидным расположением пор и обеспечивает выход воздуха из аэратора по касательной к его поверхности, что в свою очередь резко увеличивает барботаж стоков и устраняет возможность образования застойных зон под аэраторами.

4. Оптимальная структура диспергирующего слоя аэратора должна обеспечивать мелкопузырчатую аэрацию сточных

вод, быть устойчивой к механическим воздействиям, не подвергаться биообрастанию, что возможно только за счет формирования мотальных паковок специального назначения в виде слоистокаркасных намоток на профильные трубы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971.

2. Малиновская Т.А. Разделение суспензий в промышленности органического синтеза. – М.: Химия, 1971.

3. Зайцев В.П., Панин И.Н. Исследование процесса формирования бобин сотовой намотки на машине «Бандомат» // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1982, №3.

4. Гордеев В.А., Зайцев В.П., Панин И.Н. О замкнутых и сомкнутых крестовых намотках // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1983, №2. С.40...42.

Рекомендована кафедрой технологии производства переработки и экспертизы продукции АПК. Поступила 03.02.15.

УДК 537.8

### ОСОБЕННОСТИ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КРАСИТЕЛЕЙ, ПОСЛЕ ИХ МАГНИТОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

#### FEATURES OF WATER SOLUTIONS PHOTOELECTRON EMISSION AFTER THEIR MAGNETOIMPULSE TREATMENT

М. Н. ШИПКО, А. И. ТИХОНОВ, А. В. СМIRНОВ, С. А. ЦАРЕВА, Ю. Д. БЕЛКИН  
M.N. SHIPKO, A.I. TIKHONOV, A.V. SMIRNOV, S.A. TSAREVA, Y.D. BELKIN

(Ивановский государственный энергетический университет,  
Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова)  
(Ivanovo State Power University, Plekhanov Russian University of Economics)  
E-mail: ivrgteu\_nir@mail.ru, e-mail: ivrgteu\_nir@mail.ru

*В работе исследовано влияние магнитоимпульсной обработки водных растворов на параметры фотоэлектронной эмиссии. Обнаружено влияние импульсной обработки на коэффициент эмиссии и мощность свечения, что связано с формированием реакционно-способных частиц и новых ка-*

*налов проводимости. Выявлена корреляция между параметрами свечения и изменениями удельной электропроводности водных растворов.*

*The influence of water solutions magnetoimpulse treatment on the parameters of the photoelectron emission is studied. The influence of impulse processing on the emission factor and the power of glow is detected, which is connected with the formation of reaction-capable particles and new channels of conductivity. The correlation between the glow parameters and changes of water solutions specific electro conductivity is found.*

**Ключевые слова:** фотоэлектронная эмиссия, водный раствор, магнитоимпульсная обработка, свечение.

**Keywords:** photoelectron emission, water solution, magnetoimpulse treatment, glow.

В последнее время в физической химии водных растворов большое внимание уделяется изучению процессов ассоциации и агрегации красителей. Обнаружено, что значительное усиление процессов ассоциации происходит при структурировании воды. Поэтому факторы, влияющие на структурирование воды, приводят к изменениям динамики процессов агрегации красителей, используемых в текстильной промышленности, то есть красители реагируют на состояние ансамблей, дегидрируемых в воде (водном растворе). Основную часть таких ансамблей составляют молекулы воды. Большой интерес с точки зрения формирования ансамблей представляет выяснение особенностей влияния электромагнитных полей на состав и структуру молекулярных комплексов[1...3].

Результаты физико-химических методов исследования показывают наличие когерентных изменений в водном растворе под влиянием переменных электромагнитных полей низкой частоты 7...33 Гц [2]. Методами кондуктометрии, электрофореза и оптическими методами доказано формирование молекулярных ансамблей под влиянием таких полей, которые определяют всю совокупность физико-химических свойств растворов.

Достаточно привлекательным методом для изучения ассоциативных процессов в водных растворах является метод газоразрядной визуализации (ГРВ), основанный на

стимулировании оптоэлектронной эмиссии водных растворов. При подаче биполярных электрических импульсов на поверхность капли ( $U \sim 9$  кВ и  $\tau \sim 3...5 \cdot 10^{-6}$  с) стимулируется эмиссия фотонов и электронов с ее поверхности. Эмитируемые частицы ускоряются в электромагнитном поле, порождая электронные лавины на поверхности стекла объектива фотокамеры. Такие лавины вызывают свечение молекул окружающего воздуха, формируя скользящий газовый разряд. Свечение газа переводится в цифровой код за счет системы видеопреобразования, а затем визуализируется в виде газоразрядного изображения (ГРИ). ГРИ представляет собой пространственно-распределенную группу участков свечения воздуха различной яркости и частоты. Параметры разряда определяются внутренними свойствами (структурой) исследуемого раствора, а также свойствами внешней среды и электромагнитного поля, которые поддерживаются неизменными. В результате параметрического анализа вычисляются амплитудные, геометрические, яркостные, фрактальные, вероятностные параметры эмиссии фотонов и электронов с поверхности жидкой капли. Учитывая, что в процессе эмиссии принимают участие электроны из поверхностного слоя капли водного раствора, электроны, делокализованные между всеми молекулами раствора или между группами молекул, удастся определять характер пространственного распределения молекулярных

комплексов в растворе. Отметим, что при моделировании структуры раствора необходимо учитывать наличие в растворе свободных радикалов, которые являются важным источником электронов. Степень затруднения переноса электронной плотности в водном растворе фиксируется снижением яркости ГРВ-граммы в ее определенной области.

В настоящей работе использовали метод ГРВ для изучения влияния импульсов магнитного поля на формирование молекулярных комплексов в дистиллированной воде после ее выдержки в течение 5...10 суток в стеклянном сосуде на воздухе. Исследования выполнены на серийном приборе «ГРВ-камера». Для характеристики структурных параметров растворов после их обработки 10...100 импульсами магнитного поля использовали следующие параметры ГРВ-грамм: площадь засветки, нормализованную площадь, среднюю яркость, коэффициент эмиссии, коэффициент формы, энтропию и коэффициент фрактальности. Эти параметры позволяют судить о концентрации и энергии эмитируемых электронов, их пространственном распределении, а также мощности свечения, степени упорядочения элементов раствора, эмитирующих электроны. При исследовании использовали взвешенную каплю из водного раствора после его обработки магнитными импульсами, амплитудой 30 кА/м, длительностью 0,1...0,2 с и скважностью между импульсами от 1 до 5 с. Для оценки статистической воспроизводимости данных проводили не менее 10 измерений. На рис. 1 приведены примеры ГРИ капли дистиллированной воды до обработки (а) и после обработки 20 (б), 50 (с) и 100 (д) магнитными импульсами и в исходном состоянии.

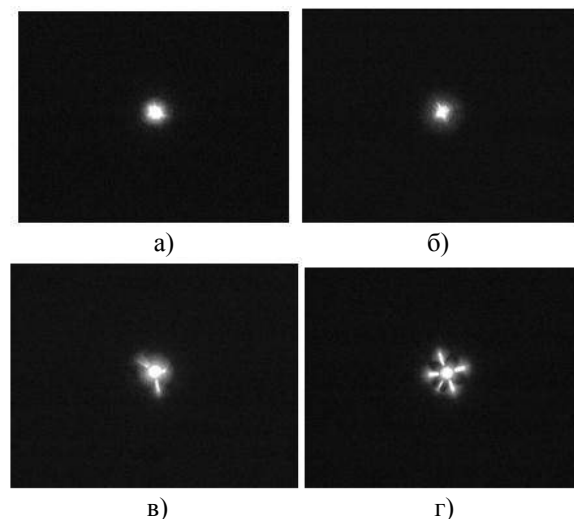


Рис. 1

Для дистиллированной воды в исходном состоянии картина свечения выглядит как правильная окружность. Характер свечения и его параметры остаются неизменными в течение 5...10 минут. После магнитоимпульсного воздействия картина свечения капли изменяется. Изменяются со временем и параметры свечения. С увеличением количества магнитных импульсов картина свечения становится более активной, увеличивается количество разветвлений (стримеров).

Это возможно связано с тем, что после магнитоимпульсного воздействия и приложения электрического поля 9 кВ происходит процесс активной структуризации раствора. Интенсивность процесса и его характер зависят от количества магнитных импульсов, воздействующих на раствор. Это отчетливо проявляется на изменении параметров свечения капли (табл. 1 – параметры свечения капли дистиллированной воды до и после магнитоимпульсной обработки).

Т а б л и ц а 1

Характеристика/количество импульсов	0	20	50	100
Удельная электропроводность, $\mu\text{S}/\text{cm}$	2,6	5,0	4,7	5,52
Интенсивность, отн. ед.	98,7	100,5	98,1	102,5
Площадь, $\text{px}\ell$	3308	3521	3552	4005
Энтропия	2,16	2,2	2,04	1,9
Коэффициент формы	4,4	4,1	2,5	2,4
Фрактальность	1,78	1,8	1,7	1,67



В соответствии с теорией, описывающей электронную эмиссию материалов, параметры свечения капли определяются эмиссионной активностью поверхностного слоя жидкости. Она, в свою очередь, зависит от наличия поверхностно-активных валентностей. Очевидно, это определяется структурой поверхностных кластеров. В табл. 1 приведены параметры газоразрядных изображений жидкой капли и удельной электропроводимости после магнитоимпульсного воздействия на раствор.

Видно, что наиболее существенное изменение после магнитоимпульсной обработки претерпевают площадь засветки, коэффициент эмиссии и энтропия. Учитывая, что площадь засветки определяет суммарную энергию эмитированных электронов, можно заключить об увеличении количества структурированных элементов в растворе после воздействия магнитных импульсов, способных эмитировать электроны. В свою очередь, уменьшение энтропии свидетельствует об упорядочении структурных элементов, о самоорганизации в водных растворах.

Кроме того, кондуктометрическим методом показано, что в условиях электромагнитного воздействия на водные растворы вместо присущих гидрофобных углеводородных радикалов образуются соединения, которые имеют ярко выраженные полярные группы, способные к электромагнитным взаимодействиям и образованию водородных связей, что сказалось на значении удельной электропроводности (рис. 2 – зависимость удельной электропроводности ( $\chi$ ) и площади засветки ГРИ (S) капли водного раствора до и после магнитоимпульсной обработки).

Увеличение электропроводности водного раствора после магнитоимпульсной обработки симбатно изменению яркости свечения. Отсюда следует, что изменение в структуре раствора сопровождается изменением электропроводности. Это может быть связано с формированием каналов проводимости и радикалов новых реакционно-способных частиц с увеличением количества импульсов.

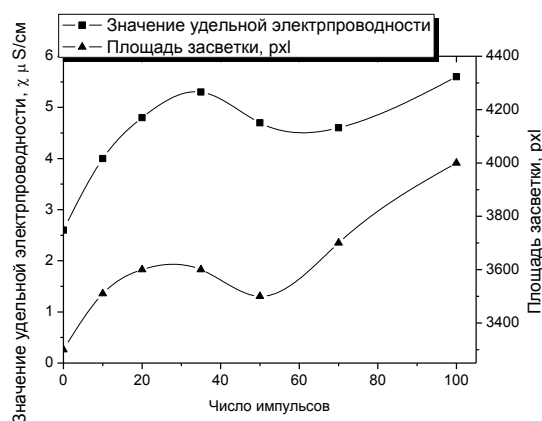


Рис. 2

Следовательно, импульсы магнитного поля способствуют формированию каналов проводимости и формированию более реакционно-способных частиц, к которым можно отнести:  $\text{HO}^\cdot$ ,  $\text{HO}_2^\cdot$ ,  $\text{O}_2^{\cdot-}$ ,  $\text{NO}^\cdot$  и другие. Причиной их формирования является спин-чувствительное воздействие на электронную систему раствора. В соответствии с квантовой теорией спинзависимых явлений слабое магнитное поле может эффективно воздействовать на неравновесные системы с помощью снятия спиновых запретов. В результате устраняется кажущееся противоречие между малой величиной магнитной энергии (поступаемой в раствор) и масштабами эффектов упорядочения. Для реализации таких эффектов необходимо, чтобы эта система была термодинамически неравновесной. В таком случае возможна трансформация радикалов в результате спиновой конверсии, когда разница в обменной энергии между S и T состояниями радикалов близка к энергии магнитного импульса. Среди известных механизмов спиновой конверсии, на наш взгляд, наиболее приемлемым является  $\Delta I$  механизм [6]. Согласно этому механизму катализ спиновых превращений в радикальной паре обеспечивается третьим носителем, спином электрона или протона. В результате перехода радикальной пары из S в T состояние изменяется интенсивность кулоновского взаимодействия, и происходит не только перестройка радикальных пар, но их упорядочение.

Таким образом, в результате спиновой эволюции радикальных пар в магнитном поле, в результате снятия спинового запрета происходит понижение или разрушение барьеров для перестройки и упорядочения пар. В свою очередь такие процессы способствуют структурированию водного раствора и изменению его физико-химических свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рамбиди Н.Г., Березкин А.В. Физические и химические основы нанотехнологий. – М.: Физматлит, 2009.

2. Рыжкина И.С., Муртазина Л.И., Коновалов А.И. Действие внешнего электромагнитного поля условие образования наноассоциатов в высокоразбавленных водных растворах // Доклады АН. – 2011. Т. 440, № 6. С. 778...781.

3. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.

4. W.Chen, A.Fadeev, M.Hsieh, D.Oner, J.Youngblood, T.J.McCarthy. *Langmuir*. – 15, 3395. – 1999.

5. Клеман М., Лаврентович О.Д. Основы физики частично упорядоченных сред: жидкие кристаллы, коллоиды, фронтальные структуры, полимеры и биологические объекты: пер. С англ. Под ред. С.А. Пикина, В.Е. Дмитриенко. – М.: Физматлит, 2007.

6. Зельдович Я.Б., Бучаченко А.Л., Франкевич Е.Л. Магнито-спиновые эффекты в химии и молекулярной физике. – УФН, 1988, т.155, вып. 1. С.3...44.

Рекомендована кафедрой коммерции, товароведения и экспертизы РЭУ им. Г.В. Плеханова. Поступила 18.03.15.

УДК 621.9

**РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОБРАБОТКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ  
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ  
ДЛЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЙБУЛЛА-ГНЕДЕНКО  
НАБЛЮДАЕМОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ НА ЭВМ**

**REALIZATION OF THE PROBLEM OF PROCESSING OF STATISTICAL DATA  
AND DETERMINATION OF KEY PARAMETERS OF RELIABILITY FOR THE LAW  
OF DISTRIBUTION OF VEYBULLA-GNEDENKO  
OF THE OBSERVED RANDOM VARIABLE ON THE COMPUTER**

*Д.А. БЕКТАШОВ, О.В. БЛИНОВ, Е.Н. КАЛИНИН*  
*D.A. BEKTASHOV, O.V. BLINOV, E.N. KALININ*

(Ивановский государственный энергетический университет,  
Ивановский государственный политехнический университет)  
(Ivanovo State Power University,  
Ivanovo State Polytechnical University)  
E-mail: ivrgteu\_nir@mail.ru

*Решение большинства задач, связанных с оценкой уровня надежности технологического оборудования, применяемого в машиностроении, всегда сопряжено со сбором статистических данных об отказах, возникающих в процессе эксплуатации. Построена блок-схема, рассмотрен алгоритм и написана программа для определения закона распределения Вейбулла - Гнеденко наблюдаемой случайной величины с помощью ЭВМ. Реализована задача по обработке статистических данных и определению основных параметров надежности для закона распределения Вейбулла - Гнеденко.*

*The solution of the majority of the tasks connected with an assessment of level of reliability of processing equipment applied in mechanical engineering, is always interfaced to collecting statistical data on the refusals arising in use. It is constructed the block – the scheme, the algorithm is considered and the program for definition of the law of distribution of Veybull - Gnedenko of an observed random variable by means of the computer is written.*

*Conclusions: The task of processing of statistical data and determination of key parameters of reliability for the law of distribution of Veybull - Gnedenko is realized.*

**Ключевые слова:** блок-схема, закон, распределение Вейбулла - Гнеденко.

**Keywords:** the block-scheme, the law, Veybull's distribution - Gnedenko.

Закон распределения Вейбулла-Гнеденко используется при определении уровня надежности изделий в период приработки и установления наработки на отказ неремонтируемых изделий. Распределение Вейбулла-Гнеденко двухпараметрическое. Его параметрами являются  $T_{cp}$  и  $b$  (положительные постоянные) [1].

1. Плотность вероятности (дифференциальная функция) времени между отказами:

$$f(t) = \frac{b}{T} \left(\frac{t}{T}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b}. \quad (1)$$

2. Вероятность безотказной работы:

$$p(t) = e^{-(\lambda * t)^b}. \quad (2)$$

3. Интенсивность отказов:

$$\lambda(t) = \frac{b}{T} \left(\frac{t}{T}\right)^{b-1}. \quad (3)$$

Процесс подготовки задачи для решения с помощью ЭВМ состоит из следующих основных этапов:

- математическая формулировка задачи;
- выбор метода вычисления;
- разработка блок-схемы алгоритма;
- составление программы;
- подготовка исходных данных;
- перенос программы и исходных данных на носители информации;
- формирование задания с помощью операторов языка управления;
- отладка программы, заключающаяся в обнаружении и устранении ошибок, допущенных на всех предыдущих этапах.

На этапе математической формулировки условие задачи задается в виде уравнений или формул, необходимых для ее решения.

На этапе выбора метода вычислений математическая формулировка преобразуется в процедуру решения задачи, представляющую собой последовательность действий и логических связей между ними.

Математическая формулировка и выбор метода вычисления являются основой при разработке алгоритма – некоторой конечной последовательности предписаний (правил), однозначно определяющих процесс преобразования исходных данных в результаты решения задачи. Для наглядного изображения алгоритмов используют схемы – последовательность блоков, предписывающих выполнение определенных функций и связей между ними. Внутри блоков указывается поясняющая информация, характеризующая выполняемые ими действия [2]. Блок - схема задачи для определения экспоненциального закона распределения наблюдаемой случайной величины приведена на рис. 1.

Составление программы на алгоритмическом языке заключается в разработке последовательности команд, реализующих алгоритм решения задачи. Реализация команд осуществляется с помощью операторов.

Как видно из схемы, общую задачу обработки статистических данных можно разбить на ряд частных задач:

- определение величины частного интервала;
- построение интервального вариационного ряда и определение частоты попадания случайной величины в частный интервал;
- расчет накопленных частот и частостей;
- расчет числовых характеристик распределения;
- расчет всех параметров экспоненциального закона распределения;
- построение графических зависимостей.

Задача определения величины частного интервала относится к алгоритмам циклической структуры. Для организации цикла необходимо выполнять следующие условия:

1. Перед входом в цикл задать начальное значение параметра (переменной), изменяющегося в цикле. Это производится с помощью операторов задания начальных параметров, чаще всего с помощью операторов присвоения.

2. Вычислить в цикле текущее значение параметра цикла (с помощью операторов присвоения).
3. Проверить условия повторения или окончания цикла (с помощью логического выражения).

4. Управлять циклом, то есть переходить к его началу, если цикл не завершен, или выходить из него (с помощью управляющего оператора).

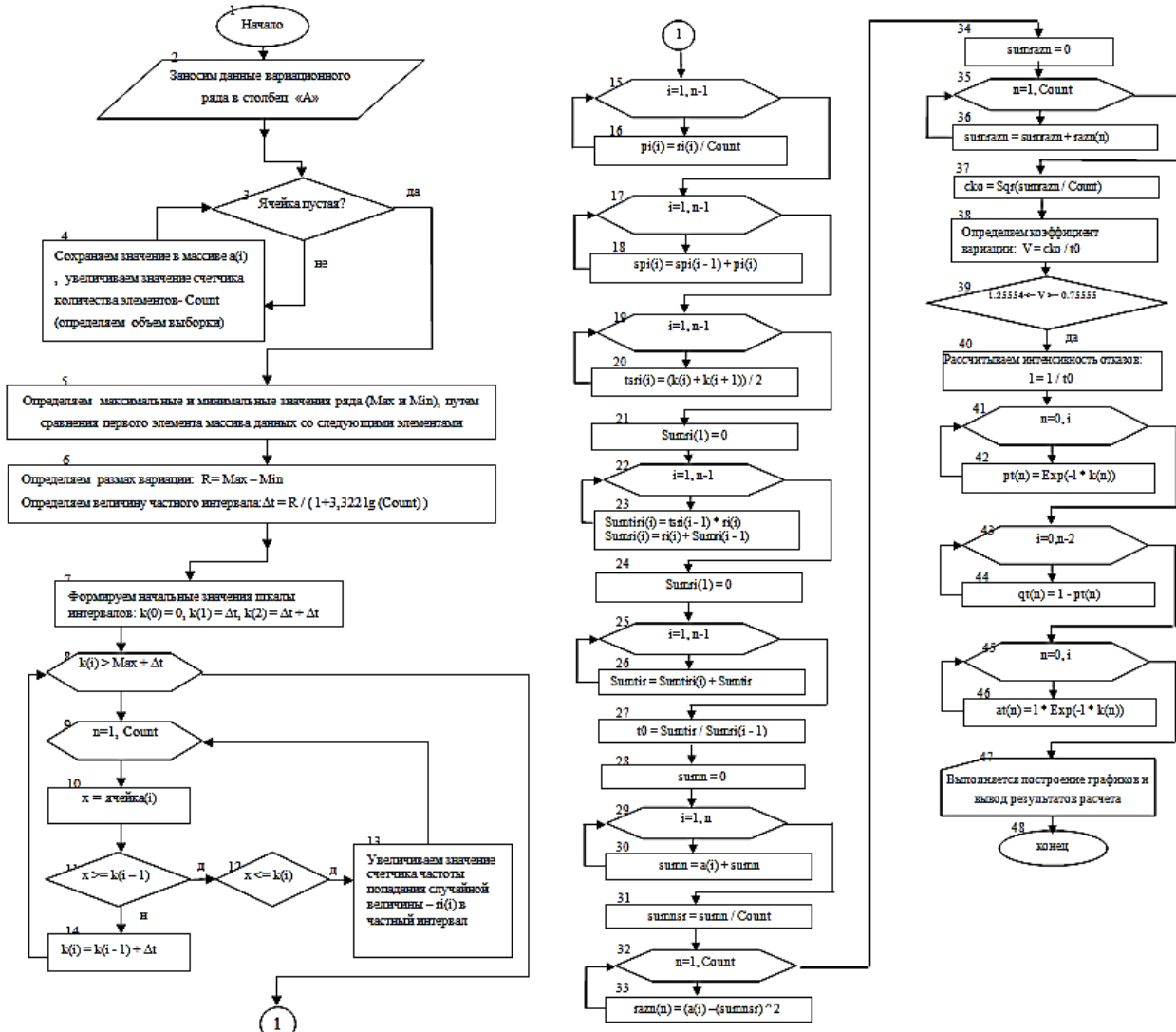


Рис. 1

Математически эта задача может быть сформулирована следующим образом:

$$\Delta t = (t_{\max} - t_{\min}) / (1 + 3,322 \lg n). \quad (4)$$

Алгоритм программного расчета уровня надежности состоит из следующих модулей:

- модуль организации начала работы (блок 1)
- модуль ввода данных (блок 2)

-модуль формирования массива данных из введенного вариационного ряда (блоки 3,4)

-модуль определения параметров разброса значений ряда (блоки 5,6)

-модуль расчета частоты попадания случайной величины в частотный интервал (блоки 7-14)

-модуль расчета частотности попадания случайной величины (блоки 15,16)

- модуль расчета накопленной частности (блоки 17,18)
- модуль расчета средних значений интервалов ряда (блоки 19,20)
- модуль расчета средней наработки на отказ (блоки 21-27)
- модуль расчета среднеквадратического отклонения (блоки 28-37)
- модуль определения закона распределения (блоки 38-39)
- модуль расчета интенсивности отказов (блок 40)
- модуль расчета вероятности безотказной работы (блоки 41-42)
- модуль расчета вероятности отказов (блоки 43-44)
- модуль расчета параметра потока отказов (блоки 45-46).

## В Ы В О Д Ы

В результате проведенных исследований была реализована задача по обработке статистических данных после проведения эксперимента, построена блок-схема, рассмотрен алгоритм и написана программа для определения закона распределения Вейбулла - Гнеденко наблюдаемой случайной величины с помощью ЭВМ. Эта программа позволяет рассчитать основные параметры надежности, а именно: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, параметр потока распределения, интенсивность отказов и построить соответствующие графические зависимости.

1. *Пирогов К.М., Егоров С.А.* Основы надежности текстильных машин. – Иваново: ИГТА, 2004.

2. *Вяткин Б.А.* Практикум по методам оценки эксплуатационной надежности текстильных машин. – Иваново: ИВТИ, 1994.

3. *Пирогов К.М., Вяткин Б.А.* Основы надежности текстильных машин. – М.: Легпромбытиздат, 1985.

4. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Группа Т00. – М.: Издательство стандартов, 1990.

5. ГОСТ 27.003–90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. Группа Т51. – М.: Издательство стандартов, 1991.

6. ГОСТ 27.203–83. Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности. Группа Т51. – М.: Издательство стандартов, 1984.

7. ГОСТ 27.402–95. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). – Ч 1. Экспоненциальное распределение. Группа Т59. – Минск: Издательство стандартов, 1997.

8. *Бекташов Д.А., Крапостин А.А.* Исследования надежности механических систем чистового формообразования деталей машин энергетических устройств // Вестник ИГЭУ, вып. № 2. – Иваново: ИГЭУ, 2012. С. 34...36.

9. *Бекташов Д.А., Крапостин А.А.* Определение основных параметров надежности минералокерамического режущего инструмента // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Вып. №5. – Орел, ГУУНПК, 2012. С.94...98.

10. *Бекташов Д.А.* Применение наноструктурированных покрытий для повышения уровня надежности минералокерамического режущего инструмента // Мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Состояние и перспективы развития электротехнологии. 3 том. Электротехника. – Иваново: ИГЭУ, 2013. С. 252...254.

Рекомендована кафедрой наземных транспортных средств и технологических машин ИВГПУ. Поступила 03.12.14.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ВОЛОКНИСТОЙ ЛЕНТЫ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ ЕЕ ЧЕРЕЗ УПЛОТНИТЕЛЬ\*

### MODELING OF THE PROCESS OF THE COMPACTION OF THE STRINGY TAPE AT DRAWING HER(IT) THROUGH SEALANT

*В.С. НИКОЛАЕВ, В.В. ВОЛКОВ, Е.А. НЕМКОВА*  
*V.S. NIKOLAEV, V.V. VOLKOV, E.A. NEMKOVA*

(Пензенский государственный технологический университет)  
(Penza State Technological University)  
E-mail: mycolo@rambler.ru

*Разработана модель процесса протягивания объемной волокнистой ленты через внутреннюю полость уплотнителя. Проведено моделирование процесса преобразования линейной плотности волокнистой ленты в усилие ее протягивания через уплотнитель с учетом изменения его внутреннего геометрического профиля.*

*The process model development of the drawing of the three-dementional stringy tape through internal cavity of the sealant. Organized modeling of the process of the transformation to linear density of the stringy tape in effort of her(its) drawing through sealant with account of the change his(its) internal geometric profile.*

**Ключевые слова:** волокнистая лента, линейная плотность волокнистой ленты, уплотнитель, моделирование сжатия ленты, функция цели, функция преобразований, условия ограничений.

**Keywords:** stringy tape, linear density of the stringy tape, sealant, modeling of the compression of the tape, function to purposes, function of the transformations, condition of the restrictions.

Моделирование функционирования волокнистой ленты с уплотнителем, имеющим внутренний криволинейный профиль, составляет определенный практический интерес, который обусловлен следующими факторами: первое – это определение оптимального внутреннего профиля уплотнителя – рабочего органа, при силовых взаимодействиях обеспечивающих технологию этого процесса; второе – это определение зоны устойчивости процесса сжатия – протаскивания, что позволит вести оценку весовой нормы волокнистой ленты.

Взаимодействие уплотнительного устройства с волокнистой лентой, представляющей сплошную пористую среду с

упругими свойствами, в физической модели представляет единую механическую систему. Примем допущения: - уплотняющее устройство является абсолютно жестким телом; - волокнистая лента относится к упруго - эластичному телу; - внешние силы, действующие на ленту, определяются силой сжатия, равной силе давления на внутренние стенки уплотнителя и силой трения о внутренние стенки уплотнителя; - при сжатии из ленты выходит воздух, образуя ее пушистость [1]; - внутренние силы действуют внутри волокнистой ленты, являются парными и взаимно уравновешенными.

\*Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук кафедры технологии машиностроения, цикла "Автоматизация и управление" ПензГТУ Прошина И.А.

Допущения определяют модель протягивания волокнистой ленты в виде функции силы протягивания  $F_{пр}$ , соответствующей силе сжатия  $F_{сж}$ , зависящей от множества факторов:

$$F_{пр} = F_{сж}(T_L, D_{вх}, D_{вых}, F_{тр}), \quad (1)$$

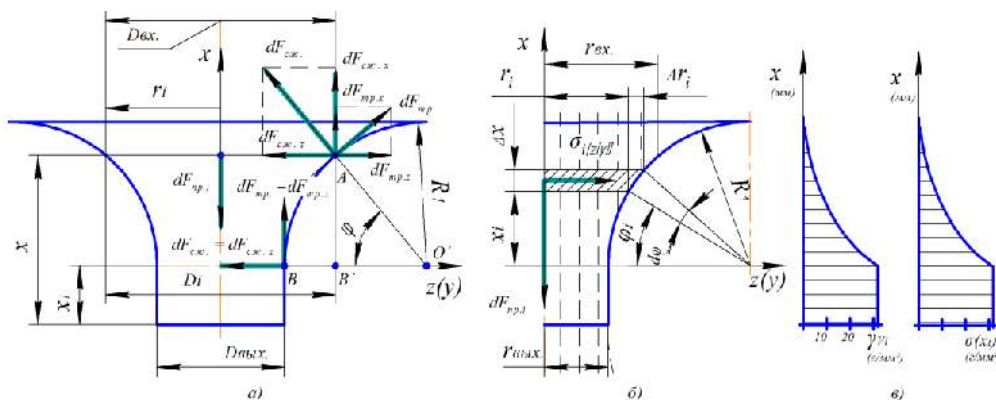


Рис. 1

На рис. 1 представлена расчетная схема модели уплотнитель – волокнистая лента: а) – схема действия сил протягивания, сжатия и трения; б) – схема напряжений в элементарной части объема; в) – схема напряжений и объемной плотности ленты по длине уплотнителя. В точке контакта А (рис. 1-а) проекции силы  $dF_{сж}$  на координатные оси  $z$ ,  $y$  и  $x$  примут вид  $dF_{сж.z}$ ,  $y = -dF_{сж} \cos \varphi$  и  $dF_{сж.x} = dF_{сж} \sin \varphi$ . Сила трения на элементарной части определяется коэффициентом трения  $\mu$  и равна  $dF_{тр} = \mu dF_{сж}$ . Проекция силы трения на координатные оси  $z(y)$  и  $x$  примут вид  $dF_{тр.x} = \mu dF_{сж} \cos \varphi$  и  $dF_{тр.z,y} = dF_{сж} \sin \varphi$ .

В начале соприкосновения профиля уплотнителя с волокнистой лентой, (рис. 1-а) значение силы сжатия будет мало, то есть  $dF_{сж.z,y} \approx 0$  и  $dF_{сж.x} \approx 0$ . При уменьшении угла  $\varphi$  сила сжатия будет резко возрастать или  $dF_{сж.x} \leq dF_{сж.z,y}$ . В сравнении с составляющей  $dF_{сж.z,y}$  сила  $dF_{сж.x}$  является величиной второго порядка малости. Отсюда в модели можно пренебречь величинами  $F_{сж.x}$  и  $F_{тр.z(y)}$  (аналогичные рассуждения) и их производными. Это определяет условие процесса протаскивания ленты  $dF_{сж.z,y} \leq dF_{тр.x}$ .

Функцию цели в модели выразим через усилие протягивания, которое зависит от

где  $T_L$  – линейная плотность (развес) ленты;  $D_{вх}$  и  $D_{вых}$  – диаметры внутреннего профиля уплотнителя;  $F_{тр}$  – сила трения.

Условие процесса протягивания ленты при действии радиальной сжимающей силы  $dF_{сж}$  и силы трения  $dF_{тр}$  волокнистой ленты о внутренний криволинейный профиль уплотнителя.

величины линейной плотности волокнистой ленты. Сопротивление протягиванию ленты, из условия ее нерастяжимости, обусловливается действием двух сил сжатия  $F_{сж}$  и трения  $F_{тр}$ . Спроецировав все силы на ось  $x$ , элементарной части объема волокнистой ленты, получим силу протягивания:

$$dF_{пр} = dF_{тр.x} = \mu dF_{сж.z,y}. \quad (2)$$

Распределение линейной плотности ленты по длине уплотнителя. Объем  $\Delta V_{Li}$  элементарной части волокнистой ленты длиной  $\Delta x$  на диаметре  $D_i$  внутреннего профиля уплотнителя с учетом удлинения  $\Delta r_i$  радиуса будет  $\Delta V_{Li} = 0,25 \pi (D_i + \Delta r_i)^2 \Delta x$  и, пренебрегая величиной  $\Delta r_i$ , ввиду ее малости, имеем:

$$\Delta V_{Li} = 0,25 \pi D_i^2 \Delta x. \quad (3)$$

Примем условия постоянства элементарной массы волокнистой ленты на входе и выходе  $\Delta M_{вх} = \Delta M_{Li} = \Delta M_{вых} = \text{const}$  и выразим массу  $\Delta M_{Li}$  элементарного объе-



ма  $\Delta V_{Li}$  в сечении волокнистой ленты, состоящей из  $n_B$  волокон с удельным весом волокна  $\gamma_B$  и его средним диаметром  $d_B$ :

$$\Delta M_{Li} = n_B \Delta V_B \gamma_B = n_B 0,25 \pi d_B^2 \Delta x \gamma_B. \quad (4)$$

$$\gamma_{Vi} = \frac{\Delta M_{Li}}{\Delta V_{Li}} = \frac{n_B \Delta V_B \gamma_B}{\Delta V_{Li}} = \frac{n_B 0,25 \pi d_B^2 \Delta x \gamma_B}{0,25 \pi D_i^2 \Delta x} = \frac{n_B d_B^2 \gamma_B}{D_i^2}. \quad (5)$$

Из условий правильной ориентации  $n_B$  волокон в объемной ленте, где линейная плотность  $T_B$  волокна диаметром  $d_B$  с удельным весом  $\gamma_B$  и массой  $\Delta m_B$  составляет

$$T_B = \frac{\Delta m_B}{\Delta x} = \frac{0,25 \pi d_B^2 \Delta x \gamma_B}{\Delta x} = 0,25 \pi d_B^2 \gamma_B,$$

линейная плотность  $T_L$  ее элементарного участка  $\Delta x$  будет  $T_L = T_B n_B = 0,25 \pi d_B^2 \gamma_B n_B$ , откуда  $n_B d_B^2 \gamma_B = T_L / 0,25 \pi$ . Подставив значение  $n_B d_B^2 \gamma_B$  в уравнение (5), получим объемный вес  $\gamma_{Vi}$  участка  $i$  волокнистой ленты через параметр ее линейной плотности  $T_L$ :

$$\gamma_{Vi} = \frac{T_L}{0,25 \pi D_i^2} \text{ или } \gamma_{V0} = \frac{T_L}{0,25 \pi D_{Bx}^2}, \quad (6)$$

где  $\gamma_{V0}$  и  $D_{Bx}$  – объемный вес и диаметр свободного состояния ленты соответственно.

*Связь объемного веса ленты с напряжением сжатия.* Исходя из объемной однородности волокнистой ленты, характеризующей механическими константами упругости, эластичности, пластичности, обладающими одинаковыми значениями в любой ее точке, сделаем следующие допущения:

- зависимость между объемной массой ленты и напряжением сжатия линейны;
- эластические и пластические составляющие деформации сжатия малы;

Объемный вес  $\gamma_{Vi}$  элементарного сечения волокнистой ленты в силовом поле уплотнителя отобразим через отношение элементарной массы волокон  $\Delta M_{Li}$  к их поперечному элементарному объему  $\Delta V_{Li}$ , соответствующего внутреннего профиля уплотнителя  $i$ :

- изменение внутреннего профиля уплотнителя отражает процесс уплотнения волокнистой ленты, который характеризуется относительной деформацией ленты:

$$\varepsilon_D = (D_i - D_{i+1}) / D_i = (1 - D_{i+1} / D_i),$$

где  $D_i$  – диаметр участка сечения ленты до деформации;  $D_{i+1}$  – диаметр участка сечения ленты после деформации;

- изменения объемного веса  $\gamma_{Vi}$  в исследуемых сечениях уплотнителя характеризуются относительным объемным весом  $\varepsilon_\gamma = (\gamma_{Vi+1} - \gamma_{Vi}) / \gamma_{Vi+1}$ , где  $\gamma_{Vi+1}$  – объемный вес участка сечения ленты после деформации;  $\gamma_{Vi}$  – объемный вес участка сечения ленты до ее деформации.

Сжимающее напряжение и объемная масса ленты связаны уравнением:

$$\sigma = P_V(\gamma_V),$$

где  $P_V$  – оператор связи между напряжением и объемной массой. Вид функции  $P_V$ , при удельном давлении в диапазоне 400...1000 Н/м<sup>2</sup> (407,7...1019 кг/м<sup>2</sup>) [2], можно представить функцией  $\sigma(\gamma_V)$ , характеризующей любую физическую точку объема ленты следующего вида:

$$\sigma_i = a \gamma_{Vi} - b, \quad (7)$$

где  $a$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты (постоянны при сжатии и при разгрузке);  $\gamma_{Vi}$  – объемный вес при сжатии.

Физический смысл коэффициентов  $a$  и  $b$  в том, что в свободном состоянии волокнистая лента имеет объемный вес  $\gamma_{V0} = b/a$ . Тогда напряжение в ленте сечения  $i$ , любой стадии уплотнения, будет:

$$\sigma_i = a(\gamma_{Vi} - \gamma_{V0}),$$

где  $a$  – эмпирический коэффициент, зависящий от модуля Юнга, сцепления между волокнами, их упругостью и распрямленностью, влажностью ленты. Из формулы следует, что напряжение соответствует скорости сжатия, которая зависит от изменения объемной массы и характеризует упругие свойства ленты.

Для произвольного сечения статически сила сжатия выражается уравнением:

$$F_{сж.yi} = \int_{S_i} \sigma_i dS,$$

где  $S_i = \pi D_i \Delta x$  – площадь контакта волокнистой ленты с профилем уплотнителя в сечении  $i$ , тогда сила сжатия примет следующий вид:

$$F_{сж.yi} = \sigma_i \pi D_i \Delta x = a(\gamma_{Vi} - \gamma_{V0}) \pi D_i \Delta x. \quad (8)$$

Уравнения сил (2) выразим равенством интегралов  $\int dF_{пр.i} = \mu \int dF_{сж.yi}$ , проинте-

$$r_i = r_{вых} + R_1 - \sqrt{R_1^2 - x_i^2} = r_{вых} + R_1 - R_1 \sqrt{1 - x_i^2/R_1^2}. \quad (11)$$

Представим  $a = x_i^2/R_1^2$ , откуда имеем функцию  $f(a) = \sqrt{1-a}$ , которую разложим в ряд Маклорена. Ограничившись суммой первых двух членов ряда, получим функ-

$$r_i = r_{вых} + R_1 - R_1 \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{x_i^2}{R_1^2} \right) = r_{вых} + \frac{1}{2} \frac{x_i^2}{R_1} \text{ или } D_i = D_{вых} + \frac{x_i^2}{R_1}. \quad (12)$$

гировав его и подставив (8), имеем силу протягивания ленты:

$$F_{пр} = \mu F_{сж.z(y)} = \mu a (\gamma_{Vi} - \gamma_{V0}) \pi D_i \Delta x. \quad (9)$$

Статическая связь силы сжатия с развесом волокнистой ленты в поперечном направлении силового поля внутреннего профиля уплотнителя рассматривается из предположения, что взаимодействие ленты и уплотнителя характеризуется определенным натяжением ленты на выходе из уплотнителя и постоянством внутреннего профиля уплотнителя. Подставив в уравнение (9) выражение (6), приведенное к определенному сечению, получим:

$$F_{пр.i} = \mu a 4 T_L \frac{(D_{вх}^2 - D_i^2)}{D_i D_{вх}^2} \Delta x. \quad (10)$$

*Описание криволинейного профиля внутренней полости уплотнителя.* Внутренний профиль уплотнителя определен радиусом кривизны  $R_1$  и диаметром  $D_i = 2r_i$  окружности (рис. 1-б). Стадии сжатия ленты показаны диаметрами  $D_{вх} = 2r_{вх}$  – начальная и  $D_{вых} = 2r_{вых}$  – конечная.

Геометрический параметр координаты  $x_i$ , при заданном диаметре  $D_{вых} = 2r_{вых}$  выходного отверстия и  $R_1$ , радиус  $r_i = D_i/2$  в любом поперечном сечении уплотнителя имеет следующий вид:

цию  $f(a) \approx 1 - \frac{1}{2} a$ . Подставив в уравнение (11), получим:

Это выражение является математическим описанием геометрии внутреннего профиля уплотнителя, который регламентирует процесс сжатия ленты. Так, при  $x_i = 0$  имеем  $r_i = r_{\text{вых}} = D_{\text{вых}}/2$  и при  $x_i < R_1$  имеем  $r_i^3 \geq r_{\text{вых}}$ .

Условия ограничений характеризуются входным диаметром  $D_{\text{вх}} = 12 \div 20$  мм и выходным диаметром  $D_{\text{вых}} = 2,5 \div 4$  мм волокнистой ленты. Радиальная деформация ленты в уплотнителе происходит от сме-

$$F_{\text{пр},i} = \mu a 4 T_L \frac{D_{\text{вх}}^2 - (D_{\text{вых}} + \frac{x_i^2}{R_1})^2}{(D_{\text{вых}} + \frac{x_i^2}{R_1}) D_{\text{вх}}^2} \Delta x = \mu a 4 T_L \left[ \frac{R_1^2}{(R_1 D_{\text{вых}} + x_i^2)} - \frac{(R_1 D_{\text{вых}} + x_i^2)}{D_{\text{вх}}^2} \right] \Delta x. \quad (13)$$

В уравнении (13)  $R_1 = \text{const}$  и  $D_{\text{вых}}(T_L) = \text{const}$  определяются из конструктивных соображений, а выражение силы протаскивания ленты зависит от координаты  $x_i$  профиля уплотнителя. Очевидно, что в уравнении (13) за величину  $\Delta x$  принимаем длину исследуемого

участка наружных и внутренних слоев волокон по отношению к его профилю и изменяется примерно в три - пять раз. Для компенсации резкого утонения волокнистой ленты применяют два последовательно установленных уплотнителя [3], что обеспечивает утонение продукта на последней стадии не более чем в 1,6 раза.

Подставив в уравнение (10) выражение диаметра  $D_i$  (12) и проведя соответствующие преобразования, получим:

участка уплотнителя, откуда  $x_i = \Delta x$ . Два участка, цилиндрический и воронкообразный, с криволинейным профилем, определяют граничные пределы  $0 \div x_1 + R_1$  уплотнителя и составляют уравнение. Рассмотренное показывает, что сила протаскивания есть сумма элементарных сил:

$$F_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n F_{\text{пр},i}, \quad (i = \overline{1, n} - \text{число элементарных участков}). \quad (14)$$

$$F_{\text{пр}} = \sum_0^{x_1} F_{\text{пр},i} + \sum_{x_1}^{x_1 + R_1} F_{\text{пр},i} = \mu a 4 T_L \left[ x_1 \left( \frac{1}{D_{\text{вых}}} - \frac{D_{\text{вых}}}{D_{\text{вх}}^2} \right) \right]_0^{x_1 = x_1} + (x_1 - x_1) \left( \frac{1}{D_{\text{вых}} + (x_1 - x_1)^2 / R_1} - \frac{D_{\text{вых}} + (x_1 - x_1)^2 / R_1}{D_{\text{вх}}^2} \right) \right]_{x_1 = x_1}^{x_1 = x_1 + R_1}. \quad (15)$$

Полученное есть решение задачи вычисления силы протягивания ленты и при оптимизации внутреннего профиля уплотнителя. Приняв заданные величины  $D_{\text{вых}}$ ,  $R_1$  и  $D_{\text{вх}}$  постоянными, привязанными к определенному конструктивному исполнению воронки, получим решение этой задачи в программной среде MATLAB (рис. 2 – зависимость силы протаскивания от плотности волокнистой ленты).

Оценка усилий протягивания волокнистой ленты только через цилиндрический и криволинейный участки уплотнителя показана соответственно на рис. 2-а и б. Откуда следует, что при использовании уплотнителя в качестве преобразователя линейной плотности волокнистой ленты необходимо учитывать нелинейность его профиля.

*Дополнительные условия задачи.* Зависимость силы протаскивания от плотности

волокнистой ленты  $T_L = 3 \dots 5$  г/м и диаметра калиброванного отверстия уплотнителя  $D_{\text{вых}} = 2 \dots 4$  мм, при длине калибровочных отверстий  $x_1=8$  мм и  $x_1=12$  мм, представлена соответственно на рис. 2-в и г.

Изменение силы протягивания ленты определяется неравномерностью распределения числа волокон в сечении волокнистой ленты по ее длине и коэффициентом трения. Необходимо также отметить, что указанные факторы влияния в модели

функции преобразования из-за сложности их теоретического вывода определяются эмпирическим путем. Одновременно требуется осуществить исследования динамической составляющей процесса протягивания волокнистой ленты, характеризуемое временем прохождения рабочей зоны уплотнителя, которое составляет сотые и тысячные доли секунды, что имеет важное значение при высоких скоростях выпуска ленточной машины.

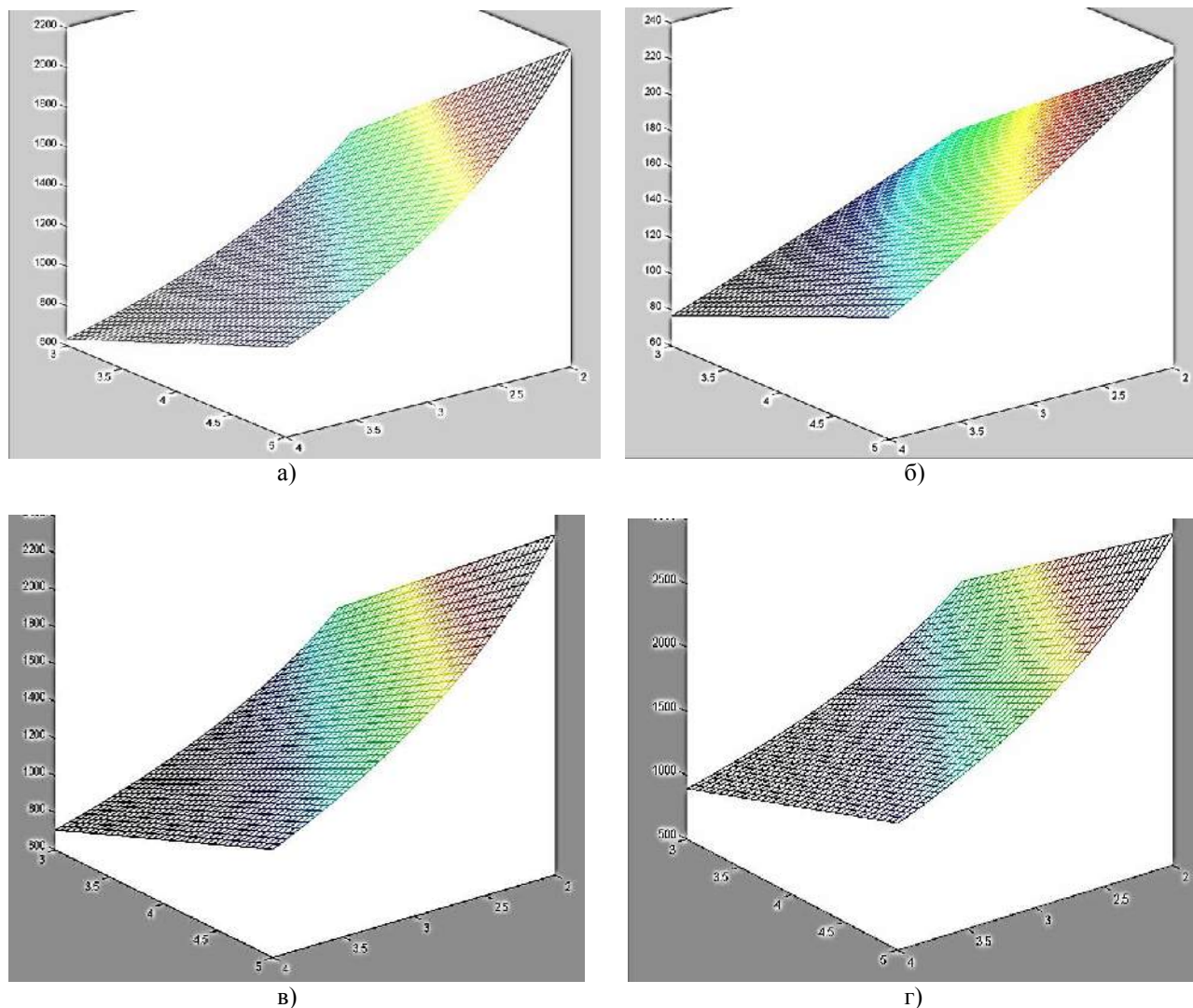


Рис. 2

## ВЫВОДЫ

1. Разработана модель процесса протягивания волокнистой ленты через уплотнительный элемент.

2. Исследована функция преобразования линейной плотности ленты в зависи-

мости от усилия ее протягивания через уплотнительный элемент.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев В.С., Волков В.В., Бочков А.М., Бурков В.В. К вопросу моделирования вытеснения воздуха из объемной волокнистой ленты при ее

сжатии //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, № 1. С.141...146.

2. *Балясов П.Д.* Сжатие текстильных волокон в массе и технология текстильного производства – М. : Легкая индустрия, 1975.

3. *Никифоров О.М.* Влияние уплотнения ленты на распрямленность волокон //Изв. вузов. Техноло-

гия текстильной промышленности. – 1969, № 2. С.48.

Рекомендована кафедрой технологии машиностроения. Поступила 20.03.15.

УДК 677.6:658

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В ПОСТРОЕНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 3D-ПРЕФОРМ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАДАНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

### **NONWOVEN MATERIALS BREAKING LOAD PREDICTION ON BASIS OF THEIR GEOMETRIC STRUCTURE MATHEMATICAL MODELING**

*А.М. КИСЕЛЕВ*  
*А.М. KISELYOV*

(Костромской государственной технологической университет)  
(Kostroma State Technological University)  
E-mail: info@kstu.edu.ru

*На основе современных направлений развития индустрии композиционных материалов разработана концептуальная модель построения автоматизированных систем прогнозирования их физико-механических свойств. Приведено описание возможной реализации предлагаемого подхода. Приведены результаты моделирования геометрической структуры для тканых и нетканых материалов, доказывающие возможность практического применения разработанной концепции моделирования структур различных материалов как на уровне нити, так и на уровне волокон.*

*Based on current trends in the development of composite materials industry developed a conceptual model for building automated systems predict their physical and mechanical properties. The description of possible implementation of the proposed approach. Simulation results for the geometric structure of woven and nonwoven materials, indicating the possibility of practical application of the developed concept of modeling structures of various materials at the level of the thread and at the level of the fibers.*

**Ключевые слова:** композиционные материалы, прогнозирование, математическое моделирование, программное обеспечение.

**Keywords:** composite materials, forecasting, simulation, software.

Любое направление деятельности, особенно инновационной, начинается с обоснования актуальности решаемой задачи. В таком аспекте развития технологий производства композиционных материалов ак-

туальность данной задачи подтверждена президентом РФ. Если рассматривать проблему актуальности интенсификации индустрии композиционных материалов с технической стороны, то можно говорить,

что на сегодняшний день существуют следующие принципиально новые преимущества таких материалов.

Предел прочности стали 45 составляет 0,6 ГПа, высокопрочного чугуна до 1 ГПа, предел прочности неорганических волокон до 3...6 ГПа. Таким образом, прочностные свойства текстильных неорганических волокон приближены к механическим свойствам металлов и даже превосходят их. Плотность текстильных неорганических волокон 1,0...2,25 г/см<sup>3</sup>, плотность стали 45 составляет 7,8 г/см<sup>3</sup>. Следовательно, изделие из неорганических волокон будет весить до 8 раз легче, чем из металла.

Существенно меняется технология получения заданной детали. В настоящее время детали из композиционных материалов получают по препреговой технологии (существует и множество других), которая предусматривает две основные стадии изготовления детали – изготовление преформы (приближенное получение заданной формы детали из текстильных высокопрочных нитей по различным текстильным технологиям) и последующей пропитки преформы связующим элементом для формирования заданных контуров детали. Далее предусматривается размерная лезвийная обработка пропитанной преформы для получения заданных размеров детали. Такая технология обладает огромным преимуществом вследствие малого количества отходов при изготовлении детали. Данное обстоятельство существенно снижает цену продукции и повышает ее конкурентоспособность.

Традиционная технология обработки детали из отливки лезвийным инструментом существенно дороже.

Рассмотрим перспективу снижения цены на углеродное волокно на мировых рынках. Первое углеродное волокно стоило 300...400\$ за кг, в настоящее время его стоимость доходит до 45\$ за кг. Сейчас углеродное волокно все-таки продукция элитная и применяется в основном в оборонной и авиационной промышленности, а также для изготовления различных деталей дорогих и престижных автомобилей. При существенном снижении цены на уг-

леродное волокно его применение будет носить массовый характер.

Существует возможность получения заданных физико-механических потребительских свойств деталей из композиционных материалов за счет применения различного сочетания текстильных волокон и нитей, состава связующего и технологии пропитки связующим. (Возможность получения полимер-композиционных материалов (Г1КМ), углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) и углерод-керамических композиционных материалов (УККМ)). Такая возможность дает перспективу применения композиционных материалов практически в любой отрасли промышленности для любых условий эксплуатации деталей из них.

Самой первой задачей, которая встает при проектировании нового изделия, является подбор необходимого состава композиционного материала для изготовления заданной детали и проверки ее работоспособности при заданных эксплуатационных нагрузках.

Объективные причины сложности моделирования реальной структуры текстильных материалов следующие.

1. Фактор формы нитей и волокон. (Отношение L/D составляет > 103). Невозможно использовать CAD-системы в режиме интерактива.

2. Необходимость учета материаловедческих аспектов текстильных материалов (переменный диаметр по длине нити, различные формы поперечного сечения, крутка нити и т.д.).

3. Огромное многообразие технологий получения текстильных материалов, (ткачество, трикотаж, вязание, плетение и др.). Структура текстильного материала будет определяться технологией ее изготовления и всегда будет различна.

4. Существенная зависимость структуры будущего материала от режимов работы оборудования.

5. Применение комбинированных нитей для производства текстильного материала (совокупность нескольких нитей, имеющих разные свойства).

6. Учет натяжения нитей структуры текстильного материала (предварительно напряженная конструкция).

7. Вероятностный характер получения структуры текстильного материала вследствие динамики системы станок – нить.

8. Случайный характер распределения волокон в текстильном материале (нетканые полотна).

9. Нестабильностью физико-механических свойств нити по длине.

Кроме выработки перспективной концепции моделирования реальной структуры композита необходимо учитывать и возможность его программной реализации, поскольку разработка оригинального ПО долгосрочный и дорогостоящий процесс. Для этого проведем краткий обзор имеющегося ПО в настоящее время по данному вопросу.

Отечественное ПО на сегодняшний день не является конкурентным по своим функциональным возможностям и не нашло широкого применения в промышленности.

Отметим, что наиболее распространенными системами, которые моделируют структуру и свойства композиционных материалов и успешно применяются в авиационной и оборонной промышленности, являются: NX, MSCNASTRAN, Teamcenter, CATIA, FIBERSIM и ANSYS. Для моделирования структуры композита представляет интерес ПО DIGIMAT компании CompMechLab® Ltd. Данный продукт позволяет моделировать структуру полимерного композита, армированного волокнами. Компания ANSYS разработала специальный модуль CompositePrepPost для моделирования многослойных композитов.

Задача выбора программного обеспечения проектирования и расчета композиционных материалов сложна и зависит от множества факторов и вида производства, однако можно сформулировать некоторые основные принципы или рекомендации для его выбора для композиционных материалов.

1. Универсальность программной системы для решения широкого круга мультифизических и связанных задач с целью решить большинство задач в одном расчетном пакете.

2. Связь форматов выходных данных выбранной системы проектирования с широко известными CAD/CAM/CAE-системами для передачи в них промежуточных данных и выполнения дальнейших расчетов.

3. Доступный уровень технической поддержки выбранной системы.

4. Возможность ввода в систему новых типов конечных элементов типа UserDefine.

5. Наличие в системе внутреннего языка описания объекта (ЯОО) для возможности формирования задачи пользователя вне зависимости от основного программного модуля.

6. Четкое разграничение функционального назначения выбираемого ПО – производственное (PLM) или научное (Research).

7. Выбор производственной PLM-системы зависит от большого числа факторов и определяется подходами технологического форсайтинга.

Исходя из указанных выше требований в Костромском государственном технологическом университете (ФГБОУ ВПО КГТУ) разработаны методики построения структуры текстильных материалов, близких к реальной структуре [1...5].

Методика построения структуры текстильных материалов, близких к реальной структуре, представлена на рис. 1.

На рис. 2. представлены примеры моделирования сложной трехмерной структуры на основе нити и нетканого материала Холлофайбер Софт 70 г/м<sup>2</sup> P5190.

Приведенные примеры моделирования структуры реального материала доказывают широкую универсальность предлагаемых подходов как для материалов с регулярной упорядоченной структурой, состоящей из нитей, так и для материалов со случайным распределением отдельных волокон.



Рис 1

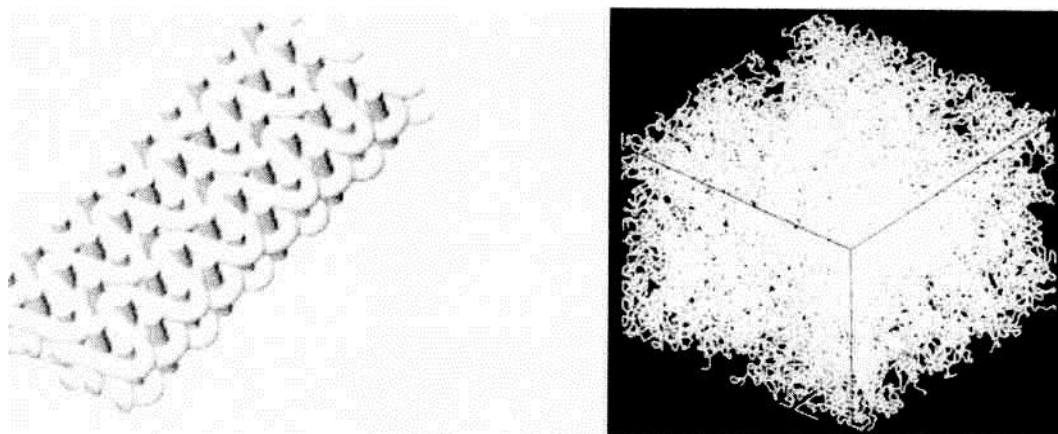


Рис. 2

## ВЫВОДЫ

1. Разработана концепция построения автоматизированных систем проектирования 3D преформ и прогнозирования заданных свойств композиционных материалов.

2. Приведены примеры моделирования структур материалов, состоящих из нитей с регулярной структурой, и волокон со случайным распределением по объему, доказывающие возможность и перспективность предложенной концепции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев А.М. Моделирование структуры и деформационных свойств волокнистых холстов: Дис.... канд. техн. наук. – Кострома, КГТУ, 2012.

2. Киселев М.В., Бенецкая В.В., Селиверстов В.Ю., Киселев А.М., Рудовский П.Н. Моделирование структуры тканей // Изв. вузов. Технология

текстильной промышленности. – 2013, №3. С.23...28.

3. Бенецкая В.В., Киселев М.В., Киселев А.М. Объектное представление модели 3D-ткани // Сб. мат. Межвузовск. научн.-техн. конф. аспирантов и студентов: Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК - 2013). Часть 1. – Иваново, 2013.

4. Киселев М.В., Трещалин К.М. Конкурентоспособные композиты для оборонных и гражданских секторов экономики России // Актуальные проблемы социально-экономического развития России. Научно-аналитический журнал. – 2012, №4. С. 31...34.

5. Киселев М.В., Трещалин Ю.М. Создание и исследование композиционных материалов на основе нетканых полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №2. С.95...100.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 26.03.15.



## О ПРИМЕНЕНИИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

### ON THE APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGY IN GAS-DYNAMIC PROBLEMS

*И.Ф. ЯСИНСКИЙ, Ф.Н. ЯСИНСКИЙ*  
*I.F. YASINSKIY, F.N. YASINSKIY*

(Ивановский государственный энергетический университет)  
(Ivanovo State Power University)  
E-mail: igor2266@yandex.ru

*Решение газодинамических задач, содержащих различные тонкие структуры (ударные волны, пограничные слои, следы, струи и т.д.), а также области, течение в которых описывается различными моделями турбулентности с помощью традиционных сеточных методов, весьма затруднительно. Указанные задачи предлагается решать, используя нейросетевую технологию, в аналитическом и сеточно-аналитическом виде посредством стохастической оптимизации. Предлагаемая методика демонстрируется на задачах о перемешивании струй. Численные эксперименты показали ряд преимуществ такого подхода: сокращение затрат машинного времени, хорошую точность, соединение лоскутной картины течения в единое целое.*

*Solution of gas-dynamics problems containing different fine structures (shock waves, boundary layers, traces, jets, etc.) as well as areas within which the flows are described by different models of turbulence by traditional grid methods is quite difficult. These tasks are encouraged to address, using neural network technology in the analysis and grid-analytical form by stochastic optimization. The proposed method is demonstrated on the problems of mixing jets. Numerical experiments have shown several advantages of this approach: reducing the cost of computer time, good accuracy, the connection patchy pattern of flow in a single unit.*

**Ключевые слова:** модели турбулентности, случайный поиск, нейросетевая интерполяция, объединение имитационных и динамических моделей, несеточные методы для полевых задач.

**Keywords:** turbulence model, random search, neural network interpolation, association of dynamic and simulation models, non-grid methods for field problems.

При решении задач механики сплошной среды, содержащих различные тонкие структуры: пограничные слои, ударные волны, следы, точки отрыва, зоны действия различных полуэмпирических моделей турбулентности, существенную помощь может оказать применение нейросетевой технологии.

Сущность предлагаемой вычислительной технологии удобно продемонстрировать на задачах о перемешивании сверхзвуковых струй. Такие задачи возникают, например, при разработке мощных газовых лазеров на перемешивании. На рис.1 (поперечный вдув реагирующих сред: а) – схема; б) – конструктивное решение; 1 – основной скачок; 2 – косой скачок; 3 – за-

мыкающий скачок; 4 – скачок в месте излома скачкообразного; 5, 6 – бочкообразный скачок (внутри струи); 7 – центральный скачок (диск Маха); 8 – скачок, образующийся при натекании на стенку потока, обогнувшего струю;  $l$  – длина зоны отрыва;  $h_7$  – расстояние до центра диска Маха;  $d_m$  – диаметр бочкообразного скачка;  $d_a$  – диаметр отверстия вдува) и рис. 2 (продольный вдув реагирующих сред: а) – схема; б) – конструктивное решение; X1, X2 – турбулентные пограничные слои; X3, X4 – течения на входе в камеру перемешивания; X5 – пограничный слой между струями; X6, X8 – ударные волны; X7, X9 – области

взаимодействия ударных волн с турбулентными пограничными слоями; X10 – область действия К-Е модели турбулентности; X11 – область действия модели А.Н.Секундова) показаны схемы с поперечным и продольным вдувом реагирующих сред и соответствующие их конструктивные решения. Очевидно, что картины течений весьма сложны. Они включают в себя различные тонкие структуры: ударных волн, пограничных слоев и областей их взаимодействия. Кроме того, можно указать подобласти, в которых предпочтительны различные полуэмпирические модели турбулентности.

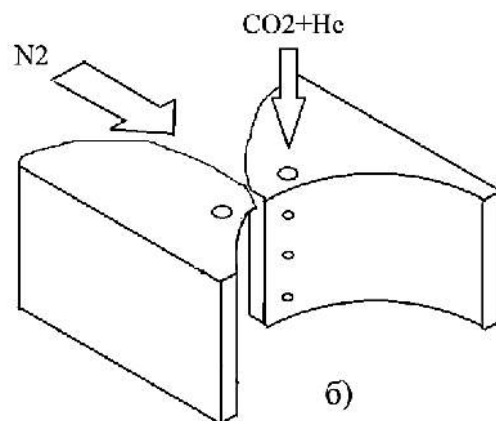
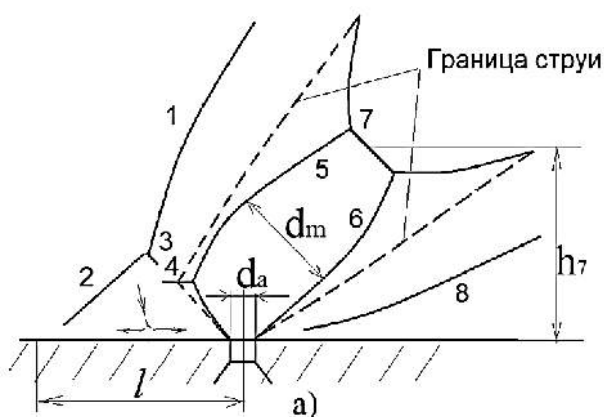


Рис.1

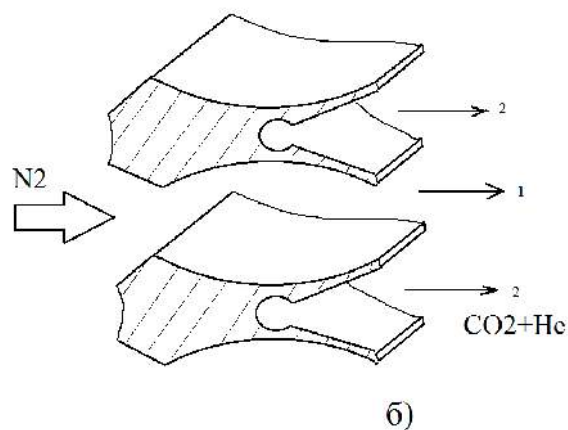
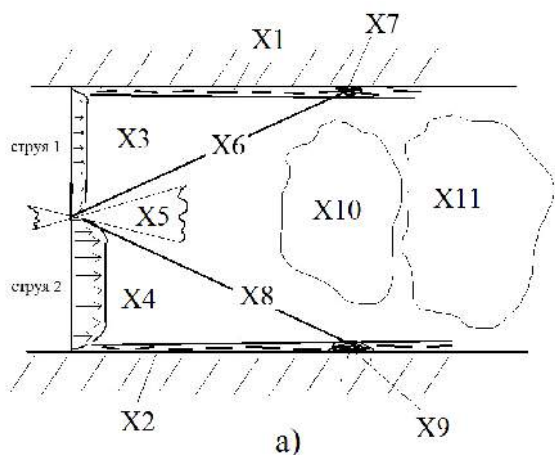


Рис. 2

Как хорошо известно, решение таких задач с помощью чисто сеточных методов затруднительно. Действительно, вблизи твердых стенок турбулентную вязкость удобно вычислять с помощью формул Прандтля и Сполдинга. Здесь и далее при-

нято правило А.Эйнштейна записи полевых дифференциальных уравнений:

1) индекс после запятой означает производную по соответствующей координате;

2) по дважды повторяющемуся индексу выполняется суммирование, хотя знак суммы не указан;

3)

$$v_t = \ell^2 \sqrt{(u_{1,2})^2 + (u_{2,1})^2}, \quad (1)$$

где  $\ell$  – длина пути перемешивания:

$$\ell = kL_{\min};$$

$k=0,41$  – константа Кармана;  $L_{\min}$  – наименьшее расстояние до ближайшей твердой поверхности. Найти  $v_t$  на начальных участках струй тоже несложно. Но вот в области перемешивания струй приходится прибегать либо к К-Е модели:

$$\begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial t} + u_i K_{,j} &= \left( \frac{v}{\sigma_K} K_{,j} \right)_{,j} + S_K, \\ \frac{\partial E}{\partial t} + u_i E_{,j} &= \left( \frac{v}{\sigma_E} E_{,j} \right)_{,j} + S_E, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} S_K &= v_m D - E, \quad S_E = (C_1 D - C_2 E) E / K, \\ D &= (u_{i,j}(u_{i,j} + u_{j,i}))^{1/2}, \\ v &= v_t + v_m, \\ v_t &= C_\mu K^2 / E. \end{aligned}$$

Здесь  $v_m$ ,  $v_t$ ,  $v$  – молекулярная, турбулентная и полная кинематические вязкости;  $K$ ,  $E$  – кинетическая энергия пульсаций и скорость их диссипации;  $\sigma_K$ ,  $\sigma_E$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_\mu$  – полуэмпирические постоянные.

Либо применяется модель Г.Н. Абрамовича и А.Н. Секундова:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_t}{\partial t} + u_j v_{t,j} &= \left( (v_m + \kappa v_t) v_{t,j} \right)_{,j} + \\ + v_t f \left( \frac{v_t}{8v_m} \right) D - \gamma L_{\min}^{-2} (v_m + \beta v_t) v_t, \end{aligned} \quad (3)$$

$$f(z) = 0,2 \frac{z^2 + 1,47z + 0,2}{z^2 - 1,47z + 1};$$

где  $\kappa$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  – эмпирические константы.

Наиболее сложными являются области взаимодействия ударных волн с турбулентными пограничными слоями. Предлагается данную пеструю картину течений собрать в одно целое с помощью следующей нейросетевой технологии.

Выделим области  $X_s$ ;  $S = 1, 2, \dots, N$ , каждая из которых характеризуется своей очевидной спецификой (ударная волна, турбулентность

определенного типа, пограничный слой струи, зона взаимодействия ударной волны и пограничного слоя и т.д.) Каждая из указанных областей  $X_s$  фиксируется множеством сигнальных точек  $\vec{X}_{sr}$ ;  $r = 1, 2, \dots, N_s$ ;  $N_s$  – число сигнальных точек в области  $X_s$ . Для каждой области  $X_s$  вводится потенциал Э.М. Бравермана:

$$\varphi_S(\vec{x}) = \sum_{r=1}^{N_s} \|\vec{x} - \vec{X}_{sr}\|^{-m_s}, \quad (4)$$

где  $m_s$  – положительная величина,  $m_s > 1$ .

Если произвольная точка  $\vec{x}$  попадает в область  $X_s$  или приближается к ней, то потенциал  $\varphi_S$  возрастает или принимает наибольшее значение. Отметим, что в (4) нужно ввести некоторую малую константу для защиты от нуля в знаменателе. Для каждой области  $X_s$  вводится своя нейронная функция, например, такая:

$$g_S(\vec{x}) = \frac{1 - \exp(-\alpha_S \varphi_S(\vec{x}))}{1 + \exp(-\alpha_S \varphi_S(\vec{x}))}, \quad (5)$$

которая обращается в число, близкое к единице в области  $X_s$ , и стремится к нулю вне ее.

Быстрота перехода  $g_S(\vec{x})$  от единицы к нулю регулируется постоянными  $m_s$ ,  $\alpha_s$ .

Теперь турбулентную вязкость во всей изучаемой области можно вычислить как:

$$v_t = \sum_{S=1}^N g_S v_{tS}. \quad (6)$$

Нейронная интерполяция восполнит значение  $v_t$  для тех областей, для которых в настоящее время нет соответствующей полуэмпирической модели.

Аналогичную технологию легко распространить на определение положения ударных волн, удовлетворение граничных условий и т.д. Поскольку решения представляются в аналитическом виде, то отпадает надобность в дроблении шагов сетки в местах резких переходов. Это обеспечивается с помощью свойств нейронных функций  $g_S$ . Пусть система уравнений газодинамики представлена:

$$F(\vec{x}, U(\vec{x})) = 0, \quad (7)$$

где  $F$  – некоторые нелинейные операторы;  $U(\vec{x})$  – искомые поля;  $\vec{x}$  – точка из области  $\Omega$  реального пространства, где рассматривается процесс.

К уравнениям (7) присоединяются граничные условия:

$$f(U)|_{\Gamma} = f_{\Gamma}(x'), \quad (8)$$

где  $\Gamma$  – граница  $\Omega$ ;  $x' \in \Gamma$ ,  $f$  – граничные операторы.

Будем искать решение в виде конструкций

$$U(\vec{x}) = \Phi(\vec{x}, A) = \sum_{s \in \Omega} / g_s(\vec{x}, \alpha_s, m_s) U_s(\vec{x}, \beta). \quad (9)$$

Здесь  $U_s$  – частные решения для различных подобластей  $X_s$ ;  $A \equiv (\alpha_s, m_s, \beta)$  – свободные константы, от подбора которых зависит качество приближения.  $U_s$  могут быть как аналитическими, так и сеточными приближениями. Желательно при конструировании  $\Phi(\vec{x}, A)$  удовлетворить граничные условия. Это можно сделать с помощью уже указанных нейронных функций  $g_s$ . В области  $\Omega$  выбирается система контрольных узлов. Каждый такой узел представляет из себя основную точку, окруженную системой дополнительных.

В каждом узле при произвольных, но конкретных параметрах  $A$  можно вычислить значения полей  $U_s$  и найти все необходимые частные производные разностным способом.

Отметим, что не следует отождествлять такое вычисление производных с традиционным методом сеток. Контрольные узлы могут отстоять друг от друга на значительном расстоянии, а вспомогательные точки сосредоточены вблизи основной центральной, что обеспечивает высокую точность и не влияет на устойчивость вычислений. В контрольных узлах при любых  $A$  вычисляются невязки  $F$  для уравнений:

$$F_i(\vec{x}_j, A) = F(\vec{x}_j, \Phi(\vec{x}_j, A)), i = 1, 2, \dots, N. \quad (10)$$

Из них строится мера близости  $Q(A)$  приближенного решения к точному. Например, в таком виде:

$$Q(A) = \sum_{i=1}^{\bar{N}} \sum_{j=1}^M \gamma_i |F(\vec{x}_j, A)|^{p_i}, \quad (11)$$

где  $p_i > 0$ ;  $\bar{N}$  – число невязок;  $\gamma_i$  – их веса;  $M$  – количество контрольных узлов. Их значительно меньше, чем число узлов в сеточном методе. Возможны и иные конструкции для меры близости. За оптимальные значения параметров  $A$  принимаются такие значения  $A^*$ , которые доставляют минимум целевой функции  $Q(A)$ .

В качестве инструмента минимизации используется метод случайного поиска в форме, предложенной нами в [3]. Важное достоинство случайного поиска в способности выходить из локальных минимумов, а также его нечувствительности к негладкостям поверхности  $Q(A)$ .

#### Замечание.

Для определения положения ударных волн и зон их взаимодействия с турбулентными пограничными слоями удобно уравнение неразрывности брать в следующем виде:

$$\dot{\rho} + (\rho u_i)_{,i} = \sigma \rho_{,ii}, \quad (12)$$

где  $\sigma$  – константа, позволяющая размазать ударную волну, увеличив ее толщину. Полученное поле  $\rho$  затем аппроксимируется поверхностью  $Y(x)$  с помощью соответствующих нейроконструкций. В процессе итераций параметр  $\sigma$  уменьшается, а ударная волна обостряется. С помощью такой конструкции удается промоделировать зону взаимодействия ударной волны с турбулентным пограничным слоем.

С помощью нейроаппроксимации граничные условия удовлетворяются автоматически. Если это не удастся, то в меру близости  $Q$  вводятся штрафные функции.

## ВЫВОДЫ

Предлагаемая методика решения газодинамических задач, основание которой было положено в трудах акад.

Г.И. Петрова и его школы, может быть распространена на широкий круг задач, где традиционные сеточные подходы сталкиваются с существенными трудностями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Головки В.А.* Нейронные сети: обучение, организация и применение. – М.: Радиотехника, 2001.
2. *Солоухин Р.И., Фомин Н.А.* Газодинамические лазеры на смешение. – Минск: Наука и техника, 1984.

3. *Ясинский И.Ф., Ясинский Ф.Н.* Усовершенствованный случайный поиск// Вестник ИГЭУ. – 2004, №3.С.47...48.

4. *Конторович Л.В., Крылов В.И.* Приближенные методы высшего анализа. – М.: Гос. изд-во физико-матем. лит-ры, 1962.

Рекомендована кафедрой высокопроизводительных вычислительных систем. Поступила 03.03.15.

---

УДК 677.66

**КОМПРОМИССНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ  
БИОАКТИВНОГО ТРИКОТАЖА**

**COMPROMISE SOLUTION OF THE PROBLEM OF CONDITIONAL  
OPTIMIZATION**

*О.А. ГОНЧАРОВА, В.П. ЩЕРБАКОВ*  
*O.A. GONCHAROVA, V.P. SHCHERBAKOV*

(Московский государственный университет дизайна и технологии)  
(Moscow State University of Design and Technology)  
E-mail: oxigon@yandex.ru

*Получено компромиссное решение задачи оптимизации свойств биоактивного трикотажа. Нелинейное программирование сведено к линейному путем линеаризации целевой функции и ограничений. Линеаризация проведена представлением нелинейной функции отрезком ряда Тейлора. Дано графическое и численное решение.*

*The compromise solution of a problem of optimization of properties of bioactive jersey is received. Nonlinear programming is reduced to linear by linearization of criterion function and restrictions. Linearization is carried out by representation of nonlinear function by a piece of a number of Taylor. The graphic and numerical decision is given.*

**Ключевые слова:** нелинейное программирование, целевая функция, многокритериальная оптимизация, ограничения, нелинейная схема компромиссов.

**Keywords:** nonlinear programming, criterion function, many and criteria optimization, restrictions, nonlinear scheme of compromises.

Задачи оптимизации в различных предметных областях обычно сводятся к поиску экстремума целевой функции, ограниченной условиями, наложенными на аргументы. Для решения таких задач привлекается аппарат математического программирования.

Задачей работы является найти такое значение аргумента оптимизации  $x$ , при котором требование минимизации целевой функции и выполнения ограничений удовлетворяются компромиссно. В данной задаче целевой функцией является поверхностная плотность биоактивного трико-

тажного полотна, а ограничения – воздухопроницаемость и влагоотдача [1]:

$$y = -45,66x^2 + 14,3x + 225,86, \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (1)$$

$$y_1 = -86,66x^2 + 124x + 166,66, \quad (2)$$

$$y_2 = 45,5x^2 - 47,35x + 66,05. \quad (3)$$

Покажем функции (1)...(3) графически (рис. 1 – визуализация функций):

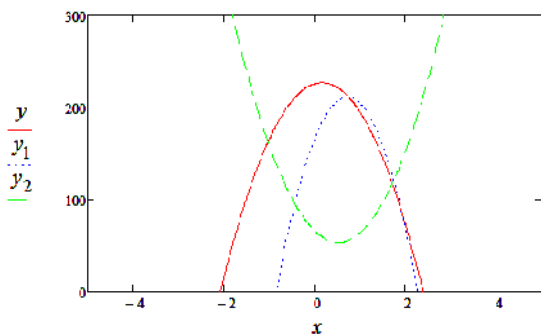


Рис. 1

В рамках данной работы задача решается графическим методом, где решение осуществляется на бумаге, а также в среде MathCAD методом Монте-Карло. Сущность этого метода заключается в том, что он позволяет строить не границы области допустимых значений, а отображать внутренние точки области оптимизации и за счет их отображения, и в зависимости от количества заданных нами точек, мы можем на графике увидеть образовавшуюся область оптимизации.

Для начала преобразуем нелинейную задачу оптимизации в линейную. Линеаризация проведена представлением нелинейной функции отрезком ряда Тейлора:

$$f(x) = f(x^{(k)}) + f'(x^{(k)})(x - x^{(k)}). \quad (4)$$

Найдем производную целевой функции и ограничений и определим экстремум  $x^*$ :

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -91,334x^* + 14,3 = 0, \quad x^* = 0,157; \quad (5)$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial x} = -173,334x^* + 124 = 0, \quad x^* = 0,715; \quad (6)$$

$$\frac{\partial y_2}{\partial x} = 91x^* - 47,35 = 0; \quad x^* = 0,52. \quad (7)$$

Найденный  $x^*$  подставим в целевую функцию и ограничения, чтобы найти точку экстремума  $y_{\text{extr}} = 226,986 \frac{\Gamma}{\text{м}^2}$ ,

$$y_{\text{extr1}} = 211,021 \frac{\text{дм}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}, \quad y_{\text{extr2}} = 53,731\%.$$

Далее зададимся численными значениями  $x_k = 0,73$ ,  $x_{k1} = 0,94$ ,  $x_{k2} = 0,7$  и проведем линеаризацию, подставив эти точки в целевую функцию и ограничения и их производные:

$$y_L = y_k + \frac{\partial y}{\partial x}(x - x_k), \quad y_L = -52,37x + 250,2; \quad (8)$$

$$y_{L1} = y_{k1} + \frac{\partial y}{\partial x}(x - x_{k1}), \quad y_{L1} = -38,93x + 243,25; \quad (9)$$

$$y_{L2} = y_{k2} + \frac{\partial y}{\partial x}(x - x_{k2}), \quad y_{L2} = 16,35x - 43,755. \quad (10)$$

Таким образом, задача принимает вид:

$$y = -45,667x^2 + 14,3x + 225,867, \quad 0 \leq x \leq 1; \quad (11)$$

$$-52,37x + 250,2 \leq 226,986; \quad (12)$$

$$-38,93x + 243,25 \leq 211,021; \quad (13)$$

$$16,35x - 43,755 \geq 53,731. \quad (14)$$

Полученные результаты визуализируем с помощью рис. 2 (графическое изображение области допустимых решений).

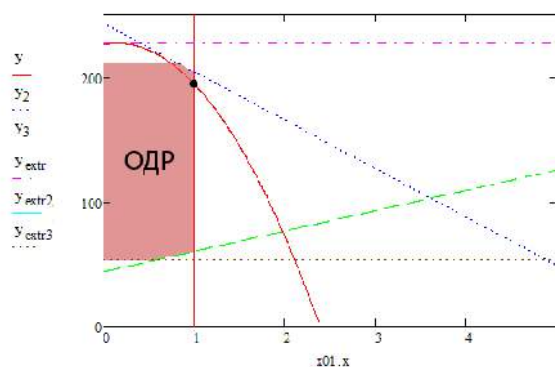


Рис. 2

Как видно из графика, область допустимых решений (ОДР) существует.

Теперь рассмотрим метод Монте-Карло в среде MathCAD [2].

Вводятся функции для обеих частей неравенств:

$$\begin{aligned} f_{01}(x) &= -52,37x + 250,20; & f_{02} &= 226,98; \\ f_{11}(x) &= -38,93x + 243,24; & f_{12} &= 211,02; \\ f_{21}(x) &= 16,35x + 43,75; & f_{22} &= 53,73. \end{aligned}$$

Задается число генеральных точек  $m := 5000$ , а также границы для изменения  $x$  ( $a_1 := 0$ ,  $a_2 := 1$ ) для получения случайного равномерно распределенного вектора на интервале  $a_1 \leq x_1 \leq a_2$  с помощью функции `runif`.

Далее с помощью среды программирования MathCAD определяются точки ОДР.

```

D := | minValArg ← 0      - минимальное значение аргумента
     | maxValArg ← 0      - максимальное значение аргумента
     | minValFuncMax ← 0  - максимальное значение ОДР для найденного минимума в точке  $x_1$ 
     | maxValFuncMin ← 0  - минимум значение ОДР для найденного максимума в точке  $x_1$ 
     | minValFunc ← 1000000 - минимальное значение ОДР в точке  $x_1$ 
     | maxValFunc ← -1000000 - максимальное значение ОДР в точке  $x_1$ 
     | j ← 1      - начальное значение счётчика точек ОДЗ
     | for i ∈ 1..m - ЦИКЛ
     |   | maxUp ← max(f21(x1), f22) - максимальное из значений среди
     |   |   | функций смотрящих в верх в точке  $x_1$ 
     |   | minDown ← min(f01(x1), f11(x1), f02, f12) - минимальное из значений среди
     |   |   | функций смотрящих вниз в точке  $x_1$ 
     |   | if maxUp ≤ minDown - условие ОДР
     |   |   | if maxUp < minValFunc - поиск минимума ОДР
     |   |   |   | minValArg ← x1
     |   |   |   | minValFunc ← maxUp
     |   |   |   | minValFuncMax ← minDown
     |   |   | if minDown > maxValFunc - поиск максимума ОДР
     |   |   |   | maxValArg ← x1
     |   |   |   | maxValFunc ← minDown
     |   |   |   | maxValFuncMin ← maxUp
     |   |   | j ← j + 1
     |   |   | p1j ← x1
     |   |   | p2j ←  $\frac{\text{mod}(j, 250)}{50}$ 
     |   |   | p3j ← i
     |   | D ← (p1 p2 p3 minValArg minValFunc minValFuncMax maxValArg maxValFunc maxValFuncMin)
     |   | - вывод результата

```



$D = (\{5001,1\} \{5001,1\} \{5001,1\} 1.268 \times 10^{-3} 53.731 211.021 1.268 \times 10^{-3} 211.021 53.731)$   
 - матрица, состоящая из векторов и из результирующих значений

$D_{_x} := D_{1,1}$      $D_{_j} := D_{1,2}$      $D_{_i} := D_{1,3}$     - извлечение вектора из матрицы ОДЗ

$\minValArg = D_{1,4}$      $\minValArg = 1.268 \times 10^{-3}$  - извлечение значения аргумента, в котором ОДР минимален (максимум ОДЗ)

$\minValFunc = D_{1,5}$      $\minValFunc = 53.731$  - извлечение минимального значения ОДР

$\minValFuncMax = D_{1,6}$      $\minValFuncMax = 211.021$  - извлечение верхней границы ОДР для точки, в которой найден минимум ОДР

$\maxValArg = D_{1,7}$      $\maxValArg = 1.268 \times 10^{-3}$  - извлечение значения аргумента, в котором ОДР максимален (минимум ОДЗ)

$\maxValFunc = D_{1,8}$      $\maxValFunc = 211.021$  - извлечение максимального значения ОДР

$\maxValFuncMin = D_{1,9}$      $\maxValFuncMin = 53.731$  - извлечение нижней границы ОДР для точки, в которой найден максимум ОДР

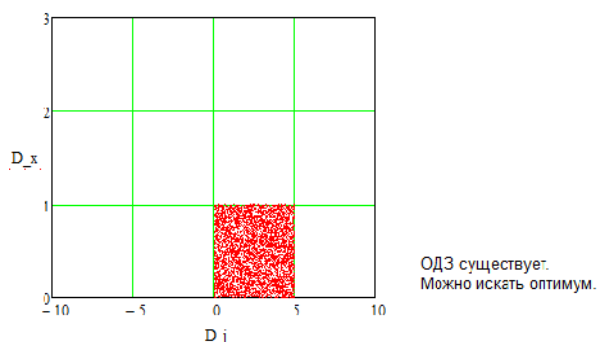


Рис. 3

На рис. 3 представлена визуализация ОДЗ.

Далее переходим к численному решению нелинейной задачи (проверка решения задачи). Данный пункт можно рассчитать с помощью функции Minimize в среде программирования MathCAD. В результате получим  $X_{\min} = 1$ ,  $Y_{\min} = 194,5 \text{ г/м}^2$ .

Следовательно, максимальная поверхностная плотность составляет  $194,5 \text{ г/м}^2$ , что входит в допустимые пределы.

## ВЫВОДЫ

1. Разработан модуль автоматизированной визуализации задачи линейного и нелинейного программирования с нелинейной целевой функцией и линейными ограничениями на основе использования метода Монте-Карло и показана эффективность его использования для задач нелинейного программирования.

2. Численным методом найден минимум целевой функции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гончарова О.А., Щербаков В.П., Школа Н.Н. Автоматизированные экспериментальные исследования трикотажного полотна комбинированной структуры методом расчета коэффициентов функциональных математических моделей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №2. С. 148...152.

2. Севостьянов А.Г., Севостьянов П.А. Оптимизация механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: Легпромбыт-издат, 1991.

Рекомендована кафедрой механических технологий волокнистых материалов. Поступила 29.09.14.

**БОРИСУ БОРИСОВИЧУ СТРОГАНОВУ 75 ЛЕТ**

**BORIS BORISOVICH STROGANOV IS 75 YEARS OLD**

7 мая 2015 года исполнилось 75 лет Борису Борисовичу Строганову – профессору, доктору технических наук, Заслуженному работнику высшей школы, заведующему кафедрой технологии тканей и трикотажа Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского, заместителю главного редактора нашего журнала, академику МАИ.



Профессор Б.Б.Строганов родился в семье потомственных текстильщиков. Его прадед и дед работали главными механиками на фабрике "Дербенев и сыновья" в г. Иваново-Вознесенске. Отец – аспирант Московского текстильного института – погиб на фронте в 1942 году.

Вся трудовая деятельность Бориса Борисовича связана с текстильной промышленностью, текстильным образованием и наукой.

Свою трудовую деятельность Б.Б. Строганов начал в 1958 году, работал фрезеровщиком, ремонтировщиком, помощником мастера на Московском трикотажном комбинате и одновременно учился в Московском текстильном институте.

Окончив в 1966 году Московский текстильный институт, Б.Б. Строганов был оставлен ассистентом на кафедре технологии трикотажного производства. С 1971 по 1974 гг. он учился в дневной аспирантуре МТИ. В 1975 году Б.Б. Строганов защитил

диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

С 1974 по 1976 гг. работал заведующим лабораторией текстильных изделий медицинского назначения Всесоюзного научно-исследовательского института текстильно-галантерейной промышленности.

С 1981 по 2011 гг. – работал в Российском заочном институте текстильной и легкой промышленности на кафедре технологии тканей и трикотажа в должности доцента, а с 1983 г. – в должности заведующего кафедрой.

Одновременно с заведованием кафедрой с 2004 по 2007 гг. работал деканом текстильного факультета, а с 2007 по 2010 гг. проф. Б.Б. Строганов работал проректором по учебной работе.

В 2003 г. Б.Б. Строганов защитил докторскую диссертацию. В 2004 г. ему присвоено ученое звание профессора.

В 2011 г. РосЗИТЛП вошел в состав Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского, и с 2011 года и по настоящее время проф. Б.Б. Строганов заведует кафедрой технологии тканей и трикотажа в этом университете.

Профессор Б.Б. Строганов является опытным, высококвалифицированным педагогом, 49 лет преподающим специальные дисциплины. Возглавляемая им ка-

федра – ведущая в подготовке специалистов-технологов для ткацкой и трикотажной отраслей текстильной промышленности. Под его руководством на кафедре проводится постоянная работа по развитию современных методов и средств организации и информатизации учебной деятельности, по совершенствованию подготовки специалистов: на кафедре открыты новые специализации подготовки по трикотажно-швейной технологии, конструированию, менеджменту, товароведению, информационным технологиям, товароведению и таможенной экспертизе изделий легкой промышленности.

Проф. Б.Б. Строганов – известный ученый в области технологии трикотажа. Впервые в мировой практике им разработана теория и практика создания квазимногослойного трикотажа повышенной толщины для технических целей, используемого при создании композиционных материалов для ракетно-космической, авиационной и других отраслей промышленности. Им создана научная школа, в рамках которой развиваются его работы. Ученики Б.Б. Строганова работают в ведущих вузах и научных организациях РФ и СНГ. В настоящее время он является руководителем 5 аспирантов и научным консультантом 1 докторанта, руководит стажировкой иностранных докторантов.

Проф. Б.Б. Строганов – автор более 170 публикаций в отечественных и зарубежных изданиях, из них 18 учебных пособий, в том числе 10 на французском языке, 9 монографий и более 20 патентов и автор-

ских свидетельств. По его учебным пособиям учатся студенты текстильных и родственных вузов России и СНГ, а также других стран (Алжир).

Проф. Б.Б. Строганов внес значительный вклад в укрепление международного сотрудничества: по правительственному заданию в течение 9 лет (с 1967 по 1971 гг. и 1976 по 1981 гг.) он работал преподавателем в Национальном институте текстильной и легкой промышленности г. Бумердеса (Алжир), где преподавал технологию трикотажа на французском языке.

Проф. Б.Б. Строганов осуществляет общественную деятельность, являясь в настоящее время заместителем главного редактора журнала "Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности", принимает участие в работе диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций К-212.201.01 МГУДТ, выступая на нем в качестве оппонента по диссертационным работам.

Б.Б. Строганов награжден правительственными наградами: "Заслуженный работник высшей школы", медалями "Ветеран труда" и "В память 850-летия Москвы".

Руководство университета, Института менеджмента и индустрии моды, коллеги и ученики сердечно поздравляют юбиляра и желают Борису Борисовичу крепкого здоровья, счастья и дальнейших успехов в его творческой и научно-педагогической деятельности.

**Ректорат, деканат ФМИМ, коллектив кафедры технологии тканей и трикотажа МГУТУ им. К. Г. Разумовского.**

**Редколлегия и редакция журнала "Известия вузов. Технология текстильной промышленности".**

**ЭДУАРД МИХАЙЛОВИЧ КАРТАШОВ  
(К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

**EDUARD MIKHAILOVICH KARTASHOV  
(TO THE 80 ANNIVERSARY)**

16 мая 2015 года исполнилось 80 лет со дня рождения и 55 лет научной и педагогической деятельности Заслуженного деятеля науки РФ, Почетного работника высшего профессионального образования РФ, доктора физико-математических наук, профессора Эдуарда Михайловича Карташова.

Э.М. Карташов в период с 1971 по 1978 гг. был заведующим кафедрой высшей математики Московского текстильного института им. А.Н. Косыгина. В течение 30 лет он заведовал кафедрой высшей и прикладной математики Московского государственного университета тонких химических технологий, 15 лет был деканом естественно-научного факультета этого университета.

Э.М. Карташов получил блестящее образование на физико-математическом факультете Московского государственного педагогического института им. В.И. Ленина и на мехмате в МГУ им. М.В. Ломоносова.

Широкая научно-образовательная база позволила Э.М.Карташову реализовать накопленные знания в различных областях прикладной математики, механики и фи-



зики и определила широкий круг его научных интересов. В 1982 году Эдуард Михайлович защитил одну из первых в стране докторских диссертаций по теоретическим проблемам термокинетики процессов хрупкого и квазихрупкого разрушения полимеров, объединив в рамках развитой им теории механический, структурно-кинетический и термодинамический подходы.

Профессор Э.М. Карташов широко известен в России и за рубежом как крупный специалист в ряде научных направле-

ний. В области физики прочности твердых тел им предложена обобщенная структурно-кинетическая теория разрушения полимеров и неорганических стекол в различных режимах испытаний. В области термомеханики проф. Э.М. Карташовым развиты теория теплового удара упругих и вязкоупругих тел, термодинамические основы термомеханики для обобщенного уравнения энергии, предложены новые интегральные соотношения динамической термовязкоупругости на основе известных реологических моделей.

Отдельно следует выделить работы Эдуарда Михайловича по аналитической

теории теплопроводности и диффузии, в которых он продолжает развивать научное направление по тепло- и массопереносу академика А.В. Лыкова. Широко известны книги Э.М. Карташова "Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел", написанные в соавторстве учебники и монографии "Диффузия в химико-технологических процессах", "Аналитическая теория теплопроводности и прикладной термоупругости", "Математические модели теплопроводности и термоупругости" и др.

К числу широко известных научных достижений профессора Э.М. Карташова в аналитической теории явлений переноса относятся развитые им аналитические методы и новые модельные представления, которые позволили получить точные решения ряда проблем, ранее считавшихся открытыми. Им разработаны обширные таблицы интегральных преобразований Фурье-Ханкеля, которые оказали существенную помощь широкому кругу специалистов при изучении различных физических процессов методами математического моделирования и вошли в теплофизику как "Таблицы Карташова".

Свой вклад профессор Э.М. Карташов внес в развитие математического описания и расчета тепломассообменных процессов отделочного производства текстильных материалов.

Профессор Э.М. Карташов является автором и соавтором свыше 600 научных работ, из которых 38 книг (монографии, учебники и учебные пособия), изданные в

центральных издательствах РФ и за рубежом, 15 крупных научных обзоров, 3 открытия, 12 авторских свидетельств. Он основал научную школу по математическому моделированию, в рамках которой подготовил 9 докторов наук и 24 кандидата наук.

Э.М. Карташов награжден орденом "Знак почета", медалями РФ, Международной премией НАН Республики Беларусь имени академика А.В.Лыкова за "Выдающиеся достижения в области тепло-массопереноса". Э.М. Карташов – дважды победитель конкурса "Выдающиеся ученые России". Он избран академиком РАН, академиком Международной академии наук высшей школы и других международных академий.

Эдуард Михайлович – участник, и член оргкомитета, руководитель секций многих конференций, международных конгрессов и симпозиумов. Он является членом редколлегии "Инженерно-физического журнала" и ряда других журналов, научных советов при Президиуме Академии наук РФ, является членом трех диссертационных советов, членом Национального комитета по тепло- и массопереносу РФ. 15 лет являлся членом экспертного совета ВАК РФ.

Редколлегия журнала "Известия вузов. Технология текстильной промышленности", коллеги по работе и друзья поздравляют Эдуарда Михайловича с Юбилеем и желают ему доброго здоровья и дальнейших успехов в его многогранной научной и педагогической деятельности.

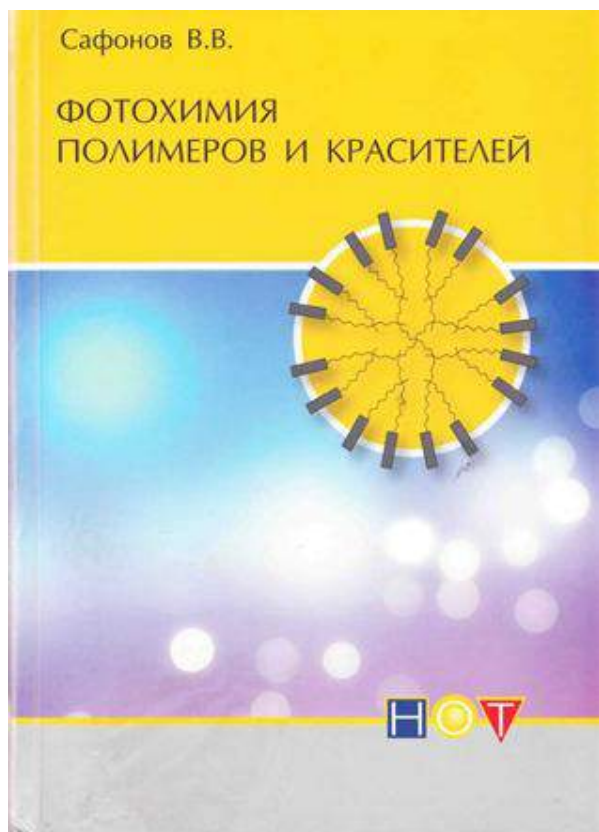
**Московский текстильный институт им. А.Н. Косыгина МГУДТ.**

**Комитет РосНИО по проблемам сушки и термовлажностной обработки материалов.**

**Редколлегия и редакция журнала "Известия вузов. Технология текстильной промышленности".**

## НОВЫЕ МОНОГРАФИИ УЧЕНЫХ МГУДТ

## NEW MONOGRAPHS OF SCIENTISTS OF MSUDT



**Сафонов В. В. Фотохимия полимеров и красителей: монография – М.: МГУДТ, 2014. –298 с.**

Солнечная энергия, не считая ядерных процессов, является в конечном счете основной, если не единственной прямой или опосредованной формой энергии, выражающейся в самых разнообразных процессах: энергетики, химии, физики, биологии, медицины и многих других. Поэтому изучение взаимодействия между квантами света и материалами всегда вызывает интерес у исследователей. С другой стороны, в настоящее время полимерные материалы занимают важное место в фотолитографии, микроэлектронике, источниках света, ксераксах, множительной технике, цифровых

фото- и видеокамерах, дисплеях, используемых как в технических целях, так и в быту. Красители с этой точки зрения являются сопряженными с полимерами объектами, своеобразными «антеннами», воспринимаемыми как кванты спектра в видимой области солнечного света.

Широкое применение полимеров в различных областях вызывает необходимость их защиты от света. Эта проблема вызывает необходимость в изучении теоретических подходов и практической технологии светостабилизации.

Многие полимеры, например, виниловые, образуют с красителями или родственными соединениями комплексы с переносом заряда, способные изменять электропроводимость и другие свойства в электрических полях и различных участках спектра по различным механизмам, что дало возможность использовать такие комплексы для создания промышленных копирующих устройств, дисплеев, фотолитографии, фото- и видеокамер и для других целей.

При этом и сами по себе красители представляют важные в теоретическом и практическом значении объекты, влияющие на нашу жизнь, прежде всего благодаря их способности вызывать те или иные наши ощущения через зрение человека.

Методики экспериментов в книге не приводятся, поскольку они есть в оригинальных статьях, но предполагается, что читатель имеет химическую подготовку.

В работе использовались как литературные, так и полученные автором с сотрудниками данные.

Курсы по фотохимии, как правило, не читаются в химико-технологических ву-

зах, поэтому для читателя, интересующегося проблемами фотохимии, возникла необходимость в идеологии фотохимии, начиная с определений и кончая физическими закономерностями.

Хотя существует много замечательных книг по фотохимии процессов, начиная с монографии А.Н.Теренина "Фотоника молекул красителей и родственных органических соединений" (1967 г.), автор старался привлечь внимание к химическим аспектам применения фото процессов в полимерах и красителях к современным фототехнологиям, имеющим большое потенциальное и реализованное значения в различных областях техники и технологии, от космических до косметических.

Одним из перспективных направлений развития фототехнологий является фототверждение олигомеров. Это позволяет не только экономить энергию фиксации полимеров в разы или десятки раз по сравнению с термофиксацией, но и получать изделия практически любой формы, композиты. Особую значимость такой технологии придает использование наноматериалов, что позволяет реализовать синергический эффект. Перспективными представляются и люминесцирующие полимерные покрытия, находящие применение в различных областях. Фототехнологии находят применение и в экологически чистых технологиях очистки сточных вод от окрашенных соединений.

Нельзя не отметить и роли жидкокристаллических полимеров, меняющих свои оптические свойства и цвет в зависимости от внешних условий, что используется в дисплеях, для определения температуры и др.

Мы не стремились отразить в тексте все работы, их достаточно много и в теоретическом плане, и в техническом. В Интернете "Chemical Abstracts Service" можно найти множество статей по всем направлениям фотохимии. Упомянуты, главным образом, базовые публикации.

Фотохимия – отрасль химии. Под ней подразумеваются превращения различных материалов под действием квантов света. При этом молекула вещества – как первичный акт – переходит в новое возбуж-

денное состояние, отличающееся по квантово-энергетической и химической активности от основного состояния.

Расчет энергии кванта света в видимой и особенно в УФ-области показывает его возможность превышения энергии связи в органических молекулах, составляющие 250-500 кДж/моль.

Фотохимия является пограничной наукой от физики до биохимии и технологии. Поэтому она включает в себя различные разделы науки и техники: свойства света, его взаимодействия с веществом (спектроскопия), структура и свойства возбужденных состояний (фотофизика), химии в целом.

В первой главе приведены основные данные об электромагнитной волновой природе света, основы современной теории молекулярных орбиталей, электронных переходах, поляризации света, а также теории цветности органических соединений.

Вторая глава посвящена первичному процессу поглощения квантов света полимерами и органическими красителями, основным путям дезактивации возбужденных состояний молекул полимеров и красителей, явлениям хемиллюминесценции, фотохромным и электрохромным явлениям, на основе которых разработаны технологии по созданию промышленных систем источников света, множительной техники, микроэлектроники и др. ведущих отраслей.

Материал третьей главы связан с фото процессами, протекающими в полимерах под действием фотонов. Более детально изложены фототехнологии полимерных преобразователей энергии света в электрических полях, в том числе для жидкокристаллических цветных полимерных систем – дисплеях, фото-, видеокамер, фотолитографии и др.

Вопросам различных аспектов взаимодействия квантов света с красителями посвящена четвертая глава. Особое внимание, как и во всех главах, было уделено механизмам действия квантов света на молекулы красителей, способам светостабилизации окрашенных поверхностей, а также экологическим аспектам удаления кра-

сителей в сточных водах, оптическим отбеливателям.

Глава пятая отражает теоретический и накопленный практический материал по фотоотверждению различных полимерных поверхностей с использованием ультрафиолетовых красок. Этот способ является широко используемым в различных отраслях, в том числе автомобильной, в книге достаточно детально дается не только химизм, но и практическая технология окрашивания полимерными композициями.

В шестой главе (заключительной) также приведен материал по люминесцирующим покрытиям поверхностей люминесцирующими полимерными кремнийорганическими композициями на основе силосанов и силозанов с введением ионов редкоземельных металлов. Такой подход, как представляется, дает не только высокие светоизлучающие характеристики, превосходящие зарубежные аналоги, но и высокую адгезию к полимерной подложке, гидрофобные свойства и упрочняет сам материал.

Во всех главах особое внимание было уделено химизму протекающих процессов. В конце каждой главы приведен список литературы.



**Сафонов В.В. Защита полимерных покрытий и материалов: монография. Часть 1. Получение текстильных материалов с водо- и огнестойкостью – М.: МГУДТ, 2014. – 145 с.**

В последние десятилетия изделия из технических текстильных материалов используются практически во всех отраслях техники. Это потребовало подготовки инженерно-технических работников, знакомых с физико-химическими основами процессов, протекающих при фото-, гидро-, огне-, электромагнитной защите, биологических и других обработках различных волокон и материалов. В свою очередь, это порождает необходимость в специализированной литературе. Предлагаемая книга призвана помочь в работе технологом, занимающимся созданием и эксплуатацией новых материалов. Она может служить и учебным пособием для подготовки кадров по этим профилям.

Особенность подхода заключается в том, что он охватывает различные аспекты защиты человека от агрессивных внешних факторов на одной физико-химической платформе, что делает понимание сущности процессов более глубоким, позволяет моделировать и миниатюризировать их.

Автор стремился осветить наиболее важные аспекты, не претендуя на исчерпывающий анализ проблемы, сочетая теоретический материал с примерами его практического понимания. Все это, по мнению автора, способствует более глубокому усвоению материала.

Изготовление защитных покрытий и материалов включает в себя весьма различные операции и технологии, поскольку человеку приходится защищаться не только непосредственно от различных внешних факторов (света, радиации, микроорганизмов и др.), но и опосредованно, например, от температур, давления, ускорений в авиации и в космосе, для защиты военнослужащих, необходимости защиты квартир и определения, был ли субъект в том или ином месте, и от многих других факторов. Поэтому хотя название монографии и носит несколько условный характер, но роднит все эти подходы к вопросу изго-



товления защитных материалов одно: химическая обработка материалов, в качестве которых в подавляющем большинстве выступают текстильные субстраты или другие поверхности. Эта логика вызвана многовековым отбором в пользу текстиля: гибкость, двумерность, легкость, возможность модификации различными способами, придающими материалам разнообразные требуемые свойства, начиная с использования наночастиц, аппретирование, получение препрегов, ламинирование, печатание, напыление, облучение, прессование микрокапсулированием и др. Поэтому текстиль имеет преимущество перед пленками, кожей, металлическими и другими поверхностями.

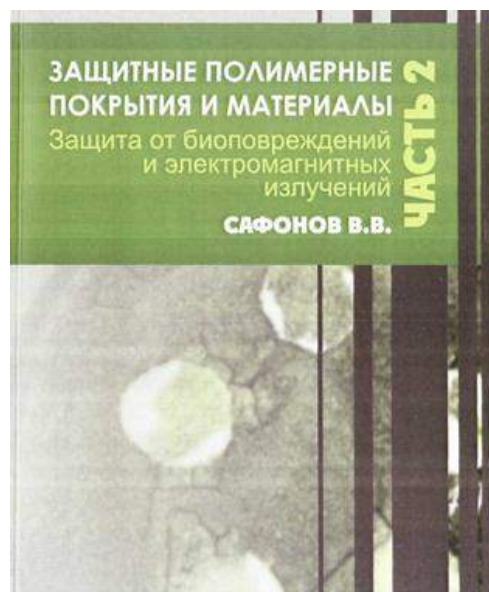
Защитные покрытия и материалы с каждым годом находят все более широкое применение в различных отраслях техники. Методы получения таких материалов различны, поэтому важно обобщить фундаментальные основы таких подходов для получения максимального эффекта. Это представляется особенно важным в связи с тем, что подобные обобщающие монографии в мировой литературе, где бы с единых позиций рассматривались способы придания совершенно различных свойств материалам, отсутствуют.

Автор старался придерживаться конкретных технических задач, поскольку в противном случае объем книги необходимо было бы увеличить, как минимум, в несколько раз. При этом требовалось изложить основные положения доступно для технических работников, но без ущерба для строгости изложения, чтобы она могла служить пособием как для студентов, так и для практических работников и научных исследователей. В то же время она может быть весьма полезной и специалистам в разных областях, которые найдут в ней подробное рассмотрение методических вопросов и современные данные о процессах.

Книга состоит из четырех частей. Первая часть "Получение текстильных материалов с водо- и огнестойкостью" включает две главы.

Первая глава посвящена вопросам придания гидрофобности различным поверхностям и материалам. Даны фундаментальные основы придания водо- и маслоотталкивающих свойств с позиций физикохимии и нанотехнологических подходов, оценки гидро- и олеофобных свойств.

Во второй главе описываются процессы, протекающие при горении полимерных материалов, способов защиты и показателей ее эффективности.



**Сафонов В.В. Защитные полимерные покрытия и материалы: монография. Часть 2. Защита от биоповреждений и электромагнитных излучений – М.: МГУДТ, 2015. – 176 с.**

Во второй части монографии "Защита от биоповреждений и электромагнитных излучений" рассмотрены современное состояние защиты текстильных материалов от деструктивного действия микроорганизмов и насекомых, а также защиты человека от высокочастотных и сверхвысокочастотных колебаний. Представлены физико-химические подходы к решению данных задач.

\* \* \*

Автор и издатели надеются, что представленные книги будут интересны и полезны не только ученым, исследователям, преподавателям профильных вузов. Они будут надежными помощниками и студентам, и специалистам, работающим в самых различных отраслях промышленности.

СОДЕРЖАНИЕ

**Экономика и организация производства**

<i>Егоров В.Н., Чернова М.В.</i> Применение PDM- и ERP-систем в управлении цепями поставок в текстильно-швейном комплексе .....	5
---	---

**Материаловедение**

<i>Иванов О.М., Иванова С.Ю.</i> Определение максимального заряда ворса в процессе электрофлокирования .....	11
<i>Петрухин А.Б., Опарина Л.А.</i> Классификация синтетических геоматериалов и их применение в современном строительстве .....	14
<i>Грузинцева Н.А., Лысова М.А., Москвитина Т.В., Гусев Б.Н.</i> Обеспечение требуемого уровня качества геотекстильных материалов для дорожного строительства .....	19

**Первичная обработка. Сырье**

<i>Мочалов Л.В., Хомяков Е.С., Дроздов В.Г.</i> Двухкритериальная оптимизация процесса мятья .....	23
<i>Потапов Д.В., Киселев Н.В.</i> Исследование процесса СВЧ-сушки льняной тресты .....	26
<i>Вихарев С.М., Федосова Н.М.</i> Переходные процессы при трепании льносырца .....	29
<i>Носов А.Г., Разин С.Н., Пашин Е.Л.</i> Исследование кинематических параметров рабочих органов в устройстве для очистки модифицированного волокна от примесей .....	33

**Прядение**

<i>Дягилев А.С., Коган А.Г.</i> Исследование и моделирование физико-механических свойств волокон котонизированного льна .....	37
<i>Беляев Д.Н., Столяров А.А.</i> Метод контроля за ходом технологического процесса прядения и определения параметров вырабатываемой пряжи .....	42
<i>Волков С.В., Пакулова Н.К., Волков В.В.</i> К вопросу об укладке волокнистого продукта в неподвижный контейнер .....	47
<i>Джуринская И.М., Отынищев М.Б., Абдыкаримов Г.Н.</i> О переработке полугрубой и грубой овечьей шерсти по гребенной системе прядения .....	51

**Ткачество**

<i>Панин А.И., Ракова О.А., Рыбаулина И.В., Николаева Н.А.</i> Анализ скорости сматывания нити с мотальных паковок .....	55
<i>Кулида Н.А., Круглов А.В.</i> 3-D модели формы паковки партионного снования .....	59
<i>Николаев С.Д., Палагина И.В., Мастраков Р.Е.</i> Исследование строения и свойств хлопчатобумажных тканей .....	64
<i>Сафонов П.Е., Левакова Н.М., Юхин С.С.</i> Разработка облегченных структур тканей полотняного и перевивочного переплетения из полиимидных и параарамидных нитей .....	69
<i>Гречухин А.П.</i> Новый способ исследования натяжения ткани в зоне вальян-грудница с использованием сервопривода .....	74

**Отделка**

<i>Красина И.В., Антонова М.В., Илюшина С.В., Парсанов А.С.</i> Оценка возможности применения плазменной модификации тканей в процессе придания им антибактериальных свойств .....	78
--	----

## Технология нетканых материалов

<i>Тувин М.А., Хосровян И.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А., Тувин А.А.</i> Математическое моделирование процесса движения волокнистой смеси в бункерном питателе с переменной площадью поперечного сечения шахты .....	82
--	----

### Трикотажное производство

<i>Кудрявин Л.А., Пивкина С.И., Фомина О.П., Заваруев В.А.</i> Применение метода проектирования новых структур трикотажа с использованием дополнительных операций с элементами его структуры .....	87
--	----

### Швейное производство и дизайн

<i>Шеромова И.А., Старкова Г.П., Железняков А.С.</i> Моделирование и алгоритмизация процедуры подтверждения соответствия безопасности и качества швейных изделий .....	91
<i>Чуприна Н.В.</i> Анализ деятельности участников модного процесса в условиях индустрии моды .....	95
<i>Крюкова Н.А., Лисина Н.А.</i> Разработка и исследование конструктивно-декоративного решения авторских моделей головных уборов .....	99

### Текстильные машины и агрегаты

<i>Гаврилов А.Н., Хозина Е.Н., Макаров В.А.</i> Взаимодействие элементов ремизки в процессе образования зева .....	103
<i>Носова Н.Ю., Глазунов В.А., Мисюрин С.Ю., Филиппов Д.Н.</i> Синтез и кинематический анализ механизмов параллельной структуры с развязкой поступательных движений .....	109
<i>Волков В.В., Семенов А.Д., Волков С.В., Пакулова Н.К.</i> К вопросу об оптимизации процесса смешивания волокнистого материала в многокамерных смешивающих машинах .....	113

### Автоматизация технологических процессов

<i>Тихонов А.И., Булатов Л.Н., Глазунов В.Ф.</i> Математическая модель асинхронного электродвигателя в системе электропривода сновальной машины .....	117
---	-----

### Экологическая и производственная безопасность. Промтеплоэнергетика

<i>Губейдуллин Х.Х., Шигапов И.И., Панин А.И., Поросятников А.В., Лукоянчев С.С.</i> Технологии и технические средства для очистки сточных вод .....	121
<i>Шипко М.Н., Тихонов А.И., Смирнов А.В., Царева С.А., Белкин Ю.Д.</i> Особенности фотоэлектронной эмиссии водных растворов, применяемых для приготовления красителей, после их магнитоимпульсной обработки .....	126

### Информационные технологии

<i>Бекташов Д.А., Блинов О.В., Калинин Е.Н.</i> Реализация задачи обработки статистических данных и определение основных параметров надежности для закона распределения Вейбулла-Гнеденко наблюдаемой случайной величины на ЭВМ .....	131
<i>Николаев В.С., Волков В.В., Немкова Е.А.</i> Моделирование процесса уплотнения волокнистой ленты при протягивании ее через уплотнитель .....	135
<i>Киселев А.М.</i> Определение перспективных направлений в построении автоматизированных систем проектирования 3D-преформ и прогнозирования заданных свойств композиционных материалов на их основе .....	141
<i>Ясинский И.Ф., Ясинский Ф.Н.</i> О применении нейросетевой технологии в газодинамических задачах .....	145

### Механика нити и полотен

<i>Гончарова О.А., Щербаков В.П.</i> Компромиссное решение задачи условной оптимизации биоактивного трикотажа .....	150
---	-----

## Обмен опытом, критика и библиография, краткие сообщения

Борису Борисовичу Строганову 75 лет .....	154
Эдуард Михайлович Карташов (К 80-летию со дня рождения) .....	156
Новые монографии ученых МГУДТ .....	158

### CONTENTS

#### Economics and Production Planning

<i>Egorov V.N., Chernova M.V.</i> Supply Chain Management of Textile and Apparel Industry by PDM- and ERP-Software .....	5
--	---

#### Materials

<i>Ivanov O.M., Ivanova S.Yu.</i> Estimate of Limit Charge Pile in Electroflooding Technology .....	11
<i>Petrukhin A.B., Oparina L.A.</i> Classification of Synthetic Geomaterials and their Application in Modern Construction .....	14
<i>Gruzintseva N.A., Lysova M.A., Moskvitina T.V., Gusev B.N.</i> Ensuring the Required Level of Quality of Geotextiles for Road Construction .....	19

#### Preliminary Treatment. Raw Materials

<i>Mochalov L.V., Khomyakov E.S., Drozdov V.G.</i> Twocriterial Optimization of Shove Process .....	23
<i>Potapov D.V., Kiselev N.V.</i> The Studies of Flax Stocks Microwave Drying Process .....	26
<i>Vikharev S.M., Fedosova N.M.</i> Transients During the Flax's Scutching .....	29
<i>Nosov A.G., Razin S.N., Pashin E.L.</i> Study of Workers Kinematic Parameters for Clearing Devices Modified Fiber from Impurities .....	33

#### Spinning

<i>Dyagilev A.S., Kogan A.G.</i> Research and Simulation of Physical and Mechanical Properties of Cottonized Flax Fiber .....	37
<i>Belyaev D.N., Stolyarov A.A.</i> Method of Monitoring the Technical Characteristics of the Nodes Ring Spinning Machines and Continuous Control of Parameters of Yarn Produced .....	42
<i>Volkov S.V., Pakulova N.K., Volkov V.V.</i> On the Laying Fiber Products in Fixed Containers .....	47
<i>Jurinskaya I.M., Otynskiyev M.B., Abdykarimov G.N.</i> About Processing of Semicoarse and Coarse Sheep Wool on Combing Spinning .....	51

#### Weaving

<i>Panin A.I., Rakova O.A., Rybaulina I.V., Nikolaeva N.A.</i> Analysis in the Coiling Thread Winding Packages .....	55
<i>Kulida N.A., Kruglov A.V.</i> 3-D Shape Model of a Package of Batches Warping .....	59
<i>Nikolaev S.D., Palagina I.V., Mastrakov R.E.</i> Study of the Structure and Properties Cotton Fabrics .....	64
<i>Safonov P.E., Levakova N.M., Yukhin S.S.</i> Development of Lightweight Structures of Fabrics of Plain and Leno Made of Polyimide and Para-Aramid Threads .....	69
<i>Grechukhin A.P.</i> New Way of Research of a Tension of a Fabric in the Doffer/Breast Beam Zone with Servo-Driver Use .....	74

#### Finishing

<i>Krasina I.V., Antonova M.V., Ilushina S.V., Parsanov A.S.</i> Assess the Feasibility of Plasma Modification in the Process Make them Antibacterial Properties .....	78
--	----

#### Technology of Non-Wovens

<i>Tuvin M.A., Khosrovyan I.G., Krasik T.Ya., Khosrovyan G.A., Tuvin A.A.</i> Mathematical Modeling of the Process of Fibrous Mixture Motion in Hopper Feeder with Variable Cross-Sectional Area of the Column ....	82
---	----

## Knitting

- Kudryavin L.A., Pivkina S.I., Fomina O.P., Zavaruev V.A.* Design Methods of New Structures Jersey Formed with the Use of Additional Operations with Elements of the Structure ..... 87

## Sewing and Design

- Sheromova I.A., Starkova G.P., Zhelyaznyakov A.S.* Modelling and Algorithmization of the Conformity Assessment Procedure of Garments Safety and Quality ..... 91
- Chouprina N.V.* Analysis of Activity of Participants of Fashion Process in the Conditions of Fashion Industry ..... 95
- Kryukova N.A., Lisina N.A.* Research and Development of Constructive and Decorative Solutions Copyright Models Headwear ..... 99

## Textile Machines and Aggregates

- Gavrilov A.N., Hozina E.N., Makarov V.A.* Interacting Elements Healds During the Formations of Yawns ..... 103
- Nosova N.Yu., Glazunov V.A., Misyurin C.Yu., Filippov D.N.* Synthesis and the Kinematic Analysis of Mechanisms of Parallel Structure with the Outcome of Progress ..... 109
- Volkov V.V., Semenov A.D., Volkov S.V., Pakulova N.K.* On the Question of Optimizing the Process of Mixing the Fibrous Material in the Multi-Chamber Mixing Machines ..... 113

## Automation of Technological Processes

- Tihonov A.I., Bulatov L.N., Glazunov V.F.* Mathematical Model Of Asynchronous Electric Motors in the Motor Drive System Warpers..... 117

## Ecological and Industrial Safety. Heat Engineering

- Gubeydullin H.H., Shigapov I.I., Panin A.I., Porosyatnicov A.V., Lukoyancev S.S.* Perfection of Technology and Means for Sewage Treatment in Cattle-Breeding Farms ..... 121
- Shipko M.N., Tikhonov A.I., Smirnov A.V., Tsareva S.A., Belkin Y.D.* Features of Water Solutions Photoelectron Emission after their Magnitoimpulse Treatment ..... 126

## Information Technologies

- Bektashov D.A., Blinov O.V., Kalinin E.N.* Realization of the Problem of Processing of Statistical Data and Determination of Key Parameters of Reliability for the Law of Distribution of Veybulla-Gnedenko of the Observed Random Variable on the Computer ..... 131
- Nikolaev V.S., Volkov V.V., Nemkova E.A.* Modeling of the Process of the Compaction of the Stringy Tape at Drawing Her(It) Through Sealant ..... 135
- Kiselyov A.M.* Nonwoven Materials Breaking Load Prediction on Basis of their Geometric Structure Mathematical Modeling ..... 141
- Yasinskiy I.F., Yasinskiy F.N.* On the Application of Neural Network Technology in Gas-Dynamic Problems .. 145

## Mechanics of Threads and Fabrics

- Goncharova O.A., Shcherbakov V.P.* Compromise Solution of the Problem of Conditional Optimization . 150

## Experience Exchange, Criticism and Bibliography. Short Items

- Boris Borisovich Stroganov Is 75 Years Old ..... 154
- Eduard Mikhailovich Kartashov (To the 80 Anniversary) ..... 156
- New Monographies of Scientists of MSUDT ..... 158

***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. Г.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**

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 \*.psx, \*.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 13x18 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 гляцевания) формата не менее 9x12 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@ivgpi.com](mailto:ttp@ivgpi.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