

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Министерство промышленности и торговли Российской Федерации  
Правительство Ивановской области**

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«ИНСТИТУТ ХИМИИ РАСТВОРОВ им. Г.А. Крестова  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

## **XIX Международный научно-практический форум**

**«ФИЗИКА ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ:  
СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ»  
(SMARTEX-2016)**

### **СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**

**Часть 1**

**23 – 27 мая 2016 года**

Иваново 2016

УДК 677.1/5:5

Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2016) [Текст]: сб. материалов XIX Междунар. науч.-практ. форума, 23–27 мая 2016 года. – Иваново: ИВГПУ, 2016. – Ч. 1.– 404 с.

**Рецензенты:**

д-р техн. наук, проф. А.К. Изгородин (Ивановский государственный политехнический университет), д-р техн. наук, проф. А.П. Морьганов (Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН), д-р техн. наук, вед. науч. сотр. С.В. Алеева (Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН), д-р техн. наук, проф. Н.А. Кулида (Ивановский государственный политехнический университет), д-р техн. наук, проф. Г.И. Толубеева (Ивановский государственный политехнический университет), акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. С.В. Федосов (Ивановский государственный политехнический университет)

## Состав Организационного комитета

чл.-кор. РААСН Алоян Р.М. проф. Захаров А.Г.	Сопредседатель комитета, д.т.н., проф., ректор Ивановского государственного политехнического университета (г. Иваново) Сопредседатель комитета, д.х.н., директор Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (г. Иваново)
Prof. Dr. Ibrahim Aman	Сопредседатель комитета, вице-президент Kafr-El-Sheikh University (г. Кафр-эль-Шейх, Арабская Республика Египет)
проф. Пророкова Н.П.	Ученый секретарь комитета, д.т.н., гл. науч. сотр. Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, проф. Ивановского государственного политехнического университета (г. Иваново)
проф. Никифорова ЕН.	Ученый секретарь комитета, д.т.н., проректор-руководитель аппарата ректора Ивановского государственного политехнического университета (г. Иваново)
д.т.н. Аврелькин В.А. акад. РАН Бузник В.М. к.т.н. Васильев Д.М.	министр экономического развития и торговли Чувашской Республики (г. Чебоксары) д.х.н., нач. лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов (г. Москва) директор ФГУП "Ивановский научно-исследовательский институт пленочных материалов и искусственной кожи" ФСБ России
Гущин В.Е.	вице-президент СОЮЗЛЕГПРОМ, председатель Комитета по химическим волокнам, нитям, текстильной продукции технического назначения, зам. ген. директора ОАО «КТК «Иврегионсинтез» (г. Иваново)
Prof. Dr. Elsayed A. Elnashar	профессор кафедры текстиля и одежды факультета специального образования Kafrelsheikh University, Египт (Университет г. Кафр-эль-Шейх, Арабская Республика Египет)
проф. Киселев А.М.	д.т.н., зав. каф. Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна (г. Санкт-Петербург)
чл.-корр. РАН Койфман О.И. проф. Кокшаров С.А.	д.х.н., президент Ивановского государственного химико-технологического университета (г. Иваново) д.т.н., зав. научно-инновационным отделом Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (г. Иваново)
д.т.н. Корнилова Н.Л.	ген. директор ООО «Инжиниринговый центр текстильной и легкой промышленности» (г. Иваново)
проф. Кулида Н.А.	д.т.н., первый проректор – директор Текстильного института Ивановского государственного политехнического университета (г. Иваново)
проф. Лысенко А.А.	д.т.н., зав. каф. Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна (г. Санкт-Петербург)
проф. Николаев С.Д.	д.т.н., проф. Текстильного института им. А.Н. Косыгина Московского государственного университета дизайна и технологий (г. Москва)
д.т.н. Патрушева Т.Н. Петров Р.В. д.т.н. Пономаренко А.Т.	д.т.н., Сибирский федеральный университет (г. Красноярск) первый вице-президент Ассоциации независимых текстильных предприятий ТДЛ (г. Иваново) гл. науч. сотр. Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова (г. Москва)
проф. Федорова Т.А. чл.-кор. РАН Юртов Е.В.	рук. дирекции технологической платформы «Текстильная и легкая промышленность» (г. Казань) д.х.н., и. о. ректора Российского государственного химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева (г. Москва)

## Состав Программного комитета

проф. Изгородин А.К.	Председатель комитета, д.т.н., зав. каф. Ивановского государственного политехнического университета (г. Иваново)
д.т.н. Алеева С.В. проф. Калинин Е.Н.	вед. науч. сотр. Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (г. Иваново) д.т.н., зав. каф. Ивановского государственного политехнического университета, директор Инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности на базе ИВГПУ (г. Иваново)
проф. Кузнецов В.Б.	д.т.н., зав. лаб. тканей спецназначения Инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности (г. Иваново)
проф. Кричевский Г.Е.	д.т.н., зав. каф. Московского государственного университета технологии и управления им. К.Г. Разумовского, Президент Российского союза химиков-текстильщиков и колористов (г. Москва)
проф. Морыганов А.П. проф. Одинцова О.И.	д.т.н., зав. лаб. Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (г. Иваново) д.т.н., зав. каф. Ивановского государственного химико-технологического университета (г. Иваново)
проф. Петрухин А.Б.	д.э.н., проректор по научной работе Ивановского государственного политехнического университета (г. Иваново)
проф. Румянцева В.Е.	советник РААСН, д.т.н., директор Института социально-гуманитарных и естественных наук Ивановского государственного политехнического университета (г. Иваново)
проф. Усольцева Н.В. акад. РААСН Федосов С.В.	д.х.н., директор НИИ Наноматериалов Ивановского государственного университета (г. Иваново) д.т.н., проф., президент Ивановского государственного политехнического университета (г. Иваново)



**Уважаемые организаторы, участники и гости  
Международного научно-практического форума  
«SMARTEX»!**

От имени Правительства Ивановской области приветствую участников форума.

Правительство Ивановской области придает особую значимость задачам практической реализации накопленного в регионе научно-образовательного потенциала и эффективного вовлечения науки в процессы модернизации и инновационного развития экономики. Создание благоприятных условий для внедрения инноваций – одна из задач современной государственной промышленной политики.

Форум «SMARTEX», который проводится в нашей области уже в течение нескольких лет, убедительно демонстрирует способность на равных конкурировать с дискуссионными столичными площадками, приобретая все большую известность в регионах России и странах ближнего зарубежья. Во многом этому способствует деятельность Инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности, созданного на базе Ивановского государственного политехнического университета. Активно содействуя локализации и продвижению прогрессивных научно-технологических решений, ИГПУ и инжиниринговый центр сегодня уверенно завоевывают позиции одной из основных инфраструктурных составляющих регионального текстильно-промышленного кластера, тем самым подтверждая все возрастающую роль вузов в социально-экономическом развитии региона.

Убежден, что вопросы, которые предстоит рассмотреть в ходе нынешнего форума, имеют исключительно важное значение для современного развития текстильной отрасли и регионального текстильно-промышленного кластера. Не сомневаюсь в актуальности результатов работы наших ученых и в том, что в рамках форума представители деловых кругов воспользуются хорошей возможностью обрести новых партнеров в научной среде, поделиться своим опытом.

Искренне желаю всем участникам форума интересных дискуссий, новых проектов, полезных встреч и успехов в дальнейшей работе!

**Губернатор  
Ивановской области**

**П.А. Коньков**

**Уважаемые участники  
XIX Международного научно-практического форума  
«SMARTEX»!**



Стало доброй традицией, когда в конце мая в Ивановском государственном политехническом университете собираются ученые, руководители предприятий, представители федеральных и областных органов исполнительной и законодательной власти, члены общенациональной технологической платформы и других некоммерческих организаций России, деятельность которых тесно связана с текстильной и легкой промышленностью.

Отрадно, что с каждым годом растет интерес к Форуму «SMARTEX», повышается количество и статус его участников. В число его организаторов в этом году вошли Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, а в состав организационного и программного комитетов – уважаемые и авторитетные представители научного и профессионального сообществ. Международный статус Форума подтверждают более 200 участников, представляющих десятки организаций из России, Беларуси, Казахстана, Узбекистана, Франции, Египта, Японии и Китая.

По традиции в центре внимания участников научной конференции и многочисленных деловых мероприятий: круглых столов, семинаров и совещаний – вопросы, от которых во многом зависит успешное развитие приоритетной для нашей Ивановской области текстильной и легкой промышленности. Сложность существующих на сегодня отраслевых проблем требует повышенного внимания и нуждается в консолидации усилий всех заинтересованных сторон: ученых, предпринимателей, представителей властных структур.

В связи с этим особый интерес вызывает деятельность вузовских центров промышленного инжиниринга, которым в современной государственной политике отводится роль своеобразных «локомотивов» инновационного движения. Их участие в работе нынешнего Форума особо значимо для руководителей и специалистов многочисленных промышленных предприятий и компаний, заинтересованных в развитии бизнеса и рассчитывающих на более продуктивное взаимодействие с вузовской наукой. Во всяком случае, двухлетний опыт деятельности Инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности позволяет с уверенностью сказать, что их ожидания будут оправданы, а неоспоримо ценными результатами Форума станут новые совместные проекты, перспективные темы научных исследований, актуализированные образовательные направления, широко эрудированные и востребованные выпускники. Во многом именно это является основной задачей организаторов и служит зримым подтверждением практической значимости проводимого научного мероприятия.

Желаю всем участникам интересного и полезного знакомства с научной жизнью Иванова, творческого и плодотворного обсуждения актуальных проблем текстильной отрасли, совместной выработки глубоко продуманных решений и крепких долговременных профессиональных связей.

**Ректор Ивановского государственного  
политехнического университета**

**Р.М. Алоян**

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ВОЛОКНИСТОЙ ОСНОВЕ:  
ПРОЦЕССЫ ПОДГОТОВКИ ВОЛОКНИСТОЙ ОСНОВЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ  
КОМПОНЕНТОВ, СТРУКТУРЫ МОЛЕКУЛЯРНОГО И НАДМОЛЕКУЛЯРНОГО  
УРОВНЕЙ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ФОРМИРОВАНИЯ, СВОЙСТВА**

**FUNCTIONAL NANOCOMPOSITES FIBER-BASED: PROCESSES OF PREPARING  
FIBER-BASED AND FUNCTIONAL COMPONENTS, THE STRUCTURE OF THE  
MOLECULAR AND SUPRAMOLECULAR LEVELS ON ALL STAGES OF FORMATION,  
PROPERTIES**

А.К. Изгородин  
А.К. Izgorodin

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail: izgorodin@ivgpu.com, k\_fnt@ivgpu.com

В настоящее время на Земле происходит переход к шестому технологическому укладу, реализации, технологии изготовления наноматериалов и нанокomпозитов с использованием новых функциональных возможностей: самоорганизации, самоупорядочения, получая повышенные характеристики физических, прочностных, биомедицинских свойств, квантовых и синергетических эффектов.

Наноструктурные образования возникли давно: при формировании Земли, в околоземном космическом пространстве, после выбросов вулканической пыли. Люди всегда использовали наноструктурированные волокна, изготавливали наноструктурированную дамасскую сталь, витражи из стекла, содержащего наночастицы серебра и золота.

Детально рассмотрены углеродные наноструктуры: фуллерены, нанотрубки, графен и причины, обуславливающие особые свойства этих материалов: повышенное количество электронов, специфические квантово-механические состояния и т.д.

Приведены данные по компонентному составу и физико-механическим свойствам нанокomпозитов. Рассмотрены возможности использования Солнечной энергии, мощность которой на поверхности Земли достигает  $7 \cdot 10^{14}$  кВт.

Представлены данные о функциональных и многофункциональных нанокomпозитах на волокнистой основе: их особенности и преимущества, компонентный состав, функциональное назначение, методики формирования и определения характеристик функциональных свойств нанокomпозитов; методика активирования волокнистой основы в низкотемпературной плазме при атмосферном давлении.

Ключевые слова: нанокomпозит, нанотехнология, нанотрубка, фуллерен, графен, жидкий кристалл, функциональный нанокomпозит, волокнистая основа, магнитная ткань, спектроскопия, электромагнитные волны, защитная одежда, теплостойкость, магнитотерапия, системы организма человека, наномедицина, рентгеноструктурный анализ

Currently in the world there is a transition to a six technological structure, implementation, manufacturing technology of nanomaterials and nanocomposites with new features: self-organization, self-ordering, receiving increased physical characteristics, strength, biomedical properties of quantum and synergies.

Nanostructure formation was a long time in the formation of the Earth, in the near-Earth space, after the emission of volcanic ash. People have always used nanostructured fibers produced nanostructured Damascus steel, stained glass, containing silver and gold nanoparticles. A detailed analysis of carbon nanostructures: fullerenes, nanotubes, graphene. Reasons for the special properties of these materials: increased number of electrons, specific quantum-mechanical state, etc. The data on the component composition and physico-mechanical properties of the nanocomposites. The possibilities of using solar energy, the power of which the Earth's surface up to  $7 \cdot 10^{14}$  kW. The data on the functional and multifunctional nanocomposites fiber based: their features and benefits, the component structure, functionality, methodology for formation and characterization of functional properties of nanocomposites; method of activating fibrous substrate in a low-temperature plasma at atmospheric pressure.

Key words: nanocomposite, nanotechnology, nanotubes, fullerenes, graphene, liquid crystal, functional fiber-based nanocomposite, magnetic tissue, spectroscopy, electromagnetic waves, protective clothing, heat, magnetic, systems of the human, nanomedicine, x-ray analysis.

## 1. Актуальность.

Актуальность нанокompозитов на волокнистой основе обусловлена как комплексом их технологических и функциональных свойств – трещиностойкость, эластичность, гибкость, возможность использования швейной технологии для изготовления изделий, так и адаптированностью к организму человека, возможностью формирования на этой основе не только функциональных, но и многофункциональных нанокompозитов. Формирование многофункциональных нанокompозитов и нанокompозитов на волокнистой основе технологически и конструкционно легко реализуемы потому, что в волокнистых материалах имеется большое количество – до  $100\text{ м}^2$  на 1 грамм материала, капилляров и пор на нано-микро-и макро-структурном уровнях, расположенных внутри волокон и между ними. Функциональное назначение рассматриваемых нанокompозитов многогранно. Они могут быть использованы в качестве пьезоэлектриков, магнитострикционных, электретных, ферромагнитных и магнитооптических, материалов; сенсорных, микросенсорных и многосенсорных систем, носителей информации. Их используют в различных отраслях: медицина – сосуды, связки, сухожилия, нервные волокна, почки, печень, легкие, магнитотерапия и др.; для изготовления защитной одежды от: повышенных температур, акустических и электромагнитных волн, повышенной температуры, химических, биологических и вибрационных воздействий, вредных веществ в воздухе и жидкой среде; в энергетике – солнечные батареи, в ракетно-космическом комплексе – детали повышенной прочности с углеродными нанотрубками и пониженной массы; в сельском хозяйстве – геотекстиль; военно-морской флот – защита надводных кораблей и подводных лодок.

В США создают новую инновационную индустрию на основе физики волокон. При Массачусетском технологическом университете организован институт по созданию новых волокон и тканей, по разработке высокотехнологичных инноваций при поддержке министра обороны Эштона Картера. С указанным институтом сотрудничают 32 университета, 16 представителей промышленности, 72 предприятия, 216 инкубаторов из 27 штатов и из Пуэрто-Рико.

## 2. Подготовка функциональных наноструктурных образований для изготовления функциональных нанокompозитов на волокнистой основе.

Наноразмерные частицы получают различными методами [1-3]: физическими, химическими, термолизом в газовой фазе, термическим разложением, ионной бомбардировкой, вакуумным испарением, катодным распылением. Указанными и им подобными методами, как правило, получают небольшую массу наночастиц. Большое количество наночастиц можно получить механическим диспергированием в вакууме. Создание вакуума необходимо для предотвращения взаимодействия наночастиц с окружающей средой и образованием "нежелательных" соединений вместо необходимых наноструктурных образований. Как показано в наших работах [2,3] механическое диспергирование высококоэрцитивного сплава ЮНДК35Т5 позволило получить наноразмерные частицы не отличающиеся по фазовому составу и структуре от литых термообработанных сплавов, т.к. рентгеновские дифрактограммы и мессбауэровские спектры исходного сплава ЮНДК35 и после механического вакуумного диспергирования его в многоступенчатой мельнице оказались идентичными.

На атомном уровне при уменьшении числа атомов в частицах до 1000 и менее в них, как это следует из соотношения неопределенностей Гейзенберга, возникают вырожденные энергетические уровни, обуславливающие: скачкообразное изменение поляризуемости наночастиц и возрастание доли атомов в поверхностной зоне частиц в  $10^3$  и более раз; изменение состояния электронов в зонах точечных дефектов кристаллической решетки. Перечисленные выше изменения влияют на фонон-фононовые, магнон-магнонные и электрон-электронные взаимодействия, а также термодинамику фазовых изменений в материале и, особенно, в поверхностной зоне наночастиц.

### 3. Подготовка волокнистой основы для изготовления нанокompозитов.

Подготовка волокнистой основы состоит из нескольких этапов.

1 этап. Определение объема и размеров пор в волокнистой основе для подготовки функциональных наноструктурных образований: размеры и количество наноструктур должны соответствовать размерам и объемному содержанию пор в волокнистой основе. Параметры поровой структуры тканей в данной работе определяли по изменению влагосодержания тканей в ходе их увлажнения и сушки [5,6].

Общий объем пор обычно определяют пользуясь соотношением:

$$V = \frac{W_i}{100\rho} \quad (1)$$

$W_i$  – влагосодержание волокон в ходе увлажнения его;

$\rho$  – плотность воды.

Считая, что диаметр пор в волокнах равен удвоенному диаметру молекулы воды –  $d = 2d_{эфф}$ , авторы [5,6] получили выражение для определения диаметра пор –  $d$

$$d = 2d_{эфф} \sqrt{\frac{W_i}{W_o}} \quad (2)$$

где:

$W_o$  – влагосодержание, обусловленное мономолекулярной адсорбцией.

При проведении расчетов массу воды брали равной 18 г/моль, а  $d_{эфф} = 3,4 \cdot 10^{-10}$  м., сечение молекулы воды –  $S$  равной  $10,6 \cdot 10^{-20}$  м<sup>2</sup>. В данной работе увлажнение ткани реализовано посредством запаривания ее, так как молекулы воды, обладающие кинетической энергией во все поры волокон и ткани в целом.

А.В. Лыков и Ю.А. Михайлов, используя законы сохранения массы и энергии ткани, считая ткань замкнутой системой, а характеристики тепломассопереноса в виде:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D\nabla^2 W + D\delta\nabla^2 T + D\frac{\lambda_p}{\lambda_m}\nabla^2 P \quad (3^I)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\varepsilon_{\phi r}}{c} D\nabla^2 W + \left( a + \frac{\varepsilon_{\phi r}}{c} D \right) \nabla^2 T + \frac{\varepsilon_{\phi r}}{c} D\frac{\lambda_p}{\lambda_m}\nabla^2 P \quad (3^{II})$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\varepsilon_{\phi r}}{c} D\nabla^2 W - \frac{\varepsilon_{\phi}}{c_{\phi}} D\delta\nabla^2 T + \left( \frac{\varepsilon_{\phi}}{c_{\phi}} D\frac{\lambda_p}{\lambda_m} \right) \nabla^2 P \quad (3^{III})$$

где:  $T$  и  $P$  – температура и давление окружающей среды;

$a$ ,  $c_{cp}$  и  $c$  – удельная теплопроводность, теплоемкость и температуропроводность ткани;

$\lambda_m$ ,  $\lambda_p$ ,  $\varepsilon_{\phi}$ ,  $\delta$ ,  $D$ ,  $\rho$ ,  $r$  – коэффициенты массообмена, молярного переноса пара, фазового превращения, термоградиентный коэффициент, диффузии воды, плотность волокна, теплота испарения воды.

Соотношения (3)<sup>I-III</sup> позволяют вычислить параметры тепломассопереноса. Однако, при вычислении соотношения (3)<sup>I-III</sup> необходимо дополнить граничными условиями. Учитывая то

обстоятельство, что изменение внешнего давления равно нулю, то  $\frac{\partial P}{\partial t} = 0$  и  $\varepsilon_{\phi} = 0$ , т.к. вода в

ходе процесса тепломассопереноса остается жидкой средой.

Находя экспериментальные значения  $W$  и  $T$  в различных интервалах увлажнения волокон, можно найти интервалы, в пределах которых коэффициенты уравнений 3 являются константами и, следовательно, в этих интервалах уравнения, тепломассопереноса можно

упростить. Использование насыщенного пара позволяет существенно сократить временной интервал увлажнения волокон. Аналитическое описание оказалось возможным упростить путем представления волокон в виде совокупности микрообъемов. При этом шаг по времени составляет 0,5 мс., в по толщине 1 мкм. В пределах минимизированных ячеек в волокнах коэффициенты в уравнениях  $3^I \div 3^{III}$  можно считать константами, а использование насыщенного пара обеспечивает возможность сокращения временного интервала для увлажнения волокон.

Для упрощения аналитических расчетов нелинейные дифференциальные уравнения преобразованы в нелинейные алгебраические уравнения, решаемые с использованием несложных существующих программ.

Размеры пор в образцах волокон хлопчатника составляют от 0,4 до 750 нм., а их общий объем – 0,16 см<sup>3</sup>. В арамидных волокнах такого же количества по массе как и в образце хлопка, размеры пор меньше – 0,5÷25 нм., а их общий объем составляет 0,07 см<sup>3</sup>. В хлопчатобумажных и арамидных тканях размеры пор достигают 2,5 и 2,0 мкм. соответственно. Процентное содержание пор в тканях примерно на порядок выше в сравнение с волокнами, что свидетельствует о большом количестве пор в межволоконных и межниточных зонах.

Диспергирование функциональных наноструктурированных компонентов проведено таким образом: параметры и кратность диспергирования, выбраны так, чтобы размеры наноструктурированных компонентов были примерно такими же, как и размеры пористой системы в волокнистой основе. Для получения функциональных магнитных нанокomпозитов на волокнистой основе использованы высококоэрцитивные материалы – феррит стронция или сплав Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B. Многофункциональные нанокomпозиты на волокнистой основе получены посредством введения в волокнистую основу высококоэрцитивных наноструктурных частиц, а также других функциональных наночастиц: гематита, маггемита, магнетита, углеродных нанотрубок. Многофункциональные нанокomпозиты на арамидной волокнистой основе позволяют реализовать несколько функций: магнитотерапию, повышение адаптационно-регенерационного резерва организма человека в стрессовых ситуациях, защиту от повышенных температур, воздействия акустических, в т.ч. ультразвуковых и электромагнитных волн, а также вибраций; механических, в том числе импульсных нагрузок; химических и биологических факторов.

2 этап. Подготовка волокнистой основы к формированию в ней наноструктурных образований, обеспечивающих многофункциональность волокнистых нанокomпозитов. В начале подготовка волокнистой основы заключалась в воздействии магнитного поля на формируемую в пневмопрядильной камере пряжу (рис.1). Магнитное поле создает стержень 8 (рис.1), представляющий собой намагниченный высококоэрцитивный сплав типа ЮНДКТ. Магнитное поле, создаваемое стержнем, обеспечивает протекание в волокнах различных реакций [7-10]: изменение спинового состояния системы; инициирует выход синглетов и подавляет выход триплетов, сопровождающиеся возрастанием вероятности рекомбинации отдельных пор. В волокнах, у которых характеристическая температура достигает почти 0,65 при температуре окружающей среды 20°C различные функциональные группы подвержены рекомбинации с разрушением как межмолекулярных, так и внутримолекулярных связей. При анализе ИК-спектров установлено, что в волокнах возникают свободные атомы и функциональные группы: Н, Н<sub>2</sub>, О, О<sub>2</sub>, О<sub>3</sub>, ОН, СН, СН<sub>2</sub>, СН<sub>2</sub>ОН. Некоторые из свободных групп и атомов парамагнитные - Н, О, С, О<sub>2</sub>, NO. Экспериментально и теоретически, как это следует из представленных данных, показано, что магнитным полем можно модифицировать волокна, обеспечивая при этом возникновение связей между функциональными наноструктурными образованиями, вводимыми в волокнистую основу, и функциональными группами волокон.

3 этап. Процессу иммобилизации функциональных наноструктурированных частиц в волокнистую основу предшествует активирование волокнистой основы в низкотемпературной плазме коронного разряда, обеспечивающей возникновение не только

Ван-дер-ваальсовых, но и химических взаимодействий между структурными образованиями молекулярного уровня волокон и функциональными наноструктурными образованиями.

При разработке математической модели процессов активирования волокнистой основы в коронном разряде использованы допущения, справедливость которых показана в работах [11-14]:

- коронный разряд стационарен, его характеристики не изменяются, для расчетов можно использовать средние значения плотности электрического заряда;

- поскольку зона ионизации на несколько порядков меньше внешней зоны с активируемым волокнистым материалом, то можно считать, что ионы поступают непосредственно с кончика иглы;

- знаки электрических зарядов на кончике иглы и на волокне одинаковы;

- скорость естественного электрического ветра составляет  $0,2 \div 0,4$  м/с, время перезарядки волокон при возрастании влагосодержания до 72% снижается в  $10^4$  раз;

- наличие магнитного поля в зоне короны с волокнами обуславливает рост вероятности активирования;

- скорость потока воздуха, создаваемого вентилятором – 5 м/с;

- расстояние между иглами – 10 мм, а подаваемое напряжение 22 кВ, плотность электрических зарядов на поверхности ткани –  $5 \cdot 10^{-4}$  Кл/мм<sup>2</sup>.

Схема коронного разряда в зоне расположения коронирующей иглы и функциональные зоны при активировании волокнистой основы представлены на рисунке 2, а значения плотности тока  $j$  и напряженности поля  $E$  под коронирующей иглой на рисунке 3.

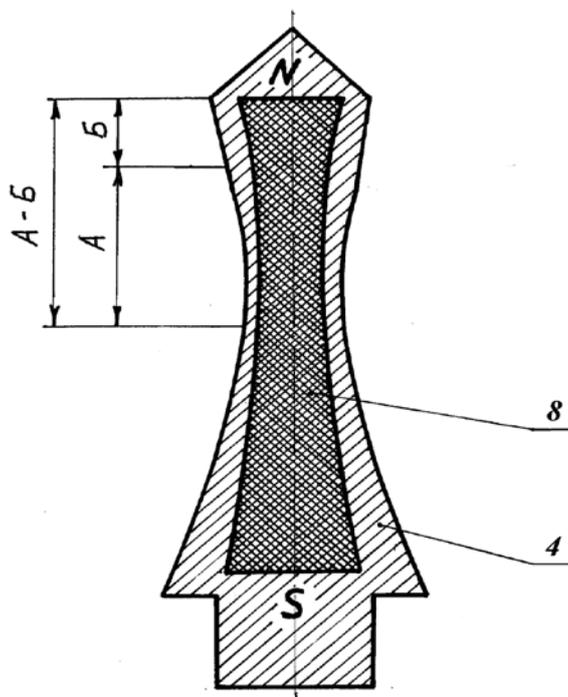
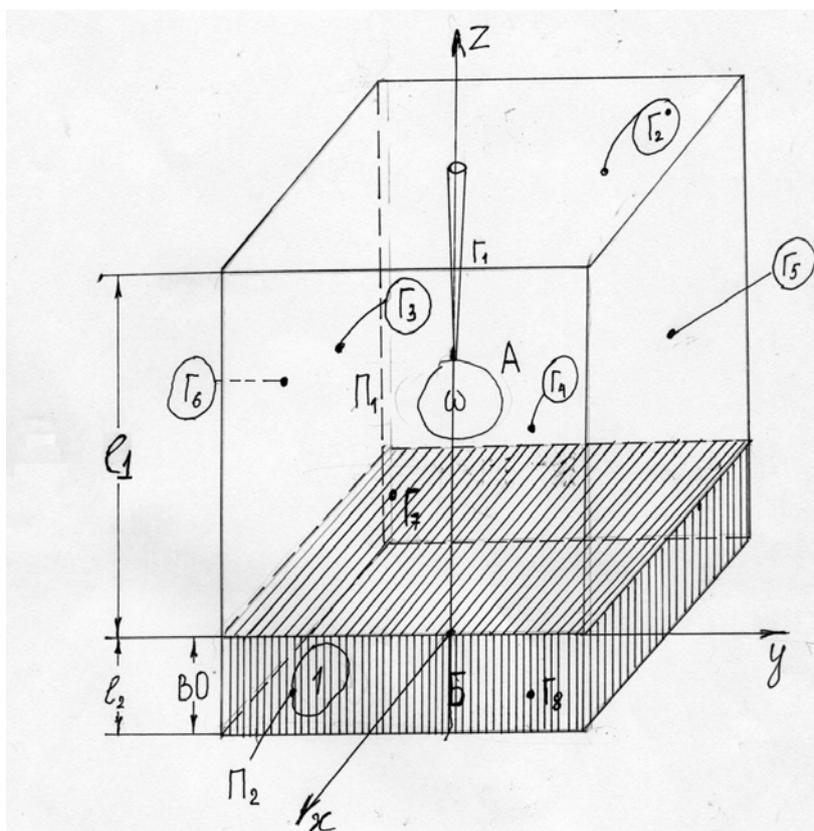
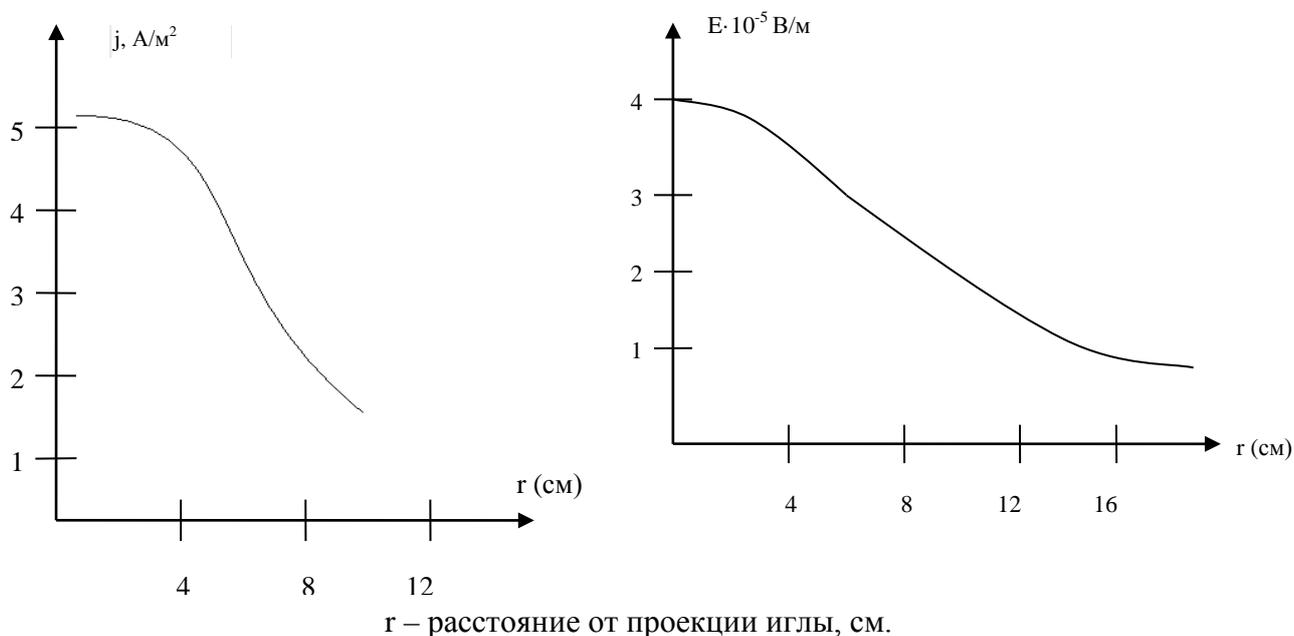


Рис. 1 Схема стержня с магнитом во внутренней полости пневмокамеры



П2 – граница волокон снизу – нижний электрод;  
 $\omega$  - зона коронного разряда;  
 П1 – зона перемещения заряженных частиц;  
 $\omega$  – зона ионизации (чехол);  
 BO – внешняя зона – зона расположения волокон;  
 $\Gamma 1 \div \Gamma 6$  – зона расположения низкотемпературной плазмы;  
 $\Gamma 7 \div \Gamma 8$  – зона воздействия плазмы на волокнистую основу.  
 Рис. 2 Схема коронного разряда под иглой



$r$  – расстояние от проекции иглы, см.  
 Рис. 3. Изменение плотности тока  $j$  и напряженности электрического поля  $E$  под коронирующей иглой

Учитывая данные работы [11-14], граничные условия при математическом описании короны, представленной на рис. 2, следующие:

$$\Phi_{\Gamma 1} = \Phi_{\max}; \Phi_{\Gamma 5} = \text{const}; \Phi_{\Gamma 8} = 0. \quad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0.$$

Плотность электрических зарядов, по данным авторов [11], во внешней зоне коронного разряда – зоны А и Б на рис. 2, можно найти, воспользовавшись уравнением:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + v \text{grad} \rho = D \Delta \rho - B \rho^2 \quad (4)$$

где:  $\rho$  – объемная плотность зарядов;

$v$  – скорость движения зарядов;

$D$  – коэффициент диффузии;

$\Delta$  – оператор Лапласа;

$B$  – коэффициент, учитывающий особенность среды;

$t$  – время.

При подстановке в уравнение 4 значений используемых физических величин получено уравнение:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + v_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + v_y \frac{\partial \rho}{\partial y} + v_z \frac{\partial \rho}{\partial z} = D \left( \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial z^2} \right) + B \rho^2 \quad (5)$$

Поскольку плотность молекул в среде коронного разряда существенно выше в сравнении с ионами, то при рассмотрении процессов в зоне коронного разряда диффузией ионов можно пренебречь в сравнении с направленным движением этих ионов. Как видно из рисунка 2, силы электрического поля действуют вдоль оси  $z$  поэтому при описании процессов в зоне коронного разряда можно пренебречь производными по осям  $x$  и  $y$ .

Считая началом координат движущийся ион в уравнении 4 можно пренебречь производной по  $z$ . С учетом рассмотренных выше соображений уравнение 4 может быть записано так:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -B \rho^2 \quad (6)$$

В зоне А происходит движение ионов в воздухе. В зоне Б происходит движение в среде: воздух – волокна. Значение величин  $B_A$  и  $B_B$ , определяющие подвижность ионов в воздухе и подвижность ионов в смеси воздуха с волокнами равны.

$$B_A = \frac{K_A}{\varepsilon_A \varepsilon_0}; \quad B_B = \frac{K_B}{\varepsilon_A \varepsilon_0} \quad (7)$$

где  $K_A$  и  $K_B$  – подвижность ионов в воздухе и смеси воздуха с волокнами.

Объемную плотность ионов (зарядов) в зонах А и Б можно найти интегрированием:

$$\int \rho^{-2} \partial \rho = -B \int \partial t$$

Используя уравнение Пуассона, были получены выражения позволяющие найти значение напряженности и потенциала поля в зонах А и Б.

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \rho_0 B_A \frac{\ell_1}{v_A}} \cdot \frac{1}{1 + \rho_0 B_A \frac{z - \ell_1}{v_B}}; \quad (8)$$

$$E_B = E_{AB} - \frac{4\pi v_B}{\varepsilon_0 \varepsilon_B B_B} \cdot \ln \left( 1 + \frac{\rho_{AB} B_B}{v_B} (z - \ell_1) \right) \quad (9)$$

$$\varphi_B = \varphi_0 + E_{AB}(Z - \ell_1) - \frac{4\pi v_B^2}{\varepsilon_0 \varepsilon_B \rho_{AB} B_B^2} \quad (10)$$

$$\times \left\{ 1 + \frac{\rho_{AB} B_B}{v_B} (Z - \ell_1) \times \ln \left( 1 + \frac{\rho_{AB} B_B}{v_{AB}} (Z - \ell_1) - 1 \right) + 1 \right\} \quad (11)$$

Как видно из соотношений 8-11 рассматриваемые величины можно изменить, изменив расстояние от коронирующих игл – по оси  $z$  и скорость движения зарядов  $v_A$  и  $v_B$ . Обычно  $v_A$  и  $v_B$  равны естественной скорости электрического ветра. В данной работе  $v_A$  и  $v_B$  изменены посредством установки вентилятора, что позволило увеличить скорости  $v_A$  и  $v_B$  с 0,2 м/с до 5,2 м/с, расстояние между волокнами и коронирующими иглами взято минимально возможным – 5мм. Эти изменения позволили увеличить значение  $\rho$  в зоне Б почти в 40 раз и, тем самым, усилить модифицирующее воздействие плазмы на волокна: по данным ИК-спектроскопии в волокнах, после обработки их в низкотемпературной плазме, обнаружен рост числа неэквивалентных состояний метиленовых и гидроксильных групп, рост доли аморфных зон и изменение энергетического состояния поверхности волокон зарегистрированное увеличением в два раза ширины зоны нематика с искаженной гомеотропной ориентацией при соприкосновении его с поверхностью волокон после обработки их в низкотемпературной плазме коронного разряда.

Изготовление магнитных нанокомпозитов на волокнистой основе с использованием результатов представленных выше теоретических и экспериментальных исследований позволили изготавливать ткани с содержанием в них (10÷30)% высококоэрцитивных наночастиц, создающих внутри ткани и на расстоянии 10 мм. от поверхности волокнистой основы магнитное поле индукцией до 60 мТл. Использование этой ткани для изготовления защитной одежды позволяет повысить адаптационный резерв организма человека в экстремальных условиях посредством нормализации работы практически всех систем организма человека, особенно нервной.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геллер М.Р. Квантовые явления в низкоразмерных системах. Нанонаука и нанотехнологии. Издательство, ЮНЕСКО, Москва, 2011г., с.446-464.
2. А.Д. Помогайло, А.С. Розенберг, И.Е. Урлянд. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия, 2000г., с.151-236
3. Изгородин А.К., Геворкян В.Р., Пухов А.Г., Трусов Д.Ю. Разработка компонентов состава и технологии формирования функциональных нанокомпозитов на волокнистой основе // XVII Международной научно-практической семинар Smartex-2014, с. 136-139
4. Озерин А.Н. Нанопорошки в российских нанотехнологиях // Российские нанотехнологии. 2009, - т.4. - №11, с.9-10
5. Луцик Р.В., Малкин Э.С., Абаржи И.И. Тепломассобмен при обработке текстильных материалов. Киев: Институт теплофизики АН Украины. 1993, 344с.
6. Лыков А.В. Тепломассобмен (справочник). М.: Энергия, 1978.
7. Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М., Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. – Новосибирск: Наука, 1978.
8. Pedersen J.V., Freed J.H. // J. Chem.Phys. 1973. V.58. P. 2746
9. Зельдевич Я.Б., Бучаченко А.Л., Ранкевич Е.Л. Магнитно-спиновые эффекты в химии и молекулярной физике//УФН, 1988, т.155, вып.1, с.4-42
10. Chemically Induced Magnetic Polarization/Eds A.R. Lepley, G.K.Gloss, 1973
11. Верещагин А.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной спектроскопии. М.: Энергоатомиздат. 1976, 128с.

12. Вакуумно-плазменное и плазменно-растворное модифицирование полимерных материалов. М.: Наука, 2004, 604с.
13. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987, с.126-520
14. Велихов Е.П., Ковалев А.С., Рахимов А.Г. Физические явления в газоразрядной плазме. М.: Наука, 1987г., 160с.

УДК 661.728

## **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

### **NEW MATERIALS BASED ON NANOCRYSTALLINE CELLULOSE**

А.Г. Захаров, М.И. Воронова  
A.G. Zakharov, M.I. Voronova

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)  
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences (Ivanovo)  
E-mail: agz@isc-ras.ru, miv@isc-ras.ru

**Проведен сравнительный анализ свойств нанокристаллической целлюлозы, полученной из МКЦ и бактериальной целлюлозы. Методами ИК, масс-спектрометрии, дифференциальной сканирующей калориметрии, рентгеноструктурного и термогравиметрического анализа изучены композиты на основе нанокристаллической целлюлозы и поливинилового спирта. Показано, что добавка нанокристаллической целлюлозы приводит к повышению термической стабильности и понижению теплопроводности композитов.**

**Ключевые слова:** нанокристаллическая целлюлоза, бактериальная целлюлоза, композиты, термическая стабильность.

**A comparative analysis has been carried out regarding properties of nanocrystalline cellulose derived from microcrystalline and bacterial cellulose. Polyvinyl alcohol/nanocrystalline cellulose (PVA/NCC) composites have been characterized by IR and mass spectrometry, X-ray diffraction, differential scanning calorimetry and thermogravimetric analysis. It was revealed that the PVA/NCC composites exhibit a significantly enhanced thermal resistance and reduced heat-transfer capacity.**

**Keywords:** nanocrystalline cellulose, bacterial cellulose, composites, thermal stability.

Нанокристаллическая целлюлоза (НКЦ) вследствие своих уникальных свойств (анизотропная форма, большой поверхностный заряд, высокая механическая прочность, большая удельная поверхность, а также доступность, биосовместимость и нетоксичность) привлекает большое внимание с точки зрения разработки новых материалов с улучшенными эксплуатационными показателями. Например, использование НКЦ в качестве наполнителя в полимерах позволяет придать материалам новые качества: улучшать их механические свойства, оптические свойства, сорбционные свойства, биоразложение. Анизотропная форма и большой поверхностный заряд вызывают образование хиральной нематической жидкокристаллической фазы в водных дисперсиях НКЦ при относительно низких концентрациях (3-6% масс) [1,2]. При этом, хиральный нематический порядок может быть сохранен и в твердой пленке НКЦ при высушивании дисперсии. Это свойство создает возможность использования НКЦ в качестве структурного темплата для создания материалов с регулируемой структурой и управляемыми адсорбционными, спектральными свойствами, которые могут быть использованы для хирального распознавания и разделения, стереоспецифического катализа, фотоники и т.д.

Получение нанокристаллической целлюлозы (НКЦ) – это процесс выделения сформированных в процессе биосинтеза кристаллитов целлюлозы, удалением аморфных областей. Доля кристаллических областей и размеры кристаллитов зависят от

происхождения целлюлозы.

Частицы НКЦ имеют анизотропную стержнеобразную форму. Размеры частиц зависят от исходной целлюлозы. Размер частиц: диаметр 5-20 нм и длина от 100 нм до 1 мкм (в зависимости от источника целлюлозы и условий гидролиза). Аспектное отношение (отношение длины к наименьшему поперечному размеру) составляет 12 – для НКЦ хлопковой целлюлозы, 67 – для целлюлозы животного происхождения – туницин.

Выбор исходной целлюлозы определяет свойства получаемой нанокристаллической целлюлозы (НКЦ), такие как размер частиц, соотношение геометрических параметров, реакционная способность поверхностных гидроксильных групп, кристаллическая структура. К настоящему времени в литературе имеются сведения о шести полиморфных модификациях целлюлозы. Целлюлоза I, или нативная целлюлоза, обнаруженная в природных материалах, имеет две полиморфные модификации: I $\alpha$  и I $\beta$ . В целлюлозах, полученных из разных источников, соотношение этих двух полиморфных форм варьируется. В целлюлозах примитивных организмов преобладает низкосимметричная триклинная форма I $\alpha$ , в растительных целлюлозах и туниине преобладает I $\beta$  с моноклинной элементарной ячейкой. Так в хлопке, древесине, туниине содержание I $\beta$  составляет ~100%, в рами 90%. Низкосимметричная триклинная форма целлюлозы I $\alpha$  является метастабильной. Сосуществование двух полиморфов, имеющих различную стабильность, будет влиять на реакционную способность нативной целлюлозы: так как I $\alpha$  метастабильна, то ее реакционная способность выше, чем у I $\beta$ , и I $\alpha$  фаза будет участком первичной реакции [3].

Интерес к бактериальной целлюлозе (БЦ) в качестве источника получения нанокристаллической целлюлозы обусловлен

1) размерами кристаллитов бактериальной целлюлозы с высоким отношением геометрических размеров (длины и ширины);

2) высоким содержанием более реакционно-способной формы I $\alpha$  (содержание I $\alpha$  составляет 30-70%)

3) возможностью влиять на размеры кристаллитов, отношение полиморфов I $\alpha$ /I $\beta$  изменениями условий биосинтеза БЦ: выбором различных штаммов бактерий, синтезирующих целлюлозу, условиями культивирования, например, различными добавками в культуральную среду, температурным и кинетическим режимом.

БЦ продуцируется уксуснокислыми бактериями *Acetobacter xylinum* и является внеклеточным химически чистым продуктом, не содержащим лигнина и других примесей. Бактериальная целлюлоза в виде гель-пленки состоит из целлюлозных волокон диаметром 40-100 нм, длиной от 0.1 до 15 микрон, переплетенная структура которых образует сетчатую структуру (рис.1)

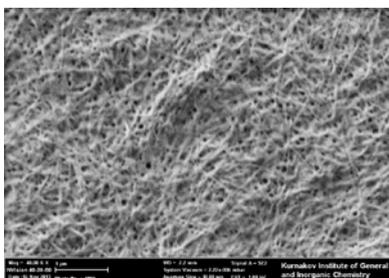


Рис.1. Фотография нативной БЦ, полученная с помощью сканирующего электронного микроскопа NVision 40 Carl Zeiss (Германия)

В работе были исследованы образцы гель-пленок БЦ, полученные на биологическом факультете Мордовского государственного университета им. Н.П.Огарёва

Для определения содержания двух полиморфов I $\alpha$  и I $\beta$  в образцах БЦ были использованы две методики: по данным рентгеноструктурного анализа (РСА) [4] и инфракрасной спектроскопии (ИК) [5].

Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре фирмы Bruker D8 Advance по схеме Брега-Брентано с использованием Mo-K $\alpha$ -излучения ( $\lambda = 0.071$  нм) и Cu-K $\alpha$ -излучение ( $\lambda = 0.1542$  нм).

Водные дисперсии НКЦ были получены из БЦ, полученной на разных питательных средах и МКЦ методом, описанным в [6,7], с некоторыми модификациями, связанными с особенностями БЦ. Параметры гидролиза и характеристики образцов НКЦ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры гидролиза и характеристики образцов НКЦ

	Исходная МКЦ	НКЦ-МКЦ	Исходная БЦ Образец1	НКЦ-БЦ1	Исходная БЦ Образец 2	НКЦ-БЦ2
<b>Параметры гидролиза*</b>						
Исходное состояние	порошок		Гель-пленка		Гель-пленка	
Температура, °С		50		50		50
Время гидролиза, мин		210		210		210
Модуль ванны, г/мл		3/80		0,5/140		0,5/140
Размер частиц в водной дисперсии после гидролиза (по фотографии электронного микроскопа), нм		Ширина 20-50 Длина 200-400		Ширина 50-60 Длина 1000-2000		Ширина 50-60 Длина 1000-2000
гидродинамический радиус частиц в водной дисперсии, нм		35 292		196 1370		132 972
<b>НКЦ-пленка</b>						
Содержание серы, %	-	0.62	-	0.75	-	0.68
Индекс кристалличности	79.6	77.7	74.1	74.6	70.0	75.9
Степень полимеризации	210	80	6670	450	4480	355
X <sub>I<math>\alpha</math></sub> , %	0	0	42(Mo) 39(Cu) 41(ИК)	46(Cu) 36(ИК)	37(Mo) 34(Cu) 35(ИК)	28(Mo) 37(ИК)
<b>НКЦ-аэрогель</b>						
Концентрация ВД г/л		2.05		0.98		2.18
Плотность аэрогеля, г/см <sup>3</sup>		0.017		0.0042		0.0031
Индекс кристалличности		58.6		72.7		70.3
Степень полимеризации				366.6		346.5
X <sub>I<math>\alpha</math></sub> , %				40(Mo)		38(ИК)

\* - концентрация H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - 64%

Размеры частиц в водных суспензиях НКЦ оценивали методом динамического

рассеяния света с помощью анализатора размера частиц «Zetasizer Nano ZS» (Malvern Instruments Ltd, UK) и электронного микроскопа типа ЭМВ-100Л. Полученные данные показывают, что частицы НКЦ, выделенные из БЦ, имеют анизотропную форму с высоким аспектным отношением (отношение длины к наименьшему поперечному размеру составляет 40-50). Гидродинамические радиусы частиц показывают, что для всех типов НКЦ наблюдается полидисперсное распределение. Можно выделить 2 группы частиц, соответствующие размерам 30-40 нм и 200-400 нм для НКЦ, полученной из МКЦ, и 40-50 нм и 500-1400 нм для НКЦ, полученной из БЦ.

Из водной дисперсии НКЦ были выделены двумя различными способами: испарением воды при комнатной температуре и методом сублимационной сушки. В первом случае образцы представляют собой пленку, во втором – аэрогель. Полученные материалы были исследованы методами:

- элементный анализ на содержание серы для оценки содержания сульфатных групп в образцах (анализатор Flash EA-1112 (Thermo Quest Italia);

- рентгеноструктурный анализ образцов, расчет индекса кристалличности, размеров кристаллитов, отношение полиморфов I $\alpha$ /I $\beta$  (дифрактометр фирмы Bruker D8 Advance по схеме Брега-Брентано);

- ИК-спектры получены на спектрофотометре Avatar 360FT-IR ESP (“Nicolet”, США) в области частот 4000-400 см<sup>-1</sup>. Образцы запрессовывали в таблетки, содержащие 1 мг анализируемого вещества и 100 мг бромида калия;

- степень полимеризации (СП) целлюлозы определяли по вязкости ее раствора в кадоксене.

Анализ полученных данных показывает, что НКЦ, выделенные из БЦ, имеют кристаллическую структуру целлюлозы I, при этом индекс кристалличности либо практически не меняется (образец НКЦ-БЦ1), либо увеличивается (образец НКЦ-БЦ2) относительно исходной БЦ.

Сравнение размеров частиц НКЦ, полученных из МКЦ и БЦ показывает, что частицы с высоким аспектным отношением, содержанием реакционноспособной I $\alpha$  фазы, определенной морфологией возможно только из бактериальной целлюлозы.

Образцы НКЦ, полученные методом сублимационной сушкой, представляют собой аэрогель (рис.2).

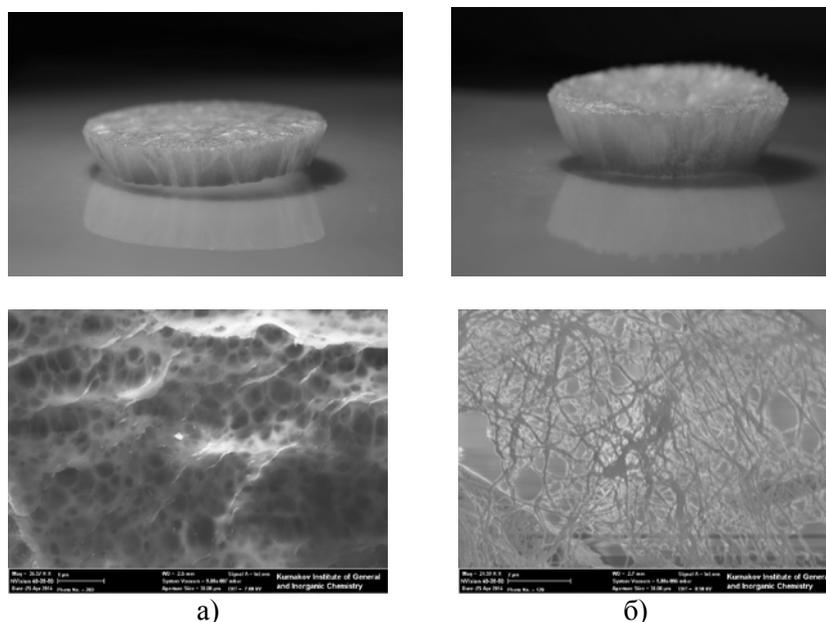


Рис.2. Фотографии частиц НКЦ, полученные с помощью электронного микроскопа  
а) НКЦ -МКЦ, б) НКЦ- БЦ

Размеры частиц определяют свойства аэрогелей НКЦ: аэрогели, полученные из БЦ, обладают очень низкой плотностью, одного порядка с плотностью воздуха ( $0.001 \text{ г/см}^3$ ).

Таким образом, результаты исследования показывают, что свойства получаемой нанокристаллической целлюлозы в значительной степени зависят от исходной целлюлозы. Возможность влиять на размеры кристаллитов, отношение полиморфов  $I\alpha/I\beta$  изменениями условий биосинтеза делает БЦ перспективным источником получения нанокристаллической целлюлозы.

Нами были получены композиционные материалы на основе поливинилового спирта (ПВС) и НКЦ [8]. ПВС растворим в воде. Поэтому композиты ПВС и НКЦ могут быть получены смешиванием водного раствора ПВС и водной дисперсии НКЦ. С другой стороны, образование водородных связей между гидроксильными группами макромолекулы ПВС и гидроксильными группами на поверхности частиц НКЦ позволяет предположить изменение термических, механических, мембранных свойств получаемых композитов ПВС/НКЦ.

Композиты ПВА-НКЦ получали смешиванием 5% водного раствора ПВС (М.м. =30000, Merck, степень гидролиза более 98%) с необходимым количеством водной дисперсии НКЦ для получения композитов с различным содержанием НКЦ. Полученные смеси интенсивно перемешивались при  $50^\circ\text{C}$  в течение 1 часа. Композиты были высушены двумя способами: естественным испарением воды с образованием композиционной пленки и сублимационной сушкой, которая приводит к образованию аэрогеля.

Поливиниловый спирт легко формуется методом литья под давлением или экструзии, образуя прочные прозрачные изделия, пленки, нити. Однако температура плавления и температура разложения ПВС близки. Поэтому существует задача – увеличение температурного интервала между температурой плавления и разложения.

Содержание НКЦ в композитах находилось в пределах 4,0-25,0% масс. Исследование термического разложения композитов ПВС/НКЦ показало, что добавка НКЦ оказывает значительное влияние на все стадии процесса термодеструкции. Увеличивается температура удаления адсорбированной воды, температура начала и максимума процесса дегидратации, температура разложения углеродного остатка композитов. Определено оптимальное содержание НКЦ в композите 7-13%, при котором процесс термодеструкции композита ПВС/НКЦ сдвигается в область более высоких температур по сравнению с чистым ПВС на  $70-80^\circ\text{C}$ .

Для определения причин увеличения термической стабильности композитов ПВС-НКЦ при оптимальном содержании НКЦ дополнительно был проведен масс-спектральный анализ продуктов термического разложения НКЦ и композитов ПВС-НКЦ.

Масс-спектральный анализ продуктов разложения проведен на термоаналитической установке STA 409 CD (фирмы Netzsch), снабженной масс-спектроскопической системой Скиммера QMG 422 (фирма In Process Instruments, Германия).

Состав продуктов термического разложения поливинилового спирта зависит от условий тепловой обработки и природы добавок. В идеальном случае – на первом этапе идет процесс дегидратации и образования высокомолекулярных полиеновых структур (полимерные цепи с последовательно чередующимися двойными и одинарными углерод-углеродными связями). Большинство полиеновых структур существуют как промежуточные продукты и в дальнейшем происходит их деградация с образованием более низкомолекулярных продуктов. Молекулярная масса, структура и свойства (в том числе температура разложения) образовавшихся полиенов зависят от наличия добавок. В нашем случае добавкой является НКЦ с некоторым количеством сульфогрупп на поверхности частиц.

Так, анализ масс-спектров композитов и ПВС в интервале массовых чисел 110-170 показывает существенные различия в механизме разложения продуктов дегидратации этих образцов (рис.3). В чистом ПВС процесс разложения начинается при температуре около  $270^\circ\text{C}$  с двумя максимумами 297 и  $445^\circ\text{C}$ . В композитах начало процесса разложения

сдвигается по мере увеличения массовых чисел с 330 до 400 °С с максимумами 370 и 445 °С (двойной пик), а с массового числа 150 только с максимумом 445 °С. Это говорит о том, что в присутствии НКЦ происходит образование промежуточных полиеновых структур с более высокой температурой разложения. Вероятно, доля таких «высокотемпературных» промежуточных структур зависит от величины добавки НКЦ. Причиной изменения тепловой стабильности может быть образование полиеновых структур с высокой термостойкостью в процессе дегидратации ПВХ в присутствии НКЦ.

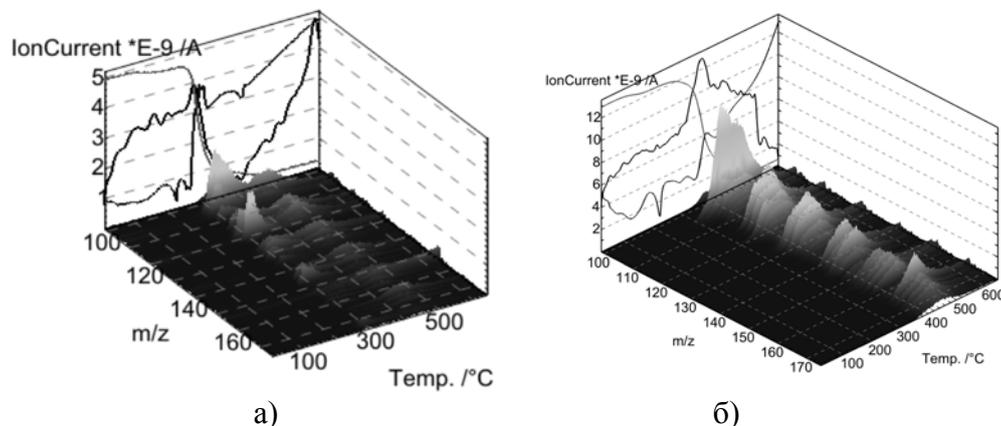


Рис. 3. Температурная зависимость интенсивности ионного тока ( $i$ ) в масс-спектрах продуктов термодеструкции ПВХ (а), ПВХ-НКЦ-8 (б), в интервале значений  $m/z$  от 100 до 170 а.е.м.

Исследование теплопроводности композитов ПВХ-НКЦ, полученных методом сублимационной сушки показало, что эти материалы обладают хорошими теплоизоляционными свойствами. Из таблицы 2 видно, что коэффициент теплопроводности композитов существенно ниже коэффициентов теплопроводности известных строительных теплоизоляционных материалов.

Таблица 2

Определение коэффициента теплопроводности

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура, °С	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м К)
ПВХ	130	30-90	0,024-0,032
ПВХ-НКЦ-4	73	30-90	0,023-0,034
ПВХ-НКЦ-10	63	30-90	0,020-0,029
Пробковые плиты	148-198	80	0,042-0,053
Стеклянная вата	154-206	88	0,051-0,059
Пенополистирол	35-50	80	0,041
Минераловата	200	80	0,07
Гипсокартон	800	30	0,21

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 15-43-03022-р\_центр\_а. Данные получены с использованием оборудования центра коллективного пользования "Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований".*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Eichhorn S. J., Dufresne A., Aranguren M., Marcovich N. E., Capadona J. R., Rowan S. J., Weder C., Thielemans W., Roman M., Renneckar S., Gindl W., Veigel S., Keckes J., Yano H., Abe K., Nogi M., Nakagaito A. N., Mangalam A., Simonsen J., Benight A. S., Bismarck A., Berglund L.A., Peijs T. Review: current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites//J. Mater Sci. 2010. V. 45. N1. P. 1–33
2. Siqueira G., Bras J., Dufresne A. Cellulosic Bionanocomposites: A Review of Preparation, Properties and Applications// Polymers. 2010.N 2. P. 728-765
3. Алешина Л.А., Глазкова С.В., Луговская Л.А., Подойникова М.В., Фофанов А.Д., Сирина Е.В. Современные представления о строении целлюлоз // Химия растительного сырья. 2001. №1. 5–36.
4. Wada M., Kondo T., Okano T. Thermally Induced Crystal Transformation from Cellulose Ia to Ib//Polymer Journal.2003.- Vol. 35.- No. 2. P. 155—159.
5. Thygesen A., Oddershede J., Lilholt H., Thomsen A. B., Stahl K. On the determination of crystallinity and cellulose content in plant fibres //Cellulose. 2005.-V.12.- N6.- P.563-576
6. Bondeson D., Mathew A., Oksman K. Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis//Cellulose. 2006. V.13. N 2. P. 171-180
7. Voronova M.I., Surov O.V., Zakharov A.G. Nanocrystalline cellulose with various contents of sulfate groups// Carbohydrate Polymers. 2013. V.98. P. 465– 469
8. Voronova M. I., Surov O.V., Guseinov S.S., Barannikov V.P., Zakharov A.G. Thermal stability of polyvinyl alcohol/nanocrystalline cellulose composites// Carbohydrate Polymers. 2015. V.130. P. 440–447

УДК 677.4

### СИНТЕТИЧЕСКИЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АРКТИКЕ

### SYNTHETIC TEXTILE MATERIALS WITH SPECIAL PROPERTIES FOR USE IN THE ARCTIC

В.М. Бузник<sup>1</sup>, Н.П. Пророкова<sup>2</sup>  
V.M. Bouznik<sup>1</sup>, N.P. Prorokova<sup>2</sup>

Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (Москва)  
Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)  
All-Russian Research Institute of Aviation Materials (Moscow)  
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the RAS (Ivanovo)  
E-mail bouznik@ngs.ru, npp@isc-ras.ru

Сформулированы требования, предъявляемые к текстильным материалам для использования в арктических условиях. Дана краткая характеристика новых способов поверхностного и объемного модифицирования текстильных материалов для придания им улучшенных и новых эксплуатационных свойств.

**Ключевые слова:** Арктика, защита от холода, текстильные материалы, модифицирование, новые свойства

We have formulated the requirements for textile materials for use in arctic conditions. We have given a brief description of new methods of surface and bulk modification of textile materials to give them improved and new operating properties.

**Keywords:** Arctic, protection from the cold, textile materials, modified, new properties

Необходимые для использования в арктических условиях волокнистые материалы можно разделить на две большие группы: текстильные материалы для защиты от холода и текстильные материалы технического назначения. При изготовлении одежды для защиты от холода главным фактором является её конструкция, в которой реализуется мультислойный принцип - количество изолирующих слоев должно быть не менее трех, причем к материалу для каждого слоя предъявляются особые требования. В частности, внутренний, контактирующий с кожей человека слой контролирует микроклимат – температуру и влажность воздуха. При низкой физической активности он должен уменьшить движение воздуха в контактном слое, при высокой активности – обеспечить уменьшение влажности во избежание перегрева. Этого можно добиться за счет адсорбции влаги тканью, либо за счет транспортировки влаги в следующий слой одежды. В зависимости от этого выбирается вид волокна, из которого изготавливается внутренний слой одежды [1-5].

Средний слой обеспечивает большую часть изоляции. Она включает в себя один или несколько предметов одежды из более толстого материала в зависимости от требований. Выбор текстиля является более или менее произвольным, при обеспечении хорошей изоляции. Для долгосрочного воздействия при ограниченных нагреве и возможности сушки (экспедиции и т.д.) должны быть выбраны неадсорбирующие материалы.

Наконец, наружный слой должен обеспечивать защиту от факторов окружающей среды, таких как ветер, дождь, огонь, разрыв и истирание. Для одежды полярников защита может также потребоваться от, например, химических и физических агентов. Этот слой можно добавить к общей изоляции путем использования изоляционных прокладок и ватина.

К техническим тканям, используемым в условиях Арктики, требования предъявляются в соответствии с областью их применения (например, олеофобность, устойчивость к действию агрессивных сред, огнестойкость и т.п.). Дополнительным требованием является устойчивость самой ткани и их отделки к действию экстремально низких температур. Для успешного освоения человеком арктической зоны требуется также большое количество полимерных материалов, в том числе, волокнистых, с совершенно новыми эксплуатационными свойствами.

В настоящее время для придания текстильным материалам улучшенных и новых свойств в институтах, входящих в состав консорциума «Фторполимерные материалы и нанотехнологии» реализуются новые подходы к поверхностному и объемному модифицированию синтетических текстильных материалов, которые основаны на использовании наноразмерных наполнителей при получении синтетических нитей из расплава и формировании наноразмерных покрытий при отделке нитей и волокнистых материалов на их основе.

Разработан способ объемного модифицирования полипропиленовых волокнистых материалов для улучшения их потребительских характеристик, основанный на введении в расплав волокнообразующего полимера на стадии формирования нитей малых количеств ультрадисперсного политетрафторэтилена. Модифицированные полипропиленовые нити обладают повышенной прочностью, высоким модулем упругости, улучшенной способностью к переработке. Нити получают в матированном виде без использования концентрата диоксида титана. При получении окрашенных в массу нитей значительно снижается обрывность. Ткань из модифицированных полипропиленовых нитей отличается высокими модулем упругости и износостойкостью, повышенной гидрофобностью. Модифицированный нетканый полипропиленовый материал характеризуется высокой равномерностью полотна по плотности, повышенной прочностью по длине и ширине, большей устойчивостью к воздействию деформаций [6-11].

Показана возможность и эффективность объемного модифицирования полипропиленовых нитей на основе использования в качестве наполнителей для них микроколичеств наноконструкта, представляющего собой наноразмерные металлсодержащие частицы, иммобилизованные в полиэтиленовой матрице. Установлено, что при этом обеспечивается увеличение относительной разрывной нагрузки полипропиленовых нитей без

снижения разрывного удлинения и ухудшения трибологических характеристик нитей, происходит значительное (в  $10^5 - 10^6$  раз) снижение поверхностного электрического сопротивления нитей, в то время как использование промышленных антистатических препаратов обеспечивает уменьшение этого показателя лишь в  $10^4$  раза. Кроме того, полипропиленовые нити, модифицированные наноразмерными металлсодержащими частицами, оказывают ингибирующее действие на развитие всех видов болезнетворных микроорганизмов [11-14].

Одним из направлений поверхностного модифицирования полиэфирных тканей в целях придания им повышенных гидрофобных свойств является формирование на поверхности каждой отдельной нити ультратонкого покрытия со свойствами фторполимеров. Оно осуществляется за счет обработки волокнистого материала растворами низкомолекулярной фракции УПТФЭ в сверхкритическом диоксиде углерода или растворами теломеров тетрафторэтилена в хлористом бутиле. Установлено, что обработанная ткань приобретает высокую гидрофобность, уникально низкое водопоглощение и высокую устойчивость к эксплуатационным воздействиям [15-22].

Другим направлением поверхностного модифицирования является способ формирования сплошного фторполимерного покрытия на поверхности нитей из термопластичных полимеров на последнем этапе их получения для придания нитям высокой устойчивости к действию агрессивных сред и ультрафиолетового излучения, низкого коэффициента трения, высокой гидрофобности. Способ реализуется на счет нанесения разбавленной суспензии фторопласта на поверхность полутвержденной нити и последующего ориентационного вытягивания [23,24].

Разрабатывается способ поверхностного модифицирования полиэфирных тканей посредством формирования на их поверхности наноструктурированного покрытия на основе диоксида титана для придания тканям барьерных антимикробных свойств и способности к самоочищению. Для обеспечения фиксации покрытия на поверхности волокнистого материала проводится предварительное её активирование посредством слабого направленного щелочного гидролиза полиэфирного материала, который приводит к формированию на поверхности нитей химически активных групп. Для активации используются разработанные нами химический способ активации полиэфирной ткани и способ, основанный на её обработке поверхностно-барьерным разрядом [25-29]. Показано, что после нанесения диоксида титана на предварительно активированную ткань последняя приобретает фотоактивные свойства.

Разработан также эффективный способ поверхностного модифицирования полипропиленовых нетканых материалов, связанный не с образованием покрытия, а с взаимодействием газообразного фтора с активными центрами волокнообразующего полимера. Этот метод обеспечивает придание барьерных биоцидных свойств полипропиленовому нетканому материалу медицинского назначения.

*Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 08-03-12152-офи, 11-03-12048-офи-м, 13-03-12065-офи-м, 15-48-03064-р-центр-а, № 16-29-05334\_офи\_м) и Президиумом Российской академии наук (программа «Поддержка инноваций и разработок» за 2009– 2011 г.г.).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Part 14. Holmer I. Textiles for protection against cold / In book: Textiles for protection. Ed. R.A. Scott. // Woodhead Publishing LTD: Cambridge, England. 2005. - 785 P.
2. Афанасьева Р.Ф. Гигиенические основы проектирования одежды для защиты от холода // М.: «Легкая индустрия», 1977. – 136 с.

3. Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В. Физиолого-гигиенические требования к одежде для защиты от холода работающих на открытой территории Северных регионов. // Ж. Медицина труда и промышленная экология. №6. 1996. – С. 10-15.
4. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В. Физиолого-гигиенические требования к одежде для защиты работающих от пониженных температур и методы оценки ее теплоизоляции.// Ж. Медицина труда и промышленная экология. - № 6. 2001 – С. 27-30.
5. Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В. Охлаждающая среда и ее влияние на организм. // В кн.: Профессиональный риск для здоровья работников. Под. ред. Н.Ф. Измерова, Э.И. Денисова. – М.: Травант, 2003. – С. 142-149.
6. Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Морыганов А.П., Базаров Ю.М., Терехов А.С., Бузник В.М. Патент RU № 2394945. Композиция для получения комплексных полипропиленовых нитей // Заявка 2009122686 от 16 июня 2009 г. Оpubл. Б.И. 2010, №20.
7. Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Морыганов А.П., Базаров Ю.М., Терехов А.С., Бузник В.М. Патент RU № 2411312 Способ получения комплексных полипропиленовых нитей // Заявка 2009122685 от 16 июня 2009 г. Оpubл. Б.И. 2011, № 4.
8. Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Бузник В.Н., Завадский А.Е. Модифицирование полипропиленовых волокнистых материалов ультрадисперсным политетрафторэтиленом // Высокомолекул. соединения. Сер. А. 2013. Т. 55. № 11. – С. 1333-1342.
9. Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Арсеньева С.А., Белова О.О. Получение нетканых полипропиленовых текстильных материалов с улучшенными качественными характеристиками // Текстильная промышленность. 2011 №6-7. С. 44-46.
10. Пророкова Н.П., Вавилова С.М., Кумеева Т.Ю., Бузник В.М. Поверхностные свойства полипропиленовых волокнистых материалов, модифицированных ультрадисперсным политетрафторэтиленом / Н.П. Пророкова, // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2013. Т. 49. № 1. – С. 104 – 110.
11. Пророкова Н.П., Бузник В.М. Новые методы модифицирования синтетических волокнистых материалов // Российский химический журнал (Журнал РХО им. Д.И. Менделеева). 2015. Т. LIX, № 3. – С. 52-59.
12. Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Бирюкова М.И., Юрков Г.Ю., Бузник В.М. Модифицирование полипропиленовых нитей с использованием наноразмерных металлсодержащих частиц, иммобилизованных в полиэтиленовой матрице // Российские нанотехнологии. 2014. Т. 9. № 9-10. – С. 21-27.
13. Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Кузнецов О.Ю., Бузник В.М. Антимикробные свойства полипропиленовых нитей, модифицированных стабилизированными полиэтиленом металлсодержащими наночастицами // Российские нанотехнологии. 2015. Т. 10. № 9-10. – С. 50-57.
14. Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Бирюкова М.И., Юрков Г.Ю., Бузник В.М. Полипропиленовые нити, модифицированные стабилизированными в полиэтилене железосодержащими наночастицами // Хим. волокна. 2015. № 5. – С. 47-54.
15. Пророкова Н.П., Кумеева С.Ю., Завадский А.Е., Никитин Л.Н. Модификация поверхности полиэтилентерефталатных тканей посредством нанесения гидрофобизирующего покрытия в среде сверхкритического диоксида углерода // Хим. волокна. 2009. № 1. – С. 26-30.
16. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Хорев А.В., Бузник В.М., Кирюхин Д.П., Большаков А.И., Кичигина Г.А. Придание полиэфирным текстильным материалам высокой гидрофобности обработкой их раствором теломеров тетрафторэтилена // Химические волокна. 2010. №2. – С. 25-30.
17. Пророкова Н.П., Бузник В.М., Кирюхин Д.П., Никитин Л.Н. Перспективные технологии гидро- и олеофобизации текстильных материалов // Химические технологии. 2010. Т.11. № 4. – С. 213-224.

18. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Кирюхин Д.П., Никитин Л.Н., Бузник В.М. Придание полиэфирным тканям повышенной гидрофобности: формирование на поверхности волокон ультратонкого водоотталкивающего покрытия // Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2011. Т.55. № 3. – С. 14- 23.
19. Кумеева Т.Ю., Пророкова Н.П., Никитин Л.Н., Завадский А.Е. Придание полиэфирному волокнистому материалу сверхгидрофобных свойств на основе использования раствора низкомолекулярного политетрафторэтилена в сверхкритическом диоксиде углерода // Новое в полимерах и полимерных композитах. 2012. № 1. С. 134-146.
20. Кумеева Т.Ю., Пророкова Н.П., Холодков И.В., Пророков В.Н., Буяновская А.Г., Кабаева Н.М., Гумилева Л.В., Бараковская И.Г., Таказова Р.У. Исследование покрытия полиэфирных волокон политетрафторэтиленом в сверхкритическом диоксиде углерода // Журн. прикл. химии. 2012. Т.85. Вып.1. – С. 151-156.
21. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Кирюхин Д.П., Бузник В.М. Гидрофобизация полиэфирных текстильных материалов теломерными растворами тетрафторэтилена // Журнал прикладной химии. – 2013. – Т. 86. – №1. – С. 68-73.
22. Кумеева Т.Ю., Пророкова Н.П., Кичигина Г.А. Гидрофобизация полиэфирных текстильных материалов растворами теломеров тетрафторэтилена, синтезированными в ацетоне и хлористом бутиле: свойства и структура покрытий // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2015. Т. 1. № 4. - С. 428-435.
23. Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Кумеева Т.Ю., Морыганов А.П., Бузник В.М. Пат 2522337 РФ. Синтетические нити с высокой хемостойкостью и низким коэффициентом трения / Заявлено 14.12.2012. Опубликовано 10.07.2014. Бюл. №19. Приоритет 14.12.2012.
24. Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Кумеева Т.Ю., Морыганов А.П., Бузник В.М. Пат 2522338 РФ. Способ получения синтетических нитей / Заявлено 14.12.2012. Опубликовано 10.07.2014. Бюл. №19. Приоритет 14.12.2012.
25. Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю. Модифицирующее действие нитрата аммония и гидроксида натрия на полиэтилентерефталатные материалы // Химич. волокна. 2004. № 6. – С. 19 – 21.
26. Пророкова Н.П., Хорев А.В., Вавилова С.Ю. Химический способ поверхностной активации волокнистых материалов на основе полиэтилентерефталата. Часть 1. Исследование действия растворов гидроксида натрия и препаратов на основе четвертичных аммониевых солей // Хим. волокна, 2009. №3. – С. 11-16.
27. Prorokova N.P., Chorev A.V., Kuzmin S.M., Vavilova S.Yu., Prorokov V.N. Surface Activation of Fibrous PET Materials // Advances in sustainable petroleum engineering science. 2013. V. 5. Is. 2. - P. 105-121.
28. Prorokova N.P., Chorev A.V., Kuzmin S.M., Vavilova S.Yu., Prorokov V.N. Chemical Method of Fibrous Materials Surface Activation on the Basis of Polyethylene Terephthalate (PET) // Chemistry & Chemical Technology. 2014. Vol. 8. No. 3. - P. 293 – 302.
29. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Кузьмин С.М., Холодков И.В. Модифицирование поверхностно-барьерным разрядом полиэфирных волокнистых материалов в целях улучшения их гидрофильности // Журнал прикладной химии. 2016. Т. 89, вып.1. – С. 119-127.
30. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Вавилова С.Ю., Истраткин В.А., Харитонов А.П., Бузник В.М Патент 2488600 РФ. Способ поверхностного модифицирования полипропиленового материала / Оpubл. 27.07.2013, Бюл. №21.
31. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Вавилова С.Ю., Истраткин В.А., Харитонов А.П., Бузник В.М. Патент 2488601 РФ. Способ поверхностного модифицирования полипропиленового материала / Оpubл. 27.07.2013, Бюл. №21.
32. Prorokova N.P., Istratkin V.A., Kumeeva T.Yu., Vavilova S.Yu., Kharitonov A.P., Bouzник V.M. Improvement of polypropylene nonwoven fabric antibacterial properties by the direct fluorination // RSC Advances, 2015, V. 5, Is. 55. - P. 44545-44549.

33. Пророкова Н.П., Истраткин В.А., Харитонов А.П. Технология прямого газового фторирования полипропиленового нетканого материала. Обоснование выбора оптимальных режимов процесса // Дизайн. Материалы. Технология. 2015 № 5 (40).- С. 28-34.

УДК 658.562.012.7

## **СВОЙСТВА, ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВОЗМОЖНОСТИ ЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ НА НЕТКАНОЙ ОСНОВЕ**

### **PROPERTIES, CHARACTERISTICS AND CAPABILITIES OF THE TARGET USING THE COMPOSITE NON-WOVEN FABRIC**

М.Ю. Трещалин, Ю.М. Трещалин  
M.Yu. Treschalin, Yu.M. Treschalin

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
Moscow state University named M.V. Lomonosov  
E-mail: mtreschalin@mail.ru, antropog@yandex.ru

В статье изложены результаты работы по созданию и исследованию композиционных материалов на основе нетканых полотен. Рассмотрена возможность улучшения взаимодействия волокнистого состава нетканой основы и полимеризованного связующего в процессе изготовления композиционных материалов за счет введения в состав связующего легкоплавких веществ. Дается анализ влияния на прочность эластичных гидростойких композитов различных клеящих веществ. Приводятся исследования слоеных ударопрочных композитов, при создании которых использовалась комбинированная основа, состоящая из нетканых полотен и плетеных лент, изготовленных из углеволокнистых и полиамидных нитей.

**Ключевые слова:** композит, нетканая основа, связующее, прочность, легкоплавкие вещества, добавки, волокна.

In article results of work on creation and research of composite materials based on nonwoven fabrics. Considered the possibility of improvement of interaction between fiber composition of the nonwoven substrate and the polymerized binder in the manufacturing process of composite materials by introducing in the composition of the binder of fusible substances. The analysis of influence on the strength of the elastic composites of various water resistant adhesives. Research provides high-impact layered composites, the creation of which used a combined basis, consisting of non-woven cloths and woven tapes made of carbon-fiber and polyamide yarns.

**Keywords:** composite, non-woven backing, binder, strength, fusible substances, additives, fibers.

Выбор нетканых полотен в качестве армирующей основы композитов связан не только с их специфическим строением и уникальными физико-механическими свойствами, но и с такими существенными преимуществами по сравнению с тканями, трикотажем и плетеными изделиями, как невысокая себестоимость производства, применение различных технологий изготовления, возможность использования в качестве структурных элементов химических волокон.

Первоначально, на этапе разработки, основной задачей было определение степени взаимодействия связующего и структурных элементов нетканых полотен, изготовленных российскими производителями («Холлофайбер», ООО «Термопол»; «Канвалан», ОАО «Ортон»; «Геоком», ООО «Комитекс»; «Геотекс», ООО «Сибур-геотекстиль») с использованием различных технологий и видов химических волокон (полипропиленовые и полиэфирные мононити и штапельные волокна). При создании образцов композитов использовалось связующее на базе полиэфирной смолы POLYLITE, обеспечивающее качественное адгезионное взаимодействие с волокнами основы. Это связующее имеет российские и европейские экологические и гигиенические сертификаты соответствия.

В результате комплексного изучения свойств образцов композиционных материалов было установлено, что прочностные характеристики композитов в 5-8 раз выше по сравнению с полимерной матрицей, при водопоглощении менее 1%, а себестоимость ниже аналогичных изделий, использующих в качестве наполнителя углеродные, стеклянные или базальтовые волокна.

Таким образом, установлено, что нетканая основа позволяет реализовать различные подходы к изготовлению изделий из композитов, когда необходимо сохранение работоспособности в условиях динамического нагружения. В отличие от металла, бетона и других традиционных строительных материалов, разработанные композиты обладают большей вязкостью разрушения, т.е. способностью поглощать энергию ударов, вибрации и других эксплуатационных факторов.

Учитывая целесообразность использования нетканых полотен в качестве основы композиционных материалов, дальнейшие исследования были направлены на разработку изделий целевого назначения: тепло - звукоизоляции, защиты различных объектов от избыточной влаги и механических повреждений. Кроме того, проведена работа по созданию композитов, имеющих повышенные прочностные характеристики за счет предварительной специальной обработки нетканой основы и введения упрочняющих добавок в связующее.

Идея тепло-звукоизоляции реализована в виде блоков и заключается в том, чтобы за счет самопроизвольного подъема связующего пропитать только поверхностные слои основы. При этом сохраняется прежняя пористость внутреннего волокнистого объема, выполняющего соответствующую функцию. Блок может быть использован в качестве уже готовой стеновой панели. Таким образом, получается легкая, прочная, утепленная стена нового поколения. Вполне возможно такие стены появятся в конструкциях быстровозводимых домов, ангаров, подсобных помещений. Применение практически не ограничено.

При создании образцов эластичных гидростойких композитов на нетканой основе, в качестве связующего использовались клеящие вещества: герметик, клей ПВА, резиновый клей. Проведенные испытания показали, что прочность образцов на растяжение возросла по сравнению с характеристиками основы на: 628,1 % при пропитке герметиком; 866,5 % при пропитке резиновым клеем; 1013,1 % при пропитке клеем ПВА.

Исследование возможности повышения прочностных характеристик композитов проводилось по двум направлениям.

Основой первого направления стали специфические особенности изготовления композитов и, в частности, повышение температуры связующего в процессе полимеризации, достигающей 80 – 120 °С в зависимости от толщины нетканой основы. Учитывая, что выделяющаяся энергия является следствием химической реакции и не требует дополнительных затрат на изготовление композита, целесообразно использовать эту энергию для спекания или расплава веществ, дополнительно введенных на стадии приготовления связующего с целью усиления адгезии и, как следствие, увеличения прочностных характеристик композиционного материала.

Выбор добавок в связующее производился исходя из следующих условий:

- применялись вещества, не используемые по своему прямому назначению для достижения упрочняющего эффекта;
- частицы вещества имели минимальные размеры и находились в твердом агрегатном состоянии при нормальных физических условиях;
- температура размягчения (плавления) находилась в интервале 50 – 120 °С.

В качестве таких веществ были выбраны: тонер черного и синего цветов, применяемый в лазерных принтерах, алюминиевая пудра и микрочастицы черной пористой резины.

Экспериментальные исследования изготовленных образцов в виде пластин показали, что введение в состав композиционного материала предложенных добавок увеличивает его механическую прочность на 20 – 45% по отношению к прочности композита без добавления указанных веществ.

Другое направление повышения физико-механических характеристик композитов - предварительная (до пропитки связующим) обработка нетканых полотен из синтетических волокон низкотемпературной плазмой низкого давления. Работа проводилась совместно с лабораторией ионно-плазменных технологических процессов Ивановского государственного химико-технологического университета.

Экспериментально было установлено, что плазмохимическая обработка на 12-30% увеличивает прочностные характеристики композитов, изготовленных на основе модифицированных нетканых полотен.

Для создания ударопрочных композиционных материалов использовалась комбинированная основа, состоящая из нетканых полотен и плетеных лент, изготовленных из углеволокнистых и полиамидных нитей. Вакуумная пропитка слоев основы связующим осуществлялась совместно, в одном пакете.

В результате анализа микроструктуры полученных композитов отмечается взаимное проникновение структурных элементов нетканой и плетеных прослоек, вследствие чего четкая граница между слоями отсутствует. Такой тесный контакт обусловлен сжатием пакета после создания вакуума до момента проникновения связующего в образец, и в конечном итоге, способствует повышению сопротивления слоеного композита нагрузкам в процессе эксплуатации.

Предельные напряжения при изгибе слоеного композита составляет 8 – 12 МПа, а предельные напряжения при растяжении – 85 – 105 МПа, в зависимости от толщины нетканой прослойки.

Стоимость изделий из разработанных композитов (панели, трубы, теплоизоляционные панели, защитные оболочки трубопроводов) в 3-8 раз дешевле по сравнению с аналогами из полипропилена, металла, пенополиуретана, уже имеющимися на рынке РФ.

Проведенные исследования показали эффективность применения композиционных материалов на основе нетканых полотен для создания изделий, используемых в качестве защиты от механических повреждений и тепло - гидроизоляции различных промышленных и строительных конструкций, а также объектов жилищно-коммунального хозяйства. Предполагая возможность серийного производства, разработаны эскизные проекты технологического процесса изготовления:

- защитных оболочек, представляющих собой две «скорлупы», внутри которых может быть расположена теплоизоляционная прослойка;
- листовых однослойных и многослойных изделий, а также эластичных влагостойких покрытий;
- тепло-звукоизоляционных панелей типа «сэндвич».

Таким образом, за прошедшие четыре года сформировано и научно обосновано новое перспективное направление, связанное с применением нетканых полотен в качестве основы композиционных материалов, проведено глубокое и всестороннее изучение их структуры, характеристик и свойств. Сегодня, под научной эгидой Московского университета, в работе участвуют ученые Костромского государственного технологического университета, Казанского национального исследовательского технологического университета, НИИ нетканых материалов, Ивановского государственного химико-технологического университета.

Следует отметить, что проект по теме: «Разработка и создание инновационных композитов на основе нетканых полотен», входит в Программу долгосрочных приоритетных направлений научных исследований Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (кластер «Нанотехнологии и новые материалы»).

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ 3D ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕФОРМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **DESIGN AND TECHNOLOGY OF TEXTILE 3D PREFORMS FOR THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS**

М.В. Киселев, В.Ю. Селиверстов, А.М. Киселев  
M.V. Kiselev, V.I. Seliverstov, A.M. Kiselev

Костромской государственной технологической университет  
Kostroma State Technological University  
E-mail: kisselev50@mail.ru, Laibach@mail.ru, info@kstu.edu.ru

В статье рассмотрены подходы к проектированию структур, получаемых ткацкими технологиями. Описано программное обеспечение, реализующее 3D структуру тканой преформы. Предложено разделять направления создания программного обеспечения на решение материаловедческих задач и задач проектирования преформ в условиях реального производства. Приведены примеры моделирования различных текстильных структур преформ и деталей. Описаны технические характеристики разработанного оборудования для производства 3D тканых преформ.

**Ключевые слова:** Композиционные материалы, текстильные технологии, 3D ткачество, математическое моделирование, программирование

The article discusses approaches to designing structures obtained weaving technology. Describes the software that implements the 3D structure of the woven preform. It is proposed to divide the direction of development of software to solve problems of materials science and engineering tasks preforms in a real production. Examples of modeling different textile preforms structures and parts. We describe the technical characteristics of the developed equipment for the production of 3D woven preforms.

**Keywords:** Composite materials, textile technology, 3D weaving, mathematical modeling, programming

Производством композиционных материалов с применением 3D текстильных технологий занимается большое количество зарубежных и отечественных ведущих фирм и предприятий. Среди отечественных разработчиков можно выделить – НПО «Сатурн» г. Рыбинск, ЗАО «Три-Д» Московская обл., Солнечногорский р-н, ООО Научно-производственное текстильное предприятие «Текстор» г. Казань, Инжиниринговый центр текстильной и легкой промышленности ИвГПУ г. Иваново. Зарубежных производителей значительно больше – Porcher Industries Group, Biteam Sweden, Albany Engineered Composites USA, Snecma (Safran Group, Франция), Япония (SAKASE ADTECHCo., Ltd), США (BallyRibbonMillsCo., A&T), Франция (ATG composite, Stevik), Германия (Steger, Herzog GMBh, Institute of Textile Technology and processing engineering, Denkendorf, Institute of AAHEN), Австрия (Teufelberger Ges.m.b.H.), Голландия (J.H.Vom Baur Sohn GMBH&Co., Eurocarbon) и др.

Производство композиционных материалов на основе текстильных армирующих объемных каркасов в основном ориентируется на стратегические отрасли промышленности такие как космонавтика, авиация и оборонная промышленность, являясь высокотехнологичным и наукоемким. Поэтому первой задачей любого подобного производства является разработка средств, методов и методик проектирования структуры будущего композита и прогнозирование его потребительских свойств. Как правило, это применение имеющегося программного обеспечения (ПО) и разработка специализированного оригинального. В данном направлении ведущие фирмы разработчики ПО ориентированы на CAE системы. Отметим, что наиболее распространенными системами, которые моделируют структуру и свойства композиционных материалов и нашли широкое применение 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 Composite PrepPost для моделирования многослойных композитов. Однако, ни одна из перечисленных выше CAE систем не может построить геометрическую твердотельную модель реальной структуры 3D текстильной преформы, хотя предоставляет такую возможность через описание заданной задачи в формате APDL файла с использованием функций внутреннего языка. Данное обстоятельство привело к разработке специализированного ПО, описывающего структуру 3D текстильных преформ, близких к реальным на уровне нитей. Это такие системы как: EAT (Германия), ScotCAD Textiles Ltd. (ScotWeave Design Software), WiseTex : Virtual textile and textile composite, Arahne (Словения), TexGen v. 0.75.

Отечественное ПО на сегодняшний день не конкурентно по своим функциональным возможностям и не нашло широкого применения в промышленности, и его разработка представляет актуальную задачу. При этом на каждом предприятии разрабатывают, как правило, свою систему виртуального проектирования, хотя многие из ее этапов носят общий характер. На рис. 1. представлена разработанная система проектирования и прогнозирования физико-механических свойств композиционных материалов на основе текстильных преформ.

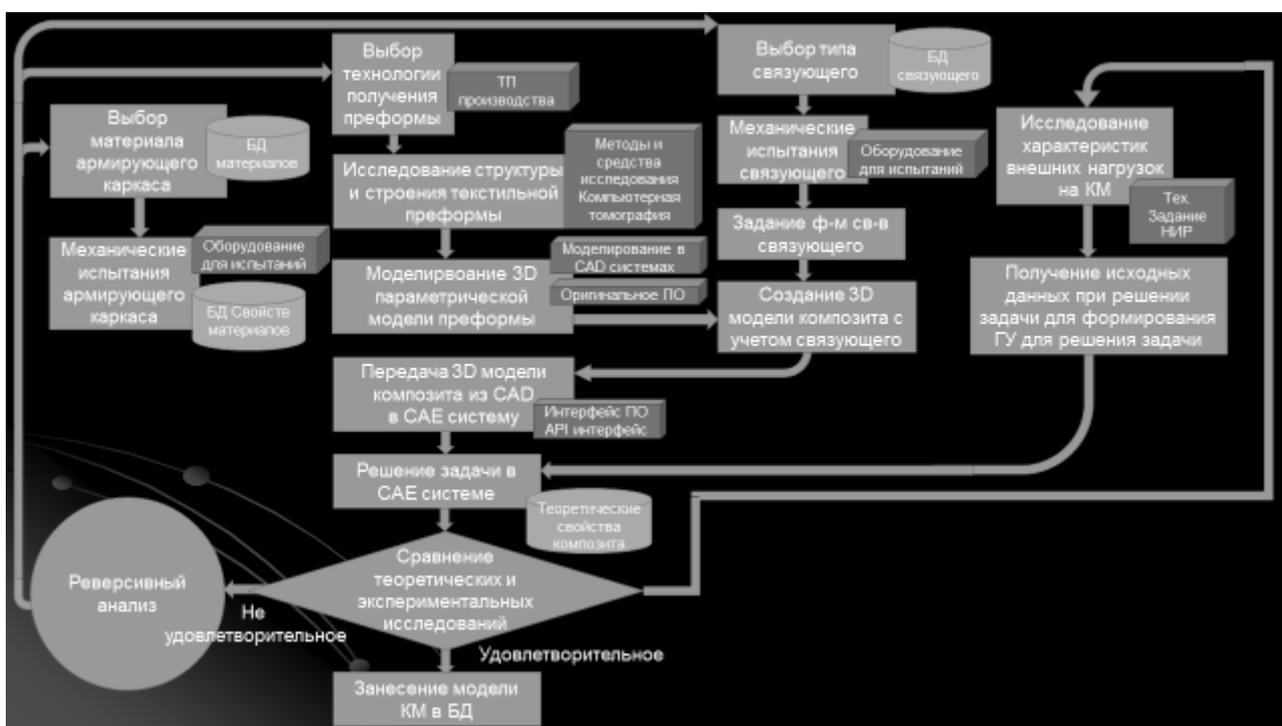


Рис.1. Система проектирования и прогнозирования физико-механических свойств композиционных материалов на основе текстильных преформ

В основе системы проектирования заложена концепция описания геометрической модели 3D текстильной преформы, представленная на рис. 2.



Рис. 2. Методика построения структуры текстильных материалов близких к реальной

Согласно представленной концепции, разработано оригинальное ПО, позволяющее моделировать 3D структуру текстильного материала [1-3]. На рис. 3. представлены примеры моделирования.

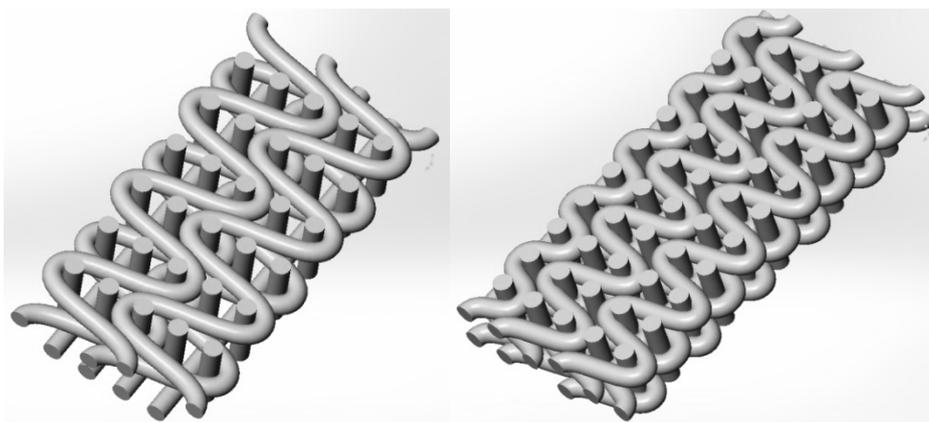


Рис. 3. Примеры моделирования 3D текстильной структуры с различным видом переплетений нитей

Исходя из функционального назначения ПО, считаем целесообразно разделить его по направлениям – моделирование структуры 3D преформы примитивных форм и моделирование 3D преформы сложной пространственной конфигурации. Соответственно данные направления решают разные задачи: решение материаловедческой задачи выбора оптимальной структуры преформы и решение задачи проектирования и прогнозирования свойств конкретной детали.

Разработано ПО построения произвольной 3D преформы, аппроксимирующей заданную форму детали. Пример моделирования представлен на рис. 4.

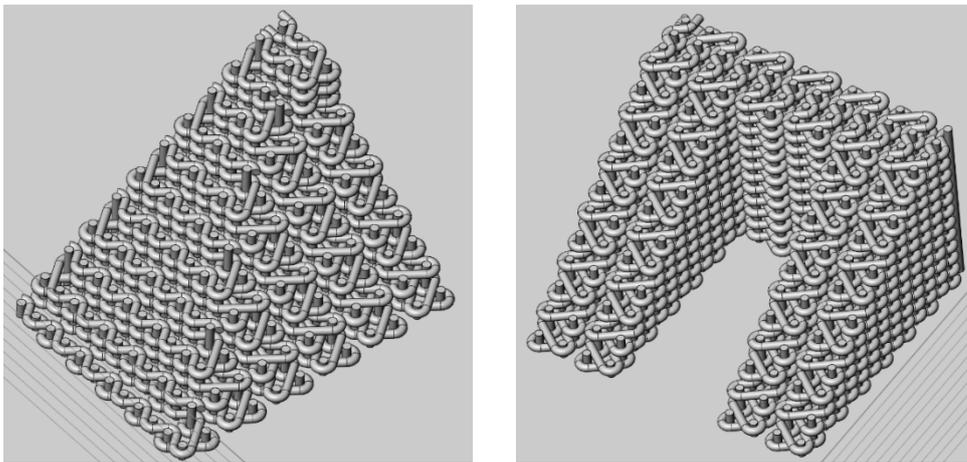


Рис.4. Примеры моделирования 3D структуры преформы, аппроксимирующей заданную деталь

Этап проектирования композиционной детали является первым в сложной технологической цепочке производства. Следующим этапом является разработка технологии и оборудования для получения заданных 3D структур преформ. В данном направлении известны работы профессора Гордеева В.А. и его учеников [4, 5], которые показали возможность выработки 3D тканых структур на обычном ткацком станке при его соответствующей модернизации. В соответствии с данными проведенными исследованиями нами были выработаны принципы модернизации ткацкого станка на базе модели АТ или АТТ:

- использование классического принципа формирования кромки;
- применение специального компенсатора для натяжения основных нитей при зевобразовании и прибое;
- использование берда с увеличенной общей высотой для получения значительной толщины 3D ткани;
- усиление несущих деталей зевобразовательного механизма;
- применение специального механизма отвода 3D ткани из рабочей зоны вместо товарного регулятора;
- использование подвижной грудницы ткацкого станка в связи перемещением опушки ткани в горизонтальном и вертикальном направлениях
- применение шпулярника для подачи основных нитей.

Используя выработанные принципы модернизации, был изготовлен экспериментальный станок, позволяющий вырабатывать 3D текстильные армирующие наполнители повышенной толщины с произвольным видом переплетений нити. Фотография экспериментального станка представлена на рис. 5.



Рис. 5. Фотография экспериментального станка для выработки 3D текстильных армирующих наполнителей повышенной толщины с произвольным видом переплетений нити

Технические характеристики разработанного экспериментального станка:

- ширина рабочей зоны – 600 мм, высота рабочей зоны до 250 мм;
- количество одновременно выпускаемых образцов – по требованию заказчика разделением заправочной ширины на ручки;
- скорость станка – 20-50 уток в минуту;
- механизм передачи утка – рапирный;
- вид перерабатываемого сырья: углеродные, арамидные, базальтовые, стеклянные, кремниевые, кварцевые волокна и их комбинации;
- механизм управления подъемом ремиз – электромагнитный;
- привод главного вала и перемещения рапир – сервопривод;
- управление работой каретки – от ПК;
- максимальное количество ремиз – 12 шт. (возможно увеличение);
- рапорт по утку – по требованию заказчика;
- максимальное количество навоев – 9 шт. (возможно увеличение);
- рассадка флянцев навоя – 600 мм, диаметр намотки нити – 500 мм;
- дополнительная изоляция всех электрических компонентов от текстильной электропроводящей пыли.

Разработанное ПО для проектирования новых композиционных материалов с повышенными механическими свойствами на основе 3D тканых преформ и оборудование для их производства повысят конкурентоспособность отечественной промышленности в широком спектре ее отраслей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев А.М. Моделирование структуры и деформационных свойств волокнистых холстов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Кострома, КГТУ. 2012. 190 с.
2. Киселев М.В., Бенецкая В.В., Селиверстов В.Ю., Киселев А.М., Рудовский П.Н. Моделирование структуры тканей. / Технология текстильной промышленности. – Иваново: Текстильный институт. ИВГПУ, 2013. – № 3 (345). С.23 – 28.
3. Бенецкая В.В., Киселев М.В., Киселев А.М. Объектное представление модели 3D-ткани / Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК - 2013): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. Часть 1. – Иваново: Текстильный институт ФГБОУ ВПО «ИВГПУ», 2013. – 280 с.
4. Селиверстов В.Ю. Строение и проектирование некоторых видов текстильных изделий и основы технологии их получения. Учебное пособие. – Кострома, КГТУ, 2005 г. – 114 с.
5. Гордеев В.А., Волков П.В. Ткачество. М: Легкая и пищевая промышленность, 1984 г. – 488 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССАХ КОЛОРИРОВАНИЯ И ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **THE USE OF NANOSIZED SYSTEMS IN PROCESSES OF COLORATION AND FINISHING OF THE TEXTILE MATERIALS**

А.М. Киселев, Н.В. Дашенко  
A.M Kiselev, N.V. Daschenko

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
Saint-Petersburg State University of industry technology and design  
E-mail: dnv77@mail.ru

**Представлены результаты исследований в области применения наноразмерных интерференционных пигментов и гидрофильных наноэмульсий для формирования структурной окраски и придания полифункциональных свойств текстильным материалам и изделиям на их основе**

**Ключевые слова:** текстильный материал, интерференционный наноразмерный пигмент, гидрофильная наноэмульсия, печать, реология, рисунок, структурная окраска, комплексная отделка, технология, качество

**The results of investigations in the application of nanoscale interference pigments and hydrophilic nanoemulsions for forming structural color and impart multifunctional properties of textile materials and products based on them are considered.**

**Keywords:** textile, nanoscale interference pigment, hydrophilic nanoemulsion, printing, rheology, print, structural coloration, complex finishing, technology, quality

В русле развития современных инновационных процессов на базе нано-био-информационных и когнитивных технологий особенно важно выявить принципиально новые перспективные направления создания полифункциональных текстильных материалов и изделий на их основе. Решение этой актуальной проблемы является неременным условием успешного развития отечественной текстильной промышленности, вносит ощутимый вклад в освоение программы импортозамещения с созданием новых, конкурентоспособных видов российской продукции.

В данном направлении ключевая роль отводится наноматериалам и нанотехнологиям, открывающим пути к выпуску товаров с улучшенными и, в ряде случаев, уникальными свойствами и расширению границ применения текстиля, собственное производство которого относится к приоритетным составляющим экономического развития России [1]. Одним из существенных векторов в указанном направлении является совершенствование художественно-колористического оформления текстиля и процессов заключительной отделки с использованием наноразмерных красителей и отделочных препаратов.

В настоящей работе представлены результаты исследований строения, свойств и особенностей применения неорганических наноразмерных интерференционных пигментов, способных к формированию структурных окрасок на текстильном материале, а также гидрофильных наноэмульсий на основе аминокремнийорганических сополимеров, используемых с целью придания комплекса улучшенных функциональных свойств синтетическим материалам (на примере полиэфирных обивочных мебельных тканей).

Исследования проведены на базе учебно-научно-инновационного комплекса «Текстиль: цвет и дизайн» при кафедре химической технологии и дизайна текстиля Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна.

С целью повышения колористических и прочностных показателей структурных окрасок, формируемых по оптическому механизму, доказана целесообразность совмещения процессов вытравной и пигментной печати. Установлено, что для разрушения красителя

фона текстильного материала наиболее эффективным является проведение восстановительной вытравки по механизму деструкции азогрупп с использованием сульфоксилата натрия (ронгалита – 10 % масс.). Определен ряд красителей с разными хромофорными системами с оценкой их устойчивости к окислительной и восстановительной вытравке [2, 3].

Методами микрофотографирования и фракционного дисперсионного анализа определены форма, строение и размеры частиц интерференционных пигментов различных цветовых серий (фракции 5 - 25; 10 - 60 и 20 -  $100 \cdot 10^{-6}$  м). Установлен характер влияния размеров частиц пигментов, а также толщины наноразмерного слоя оксидов металлов ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и др.) на слюдяной подложке (80 - 120 нм) на колористические и прочностные показатели структурных окрасок [4].

На основании изучения реологических свойств загустителей и печатных красок для совмещенного способа вытравной и пигментной печати доказано преимущество использования загустителя G-8 на основе полисахарида - галактоманнана, который в виде 8%-ного водного раствора характеризуется псевдопластическим вязким течением, высокой степенью структурированности (до 40 %), кинетической устойчивости и тиксотропного восстановления структуры (70 – 90 %), что обеспечивает формирование печатных рисунков высокого качества. Отмечено, что загустители на основе акриловых сополимеров, которые используются в пигментной печати, менее пригодны для совмещенной технологии, вследствие повышенной чувствительности к электролитам и проявления дилатантных свойств [5].

С целью полного удаления остаточных продуктов восстановительной деструкции красителей фона проведена оптимизация процесса промывки напечатанных текстильных материалов. Установлена максимальная эффективность моющей композиции из смеси анионоактивного и неионогенного ПАВ, обладающей синергетическим эффектом действия. Показано, что качественные показатели печатных изображений при применении интерференционных пигментов различных серий зависят не только от степени вытравляемости фона, но и от размеров частиц пигмента. В частности, кроющая способность печатной композиции и показатель резкости контура рисунка на текстильном материале улучшаются с переходом к моодисперсным пигментным составам с минимальным ( $5 - 25 \cdot 10^{-6}$  м) размером частиц, что особенно выражено при формировании рисунков на гидрофильных материалах с повышенной гигроскопичностью субстрата. Анализ физико-механических показателей напечатанных текстильных материалов показал отсутствие снижения их разрывной нагрузки и увеличения жесткости грифа по сравнению с исходными образцами. Небольшое снижение прочности под влиянием вытравляющего вещества (ронгалита) компенсируется образованием пленки связующего полимера, адгезионно закрепляющей частицы пигмента на волокнистом субстрате. Серией проведенных испытаний показано, что полученные структурные окраски характеризуются устойчивостью к трению, мокрым обработкам и химической чистке на уровне 4-5 баллов, что соответствует повышенным требованиям к потребительским свойствам готовых изделий [6].

Совмещенная технология вытравной и пигментной печати с использованием наноразмерных интерференционных пигментов прошла успешные производственные испытания и рекомендована к внедрению на текстильных фирмах и предприятиях, где осуществляется художественно-колористическое оформление выпускаемой продукции.

В следующем разделе работы проведено сравнительное исследование свойств микро- и наноразмерных отделочных эмульсий на основе фторсодержащих и аминокремнийорганических сополимеров, предназначенных для предварительного аппретирования полиэфирных мебельных тканей перед процессом их термопереводной печати.

Определены средние размеры частиц (глобул) в микро- и наноэмульсиях, которые отличаются в 10-15 раз и для наносистем составляют 80-110 нм. Выявлена обратная

зависимость между размером частиц дисперсной фазы и стабильностью отделочных эмульсий. Отмечена повышенная агрегативная устойчивость гидрофильных наноэмульсий, что технологически позволяет использовать их в разрабатываемом процессе [7]. Обнаружен эффект гидрофилизации поверхности полиэфирной ткани при ее аппретировании наноэмульсиями в концентрации 25-30 г/л с сохранением необходимого уровня водоотталкивающих свойств. Дано объяснение этому эффекту, исходя из особенностей механизма самосборки нанопокровов на основе гиперразветвленных структур и наличия в химической основе наноэмульсий гидрофильных групп и атомов фтора, имеющих специфическую ориентацию на поверхности раздела фаз [8]. В результате предварительного аппретирования наноэмульсиями повышаются колористические и прочностные показатели окрасок дисперсными красителями и, в целом, качество сублимационной печати.

Сравнительная оценка потребительских свойств мебельных тканей, прошедших обработку по традиционной и разработанной технологиям доказала улучшение показателей несминаемости, водо-масло-грязеотталкивания при снижении жесткости грифа напечатанной ткани, что объясняется особыми свойствами пленок, сформированных на ее поверхности. Установлено, что введение в аппрет для предварительной пропитки наноэмульсиями препарата тетрамон С (3-4 г/л) позволяет снизить величину удельного электрического сопротивления с  $10^{13}$ - $10^{14}$  до  $10^8$ - $10^{10}$  Ом, вследствие гидрофилизации поверхности полиэфирной ткани и образования на ней плотной гладкой пленки, снижающей коэффициент трения и способствующей уменьшению трибоэлектрического эффекта [9]. В соответствии с целевым назначением мебельной обивочной ткани, рекомендовано включение в состав аппрета композиции антипиренов в виде смеси ортофосфорной кислоты и мочевины (200 г/л) в совокупности с препаратом «Пирофикс» (100 г/л), обладающей синергетическим действием и сообщаемой материалу устойчивую огнестойкость, вследствие проявления Р-Н- эффекта и выделения газов, не поддерживающих горения. Для расширения и обновления спектра потребительских свойств мебельных тканей изучена возможность нанокапсулирования частиц одоранта в структуру полиэфирной ткани при введении в аппрет на основе наноэмульсий препарата «Odour-Tex SL» в концентрации 30-40 г/л. Установлено, что полученный эффект ароматизации характеризуется высокой перманентностью и сохраняется в течение 2-3 месяцев [10].

В дальнейшей работе планируется проведение исследований по приданию текстильным материалам свойств регулируемой гидрофобности, способности к самоочищению поверхности, защиты от УФ-излучения, антибактерицидных качеств и огнестойкости за счет использования гибридных наноконпозиций на основе диоксида титана, обладающего фотокаталитическим эффектом.

Результаты проведенных исследований подтвердили перспективность применения наноразмерных систем в процессах колорирования и отделки текстильных материалов. Разработанные технологии рекомендуются к практическому использованию текстильными предприятиями и фирмами для выпуска отечественной конкурентоспособной продукции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кричевский Г.Е. Нано-био-химические технологии в производстве нового поколения волокон, текстиля и одежды.- М.: 2011.- 528 с.
2. Жидкова В.В., Дашенко Н.В. Разработка технологии совмещенного способа вытравной и пигментной печати с использованием неорганических пигментов //Технология легкой промышленности, сер.: Изв. вузов.-2012, № 3.- с. 95-98.
3. Жидкова В.В., Дашенко Н.В., Киселев А.М. /Состав для печати текстильных материалов //Патент РФ № 2508425; опублик. 27.02.14; бюлл. № 6
4. Дашенко Н.В., Жидкова В.В., Киселев А.М., Демидов А.В. Оценка размера частиц интерференционных пигментов и его влияния на качество печати текстильных материалов //Технология легкой промышленности, сер.: Изв. вузов.- 2013, т.22, № 4.- с. 61-65.

5. Жидкова В.В., Дашенко Н.В., Киселев А.М. Реологические свойства печатных составов на основе интерференционных пигментов //Технология текст. пром-сти; сер.: Изв. вузов.- 2013, № 5.- с. 64-70
6. Жидкова В.В. Интерференционные пигменты нового поколения и их применение для колорирования текстильных материалов //Вестник молодых ученых СПГУТД.- 2014, № 1.- с. 16-23.
7. Блинов А.Н., Максимов О.Г., Ковалева Т.В., Киселев А.М. Современные технологии колорирования и облагораживания мебельных тканей //Дизайн и производство мебели.-2007, № 2.- с. 36-41.
8. Блинов А.Н., Киселев А.М., Ковалева Т.В. Комплексная отделка мебельных тканей //Технология текст. пром-сти.-2008, № 3.- с. 60,61.
9. Блинов А.Н., Дашенко Н.В., Ковалева Т.В., Киселев А.М. Комплексная отделка мебельных тканей с использованием наноразмерных препаратов //Технология легкой пром-сти; сер.: Изв. вузов.-2009, т. 3, № 1.- с. 66,67.
10. Блинов А.Н., Дашенко Н.В., Ковалева Т.В., Киселев А.М. Современные технологии комплексной отделки мебельных тканей //Технология текст. пром-сти-2009, № 4.- с. 63-66.

УДК 678.5.06-416:539.21

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРУДНОГОРЮЧИХ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### NANOPARTICLES OF METAL COMPOUND FOR CREATION NONFLAMMABLE POLYMER TEXTILE MATERIALS

Е.В. Юртов, А.А. Серцова, С.И. Маракулин  
E.V. Yurtov, A.A. Sertsova, S.I. Marakulin

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева (Москва)  
Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (Moscow)  
E-mail: safurochka@gmail.com

В работе рассмотрена возможность использования наночастиц соединений металлов для снижения горючести полимерных текстильных материалов. Описаны преимущества использования металлсодержащих антипиренов в решении проблемы пожароопасности по сравнению с галогенсодержащими веществами. На примере полипропилена показано, что использование наночастиц бората цинка в качестве синергетической добавки (не более 6 масс.%) к полифосфату аммония эффективно снижает горючесть материала.

**Ключевые слова:** наночастицы соединений металлов, антипирены, композиционные полимерные материалы, замедлители горения, синергетический эффект, горючесть, термическая стабильность

The paper considers the possibility of using nanoparticles of metal compound in order to reduce the flammability of polymeric textile materials. Advantages of metal-containing flame retardants are described. It was shown that zinc borate nanoparticles as synergistic additives (no more than 6 wt.%) to ammonium polyphosphate effectively reduces the flammability of polypropylene.

**Keywords:** nanoparticles of metal compound, flammability, composites, polymeric materials, flame retardants, synergistic effect, a size effect, thermal stability.

Большинство текстильных изделий, изготовленных на основе полимерных материалов, являются пожароопасными. Они горят с образованием токсичных продуктов горения, среди которых оксиды углерода, акролеин, производные бензола и прочие отравляющие вещества [1]. Едкий дым, выделяющийся при горении, одержит частицы сажи и за несколько минут способен привести к гибели человека [2]. Такие материалы в процессе горения образуют

капли, которые увеличивают вероятность распространения пламени. Это является основными поражающими факторами горения текстильных полимерных материалов.

Существует несколько основных подходов к проблеме снижения горючести текстильных материалов [3]. Высокоэффективным с технологической и экономической точки зрения является способ поверхностной или объемной обработки материалов антипиренами.

На сегодняшний день в качестве антипиренов чаще всего используются галогенсодержащие соединения. Они эффективно снижают горючесть текстильных полимерных материалов, но как в процессе эксплуатации, так и в процессе горения выделяют большое количество токсичных веществ [4], следовательно, не решают основную проблему пожароопасности полимерных материалов.

К соединениям, способным решить проблему горючести текстильных полимерных материалов, относятся неорганические металлсодержащие замедлители горения. Они способны повлиять на их огне- и термостойкие характеристики, не образуя при этом токсичных продуктов горения [5]. Однако использование неорганических металлсодержащих антипиренов также имеет некоторые ограничения. Первое заключается в том, что для достижения высоких огнестойких характеристик текстильных материалов необходимо вводить не менее 40 масс.% неорганических металлсодержащих антипиренов. Это приводит к ухудшению технологических и физико-механических характеристик материалов. Второе - проблема введения и равномерного распределения таких добавок в матрице полимерных материалов.

Решить проблему высокой концентрации металлсодержащих замедлителей горения можно за счет уменьшения размера частиц добавки, т.к. известно, что не только природа наполнителя, но и его дисперсность оказывает влияние на свойства полимерных композиционных материалов [6]. а проблему совместимости за счет модификации поверхности добавки или разработки технологии введения добавки в матрицу [7].

Введение в состав наночастиц соединений металлов может позволить при незначительном изменении физико-механических свойств текстильных полимерных материалов добиться существенного повышения огнестойкости и снижения скорости горения. В настоящее время растет количество работ по использованию наночастиц и наноструктур в качестве добавок к полимерным материалам [8]. Повышенный интерес в первую очередь связан с возможностью получения композиционного материала с физико-химическими свойствами отличными от объемных веществ.

Высокие результаты по снижению горючести показали наночастицы соединений металлов получены, устойчивых к действию температуры вплоть до 1000°C (оксиды, углеродные нанотрубки и пр.), и вещества, разлагающиеся при температурах ниже 400 - 500°C (гидроксиды, соли) [10]. Интерес представляет использование наночастиц в качестве антипиренов как в чистом виде, так и в виде синергетической добавки.

В работе проанализировано влияние смеси наночастиц бората цинка (средний размер частиц 60 нм.) и полифосфата аммония (ПФА) на огне- и термостойкость полипропилена (ПП). Синтетическое волокно, формируемое из расплава полипропилена, обладает большим количеством преимуществ. Оно стойко к действию кислот, щелочей и органических растворителей, обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, имеет низкую стоимость по сравнению с другими полимерами, на основе которых производят волокна. Но как большинство полимерных волокон ПП имеет низкую стойкость к горению.

Ранее в работе [10] было установлено, что наночастицы бората цинка могут быть использованы в качестве эффективной синергетической добавки к полифосфату аммония для снижения горючести полипропилена, а концентрация 2 масс.% бората цинка и 13 % ПФА эффективно снижает горючесть полимерных материалов. Композиты на основе ПП получали в экструдере при температуре 200°C. Составы композиций ПП, содержащих смесь БЦ/ПФА приведены в таблице 1.

Таблица 1

Состав композиционных материалов на основе ПП

Содержание наполнителя БЦ/ПФА, масс %	0	15	20	25	30	40
Содержание полипропилена, масс %	100	85	80	75	70	60

Оценку влияния добавки БЦ/ПФА на горючесть ПП проводили по результатам измерения скорости горения (ГОСТ 19932-99.) и коксового остатка (ГОСТ 21207-81) композиций. Соответствующие результаты испытаний представлены на рисунке 1.

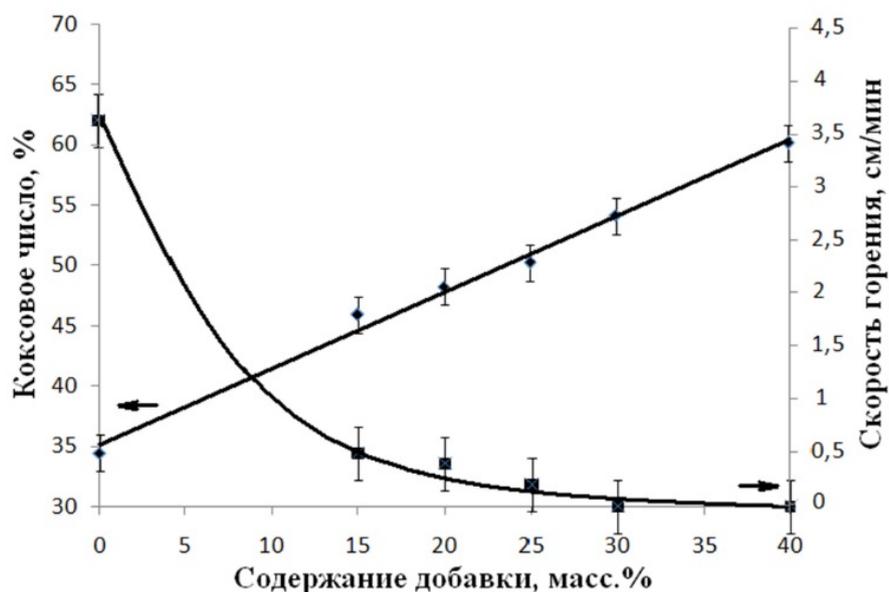


Рис.1. Результаты испытаний на скорость горения и коксовое число композитов на основе ПП с различным содержанием наночастиц бората цинка и полифосфата аммония

Согласно полученным данным, значение коксового числа композитов линейно зависит от содержания наполнителя. Для чистого полипропилена оно равно 34%, а для композиции, содержащей 40 масс % наполнителя – более 60%. При этом вклад наполнителя (ΔКЧ) в коксообразование прямопропорционален его количеству (таблица 2).

Таблица 2

Вклад добавки БЦ/ПФА в образование карбонизированного остатка композиций на основе полипропилена

Содержание наполнителя, % масс	0	15	20	25	30	40
ΔКЧ	0	16,1	20,8	24,5	30,2	39,6

Скорость горения полученных композиций с введением добавки значительно уменьшается. Для чистого полимера она составляет 3,64 см/мин, для образца, с содержанием наполнителя 25 масс % - 0,2 см/мин, при введении 30 и более масс % наполнителя распространение пламени по образцу прекращается. Данный композиционный материал можно классифицировать как самозатухающий, и соотнести его к категории горючести ПВ-0 (ГОСТ 28157-89). Использование наночастиц бората цинка в виде синергетической добавки (не более 6 масс.%) эффективно снижает горючесть ПП.

Введение неорганических наночастиц соединений металлов в состав текстильных изделий, изготовленных на основе полимерных материалов, может позволить при незначительном изменении физико-механических свойств полимерных материалов добиться существенного повышения огне- и термостойких свойств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Purser D.A. Application of human and animal exposure studies to human fire safety, Fire Toxicity, Chapter 8. Woodhead, 2010, p.282–345.
2. Alarie Y. Toxicity of fire smoke. *Critica Reviews in Toxicology*, 2002, v. 32, p. 259-289.
3. Асеева Р.М. Заиков Е.Г. Горение полимерных материалов. М: Наука, 1981. 280 с.
4. Talsness C. Overview of toxicological aspects of polybrominated diphenyl ethers: A flame-retardant additive in several consumer products // *E. Environmental Research*, 2008, v. 108, p.
5. Hull T. Richard, Witkowski Artur, Hollingbery Luke. Fire retardant action of mineral fillers // *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 96, 2011, 1462-1469 p.
6. Серцова А.А., Маракулин С.И., Юртов Е.В. Наночастицы соединений металлов - замедлители горения для полимерных композиционных материалов // *Российский химический журнал*. 2015. №3. с.78-85.
7. Taguet, P. Cassagnau, J.-M. Lopez-Cuesta. Structuration, selective dispersion and compatibilizing effect of (nano)fillers in polymer blends // *Progress in Polymer Science*. 2014. Vol. 39, p. 1526-1563.
8. Weil E. D., Levchik S. V. Flame Retardants for Plastics and Textiles: Practical Applications. Hanser, 2009. 297 p.
9. Alongi, J. Frache, A., Malucelli G., Camino G. Handbook of Fire Resistant Textiles. Woodhead, 2013. 704 p.
10. Маракулин С.И., Серцова А.А., Юртов Е.В. Повышение огне- и термостойкости ряда полимеров за счет синергетического эффекта наноразмерного бората цинка и полифосфат аммония. Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Получение и модифицирование синтетических волокон и нитей для инновационных материалов, композитов и изделий». 2015. с 81-82.

УДК 547.917.04

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТОДА ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

#### **PROSPECTS OF ELECTROSPINNING METHOD TO OBTAIN MATERIALS FOR MEDICO-BIOLOGICAL USE**

Н.Р. Кильдеева  
N.R. Kildeeva

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

В докладе рассмотрены возможности применения в медицине и биоинженерии материалов на основе ультратонких и нановолокон, полученных методом электроформования. Сформулированы требования к волокнистым материалам для использования в качестве биополимерных матриц тканевой инженерии, раневых покрытий и систем контролируемого высвобождения лекарственных веществ.

**Ключевые слова:** электроформование, нановолокна, тканевая инженерия, раневые покрытия, системы контролируемого высвобождения лекарственных веществ, биodeградируемые полимеры.

The report reviewed the possibilities for application in medicine and bioengineering materials based on ultrathin and nano-fibers, obtained by electrospinning method. The requirements for fibrous materials for use as biopolymer scaffolds for tissue engineering, wound dressings and drug delivery system are discussed.

**Keywords:** electrospinning, nanofibers, tissue engineering, wound dressings, system controlled drug release.

Развитие методов получения химических волокон позволяет создавать новые текстильные материалы специального назначения, в которых особенности исходных полимеров сочетаются с преимуществами волокнистой формы. Среди известных промышленных методов получения полимерных волокон и волокнистых материалов на их основе электроформование (электроспиннинг) находится в ряду наиболее динамично развивающихся технологий. В процессе электроформования деформация исходного полимерного раствора, последующий транспорт отверждаемых при испарении растворителя волокон и формирование волокнистого слоя осуществляется исключительно электрическими силами и в едином рабочем пространстве [1,2].

Наибольшие перспективы имеет способ так называемого бесфильтрного электроформования (электроформование с поверхности электрода – Nanospider™), разработанный компанией Elmarco (Республика Чехия). Формовочный электрод фирмы Elmarco представляет собой гладкий цилиндр, к которому приложено напряжение. Он вращается в емкости с раствором волокнообразующего полимера (рис. 1). Процесс электроформования нановолокон в электростатическом поле идет снизу вверх на горизонтальный заземленный осадительный электрод-транспортёр. Бесфильтрное электроформование отличается возможностью получения супертонких и даже наноразмерных волокон, что придает новые качественные характеристики материалам на их основе и расширяет области их использования. Волокнистые материалы, полученные методом электроформования, применяются в целом ряде областей: медицине, биоинженерии, электронике, для фильтрации газов и жидкостей, при создании композиционных материалов (для армирования полимерных матриц) и др. Как показывает обзор литературы, за последние 10 лет, около двух третей всех патентов, посвященных электроформованным волокнистым материалам, охватывает медицинские приложения.



Рис. 1. Формирование жидкой струи на формовочном электроде установки NS-LAB 200 Nanospider

Основными направлениями разработок в области получения и биомедицинского использования материалов из супертонких волокон являются:

- тканевая инженерия (биополимерные матриксы для выращивания живых тканей);
- раневые покрытия для лечения повреждений кожи и мягких тканей;
- системы с контролируемым высвобождением лекарств;

- иммобилизованные ферменты (гетерогенные биокатализаторы, аналитические тест-системы, системы мониторинга);
- защитные средства и одежда медицинского персонала и больных в стационарах;
- биосенсоры и биофильтры - компоненты фильтрующих систем в аппаратах «искусственная почка» и «искусственные легкие».

Каждая из перечисленных областей выдвигает свои требования к морфологии волокнистых материалов, волокнообразующим полимерам и требует специальных подходов к процессу переработки полимеров методом электроформования.

Одним из ключевых направлений тканевой инженерии является восстановления поврежденных или утраченных тканей и органов с помощью полимерных биоматериалов, выполняющих роль временного каркаса, поддерживающего и формирующего живую ткань. Высокая пористость и необходимый размер пор в скаффолдах являются важным условием для обеспечения заселения клеток и их пролиферации [3]. Пористая структура с сообщающимися порами способствует метаболическому и газовому обмену во вновь образующихся тканях, а большая площадь поверхности и определенный размер пор способствуют прорастанию тканей. В последнее десятилетие наблюдается всплеск в использовании метода электроформования для создания нановолокнистых скаффолдов для тканевой инженерии. Это обусловлено целым рядом причин, основной из которых является высокая удельная поверхность получаемых материалов и объем межволоконного пространства, обеспечивающие возможность для роста и пролиферации клеток. Методом электроформования можно получить волокна, диаметр которых такой же величины, что и фибриллы внеклеточного матрикса и которые имитируют естественную для клеток окружающую среду. Кроме того установлено [4,5], что наноразмерные волокна обеспечивают клетке возможность многоточечного прикрепления к матриксу и, тем самым увеличивая ее адгезию к материалу.

После выполнения функции временного каркаса, поддерживающего и формирующего живую ткань, полимерный матрикс должен резорбироваться в организме, поэтому в качестве его полимерной основы используют биodeградируемые полимеры. В настоящее время для этих целей применяют природные и синтетические полиэфиры (полигидроксибутират и другие полиалканоаты, полилактид, полигликолид, сополимеры на основе лактида и гликолида, поликапролактон и др.) [6-8]. Таким образом, основные требования, которые предъявляются к полимерным скаффолдам – это биологическая совместимость, пористая морфологическая структура, поддерживающая миграцию, заселение и последующую жизнедеятельность клеток, и комплекс необходимых механических и физико-химических свойств (упругость, атравматичность, адгезионные характеристики).

Возможности формирования структуры, обеспечивающей как адгезию клеток к поверхности материала, так и пространство для их роста, могут быть реализованы в процессе фазового разделения в смешанных растворах биodeградируемых полимеров. Ранее было показано, что в процессе удаления растворителя из полимерного раствора в хлороформе полигидроксибутирата и его смесей с поликапролактоном реализуется сложное аморфно-кристаллическое равновесие, в результате которого формируются пористые структуры или структуры типа «матрица – включение» в зависимости от соотношения полиэфира в растворе [9]. Изучены условия получения волокнистого материала методом бесфильтрного электроформования из растворов в хлороформе полигидроксибутирата (ПГБ) и его смесей с поликапролактоном (ПКЛ) [10].

Полигидроксибутират (ПГБ) – это природный полимер бактериального происхождения, который синтезируется несколькими видами прокариотических микроорганизмов в виде высокомолекулярного (ММ 980 кДа) кристаллизующегося полимера. Такая молекулярная масса ПГБ (980 кДа) обуславливает очень высокую вязкость его растворов. Начальная эффективная вязкость 3%-ного раствора ПГБ в хлороформе раствора достигает 9.15 Па·с, Именно в этой концентрационной области (рис. 2) начинает формироваться непрерывная сетка зацеплений, необходимая для стабильного струеобразования при электроформовании

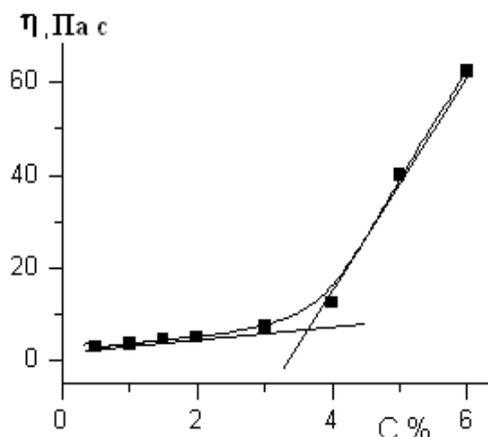


Рис. 2. Концентрационная зависимость начальной вязкости растворов ПГБ в хлороформе.

Исследование возможности электроформования 2-6%-ных растворов исходного ПГБ в хлороформе показало, что низкоконцентрированный раствор только распыляется, а при использовании более концентрированных высоковязких растворов происходит слишком быстрое отверждение и обрыв тонких струй формовочного раствора. Электроформование бесфильтренным способом растворов столь низкой концентрации и высокой вязкости осуществить не представлялось возможным. Для снижения вязкости растворов было использовано два приема: 1) введение в раствор хлороформа 0,015% HCl и 2) формование из смешанного раствора ПГБ и ПКЛ (50:50). Из 6%-го раствора эквимассовой смеси полимеров в хлороформе, путем электроформования со свободной поверхности при следующих условиях: напряжение  $23 \pm 2$  кВт, расстояние до подложки 15 см, температуре  $25^\circ\text{C}$  и влажность в камере  $\sim 50\%$ . Микрофотографии и гистограммы распределения по размерам волокон приведены на рис. 3. Бимодальное распределение по толщине волокон, полученных из смешанного раствора ПГБ и ПКЛ (рис. 3Б), может быть результатом фазового разделения в системе полимер-полимер-растворитель в процессе испарения хлороформа, в результате чего формируется структура изолированная фаза – матрица. Воздействие электрического поля на систему, содержащую деформируемые частицы изолированной фазы, приводит к формированию тонких волокон. Данная структура является оптимальной для создания биodeградируемых матриц для выращивания тканей живых организмов: тонкие волокна обеспечат прикрепление клеток к полимерной матрице, а более толстые создают возможности для их роста и пролиферации за счет больших объемов межволоконного пространства.

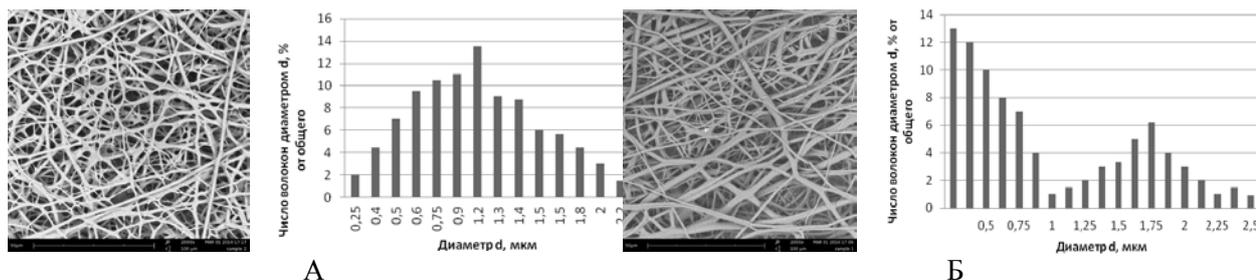


Рис. 3. Микрофотографии и гистограммы распределения по размерам волокон из 6%-го раствора ПГБ в хлороформе, содержащего 0.015% HCl (А) и волокон из 6%-го раствора ПГБ и ПКЛ 50:50 в хлороформе (Б)

Таким образом, электроформование, в отличие от других способов формирования

материалов с пористой структурой, за счет процессов фазового разделения и самоорганизация волокнистых структур в электростатическом поле является простым и технологичным средством получения волокнистых матриц с взаимосвязанной системой пор и размерами волокон в субмикронном диапазоне.

В докладе также проиллюстрированы возможности метода электроформования для создания атравматичных раневых покрытий на основе хитозана и тонковолокнистых систем с контролируемым высвобождением биологически активных соединений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках базовой части госзадания в сфере научной деятельности на 2014-2016 гг. проект № 2698.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ramakrishna S, Fujihara K, Lim EC, Zuwei M. An introduction to electrospinning and nanofibers. Singapore. 2005. -World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 382 p.
2. Филатов ЮН. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). // Под редакцией В.Н. Кириченко. - М.: ГИЦ РФ НИФХИ им.Л.Я. Карпова. 1997. 224 с.
3. Lanza R., Langer R., Vacanti J. P. (ed.). Principles of tissue engineering. - Academic press. 2011. 325p.
4. Laurencin W.J., Cateson CT., Tuan E.J. Electrospun nanofibrous structure: a novel scaffold for tissue engineering. //J. Biomed. Mater. Res. 2002. V.60. P. 613–621.
5. Lee Y.H, Lee J.H, An I.G, Kim C., Lee D.S., Lee Y.K.. Electrospun dual-porosity structure and biodegradation morphology of montmorillonite reinforced PLLA nanocomposite scaffolds. Biomaterials 2005;26:3165–72.
6. Place E.S., George J.H., Williams C.K., Stevens M.M. Synthetic polymer scaffolds for tissue engineering //Chemical Society Reviews. 2009. V. 38. №. 4. P. 1139-1151.
7. Sahoo S.K., Panda A.K., Labhsetwar V. Characterization of porous PLGA/PLA microparticles as a scaffold for three dimensional growth of breast cancer cells //Biomacromolecules. 2005. T. 6. №. 2.C. 1132-1139.
8. Lee K.H, Kim .Y, Ra Y.M., Lee DR. Characterization of nanostructured poly(-ε-caprolactone) nonwoven mats via electrospinning. // Polymer. 2003. V.44. P.1287-1294.
9. Бычук М.А., Владимиров Л.В., Кильдеева Н.Р. Особенности формирования структуры пленок из смешанных растворов биodeградируемых полиэфиов // Пластические массы. 2015. №1-2. С.18-21.
10. Бычук М.А., Кильдеева Н.Р., Куринова М.А., Богданов Н.В., Калинин М.В., Новиков А.В., Вихорева Г.А. Получение биodeградируемых полимерных матриц методом электроформования // Химические волокна. 2014. №6. С. 12-16.

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕПО-  
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ**

**INNOVATIVE TECHNOLOGIES OBTAINING DEPOT MATERIALS FOR DIRECT  
DELIVERY OF MEDICINES**

Н.Д. Олтаржевская<sup>1</sup>, М.А. Коровина<sup>1</sup>, Г.Е. Кричевский<sup>2</sup>  
N.D. Oltarzhevskaya<sup>1</sup>, M.A. Korovina<sup>1</sup>, G.E. Krichevskiy<sup>2</sup>

ООО «Колетекс»

Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского  
LLC «Coletex»

Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovskiy  
E-mail: koletex@list.ru

Статья посвящена применению инновационных текстильных технологий, позволяющих получать новые виды лечебных материалов на текстильной и гидрогелевой основе, обеспечивающих направленную контролируемую и пролонгированную доставку лекарственных препаратов к очагу поражения. Исследован массоперенос лекарственных препаратов во внешнюю среду, показана возможность регулирования скорости их высвобождения за счет изменения качественного и количественного состава полимеров, входящих в композицию. Изучено влияние природы полимеров на кинетику их набухания и растворения в различных внешних средах.

**Ключевые слова:** полимеры, альгинат натрия, технология текстильной печати, депо-материалы, лечебные материалы

This article discusses the issue of application of innovative textile technologies, which allow to create the new types of medical textile-based and hydrogel-based materials, securing directed controlled and prolonged delivery to the site of lesions. During the study mass-transfer of medicines to ambient environment was examined and a possibility to regulate recovery rate due to changing qualitative and quantitative composition of polymers was revealed. In the article an impact of polymer nature on kinetics, swelling and resolving in various ambient environments has been explored.

**Key words:** polymers, sodium alginate, textile printing technology, depot materials, medical materials

Текстиль в медицинской практике традиционно используется для изготовления перевязочных материалов. Эффективность применения текстильных материалов в медицине обусловлена такими их свойствами как высокая сорбционная способность, эластичность, драпируемость (прилегание к поверхности сложной формы), воздухопроницаемость, легкость и другими ценными качествами.

В настоящее время специалисты разных областей науки занимаются разработкой «умного текстиля», умных полифункциональных раневых покрытий, которые не только закрывают рану и лечат, но и могут играть роль биоплатформы для создания и стимулирования ростовых клеток, грануляции тканей, восстановления кожных покровов и репарирования кожи, являются депо лекарственных препаратов (ЛП), необходимых для лечения.

Сегодня разработано большое количество гидрогелевых биологически активных повязок (аппликационные материалы, гидрогели различной степени структурированности), в которых гидрогель с лекарством – антисептиком, местным анестетиком и т.д. нанесен на текстильную основу (сетчатую, трикотажную, нетканую). Это гидрогелевые повязки «Апполо-ПАА» и «Апполо-ПАК» с охлаждающим, обезболивающим и антимикробным действием (на основе акрилатов), антибактериальные ГГМ-АБ, ГГМ-АС, с добавками ферментов ГГМ-Ф, на основе коллагена «Колбио», «Дигеспон-А», Альгикол, Коллахит. В виде гидрогелевого материала выпускаются «Колегель» (на основе альгинатов) с разными лекарствами, «Катеджель» на основе гидроксиэтилцеллюлозы с лидокаином и

хлоргексидином, «Инстиллагель», дополнительно содержащий пропиленгликоль, «Акваргент» на основе карбоксиэтилцеллюлозы, содержащий коллоидное серебро и т.д.

Остановимся более подробно на особенностях создания и использования материалов «Колетекс», широкий ассортимент которых имеется сегодня на российском рынке. В основе создания лечебных материалов «Колетекс» и «Колегель» лежит текстильная технология, а именно, использование плоскошаблонной печати; размер сита шаблона и число проходов ракля подбирается для каждого лечебного материала индивидуально и зависит от многих параметров, в т.ч. от свойств ЛП и от реологических свойств полимерной композиции. Разумеется, специфика применения создаваемого лечебного изделия выставляет особые требования ко всем компонентам как в отношении пригодности их для процесса печатания, так и с точки зрения допустимости их применения в медицине. Для создания лечебных материалов также можно использовать ротационные машины, однако в этом случае не удастся достичь на поверхности лечебного материала высокой (необходимой по медицинским показаниям) концентрации ЛП. Салфетка (апликация, раневое покрытие) «Колетекс» - это текстильный объемный пористый материал, на одну сторону которого нанесен вязкий гидрогель из альгината натрия с введенным в него (иммобилизованным физически) лекарством или биологически активным веществом (БАВ) (что невозможно получить при использовании для создания лечебного материала плюсовочных установок). Полученный композиционный материал можно считать трехслойным: текстильная основа, полимер с лекарством, распределенный в части объема текстильной основы, и полимер с лекарством на поверхности (его количество зависит от условий сушки) текстиля, на стороне, прилегающей к раневой поверхности. Таким образом, лекарство находится в «двойном депо»: в полимере – альгинате натрия и вместе с ним в текстильном материале. Это распределение определяет пролонгированность высвобождения лекарства во внешнюю среду (рану, слизистую). Количество ЛП на поверхности аппликации во многом определяется условиями сушки материала и свойствами лекарства. Первая часть ЛП первостепенно переходит во внешнюю среду (организм) и составляет «ударную дозу». Физически иммобилизованный в загустителе и вместе с ним нанесенный на текстильный материал лекарственный препарат составляет вторую часть депо. Скорость массопереноса этой части лекарства определяется свойствами полимера-загустителя (природа полимера, его молекулярная масса, концентрация, скорости набухания и биodeградации во внешней среде и т.д.). По мере проникновения в материал жидкой внешней среды – смачивающего раствора (вода, физиологический раствор) или экссудата (электролиты, 0,1 М, pH – 7,4) состояние полимера меняется, он набухает и частично растворяется. Скорость массопереноса лекарства симбатна набуханию и растворению.

Скорость массопереноса ЛП изменяется во времени монотонно (рисунок 1).

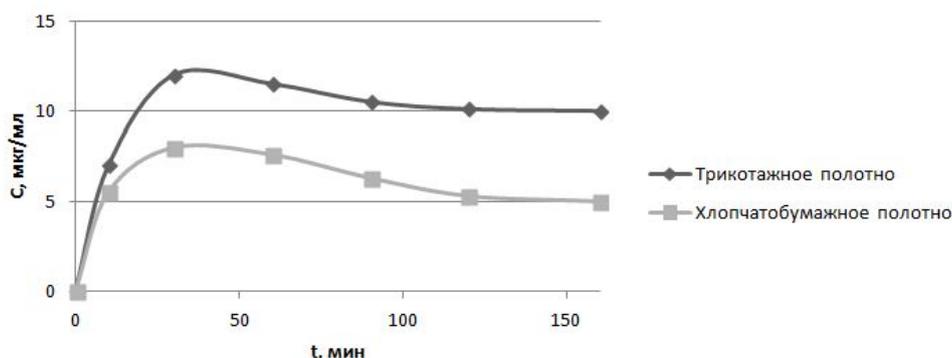


Рис.1. Кинетические кривые изменения во внешней среде концентрации фурацилина, нанесенного в составе полимерной композиции на текстильный материал, при десорбции лекарства

По мере биodeградации и уноса полимера в лимфу и кровоток концентрация лекарства во внешней среде меняется, концентрационное равновесие на поверхности материала и в ране сдвигается, в результате происходит десорбция следующей порции лекарства, поддерживающей лечебную концентрацию лекарства в ране. Количественно доля этой части лекарства составляет 70-90 % от нанесенного, и именно она в основном отвечает за пролонгированное действие лечебного материала.

В связи с тем, что в основе функционирования лечебных раневых покрытий лежат процессы набухания и растворения полимера-загустителя, десорбция его и лекарственного препарата из текстильного материала и массоперенос лекарства во внешнюю среду (рану), значение кинетики этих процессов и факторов, влияющих на нее, открывает пути управления эффективной «работой» лечебного раневого покрытия.

Скорость набухания и растворения полимерных пленок оценивалась косвенно по нарастанию вязкости внешней среды, в которую переходит полимер (как модельная среда использовались дистиллированная вода или плазма крови). Процессы набухания и растворения полимеров в отфильтрованной плазме крови идут быстрее, чем в воде, что связано, вероятно, с присутствием в плазме ферментов, способствующих гидролизу анионных полисахаридов. Изучение скорости массопереноса во внешнюю среду альгината натрия и лекарства из специально отлитых полимерных пленок подтверждает, что первоначально выходит полимер, а затем – лекарственный препарат (рисунок 2).

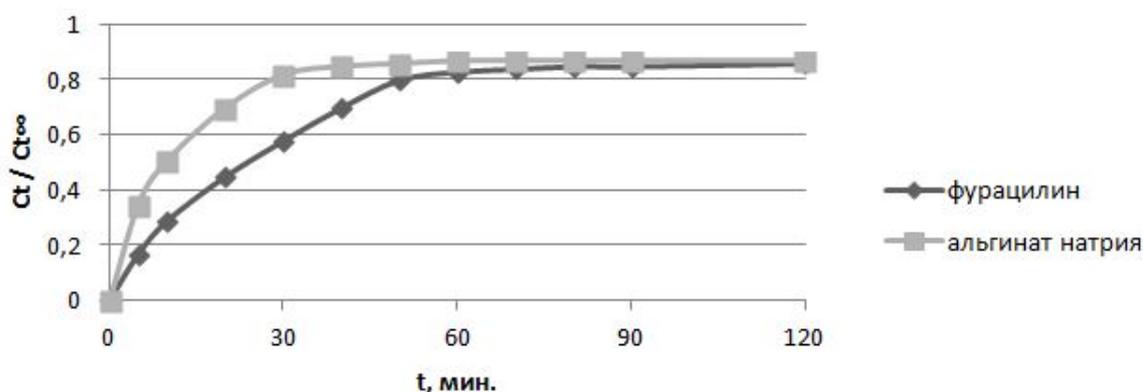


Рис. 2. Кинетические кривые десорбции ингредиентов полимерной лекарственной композиции с текстильного материала во внешнюю среду.  $C_t$  – концентрация лекарства в момент времени  $t$ ,  $C_{\infty}$  – равновесная

В наибольшей степени различие скоростей высвобождения полимера и лекарства проявляется на начальной стадии функционирования лечебного материала. Высвобождение полимера в среду малого объема (рана) вызывает увеличение ее вязкости, вследствие чего затормаживается массоперенос следующих фракций композиции, в том числе лекарства, и тем самым пролонгируется действие перевязочного материала.

Из сказанного очевидна связь между скоростями набухания и растворения полимера и переноса лекарства во внешнюю среду: чем выше скорость набухания и растворения, тем больше скорость массопереноса лекарства. Эта закономерность сохраняется для всех используемых полимеров, в том числе при нанесении их на текстильные материалы при получении аппликаций, а также для внешних сред различного состава. Отсюда следует, что подбором полимера-загустителя и его концентрации и целенаправленным изменением его структуры можно управлять скоростями набухания и биodeградацией полимера и, соответственно, изменять скорость высвобождения лекарственного препарата и пролонгацию лечебного действия создаваемого материала.

В раневые альгинатные покрытия «Колетекс» и гидрогелевые «Колегель» можно вводить широкий ассортимент лекарств независимо от их растворимости, в различных

концентрациях, при этом управляя за счет варьирования свойств полимера и его структуры массопереносом лекарства с точки зрения концентрации и времени поступления во внешнюю среду. Это позволяет получать лечебные аппликационные (с нанесенным гидрогелем) и гидрогелевые материалы с заранее заданными по медицинским показателям свойствами. В зависимости от области применения и медицинских показаний выбирается оптимальная вязкость полимерной композиции, которая зависит как от свойств полимера (например, молекулярной массы), так и концентрации.

Возможно, использовать не один, а несколько полимеров-полисахаридов совместно: альгинат и гиалуронат натрия, водорастворимые соли хитозана (например, соль янтарной кислоты).

Использование водных смесей биополимеров позволяет получать новые материалы, в которых сочетаются полезные свойства, присущие каждому компоненту. Например, покрытия (салфетки, аппликации) на ране, содержащие биополимеры альгинат (полисахарид) и коллаген (белок), оказывают выраженное стимулирующее действие на формирование грануляционной ткани, а коллаген- хитозан – на рост эпителиальных клеток. Коллаген-альгинатные покрытия эффективны в отношении длительно незаживающих ран, но не содержащих некротических тканей, в условиях их неполного очищения от микрофлоры, а также в процессе подготовки к аутодермопластике. С учетом вышесказанного, в ООО «КОЛТЕКС» разработан ряд аппликационных материалов различного текстильного и полимерного составов для использования в различных областях медицины (таблица 1).

Таблица 1

Технологические аспекты получения лечебных материалов в зависимости от области применения

Область применения	Текстильная основа (состав, развес г/м <sup>2</sup> )	Состав полимерной композиции*, %	Вязкость печатной композиции, Пас	Форма выпуска
Комбусти-ология	Полотно нетканое, вискозное волокно 100% 240,0 г/м <sup>2</sup>	АН 5-6% ГН 1%	30-35	Аппликация
	Полотно нетканое, вискозное волокно 100% 240,0 г/м <sup>2</sup> + сетка из 100% полиэфирной нити	АН 2,5 ГН 2,5%	30-33	Аппликация
		АН 6-7% СХ 15%	30-33	Аппликация
	Трикотажное полотно ПФ-2, полиэфирная нить 35%, хлопко-вискозная пряжа 65%, 180,0 -200,0 г/м <sup>2</sup>	АН 5-6% ГН 1%	30-35	Аппликация
		АН 6-7% СХ 15%	30-33	Аппликация
Хирургия	Полотно нетканое, вискозное волокно 100% 240,0 г/м <sup>2</sup>	АН 5-6% ГН 1%	30-35	Аппликация
	Полотно нетканое, вискозное волокно 100% 240,0 г/м <sup>2</sup> + сетка из 100% полиэфирной нити	АН 2,5% ГН 2,5%	30-33	Аппликация

Ревматология	Полотно нетканое, вискозное волокно 100% 240,0 г/м <sup>2</sup>	АН 2,5% ГН 2,5%	30-33	Аппликация
	Полотно нетканое льно-вискозное (льняное волокно 50%, вискозное волокно 50% ) 200,0 г/м <sup>2</sup>	АН 6-7% СХ 15%	30-33	Аппликация
Физиотерапия	Нетканый материал «Спанбонд» пропиленовое волокно 100%	АН 7%	30-33	Аппликация
	Полотно нетканое льно-вискозное (льняное волокно 50%, вискозное волокно 50% ) 200,0 г/м <sup>2</sup>			
Онкология	Трикотажное полотно ПФ-2, полиэфирная нить 35%, хлопко-вискозная пряжа 65%, 180,0-200,0 г/м <sup>2</sup>	АН 6-7% СХ 15%	30-33	Аппликация
	Полотно нетканое льно-вискозное (льняное волокно 50%, вискозное волокно 50% ) 200,0 г/м <sup>2</sup>	АН 5-6% ГН 1%	30-35	Аппликация
	Полотно нетканое, вискозное волокно 100% 240,0 г/м <sup>2</sup>			
Дерматология	Полотно нетканое, вискозное волокно 100% 240,0 г/м <sup>2</sup>	АН 5-6% ГН 1%	30-35	Аппликация
Урология	-	АН 1,5-2,5% ГН 1%- 2,0%	4-6	Шприцы
Проктология Гинекология	-	АН 6-7% СХ 15%	30-40	Тубы

\*АН - альгинат натрия, ГН – гиалуронат натрия, СХ - сукцинат хитозана

Введение в гидрогелевую композицию двух биополимеров-полисахаридов (например, натриевых солей альгината и сукцината хитозана) и возможность варьирования их концентрациями сказывается на ее реологических свойствах (рисунок 3), скорости набухания, а это, в свою очередь, на высвобождение лекарств, импрегнированных в композиции, во внешнюю среду (рисунок 4).

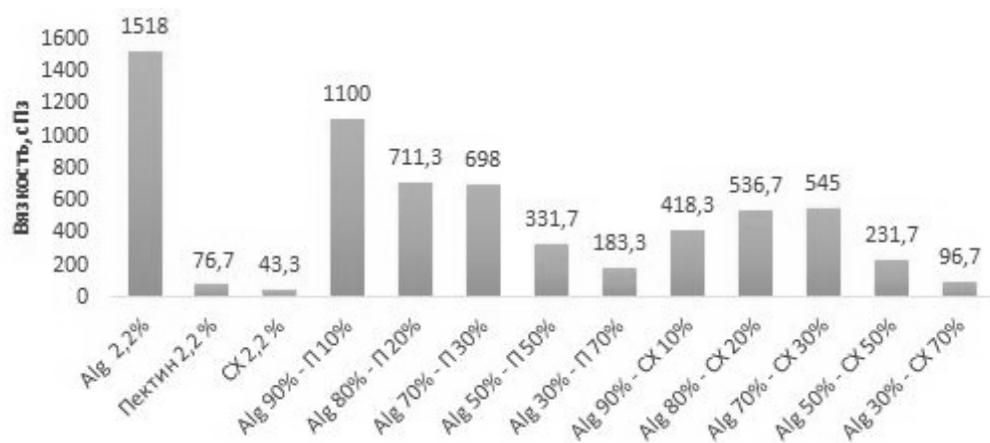


Рис. 3. Влияние введения сукцината хитозана (CX) на реологические свойства (вязкость сПз) композиции на основе альгината натрия

Скорость набухания рассчитывалась весовым способом для полимерных пленок, состоящих из 100% альгината натрия и 100% сукцината хитозана; в качестве смесей выбрали соотношение 70/30. Модуль внешней среды = 20, т.к. он в наибольшей степени, с учетом реальных экспериментальных возможностей, соответствовал естественным условиям применения лечебного материала.

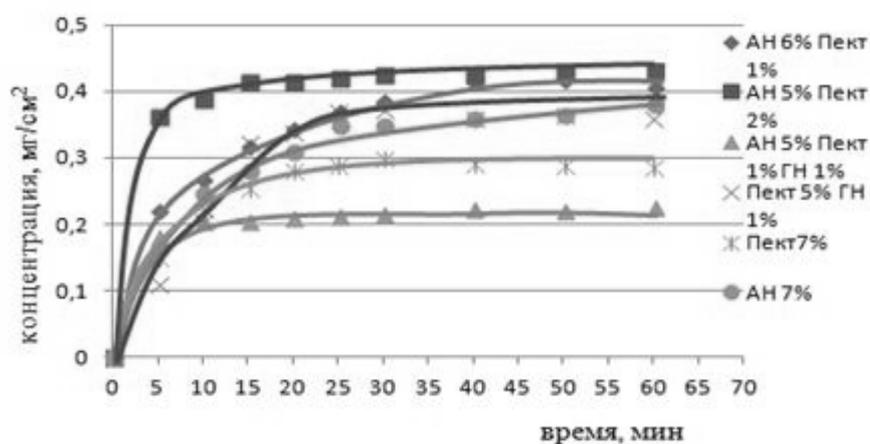


Рис. 4. Влияние состава полимерной композиции на кинетику массопереноса лекарственного препарата диоксидина во внешнюю среду (начальная концентрация диоксидина 0,9% массовых по сухому веществу,  $M=200$ )

На рисунке 4 показана возможность регулирования скоростью высвобождения лекарственного препарата диоксидина из полимерной композиции (для удобства эксперимента нанесенной на текстильную подложку из волокнообразующих полимеров) за счет изменения качественного и количественного состава полимеров, входящих в композицию, т.е. варьируя состав и концентрацию полимеров-полисахаридов в композиции, можно добиться замедления или ускорения скорости высвобождения лекарственных препаратов из гидрогелевых материалов в зависимости от требования клиницистов.

Материалы «Колетекс» на основе альгината натрия с нанесенным на текстильный материал полимерным слоем и гидрогелевые «Колегель», выпускаемые в России, сегодня разрешены и успешно используются в различных областях медицины, трансформируясь в зависимости от специфики применения и требуемых свойств как с точки зрения введения (в добавлении к альгинатам) других природных биополимеров, так и вводимых в них лекарств.

**ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ «УМНЫХ»  
МАТЕРИАЛОВ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**INNOVATIVE DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF "SMART" MATERIALS WITH  
THERAPEUTIC AND PROPHYLACTIC PURPOSE CREATION**

О.И. Одинцова  
O.I. Odintsova

Ивановский государственный химико-технологический университет  
Ivanovo State University of Chemistry and Technology  
E-mail: odolga@yandex.ru

**Разработан способ микроэмульсионного капсулирования, позволяющий получить частицы биологически активных веществ в нанометровом диапазоне. Оценено влияние состава эмульсии на размер получаемых частиц и скорость выделения функциональных соединений. Проведен анализ эффективности иммобилизации биологически активных веществ на целлюлозном текстильном материале.**

**Ключевые слова: микрокапсулирование, синтетический полиэлектролит, биологически активные вещества, текстильный материал.**

**A method of the microemulsion encapsulation was received which allows to obtain particles of biologically active substances in the nanometer range. The influence of the emulsion composition at the size of the resulting particles and the rate of release of functional compounds were evaluated. The immobilization of biologically active substances efficiency on the cellulose textile material was analyzed.**

**Keywords: microencapsulation, synthetic polyelectrolyte, biologically active substances, textile material.**

В настоящее время многие производители уделяют все больше внимания получению текстиля с новыми функциями. Эти функции могут быть определены как характеристики, которые выходят за рамки чисто эстетических и декоративных качеств. Они включают в себя широкий спектр свойств, которые в некоторых случаях классифицируются как «умные свойства».

Функциональный текстиль может удовлетворять потребности комфорта и безопасности человека. Модификация текстильных материалов требует разработки новых технологий фиксации функциональных веществ. Потребность в долговечности «умного» текстиля привела к использованию методов «layer-by-layer» и микрокапсулирования в процессах отделки тканей различного волокнистого состава. Технологию микрокапсулирования используют для придания свойств текстильным материалам, которые не были возможны или экономически неэффективны с помощью других технологий.

Особую актуальность приобретают нанокапсулы в качестве защиты внедряемых в их оболочку биологически активных веществ (БАВ), а именно репеллентов, веществ с антибактериальным, антимикотическим, венотонизирующим, сенсibiliзирующим эффектами. Интеграция таких БАВ в структуру текстильного материала позволит придать ему заданные свойства.

Перспективным методом получения нанокапсул может служить микроэмульсионное капсулирование. Этот процесс представляет собой совокупность ряда межфазных явлений, связанных с микроэмульгированием биоактивных веществ, адсорбцией и образованием межфазных слоев полимеров и полимер-коллоидных комплексов (ПКК) на границе раздела фаз масло/вода, достижением агрегационной устойчивости полученных микро- и нанокапсул. Синтез таких нанокапсул может осуществляться в водной среде без использования органических растворителей, что позволяет использовать классическое аппаратное оформление.

Объектом исследования служили предварительно подготовленные к отделке хлопчатобумажные и хлопкополиэфирные текстильные материалы поверхностной плотностью от 123 до 250г/м<sup>2</sup>.

В качестве полиэлектролитов были использованы: полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПДАДМАХ) производства ОАО «Башкирская содовая компания», город Стерлитамак - синтетический органический высокомолекулярный катионный водорастворимый полимер линейно-циклической структуры и Акремоны (ЗАО «Оргполимерсинтез», город Санкт-Петербург) – анионные полиэлектролиты на основе поликарбоновых кислот, их солей и эфиров.

Определены оптимальные концентрационные соотношения компонентов в интерполиэлектролитных и полимер – коллоидных комплексах, обеспечивающие формирование устойчивой оболочки нанокapsулы. Установлен предельный состав реакционной смеси ПДАДМАХ - КПАВ, при котором образуется агрегативно устойчивая система ПКК и необходимый для получения нестехеометрического комплекса состав смеси ПДАДМАХ-Акремон.

Размер капсулы определяет особенности конечного продукта и соответствующие технологические процессы, которые обеспечивают устойчивость к неблагоприятным условиям [1]. Размер полученных капсулированных частиц составлял от 5 до 600 нанометров и зависел от соотношения компонентов подобранной системы эмульгаторов, растворителя и стабилизатора.

Составляющее ядра капсулы может высвобождаться путем трения, давления, изменения температуры, диффузии через полимерную стенку, растворения полимерной оболочки, биоразрушения [2-4]. В рассматриваемом случае происходит диффузия функционального вещества через стенку капсулы. Выделение биологически активного вещества во времени количественно оценивали спектрофотометрически согласно методике [5], основанной на экстракции из обработанных образцов текстильного материала жирорастворимого красителя Судана IV. По результатам модельного эксперимента выбраны оптимальные композиции микроэмульсий, эффективные способы нанесения и иммобилизации БАВ на целлюлозных текстильных материалах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sarma, S.J. Chitosan-coated Alginate–polyvinyl Alcohol Beads for Encapsulation of Silicone Oil Containing Pyrene: A Novel Method for Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons/ S.J. Sarma, K. Pakshirajan, B. Mahanty // Journal of Chemical Technology and Biotechnology.- 2011. - Vol. 2. -P. 266–272.
2. Cheng, S.Y. Development of cosmetic textiles using microencapsulation technology / S.Y. Cheng , C.W.M. Yuen, C.W. Kan, K.K.L. Cheuk // Research Journal of Textile and Apparel. - 2008.- V. 12. -N 4.- P. 41-51.
3. Кузьменко, В.А. Современное состояние и перспективы развития ароматной отделки текстильных материалов / В.А. Кузьменко, О.И. Одинцова, А.И. Русанова, К.А. Малышева // Химия растительного сырья.- 2015.- №1.- с.15-27.
4. Кузьменко, В.А. Свойства синтетических полиэлектролитов и перспективы их применения для отделки текстильных материалов/ В.А. Кузьменко, О.И. Одинцова, А.И. Русанова// Прикладная химия. - 2014. - Т.87. - №9. - С. 1194-1201.
5. Cerempei, A. Textile Materials with Controlled Release of Rosemary Essential Oil/A. Cerempei, Muresan E. I., Sandu I., Chirila L. , Sandu I. G.// REV. CHIM. (Bucharest). -2014.-No 10. - 4 p.

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ,  
ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ  
НЕФТЯННИКОВ**

**RESEARCH TEST OF PROTECTIVE PROPERTIES OF EXPERIMENTAL SAMPLES  
OF TEXTILE MATERIALS USED FOR THE PRODUCTION OF SPECIAL CLOTHING  
OF THE PETROLEUM**

Р.Ф. Гайнутдинов, В.В. Хамматова  
R.F. Gainutdinov, V.V. Khammatova

Казанский национальный исследовательский технологический университет  
Kazan National Research Technological University

В статье рассматриваются вопросы, связанные с исследованиями защитных свойств экспериментальных образцов наноструктурированных натуральных текстильных материалов с содержанием хлопковых волокон. Проведены экспериментальные исследования стойкости к нефти, кислоте экспериментальных образцов наноструктурированных текстильных материалов применяемых в одежде специального назначения до и после эксплуатационной носки.

**Ключевые слова:** экспериментальные образцы, специальная одежда, плазма, наноструктурирование, текстильный материал, стойкость, нефть.

The article discusses issues related to the studies of the protective properties of experimental samples of nanostructured natural textile materials containing cotton fibers. Experimental studies of resistance to oil, acid, experimental samples of nanostructured textile materials used in clothing special purpose before and after operational wear.

**Keywords:** experimental models, special clothing, plasma, nanostructuring, textile material, durability, oil.

Занимаясь трудовой деятельностью, рабочий должен быть обеспечен соответствующей спецодеждой. И каждая отрасль промышленности предъявляет свои требования к свойствам, которыми должна обладать специальная одежда. Как и в других отраслях РФ, нефтехимическая промышленность имеет свою спецодежду, защищающую рабочих от воздействия нефтяных продуктов, кислот, масел и других агрессивных сред. Спецодежда для нефтехимической промышленности также должна обладать огнезащитными свойствами, защищать от различных механических повреждений и газов. Также спецодежда должна быть теплой и защищать от холода, быть комфортной, а летом обеспечить защиту от насекомых и, конечно, не ухудшать производительность труда рабочих. Добиться данных свойств возможно за счет внедрения передовых технологии наноструктурирования специальных тканей потоком неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления.

В настоящее время передовые технологии позволяют производить спецодежду повышенного уровня надежности, обеспечивающую защиту от воздействия агрессивных сред: высоких и низких температур, щелочей и кислот, а также органических и неорганических растворителей. Ведущими мировыми компаниями-производителями, поставляющими продукцию на российский рынок, разработаны новые виды волокон, позволяющих создавать новые огнестойкие и термостойкие характеристики одежды для работы в экстремальных условиях [1].

В последние годы при производстве, в частности, текстильных материалов для производства спецодежды все шире применяются нанотехнологии, что позволяет создавать полотна, а значит, и конечную продукцию, со специальными уникальными свойствами [2].

Активно ведется разработка высокоэффективных натуральных текстильных материалов, а также создание теплозащитных материалов, обеспечивающих комфортные условия жизнедеятельности человека, в том числе безопасные условия труда на производстве [3].

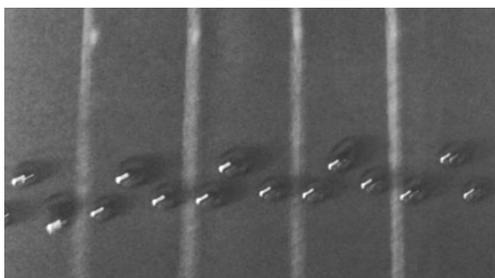
Проницаемость агрессивных сред – способность материалов пропускать различные агрессивные среды. Для производства специальной одежды используют материалы с высокой стойкостью к действию агрессивных сред (нефти, нефтепродуктов, органических растворителей, растворов кислот, щелочей и т.п.). Эти материалы должны обеспечивать защиту кожного покрова человека от воздействия агрессивной среды, то есть обладать низкой проницаемостью для агрессивных сред. Для разных видов агрессивной среды методы определения проницаемости различаются. Величина стойкости к нефти (в часах) в контрольном и наноструктурированном в плазме образце тканей для специальной одежды с содержанием натуральных волокон измерялась в соответствии с ГОСТ 12.4.220-2002[4]. Исследовали влияние метода наноструктурирования текстильных материалов с помощью ННТП обработки, в результате воздействия на них агрессивной среды в виде нефти. Сущность метода заключалась в обнаружении оптическим способом на лицевой стороне образца из натуральных текстильных материалов агрессивной среды или ее паров, люминесцирующих в ультрафиолетовом свете, и определении времени проникания агрессивной среды или ее паров через испытуемый образец. Нормативы на проницаемость агрессивных сред не установлены.

При выборе специальных тканей необходимо учитывать структуру текстиля, состав материала, качество и уровень плотности переплетений, необходимые высокотехнологические свойства материала, а также не забывать о гигиенических показателях материала (гигроскопичность и воздухопроницаемость).

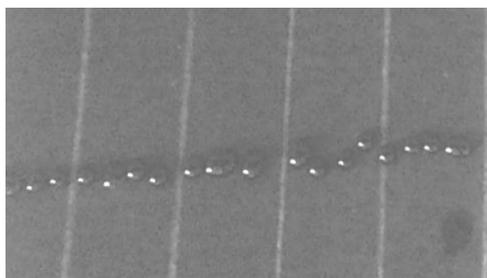
Объектами исследований являлись: текстильный материал для спецодежды с водоотталкивающей пропиткой "Премьер Комфорт 250", артикул 18422X (состав 80% хлопок + 20 % полиэстер) и "Премьер Cotton 300", артикул 10408 (состав 100% хлопок), а также ткани с антистатической нитью "Премьер FR-350", артикул 10202 АМ с пропиткой (состав 100% хлопок) и "Премьер Комфорт 250А" артикул 18422 а/Х-М с пропиткой (состав 80% хлопок + 20 % полиэстер).

Изменение состояния поверхности экспериментальных образцов можно проследить по проницаемости капли агрессивной среды (нефти). Сущность метода заключалась в обнаружении оптическим способом на лицевой стороне образца агрессивной среды (нефти) и определении времени их проникания в испытуемый образец. Далее было проведено исследование влияния потока ННТП пониженного давления на стойкость материалов к действию агрессивной среды - нефти (рисунки 1-3). Текстильные материалы для спецодежды должны обладать низкой проницаемостью для агрессивных сред.

На рисунках 1 и 2 представлены фотографии экспериментальных образцов тканей "Премьер Комфорт 250" как контрольные, так и наноструктурированные в суровом виде с пропиткой, артикул 18422X (состав 80% хлопок + 20 % полиэстер) после воздействия раствора нефти, согласно ГОСТ 12.4.220-2002. Исследования показали, что стойкость текстильного материала "Премьер Комфорт 250" с пропиткой, как у контрольного, так и наноструктурированного образца составляет более 15 ч.



а - контрольный образец;



б- наноструктурированный образец

Рис. 1. Фотографии экспериментального образца ткани "Премьер Комфорт 250", артикул 18422Х с пропиткой (состав 80% хлопок + 20 % полиэстер).

Режим наноструктурирования:  $P_k=20-22$  Па;  $W_p=4,0$ кВт;  $\tau=2$ м/мин;  $G_{возд}=0,04$ г/с.

Далее исследовали ткани с содержанием 100 % хлопка. На рисунке 2 представлены фотографии ткани "Премьер Cotton 300" наноструктурированные в суровом виде, артикул 10408 с пропиткой (состав 100% хлопок) после воздействия нефти.



а- контрольный образец;



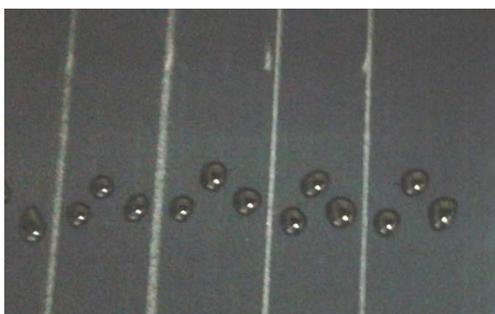
б- наноструктурированный образец

Рис. 2. Фотографии экспериментального образца ткани суровье "Премьер Cotton 300", артикул 10408 с пропиткой (состав 100% хлопок).

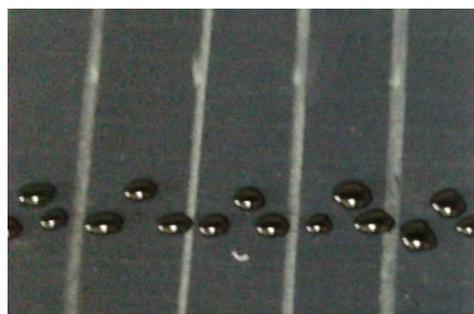
Режим наноструктурирования:  $P_k=20-22$  Па;  $W_p=3.5$ кВт;  $\tau=2$ м/мин;  $G_{возд}=0,04$ г/с.

Исследовательские испытания показали, что стойкость к нефти текстильного материала контрольного и наноструктурированного экспериментального образца "Премьер Cotton 300" составляет более 15 часов.

Провели исследования текстильных материалов с антистатической нитью смешанного состава. На рисунке 3 приведены фотографии ткани суровье арт. 18422 "Премьер Комфорт 250 А" с пропиткой (состав 80% хлопок + 20 % полиэстер + антистатическая нить) контрольные и наноструктурированные образцы при воздействии раствора агрессивной среды нефти.



а- контрольный образец;



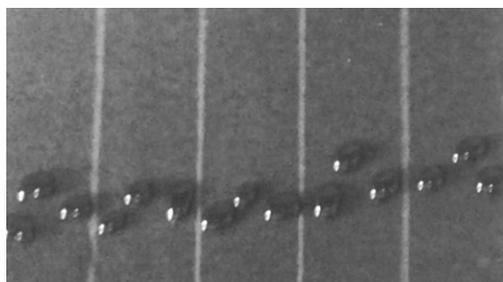
б- наноструктурированный образец

Рис. 3. Фотографии экспериментального образца ткани "Премьер Комфорт 250А", артикул 18422 а/Х-М с пропиткой (состав 80% хлопок + 20 % полиэстер + антистатическая нить):

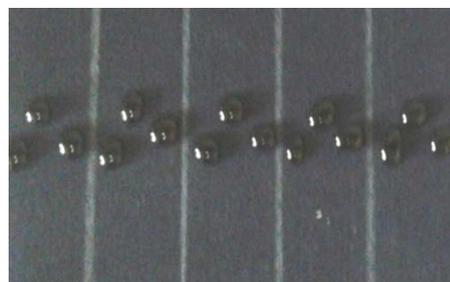
Режим наноструктурирования:  $P_k=20-22$  Па;  $W_p=3,5$ кВт;  $\tau=2$ м/мин;  $G_{возд}=0,04$ г/с.

Исследования экспериментальных образцов ткани "Премьер Комфорт 250А", артикул 18422 а/Х-М (состав 80% хлопок + 20 % полиэстер + антистатическая нить) показали, что стойкость к нефти текстильного материала контрольного и наноструктурированного образца составляет более 15 часов.

Проведены исследования стойкости к нефти натуральных текстильных материалов состава 100 % хлопок с антистатической нитью. На рисунке 4 представлены фотографии ткани суровье "Премьер FR-350", артикул 10202 АМ с пропиткой (состав 100% хлопок + антистатическая нить), как контрольных, так и наноструктурированных образцов при воздействии раствора агрессивной среды нефти.



а– контрольный образец;



б– наноструктурированный образец

Рис. 4. Фотографии экспериментального образца ткани "Премьер FR-350", артикул 10202 АМ с пропиткой (состав 100% хлопок + антистатическая нить)

Режим наноструктурирования:  $P_k=24-26$  Па;  $W_p=3,5$  кВт;  $\tau=1$ м/мин;  $G_{возд}=0,04$  г/с.

Исследования экспериментальных образцов ткани "Премьер FR-350", артикул 10202 АМ с пропиткой (состав 100% хлопок + антистатическая нить) показали, что стойкость к нефти текстильного материала контрольного и наноструктурированного образца составляет более 16 часов.

В результате исследований представленных на рисунках 1-4 установлено, что наноструктурированные экспериментальные образцы имеют высокую стойкость к нефти от 15 до 18 часов, по сравнению с контрольными образцами.

Проведенные исследования экспериментального образца по исследованию влияния плазменного потока на проницаемость нефти (таблица 1) показывают, что непродолжительное воздействие  $\tau=1$ м/мин в режиме  $P_k=20-22$  Па;  $W_p=4,0$ кВт;  $G=0,04$ г/с приводит к увеличению времени проницаемости капли нефти до 18 часов в плазмообразующем газе аргон.

Таблица 1

Влияние потока ННТП пониженного давления на проницаемость нефти текстильными материалами ( $P_k=20-22$  Па;  $W_p=4,0$ кВт;  $\tau=1$ м/мин;  $G=0,04$ г/с)

Текстильный материал для спецодежды	Время стойкости к проницаемости нефти $t_n$ , ч		
	Контрольный образец	Плазмообразующие газы	
		Аргон	Воздух
«Премьер Комфорт-250»	12	16	15
«Премьер FR-350»	12	18	16

Таким образом, исследовательские испытания экспериментальных образцов наноструктурированных текстильных материалов применяемых в одежде специального назначения показали, что в зависимости от применяемого плазмообразующего газа увеличивается стойкость к нефти, а за счет применения потока неравновесной

низкотемпературной плазмы пониженного давления стойкость к нефти повышается до 5 часов по сравнению с контрольным образцом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спецодежда и СИЗ – зона высоких технологий [<http://www.lp-magazine.ru>].- [2012].- Режим доступа: [<http://www.lp-magazine.ru/lpmagazine/2007/10/54>]
2. Хамматова, Э.А. Разработка метода получения многофункциональных пленочных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами для изготовления защитных швейных изделий специального назначения /Э.А. Хамматова, Е.А. Мекешкина - Абдуллина, К.Э. Разумеев // Швейная промышленность. – 2013. – № 4. – С. 38-40.
3. Каталог моделей специальной одежды, обуви и предохранительных приспособлений для работников нефтяной промышленности : каталог / Всесоюз. ин-т ассортимента изделий легкой пром-сти и культуры одежды. - Москва : ВИАлегпром, 1975. - 111с.
- 4.ГОСТ 12.4.220-2002. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты. Метод определения стойкости материалов и швов к действию агрессивных сред [Текст]. – Введ.12.04.2002. – М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 2002. – 20 с.

*Проект выполняется в организации исполнителя (Получателя субсидии) при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в соответствии с требованием соглашения № 14.577.21.0019 о предоставлении субсидии на проведение прикладных научных исследований. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0019.*

**МАТРИКСЫ ДЛЯ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ НА ОСНОВЕ  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОВОЛОКОН ПОЛИ-(3-ГИДРОКСИБУТИРАТА),  
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ**

**MATRIX FOR TISSUE ENGINEERING BASED ON MODIFIED NANOFIBERS  
OF POLY (3-HYDROXYBUTYRATE), PREPARED BY ELECTROSPINNING**

А.А. Ольхов<sup>1,2</sup>, О.В. Староверова<sup>2</sup>, В.В. Гурьев<sup>3</sup>, Т.А. Аббасов<sup>3</sup>, Н.А. Орлов<sup>4</sup>,  
А.А. Ищенко<sup>5</sup>, В.С. Акатов<sup>6</sup>, А.Л. Иорданский<sup>2</sup>  
A.A. Olkhov<sup>1,2</sup>, O.V. Staroverova<sup>2</sup>, V.V. Guriev<sup>3</sup>, T.A. Abbasov<sup>3</sup>, N.A. Orlov<sup>4</sup>,  
A.A. Ischenko<sup>5</sup>, V.S. Akatov<sup>6</sup>, A.L. Iordanskii<sup>2</sup>

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова (Москва)  
Институт химической физики имени Н.Н. Семенова РАН (Москва)  
Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова  
Московский государственного университета им. М.В. Ломоносова  
Московский технологический университет, Институт химических технологий  
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН (Пушино)  
Plekhanov Russian University of Economics (Moscow)  
N.N. Semenov Institute of Chemical Physics, RAS (Moscow)  
Lomonosov State University, Faculty of Biology, Department of Bioengineering (Moscow)  
Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry (Moscow)  
Moscow Technological University (MIREA), Institute of Chemical Technology (Moscow)  
Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of RAS (Pushchino)  
E-mail: aolkhov72@yandex.ru

В статье приведены исследования матриц на основе нановолокон поли-(3-гидроксибутирата) (ПГБ), полученные методом электроформования. В работе использованы следующие методы исследования: ЭПР, ДСК, СЭМ, физико-механические испытания, динамика роста мезенхимальных стволовых клеток, имплантация нетканого материала в организм крысы. Анализ спектров ЭПР показал, что волокна ПГБ имеют различные по степени организации межкристаллитные области. Добавление в полимерное волокно наночастиц, диоксида кремния и титана приводит к замедлению процессов кристаллизации полимера и снижению энергии активации фазового перехода плавления поли-(3-гидроксибутирата). При этом формируется волокно диаметром около 1 мкм и максимальными физико-механическими характеристиками. Наибольшее влияние на рост живых клеток на матрицах оказывает диаметр волокна, который определяет плотность упаковки нетканого материала и его пространственную морфологию (количество узлов зацеплений и переплетений). На основе нановолокон поли-(3-гидроксибутирата) разработана конструкция искусственного биорезорбируемого имплантата ахиллова сухожилия крысы, которая обеспечивает условия эффективного формирования в тканевом дефекте прочного и морфологически оформленного регенерата связки.

**Ключевые слова:** поли-(3-гидроксибутират), матрицы для тканевой инженерии, надмолекулярная структура, наночастицы, диоксид кремния, диоксид титана, искусственные биорезорбируемые имплантаты, нановолокна.

The article presents research-based scaffolds of nanofibers of poly (3-hydroxybutyrate) (PHB) fibers obtained by electrospinning. We used the following methods: EPR, DSC, SEM, physical and mechanical testing, the dynamics of growth of mesenchymal stem cells, implantation nonwoven in rats. EPR shown that PHB fibers are different in degree of organization intercrystalline area. Nanoparticles of silicon dioxide and titanium dioxide leads to slow crystallization process of the polymer and reduce the activation energy of the melting phase transition. This forms a fiber diameter of about 1 micron and maximum physical and mechanical properties. The greatest influence on the growth of living cells on scaffolds has a fiber diameter. This indicator measures the packing density of the nonwoven fabric and its spatial morphology (the number of links and the interlacing points). On the basis of nanofibers of poly (3-hydroxybutyrate) has been developed design of artificial

**bioresorbable implant rat Achilles tendon, which provides conditions for effective formation in the tissue defect lasting and morphologically issued regenerate ligament.**

**Keywords: poly (3-hydroxybutyrate), matrices for tissue engineering, supramolecular structure, nanoparticles, silicon dioxide, titanium dioxide, artificial bioresorbable implants nanofiber**

В настоящее время одним из эффективных методов формования нетканых нановолокнистых матриц и элементов искусственных имплантатов на основе биополимеров для использования в тканевой инженерии и травматологии является электростатическое формование полимерного раствора (ЭФВ) [1-3]. Этот метод позволяет получать волокнистые нетканые материалы с большой удельной площадью поверхности, что создает условия для свободной миграции и пролиферации клеток в трехмерном пространстве матрикса, а, соответственно, и высокий уровень интеграционной способности материала в живых тканях организма [4].

Среди биополимеров медицинского применения лидируют полиоксикапроаты (ПОА), из которых наиболее интенсивно исследуемым полимером является поли-(3-гидроксибутират) (ПГБ) [5, 6]. Этот биополимер, получаемый биотехнологическим путем, обладает перспективными свойствами, такими как высокий уровень биосовместимости [7-9] и способность к биоразложению в живых тканях без образования токсических продуктов [10-12]. В связи с этим, ПГБ широко исследуется в настоящее время и используется для разработки целого ряда изделий медицинского назначения для хирургии, стоматологии, кардиохирургии, ортопедии и других областей [13, 14].

На физико-механические, диффузионные свойства и кинетику окислительной, фотоокислительной и биорезорбции в организме волокнистых матриц оказывает влияние величина среднего диаметра моноволокна и его молекулярная и надмолекулярная структура [7]. Диаметр получаемых методом ЭФВ волокон зависит от таких параметров, как концентрация вещества в исходном растворе, скорость испарения растворителя, напряжение, расстояние от капилляра до формирующегося слоя, электропроводность, вязкость, температура и др. [4]. Поэтому получение на выходе волокон определенной морфологии является одной из основных проблем, актуальной и на сегодняшний день.

Однако, в случае ПГБ изменение технологических параметров электроформования (электропроводность, производительность, вязкость формовочного раствора) практически не влияют на диаметр ультратонких волокон [15, 16]. А, следовательно, практически неизменными останутся структура и свойства нетканого материала на основе ПГБ.

Известно, что введение наноразмерных добавок различной природы в кристаллизующиеся полимеры приводит к существенному изменению морфологии кристаллической фазы и, соответственно, получению изделий с заданными геометрическими параметрами и комплексом эксплуатационных характеристик [15, 17-19].

Таким образом, целью настоящей работы являлось изучение влияния наноразмерных частиц диоксида титана и кремния на структуру и свойства ультратонких волокон ПГБ.

В работе использовали поли-(3-гидроксибутират) (ПГБ) с молекулярной массой 300 и 460 кДа фирмы BIOMER (Германия) в виде порошка, полученного методом микробиологического синтеза, хлороформ и процессинговые добавки для увеличения электропроводности формовочного раствора: муравьиная кислота и тетрабутиламмоний йодид (производства России). Все реактивы класса химической чистоты - «ХЧ». В качестве модифицирующих добавок взяли: диоксид титана двух модификаций ( $\eta$ -TiO<sub>2</sub>) со средним размером частиц 60 нм и удельной поверхностью 100 м<sup>2</sup>/г и (TiO<sub>2</sub> - анатаз) со средним размером частиц 28 нм и удельной поверхностью 171 м<sup>2</sup>/г, которые были получены на кафедре физики и химии твердого тела МИТХТ [20] и нанокристаллический кремний состава nc-Si/защитная оболочка (SiO<sub>2</sub>) со средним диаметром частиц 5-7 нм (диаметр ядра кремния 1.5-3.5 нм) и удельной поверхностью 260-300 м<sup>2</sup>/г [17-19]. Наноразмерные модификации диоксида титана со структурой анатаза и  $\eta$ -TiO<sub>2</sub> синтезированы сульфатным

способом из двух исходных реагентов  $(\text{TiO})\text{SO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot y\text{H}_2\text{O}$  (I) и  $(\text{TiO})\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (II) [20]. Отличительной чертой  $\eta\text{-TiO}_2$  является то, что его структура производна от структуры анатаза с удвоением параметра элементарной ячейки [15, 21].

ЭФВ нановолокон на основе ПГБ осуществляли с помощью лабораторной капиллярной установки [2, 4]. Формование проводили при динамической вязкости раствора 9 Пз (0,9 Па с), удельной объёмной электропроводности  $\sim 10^{-3} (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$ , объёмном расходе формовочного раствора  $(10\text{-}12)\cdot 10^{-5}$  г/сек, напряжении электрического поля 10-11 кВ, расстоянии между электродами 18 см, диаметр капилляра 0,1 мм.

Распределение волокон ПГБ по диаметрам исследовано методами световой и электронной микроскопии с помощью оптического микроскопа МБИ-6 и сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-1000. Теплофизические характеристики волокон на основе ПГБ исследованы с помощью дифференциального сканирующего калориметра Perkin Elmer Pyris 6 DSC (США). Прочность волокнистых материалов из ПГБ изучена на разрывной машине РМ-3-1 по ТУ 25.061065-72 на образцах размером  $4\times 1$  см, вырезанных из нетканого волокнистого материала, формовавшегося в течение 1,5 часов, по формуле  $L = \left( F \cdot \frac{l_0}{m} \right) \cdot 100$ ,

где  $F$  – разрывное усилие, Н;  $l_0$  – начальная длина образца между зажимов, м;  $m$  – масса образца между зажимов, г.

Молекулярную подвижность изучали микрозондовым методом ЭПР. В качестве зонда использовали стабильный нитроксильный радикал 2,2,6,6-тетраметилпиперидин-1-оксил (ТЕМПО). Радикал вводили в волокнистый материал из паров при температуре  $250^\circ\text{C}$  до концентрации, не превышающей  $10^{-3}$  моль/л. Регистрацию спектров ЭПР проводили в отсутствие насыщения, что проверяли по зависимости интенсивности сигнала от мощности микроволнового поля. Значения времени корреляции вращения зонда ( $\tau$ ) оценивали из спектров ЭПР. Время корреляции определяли по формуле [26]:  $\tau = \Delta\text{H}^+ (\sqrt{\Gamma^+/\Gamma} - 1) 6,65 \cdot 10^{-10}$ , где  $\Delta\text{H}^+$  – ширина компоненты спектра, расположенной в слабом поле,  $\Gamma^+/\Gamma$  интенсивности компонент в слабом и сильном поле, соответственно. Ошибка в определении  $\tau$  составляла  $\pm 5\%$ .

Для оценки биосовместимости полимерных матриц использовали метод культивирования клеток на поверхности матриц. Были использованы мезенхимальные стволовые клетки (МСК) из жировой ткани человека (Биолот, Россия). Клетки культивировались в среде DMEM (Dubecco's Modified Eagle Medium, Invitrogen, США) с повышенным содержанием глюкозы (4,5 г/л), содержащей 10% эмбриональной телячьей сыворотки (ЭТС), 100 МЕ/мл пенициллина и 100 мкг/мл стрептомицина (Invitrogen, США). Клетки инкубировались при  $37^\circ\text{C}$  в атмосфере, содержащей 5%  $\text{CO}_2$ , среда менялась каждые три дня. Фибробласты снимали с подложки раствором трипсина-версена (0,05% трипсин и 0,02% версен в фосфатно-солевом буфере (ФСБ)) (Serva, Germany) и подсчитывали с помощью камеры Горяева. По восемь образцов каждого матрикса размером  $5\times 5$  мм помещали в лунки 96-луночного планшета и клеточную суспензию наносили сверху на каждый образец из расчета 5000 клеток на матрикс. Планшеты инкубировали 1, 3, 4, 8 суток. Выживаемость и пролиферацию клеток контролировали с помощью теста, основанного на реакции преобразования нерастворимой соли тетразолиума в растворимую окрашенную соль формазана, осуществляемой активными митохондриальными ферментами клеток (ХТТ Cell Proliferation Kit, Biological Industries, Израиль). Измерения проводили на планшетном спектрофотометре Zenyth 3100 Microplate Multimode Detector (Anthos Labtec Instruments GmbH, Австрия) при длине волны 450 нм против 620 нм. Количество живых клеток определяли по стандартной калибровочной прямой для теста ХТТ [7].

Исследование регенерационного потенциала разрабатываемых сухожильных имплантатов проводили на модели тотального дефекта ахиллова сухожилия 1 у лабораторных крыс породы Wistar, который создавали иссечением ахиллова сухожилия от икроножной мышцы 2 и от пяточного бугра 3 (рис. 1).

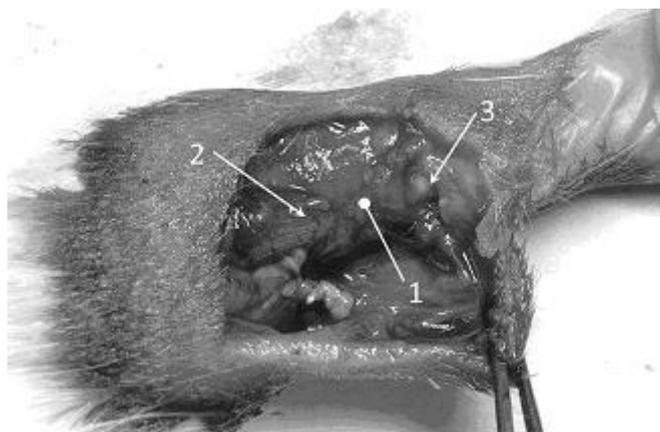


Рис. 1. Экспериментальный дефект ахиллова сухожилия у крыс: 1 – тотальный дефект ахиллова сухожилия; 2 – икроножная мышца; 3 – пяточный бугор

В исследование включено 10 животных, у каждого из которых дефект правого ахиллова сухожилия замещали имплантатом, а левого – хирургическими нитями (контроль).

Для приготовления формовочного раствора с оптимальными технологическими параметрами: электропроводности, вязкости, молекулярной массы полимера, концентрации полимера нами был ранее проведен цикл научно-исследовательских работ, результаты которых опубликованы в статьях [22-24].

Было установлено, что процесс ЭФВ стабильно протекает в области концентраций ПГБ в формовочном растворе от 4 до 9% масс. при средней вязкости от 2 до 18 Пз. (0,2 – 1,8 Па с) [15, 22]; оптимальная молекулярная масса ПГБ составляла 460 кДа; электропроводность формовочного раствора колебалась в области  $10^{-3}$  (Ом·м)<sup>-1</sup>.

На рис 2. показано влияние концентрации ПГБ в формовочном растворе на средний диаметр волокна. Диаметр волокна вычисляли по микрофотографиям с использованием метода сканирующей электронной микроскопии (вставка на рис. 2). Видно, что с ростом концентрации ПГБ (а соответственно, вязкости раствора), диаметр волокна почти линейно растет.

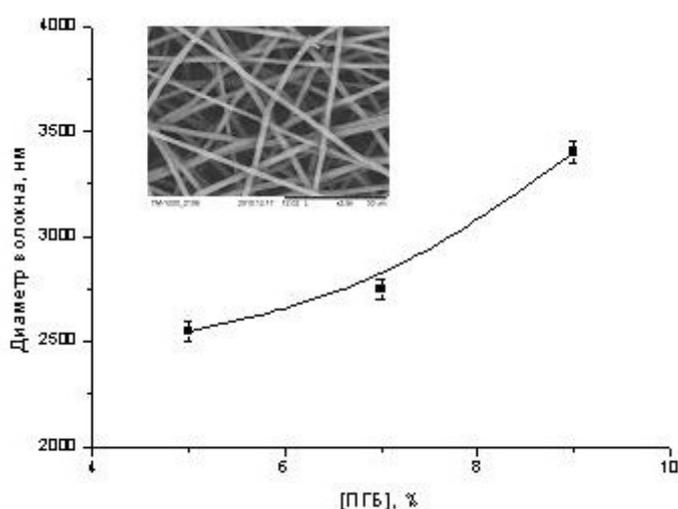


Рис. 2. Зависимость среднего диаметра волокна от концентрации ПГБ в растворе. На вставке: изображение волокнистого материала, полученного методом СЭМ

Было установлено, что молекулярная масса ПГБ и производительность процесса электроформования практически не оказывают влияние на величину среднего диаметра волокна. Установлено, что наиболее высокими механическими характеристиками обладают нетканые волокнистые материалы на основе ПГБ с молекулярной массой 460 кДа [15, 22-24]. Данный эффект связан, по всей видимости, с кинетикой кристаллизации ПГБ в процессе формирования моноволокна (соотношение аморфной и кристаллической фазы, наличие плотных и более разрыхленных участков в аморфной области). По данным ДСК, степень кристалличности исходного ПГБ (порошок) составляла 69%, а волокнистого материала из 7% раствора -73%.

Отметим, что в случае биомедицинского применения волоконных материалов, например, при создании пористых матриц для клеточной инженерии или искусственных биорезорбируемых протезов различных связок, возможность регулирования диаметра волокна от микронного до наноразмерного уровня приводит к различной динамике роста и развития клеток и, как следствие, регулированию процесса резорбции полимерного материала [14]. Возможность регулировать геометрию ультратонкого волокна путем изменения физико-химических характеристик раствора описывается в ряде недавних публикаций [25]. В нашем случае при работе с раствором ПГБ мы выбрали 7% формовочный раствор ПГБ в хлороформе как базовый вариант, что, прежде всего, связано с хорошей воспроизводимостью физико-химических характеристик и геометрии волокон, полученных из этого раствора, поэтому последующие исследования были проведены на их основе, а также на основании проведенных экспериментов по определению физико-механических характеристик и среднего диаметра волокон. На основании полученных экспериментальных данных мы выбрали для дальнейших исследований ПГБ с молекулярной массой 460 кДа, напряжение на электроде 10-11 кВ.

В ходе дальнейшей работы мы исследовали влияние диаметра волокна на скорость роста модельных мезенхимальных стволовых клеток (МСК) на поверхности формируемых нетканых волокнистых материалов. Данные представлены на рис. 3.

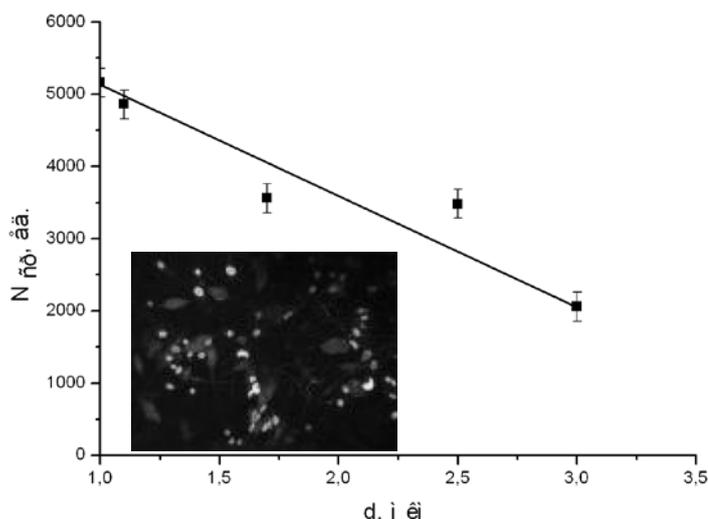


Рис. 3. Зависимость усредненного за 8 суток количества клеток МСК от среднего диаметра волокон ПГБ, культивированных на волокнистых нетканых матриксах. На вставке изображение поверхности нетканого волокнистого материала с колониями МСК (светлые пятна на снимке)

На рис. 3 видно, что с ростом диаметра волокон среднее количество клеток уменьшается. Наивысшее значение показателя регистрируется при диаметрах волокон около

1 мкм. На основе таких волокон формируется нетканый материал с максимальной плотностью упаковки волокон. При этом формируется наиболее переплетенная пространственная структура матрикса с огромным количеством узлов зацеплений и переплетений волокон. Как видно из вставки на рис. 3, клеточные колонии располагаются преимущественно на узлах зацеплений и переплетений волокон. Таким образом, формируется нетканый волокнистый матрикс с оптимальной морфологией для использования в клеточной инженерии.

В процессе электроформования раствор полимера подвергается действию гидростатического и электростатического полей, которые вытягивают каплю раствора на капилляре в волокно [2, 4]. При этом ориентация волокна сопровождается уплотнением структуры, которое приводит к вытеснению растворителя из объема полимера и фазовому переходу формовочного раствора в волокно с одновременным образованием кристаллической структуры, ориентированной вдоль направления растягивающей силы.

Наличие различных по плотности участков в межкристаллитных (аморфных) областях волокна было нами обнаружено методом ЭПР. Спектры ЭПР матриц, сформированных на основе ультратонких волокон ПГБ, представляют суперпозицию двух индивидуальных спектров, принадлежащих радикалам с различными временами корреляции, которые характеризует молекулярную подвижность в менее плотных и в более плотных аморфных областях полимера. Наличие, по крайней мере, двух времен корреляции радикала в аморфной области волокнистых матриц ПГБ свидетельствует о гетерогенном строении межкристаллических областей полимера и согласуется с современной двухфазной моделью аморфного состояния кристаллизующихся полимеров, применяемой к частично кристаллизующимся полиэфирам, таким как ПГБ, полилактид, полиэтилентерефталат и др. [26]. Способность ПГБ к кристаллизации в поле действия растягивающих напряжений (так называемая «ориентационная кристаллизация») является определяющей в формировании надмолекулярной структуры. Важным следствием ориентационной кристаллизации является конформационное превращение макромолекул, приводящее к изменению свободной энергии и, соответственно, изменению условий фазового перехода, то есть равновесной температуры кристаллизации [27]. При этом возможно образование компактной укладки макромолекулярных цепей ПГБ при формировании моноволокна с малыми диаметрами (менее 1 мкм), которые оптимальны при создании матриксов для клеточной инженерии.

При сравнении рис. 2 и рис. 3, мы видим, что изменение технологических параметров ЭФВ не позволяет нам получить волокна с диаметрами около 1 мкм. Поэтому требуется введение структурных модификаторов в полимерный раствор. Для формирования однородной мелкокристаллической структуры в кристаллизующиеся полимеры вводят малые концентрации наноразмерных твердых дисперсных частиц с полярными группами на поверхности. Наиболее распространенными частицами для модификации надмолекулярной структуры полимеров являются диоксиды титана (титановые белила) и кремния (кремнезем или белая сажа).

В дальнейшей работе мы изучали влияние малой концентрации наноразмерных частиц различной химической природы (диоксид титана в двух модификациях и диоксид кремния) на параметры надмолекулярной структуры волокон ПГБ. Для исследования кристаллической структуры был использован метод ДСК. Для исследования структуры аморфной фазы в волокнах нами был использован метод микронзондовой ЭПР спектроскопии, позволяющей оценить не только динамические характеристики движения сегментов, но и различия в плотностях аморфной фазы, рассматриваемую как комбинацию более упорядоченных и менее упорядоченных областей.

Наноразмерные частицы вводили в раствор полимера в количестве 0,1% (в пересчете на твердый полимер) с использованием ультразвуковой ванны и микроволнового излучения непосредственно перед ЭФВ. Введение малых концентраций наночастиц, как мы предполагаем, повлияет на кинетику кристаллизации ПГБ и тем самым изменит надмолекулярную структуру получаемых ультратонких волокон. При этом должны измениться как диаметр волокна, и его стойкость к факторам внешней среды.

Как видно из данных табл. 1, введение в формовочный раствор наноразмерных частиц кремния и диоксида титана привело к уменьшению среднего диаметра волокна по сравнению с исходным значением в 2-3 раза. При этом показатели физико-механических свойств выросли в 1,5 – 3 раза. Наименьший диаметр и наивысшие физико-механические показатели наблюдались у волокнистых материалов, модифицированных наночастицами диоксида кремния.

Если сравнивать между собой параметры волокон, содержащих две различные модификации наночастиц диоксида титана, то оказалось, что наименьший диаметр и более высокие физико-механические свойства имеют волокна, содержащие частицы диоксида титана в форме анатаза. Это, несомненно, связано с их более высокой удельной поверхностью (меньшим размером частиц) по сравнению с  $\eta$  TiO<sub>2</sub>.

Таблица 1

Зависимость среднего диаметра, механических характеристик и сорбционных свойств волокон ПГБ, содержащих наночастицы кремния и диоксида титана

Образец	$d_{cp}$	$L_p$	$\epsilon_p$
Волокно ПГБ	2750	586	19
Волокно ПГБ с TiO <sub>2</sub> (анатаз)	1100	1500	80
Волокно ПГБ с $\eta$ TiO <sub>2</sub>	1400	1000	32
Волокно ПГБ с nc-Si	850	1795	31

$D_{cp}$  – средний диаметр, нм;  $L_p$  – разрывная длина, м;  $\epsilon_p$  – относительное удлинение, %;

Таким образом, при введении малых количеств наноразмерных частиц диоксидов кремния и титана, нам удалось получить волокна ПГБ необходимого диаметра (около 1 мкм), которые можно успешно использовать для изготовления нетканых волокнистых матриц для клеточной инженерии.

При исследовании волокнистых материалов методом дифференциальной сканирующей калориметрией (данные табл. 2) оказалось, что температура плавления ПГБ практически не изменяется в присутствии наночастиц, а температура кристаллизации в модифицированных волокнах падает на 5-7 °С. При этом степень кристалличности полимера практически не меняется. Более высокие значения температуры начала термодеструкции волокон с наночастицами по сравнению с исходными волокнами указывает на наличие адгезионного взаимодействия полярных групп ПГБ с поверхностью частиц диоксидов кремния и титана с образованием водородных связей.

Таблица 2

Теплофизические характеристики волокон ПГБ, содержащих наночастицы, и температуры начала термодеструкции и термоокислительной деструкции

Образец	$T_{пл}$	$T_{кр}, ^\circ C$	$\chi_c, \%$	$E_{пл}$	$T_{нач}^T$
Волокно ПГБ	177	74	73	0,75	231
Волокно ПГБ с TiO <sub>2</sub> (анатаз)	178	68	72	0,55	243
Волокно ПГБ с $\eta$ TiO <sub>2</sub>	177	69	72	0,65	239
Волокно ПГБ с nc-Si	179	67	71	0,6	240

( $T_{пл}, ^\circ C$ ) – температура плавления; ( $T_{кр}, ^\circ C$ ) - температура кристаллизации;  
 $\chi_c, \%$  - степень кристалличности (ДСК);  $E_{пл}$  (МДж/К) - энергия активации плавления;  $T_{нач}^T, ^\circ C$  – температура начала термодеструкции;

Сопоставляя данные физико-механических и калориметрических испытаний, можно констатировать, что добавление в полимерное волокно наночастиц, обладающих высокой удельной поверхностью и химической активностью [21, 46], приводит к замедлению процессов кристаллизации полимера-матрицы и к снижению энергии активации фазового перехода плавления кристаллической фазы ПГБ. Объяснение этому явлению может быть следующее. Исследуемые наночастицы имеют большую удельную поверхность, на которой располагаются атомы кислорода, являющиеся активными центрами химического взаимодействия с различными органическими молекулами [20, 28-30], в том числе полимерами, в структуре которых имеются полярные группы, в нашем случае – ПГБ, содержащий карбонильные и гидроксильные группы [31]. В результате адсорбционного взаимодействия макромолекул ПГБ с наночастицами в процессе формирования структуры волокна происходит существенное замедление процесса кристаллизации. В процессе электроформования замедление кристаллизации тем сильнее, чем ниже концентрация растворителя и выше кратность вытяжки полимерных цепей в волокне, которая приводит одновременно к уплотнению структуры аморфной фазы. С ростом степени ориентации тормозятся процессы релаксации (дезориентации) макромолекул ПГБ, и в отвержденном волокне фиксируется неравновесная структура с вытянутыми проходными цепями в межкристаллитных областях (аморфная фаза). Такая структура характеризуется высокими физико-механическими характеристиками, что мы и наблюдаем (см. табл. 1).

Такие показатели дисперсных частиц как: степень дисперсности, химическая природа и величина удельной поверхности оказывают влияние на формирование надмолекулярной структуры волокна. Именно различиями в этих структурно-химических показателях можно объяснить разницу в теплофизических, физико-механических параметрах, стойкости к термо- и фотоокислительной деструкции модифицированных волокнистых материалов на основе ПГБ, которые подробно описаны в нашей работе [32]. Было показано, что модифицированные волокна обладают большей стойкостью к термодеструкции и термоокислительной и фотоокислительной деструкции.

Как видно по результатам культивации МСК на поверхности полимерных матриц с помощью теста ХТТ (табл. 3), рост клеток на образцах нетканых материалов с модифицирующими наноразмерными добавками максимален уже на 3 сутки по сравнению с волокнистыми материалами без добавок.

Таблица 3

Данные по динамике роста мезенхимальных стволовых клеток (МСК) для различных образцов на основе ПГБ

Образец	Количество клеток в мл, $10^3$	
	24 ч	72 ч
ПГБ волокна	40	148
ПГБ волокна $\text{TiO}_2$ (анатаз)	30	175
ПГБ волокна с $\eta\text{-TiO}_2$	65	235
ПГБ волокна с nc-Si	75	245

Наибольшую биосовместимость, которая была оценена по интенсивности роста клеток, продемонстрировали матрицы, приготовленные с добавлением наноразмерного кремния. Именно эти матрицы обладают наименьшим диаметром нитей и, соответственно, более высокими физико-химическими характеристиками.

Следовательно, матрицы, полученные методом электроформования формовочных растворов ПГБ, модифицированных наночастицами кремния и диоксида титана, могут быть рекомендованы для выращивания МСК с перспективой применения их в тканевой инженерии и травматологии (искусственные биорезорбируемые имплантаты связок) [33, 34].

На основе полученных нетканых материалов с требуемым диаметром волокна и морфологией были изготовлены искусственные имплантаты соединительных тканей и проведены биологические испытания для установления факта ожидаемой высокой биорезорбции и ускоренного образования регенерата собственных соединительных тканей организма. Конструкция имплантата описана в нашем патенте [35].

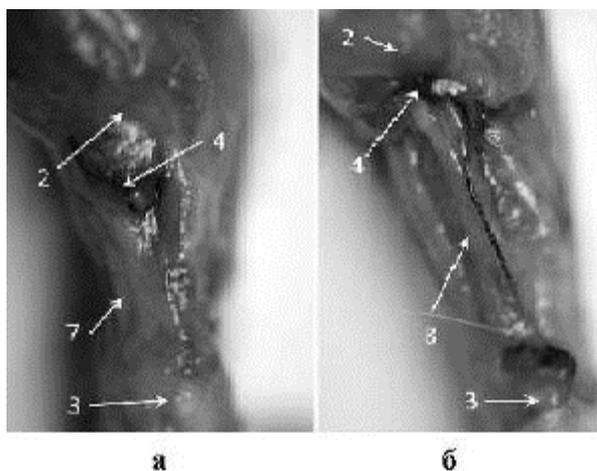


Рис. 4. Регенераты ахилловых сухожилий через 5 недель после операции: а – опыт; б – контроль: 2 – икроножная мышца; 3 – пяточный бугор; 4 – полиамидные нити с прорезавшимися узловыми швами; 7 – морфофункционально адекватный регенерат в опытных наблюдениях; 8 – атрофичный регенерат в контроле

В ране установленный биополимерный имплантат демонстрировал высокую степень гидрофильности, быстро и равномерно пропитываясь кровью. В послеоперационном периоде активность животных ничем не ограничивалась, и они демонстрировали функциональную адекватность пластического замещения сухожилия, активно и полноценно пользуясь оперированными конечностями. Через 5 недель эксперимента животные выводились из опыта. В опытных наблюдениях в отличие от контроля к 5-й неделе эксперимента образовался прочный соединительно-тканый регенерат 7, надежно зафиксировавший икроножную мышцу 2 к пяточному бугру 3 до потери натяжения опорных нитей 4 с полноценным функционально-анатомическим замещением утраченного ахиллова сухожилия. Без применения нановолоконного компонента регенерация живой ткани не осуществлялась (рис. 7 а, б).

Таким образом, нетканый волокнистый материал на основе модифицированного ПГБ показал себя как эффективный кондуктор регенерации соединительной ткани (в данном случае - ахиллова сухожилия).

- Анализ спектров ЭПР показал, что волокна ПГБ имеют различные по степени организации межкристаллитные области;

- Добавление в полимерное волокно наночастиц, обладающих высокой удельной поверхностью и химической активностью, приводит к замедлению процессов кристаллизации полимера и снижению энергии активации фазового перехода плавления ПГБ;

- Наибольшее влияние на рост клеток МСК на матриксах, полученных методом электроформования, оказывает диаметр волокна, который определяет плотность упаковки нетканого материала и его пространственную морфологию (количество узлов зацеплений и переплетений).

- Добавление в формовочный раствор ПГБ малых концентраций наночастиц с активной поверхностью позволяет формировать волокна с наименьшими диаметрами, с более высокими физико-механическими характеристиками.

- Наиболее эффективное влияние на структуру и свойства ультратонких волокон ПГБ оказывают наночастицы кремния.

- Разработана конструкция искусственного биорезорбируемого имплантата связки, которая обеспечивает условия эффективного формирования в тканевом дефекте прочного и морфологически оформленного регенерата связки.

*Авторы выражают благодарность компании «BIOMER» (Krailling, Germany) и, в частности профессору U.J. Haenggi, за предоставленный для научной работы поли-(3-гидроксибутират).*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 13-02-12407 ОФИ\_м2 и РФФИ № 15-59-32401 РТ-ому).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Greiner A., Wendorff J.H. Functional Self-Assembled Nanofibers by Electrospinning // *Adv. Polym. Sci.* 2008. 219. P. 107–171.
2. Filatov Y., Budyka A., Kirichenko V. Electrospinning of Micro- and Nanofibers: Fundamentals in Separation and Filtration Processes. – New York: Begell House Inc, 2007.– 404p.
3. Kulkarni A., Bambole V.A., Mahanwar P.A. Electrospinning of polymers, their modeling and applications // *Polymer-Plastics Technology and Engineering.* 2010. V. 49. №5. P. 427-441.
4. Филатов Ю.Н. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). – М.: Нефть и Газ, 1997. – 298 с.
5. Lodwig E.M., Leonard M., Marroqui S., Wheeler T.R., Findlay K., Downie J.A., Poole P.S. Role of Polyhydroxybutyrate and Glycogen as Carbon Storage Compounds in Pea and Bean Bacteroids // *Molecular Plant-Microbe Interactions (MPMI).* 2005. Vol. 18, №1. P. 67–74.
6. Bonartsev A.P., Iordanskii A.L., Bonartseva G.A. and Zaikov G.E. Biodegradation and Medical Application of Microbial Poly (3-Hydroxybutyrate) // *Journal of the Balkan tribological association.* 2008. V. 14. № 3. P. 359-395.
7. Жаркова И.И., Староверова О.В., Воинова В.В., Андреева Н.В., Шушкевич А.М., Склянчук Е.Д., Кузьмичева Г.М., Беспалова А.Е., Акулина Е.А., Шайтан К.В., Ольхов А.А. Биосовместимость матриц для тканевой инженерии из поли-3-оксибутирата и его композитов, полученных методом электроформования // *Биомедицинская химия.* 2014. Т. 60. Вып. 5. С. 553-560.
8. Pankova Yu.N., Shchegolikhin A.N., Iordanskii A.L., Zhulkina A.L., Ol'khov A.A. and Zaikov G.E. The characterization of novel biodegradable blends based on polyhydroxybutyrate: The role of water transport // *Journal of Molecular Liquids.* 2010. V. 156. Iss. 1. P. 65-69.
9. Ольхов А.А., Иорданский А.Л., Власов С.В., Косенко Р.Ю., Симонова Ю.С., Заиков Г.Е. Матрицы контролируемого высвобождения фурацилина на основе пленок полигидроксибутирата, модифицированного шунгитом. // *Энциклопедия инженера-химика,* 2012, № 7, с. 17 – 21.
10. Бонарцев А.П., Иорданский А.Л., Бонарцева Г.А., Босхомджиев А.П., Заиков Г.Е. Биодegradация, биосовместимость и биомедицинское применение поли(3-оксибутирата) // *Пластические массы.* 2010. № 3. С. 6-23.
11. Жаркова И.И., Бонарцев А.П., Босхомджиев А.П., Ефремов Ю.М., Багров Д.В., Махина Т.К., Мышкина В.Л., Иванов Е.А., Воинова В.В., Яковлев С.Г., Зернов А.Л., Филатова Е.В., Андреева Н.В., Бонарцева Г.А., Шайтан К.В. Влияние модификации поли-3-оксибутирата полиэтиленгликолем на жизнеспособность клеток, культивируемых на полимерных пленках // *Биомедицинская химия.* 2012. Т. 58. № 5. С. 579-591.
12. Mergaert J., Webb A., Anderson C., Wouters A., Swings J. Microbial degradation of poly(3-hydroxybutyrate) and poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) in soils // *Appl. Environ. Microbiol.* 1993. V. 59. №10. С. 3233–3238.

13. Loh X.J., Goh S.H., Li J. Hydrolytic degradation and protein release studies of thermogelling polyurethane copolymers consisting of poly[(R)-3-hydroxybutyrate], poly(ethylene glycol), and poly(propylene glycol) // *Biomaterials*. 2007. V. 28. №28. P.4113-4123.
14. Староверова О.В., Шушкевич А.М., Кузьмичева Г.М., Ольхов А.А., Воинова В.В., Ольхов А.А., Жаркова И.И., Шайтан К.В., Склянчук Е.Д., Гурьев В.В. Волокнистые матриксы для ткане-инженерных конструкций из поли-3-гидроксibuтирата и его композитов // *Технологии живых систем*. 2013. Т.10. № 8. С. 74-79.
15. Староверова О.В., Ольхов А.А., Кузьмичева Г.М., Доморошина Е.Н., Власов С.В., Филатов Ю.Н. Ультратонкие волокна на основе биополимера полигидроксibuтирата (ПГБ), модифицированные наноразмерными модификациями диоксида титана // *Вестник МИТХТ*. 2011. Т. VI. № 6. С. 120-127.
16. Olkhov A.A., Staroverova O.V., Kuzmicheva G.M., Domoroshina E.N., Filatov Yu.N., Filatov I.Yu., Vlasov S.V., Iordanskii A.L., Shibryaeva L.S., Tertishnaya Yu.V., Bonartseva G.A., Bonartsev A.P., Zaikov G.E. Nanostructured polymers and nanochemistry: research progress / Ed. by A.K. Naghi, S. Kubica, G.E. Zaikov. Torun: IMPiB, Institute for Engineering of Polymer Materials and Dyes. 2012. P. 25 – 36.
17. Ищенко А.А., Дорофеев С.Г., Кононов Н.Н., Ольхов А.А. Способ получения нанокристаллического кремния, обладающего яркой устойчивой фотолюминесценцией / Патент RU 2411613 С1. Опубликовано: 10.02.2011. Бюл. № 4.
18. Ищенко А.А., Баграташвили В.Н., Кононов Н.Н., Дорофеев С.Г., Ольхов А.А. Способ получения биodeградируемых частиц нанокремния для *in vivo* применения / Патент RU 2491227 С1 Опубликовано: 27.08.2013. Бюл. № 24.
19. Ольхов А.А., Румянцев Б.М., Гольдштрах М.А., Стороженко П.А., Ищенко А.А., Заиков Г.Е. Полимерные композиционные материалы на основе полиэтилена и нанокристаллического кремния // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2014. № 1. С. 13-27.
20. Лучинский Г.П. Химия титана – М.: Химия, 1971.– 472 с.
21. Кузьмичева Г.М., Савинкина Е.В., Оболенская Л.Н., Белогорохова Л.И., Маврин Б.Н., Чернобровкин М.Г., Белогорохов А.И. Получение, характеристика и свойства наноразмерных модификаций диоксида титана со структурами анатаза и -TiO<sub>2</sub> // *Кристаллография*. 2010. Т. 55. № 5. С. 919-924.
22. Ольхов А. А., Староверова О. В., Филатов Ю. Н., Кузьмичева Г. М., Иорданский А. Л., Заиков Г. Е. Исследования структуры и свойств ряда нановолокнистых биоматериалов на основе поли(3-гидроксibuтирата) // *Энциклопедия инженера-химика*. 2013. №7. С. 32-38.
23. Olkhov A.A., Staroverova O.V., Iordanskii A.L., Zaikov G.E. Morphology of electrospun nanofibres of polyhydroxybutyrate // *AIP Conf. Proc.* 2014. V. 1599. P. 558-561; doi: 10.1063/1.4876902.
24. Ольхов А.А., Карпова С.Г., Иорданский А.Л., Староверова О.В., Роговина С.З., Берлин А.А. Влияние прокатки на структуру волокнистых материалов на основе поли(3-гидроксibuтирата), полученных электроформованием // *Химические волокна*. 2014. №5. С. 50-57.
25. Rutledge, G.C., Fridrikh, S.V. Formation of Fibers by Electrospinning // *Advanced Drug Delivery Reviews* 2007. V. 59. №14. P. 1384-1391.
26. Di Lorenzo M.L., Gazzano M., Righetti M.C. The role of the rigid amorphous fraction on cold crystallization of poly(3-hydroxybutyrate) // *Macromolecules* 2012. 45.- P. 5684–5691.
27. Ориентационные явления в растворах и расплавов полимеров / под. ред. Малкина А.Я., Папкина С.П. – М.: Химия. 1980.– 280 с.
28. Ищенко А.А., Фетисов Г.В., Асланов Л.А. Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля – М.: Физматлит. 2011.– 648 с.
29. Рыбалтовский А.О., Баграташвили В.Н., Ищенко А.А., Минаев Н.В., Кононов Н.Н., Дорофеев С.Г., Крутикова А.А., Ольхов А.А. Лазерно-индуцированные эффекты в спектрах

- комбинационного рассеяния нанокристаллического кремния // Российские нанотехнологии. 2012. Т. 7. № 7-8. С. 96-101.
30. Серхачева Н.С., Яшина Н.В., Прокопов Н.И., Гайнанова А.А., Кузьмичева Г.М., Доморощина Е.Н., Садовская Н.В., Прокудина Н.А., Гервальд А.Ю. Бактерицидные свойства наноразмерных оксидов цинка (II) и титана (IV) разной природы и нанокмппозитов с их участием на основе полистирола // Российские нанотехнологии. 2016. Т. 11. № 1-2. С. 91-100.
31. Iordanskii A.L., Olkhov A.A., Kamaev P.P., Wasserman A.M. Water transport phenomena in green and petrochemical polymers. Differences and similarities. // Desalination, 1999, 126. P. 139-145.
32. Ольхов А.А., Староверова О.В., Бонарцев А.П., Жаркова И.И., Склянчук Е.Д., Иорданский А.Л., Роговина С.З., Берлин А.А., Ищенко А.А. Структура и свойства ультратонких волокон поли-(3-гидроксибутирата), модифицированных наночастицами кремния и диоксида титана // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2014. № 12. С. 2-13.
33. Ольхов А.А., Староверова О.В., Иорданский А.Л., Филатов Ю.Н., Ищенко А.А., Симонов-Емельянов И.Д. Нановолокнистый полимерный материал. // Патент RU № 2543377 С2. Опубликовано: 27.02.2015. Бюл. № 6.
34. Ольхов А.А., Склянчук Е.Д., Аббасов Т.А., Акатов В.С., Фадеева И.С., Фадеев Р.С., Фесенко Н.И., Староверова О.В., Гумаргалиева К.З., Филатов Ю.Н., Иорданский А.Л., Гурьев В.В. Регенерационный потенциал нановолоконного сухожильного имплантата из полигидроксибутирата // Технологии живых систем. 2015. Т. 12. № 2. С. 3-11.
34. Склянчук Е.Д., Ольхов А.А., Акатов В.С., Гурьев В.В., Иорданский А.Л., Филатов Ю.Н., Аббасов Т.А., Фадеева И.С., Староверова О.В., Склянчук О.Г. Способ повышения регенерационного потенциала имплантатов для восстановительной хирургии соединительной ткани // Патент RU № 2561830 С1. Опубликовано 10.09.2015. Бюл. №25.

УДК 541.183.12

### **ВОЛОКНИСТЫЕ АНИОНИТЫ ФИБАН А-5, ПОЛУЧЕНИЕ, МОДИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ**

### **FIBROUS ANION EXCHANGERS FIBAN A- 5, SYNTHESIS, MODIFICATION AND APPLICATION**

А.П. Поликарпов, А.А. Шункевич, Г.В. Медяк, З.И. Акулич, В.И. Грачек  
A.P. Polikarpov, A.A. Shunkevich, G.V. Medyak, Z.I. Akulich, V.I. Grachek

Институт физико-органической химии Национальной Академии Наук Беларуси (Минск)  
The Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus  
(Minsk)

E-mail fiban@ifoch.bas-net.by, shunkevich@ifoch.bas-net.by, medyak@ifoch.bas-net.by,  
grachek@ifoch.bas-net.by

Рассмотрены некоторые аспекты получения, модификации и применения волокнистых анионитов марки ФИБАН с третичными и четвертичными аминогруппами. Показано, что аниониты этого класса могут быть использованы в качестве сорбентов кислых примесей из воздуха и анионных загрязнений из воды. Продемонстрирована возможность применения новых технологий очистки воды с использованием волокнистых ионитов.

**Ключевые слова:** волокнистые аниониты, сорбция, десорбция, очистка воздуха, очистка воды.

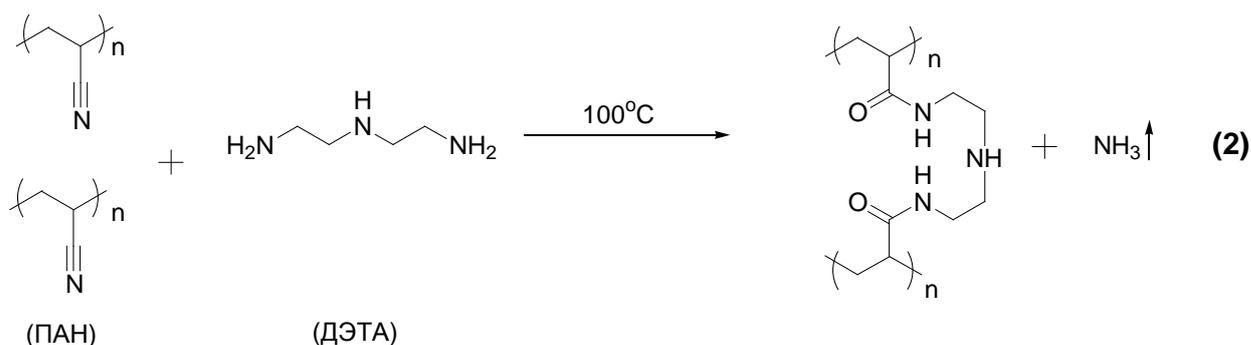
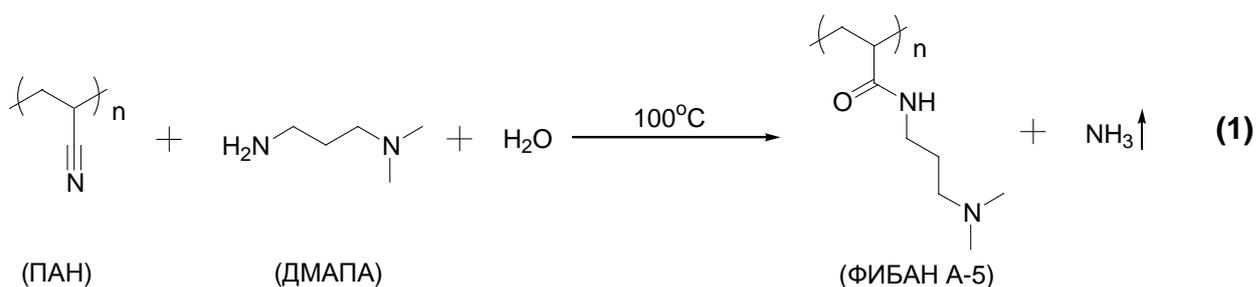
The article discussed some aspects of synthesis, modifications and applications of fibrous anion exchangers FIBAN with tertiary and quaternary ammonium groups. It is shown that the anion exchangers of

this class can be used as sorbents of sour contaminants from air and anionic contaminants from water. Possibility of application of new technologies of water treatment with the use of fibrous ion exchangers is shown.

**Keywords:** fibrous anion exchangers, sorption, desorption, cleaning of air, water treatment.

Сорбционные технологии с использованием минеральных сорбентов и синтетических гранульных ионитов успешно развиваются во многих отраслях промышленности, в том числе для решения экологических проблем [1, 2]. Внедрение в практику волокнистых ионообменных материалов, обладающих многими преимуществами перед гранульными аналогами [3, 4], сдерживается отсутствием разработанных конструкторских решений и технологий. В настоящей статье рассматриваются основы синтеза и несколько направлений использования анионообменного волокна ФИБАН А-5 и его модификаций с целью решения конкретных задач.

Получение волокнистых анионитов ФИБАН А-5. Для получения волокнистых анионитов ФИБАН А-5 было использовано полиакрилонитрильное (ПАН) волокно «нитрон Д» линейной плотности 0,33 текс, выпускаемое Новополюцким ОАО «Нафтан», содержащее 92,5% акрилонитрила, 6,3% метилакрилата и 1,2% итаконовой кислоты. Это волокно с уникальным комплексом свойств позволяет синтезировать широкий спектр ионообменных и хемосорбционных материалов [3, 5]. Получение слабоосновного анионита ФИБАН А-5 осуществляли в одну стадию [6] – аминированием ПАН волокна N,N-диметиламинопропиламином (ДМАПА) в присутствии диэтилентриамина (ДЭТА), выполняющего роль сшивающего агента. Химизм процесса заключался в протекании двух параллельных реакций: взаимодействия нитрильных групп ПАН волокна с ДМАПА с образованием амидоаминных групп (1) и взаимодействия их с ДЭТА с образованием внутри и межмолекулярных амидоаминных связей (2). В ходе протекания синтеза возможно омыление некоторого количества нитрильных групп до карбоксильных. Часть нитрильных групп в волокне остаются непрореагировавшими. В зависимости от условий получения (температура, время, концентрация и соотношение реагентов) были получены образцы волокнистого анионита ФИБАН А-5, содержащего преимущественно третичные аминогруппы, с обменной емкостью 3,3-5,5 мг-экв/г и набуханием 0,5-2,0 г H<sub>2</sub>O/г ионита. Содержание карбоксильных групп варьировалось от 0,2 до 1,1 мг-экв/г.



Синтезированное слабоосновное волокно ФИБАН А-5 обладает удовлетворительными физико-механическими характеристиками для текстильной переработки и получения

различных текстильных форм (рис. 1).

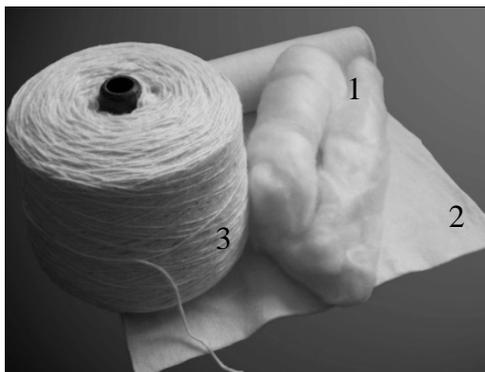


Рис. 1. Текстильные формы волокнистого анионита ФИБАН А-5: расчесанный штапель (1), нетканое полотно (2), пряжа (3)

Очистка воздуха от диоксида серы. Волокнистые аниониты ФИБАН А-5 способны поглощать кислые газы из газовых сред и могут быть использованы для очистки воздуха от диоксида серы [7]. Также в качестве сорбента диоксида серы были испытаны волокнистые аниониты ФИБАН А-6, полученные алкилированием слабоосновного волокна ФИБАН А-5 эфирхлоргидрином и содержащие как третичные, так и четвертичные аминогруппы. Сорбцию  $SO_2$  на волокнистых анионитах ФИБАН А-5 и А-6 [8] изучали в динамическом режиме при температуре  $25^{\circ}C$ , скорости потока  $0,081$  м/с, концентрации  $SO_2$  от 3 до  $37$  мг/м<sup>3</sup>, толщине слоев сорбента от 3 до 9 мм и влажности газо-воздушной смеси от 15 до 91%. Результаты испытаний представлены на рис. 2 и 3. Оба волокнистых анионита работоспособны при низких относительных влажностях воздуха. Для ФИБАН А-5 критической величиной, при которой анионит перестает поглощать диоксид серы, является относительная влажность 22%, а максимальная сорбция наблюдается при влажности 38-49% и выше (рис. 2). Для ФИБАН А-6 критическая величина влажности около 30%, что связано с меньшей гидрофильностью ФИБАН А-6 по сравнению с менее «сшитым» ФИБАН А-5. В то же время при относительной влажности 40-50% ионит ФИБАН А-6 обладает высокой динамической активностью, необходимой для эффективной работы сорбентов в «чистых комнатах».

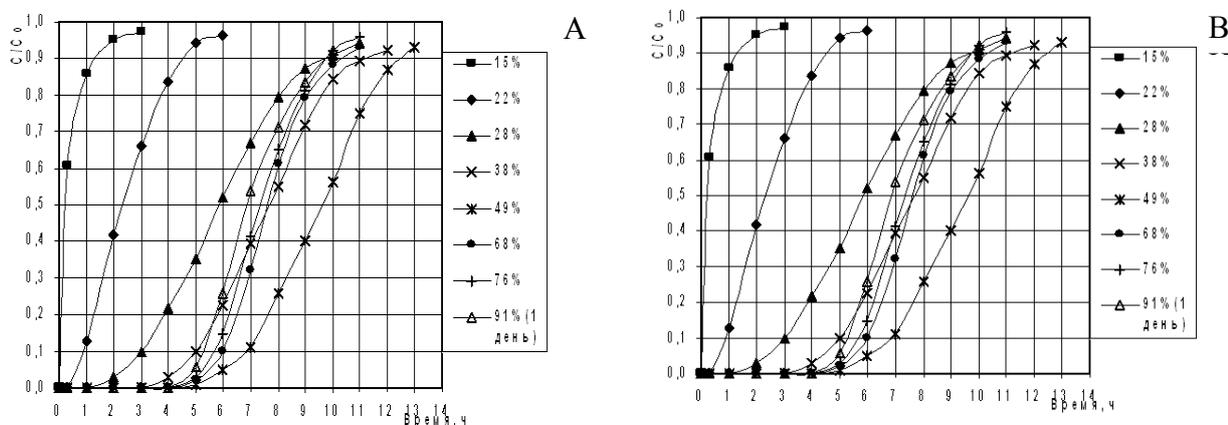


Рис. 2. Кривые проскока (А) и сорбции (В) диоксида серы на ионите ФИБАН А-5 в  $HCO_3^-$  форме в зависимости от влажности газо-воздушного потока. Условия опытов: концентрация  $SO_2$  –  $37$  мг/м<sup>3</sup>, толщина сорбционного слоя – 6 мм

Другой интересный результат, определяющий наилучший материал для конкретных условий его работы, получен из зависимости динамической и равновесной сорбционной

емкости анионитов от концентрации диоксида серы (рис. 3). Слабоосновный анионит ФИБАН А-5 обладает более высокой сорбционной активностью по диоксиду серы при его концентрациях выше 10 мг/м<sup>3</sup>, тогда как сильноосновный анионит ФИБАН А-6 эффективнее работает в области более низких концентраций. В этой связи анионообменное волокно ФИБАН А-6 целесообразно использовать для очистки воздуха от микро- и миллиграммовых концентраций диоксида серы.

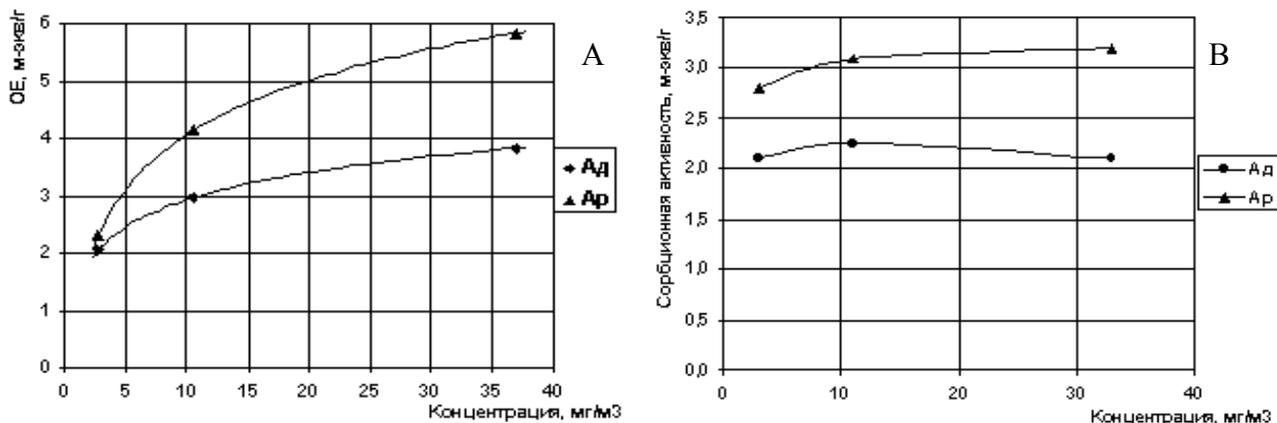


Рис.3. Зависимость сорбционной активности ионитов ФИБАН А-5 (А) и ФИБАН А-6 (В) в  $\text{HCO}_3^-$  – форме от концентрации диоксида серы в воздушном потоке.

Условия опытов: относительная влажность воздуха 50%, толщина слоя сорбентов 6 мм

Очистка воздуха от других кислых газов. Показано [7, 9], что волокнистые аниониты ФИБАН А-5 и А-6 могут быть успешно использованы для очистки воздуха от хлористого и фтористого водорода и имеют преимущество в сорбционных характеристиках перед анионитом ФИБАН АК-22 с более слабыми аминогруппами.

Очистка воды от ионов фтора. На основе волокнистого анионита ФИБАН А-5 разработан регенерируемый сорбент ионов фтора. Это композиционный материал, полученный обработкой ФИБАН А-5 раствором  $\text{TiOSO}_4$  и содержащий 3,45 ммоль Ti на 1 г волокна [10]. Показано, что полученный сорбент обеспечивал очистку воды от ионов фтора ниже уровня ПДК питьевой воды (0,5 мг F/л) из модельных растворов с 10-кратным избытком ионов хлора и со сложным ионным составом, моделирующим природную воду (табл. 1).

Таблица 1

Результаты очистки водных растворов от ионов фтора до проскока 0,5 мг F/л

Состав исходного раствора	pH исходного раствора	Динамическая емкость, мг/г	Объем очищенной воды, мл/г
43,4 мг/л $\text{F}^-$ , 430 мг/л $\text{Cl}^-$	6,44	19,0	390
46,9 мг/л $\text{F}^-$ , 68,1 мг/л $\text{Cl}^-$ , 7,2 мг/л $\text{NO}_3^-$ , 170,8 мг/л $\text{HCO}_3^-$ , 15,8 мг/л $\text{SO}_4^{2-}$	8,00	27,8	571

Очистка воды от формальдегида. Эффективные сорбенты формальдегида из воды получены на основе волокнистых анионитов ФИБАН А-5 и А-7 [11]. Волокна ФИБАН А-7 были синтезированы алкилированием слабоосновного волокна ФИБАН А-5 этиленхлоргидрином и содержали наряду с третичными также четвертичные аминогруппы. Для поглощения формальдегида аниониты переводили в бисульфитную форму. Сорбцию проводили из модельного раствора с содержанием 105-115 мг/л  $\text{CH}_2\text{O}$ , а регенерацию – растворами  $\text{HCl}$  или  $\text{NaHCO}_3$ . Установлено, что волокнистые аниониты ФИБАН А-5 и А-7 имеют высокие динамические емкости до проскока 5 мг/л  $\text{CH}_2\text{O}$  (табл. 2), что соответствует

допустимому однократному выбросу формальдегида в рыбохозяйственные водоемы. В отличие от гранульных сильноосновных ионитов волокна ФИБАН не подвергаются осмолению в циклах «химическая конверсия – регенерация» и не теряют сорбционной емкости после регенерации.

Методом ЯМР–спектроскопии доказано, что формальдегид в растворе после регенерации находится не в свободной форме, а в составе гидроксиметансульфоновой кислоты. Образующаяся кислота устойчива в водной среде, нетоксична для микроорганизмов и разлагается ими до углекислого газа и воды, что особенно важно для утилизации регенерационных стоков.

Таблица 2

Результаты очистки водных растворов от ионов формальдегида до проскока 5,0 мг  $\text{CH}_2\text{O}/\text{л}$

Марка ионита ФИБАН	Набухание в воде W, г/г ионита	СОЕ по аминогруппам, мг-экв/г		Условия регенерации	Динамическая емкость, мг/г	Объем очищенной воды, мл/г
		сильным	слабым			
А-5	1,51	0	4,58	0,5 н $\text{NaHCO}_3$ 0,5 н $\text{HCl}$	21,2 28,4	241
А-7	1,85	2,54	0,91	0,5 н $\text{NaHCO}_3$ 0,5 н $\text{HCl}$	17,9 18,9	230

Очистка воды от нитрат - ионов. Волокна ФИБАН А-6 с сильноосновными группами обладают высокой избирательностью сорбции в отношении нитрат – ионов [6]. При сорбции нитрат – ионов из модельного раствора, содержащего 150 мг  $\text{NO}_3^-/\text{л}$ , 100 мг  $\text{Cl}^-/\text{л}$ , 80 мг  $\text{SO}_4^{2-}/\text{л}$ , что соответствует средним значениям содержания анионов в колодезной воде РБ, динамическая емкость ФИБАН А-6 в несколько раз выше, чем гранульного анионита DOWEX 1×8 (табл. 3). Благодаря высокой скорости протекания как сорбционных, так и десорбционных процессов на волокне аниониты ФИБАН А-6 хорошо регенерируются с помощью 1 М  $\text{NaCl}$  и полностью восстанавливают сорбционные свойства.

На основании проведенных исследований разработаны малогабаритные фильтрующие устройства индивидуального пользования кувшинного типа для очистки воды от нитратов [12], которые работают в режиме «фильтрация – регенерация». Количество воды, очищаемой устройством до регенерации, обусловлено содержанием нитратов в исходной воде (табл. 4). Разработанные фильтрующие устройства подтвердили заявленные показатели в ходе испытаний на природной воде, прошли санитарно-гигиенические испытания, получили государственную гигиеническую регистрацию и рекомендованы к использованию для очистки воды бытового и технического назначения.

Таблица 3

Результаты очистки водных растворов от нитрат - ионов до проскока 1,5 мг  $\text{NO}_3^-/\text{л}$  ( $\text{ДА}_{1,5}$ ) и 45 мг  $\text{NO}_3^-/\text{л}$  ( $\text{ДА}_{\text{ПДК}}$ )

Марка ионита	СОЕ по аминогруппам, мг-экв/г		Динамическая емкость, мг/г		Объем воды, очищенной до 1,5 мг/г
	сильным	слабым	$\text{ДА}_{1,5}$	$\text{ДА}_{\text{ПДК}}$	
ФИБАН А-6	3,24	0,45	46,5	57,0	400
DOWEX 1×8	3,7	-	7,4	31,0	49

Таблица 4

Объем воды, очищенной от нитрат - ионов устройством с ФИБАН А-6 до регенерации

Содержание $\text{NO}_3^-$ в исходной воде	60	100	150	200	250
Объем очищенной воды	25	14	9	6,5	5,0

Очистка природной воды от ионогенных органических веществ. Основанием для использования волокнистых анионитов в процессах очистки воды от природных органических веществ послужило успешное применение гранульных анионитов – органопоглотителей [13]. С этой целью были испытаны волокна ФИБАН А-5, А-6, А-7 и разработан специальный сорбент ФИБАН А-5W, который отличался от анионита ФИБАН А-5 повышенным набуханием в воде (1,2 – 2,2 г H<sub>2</sub>O/г ионита) и улучшенными деформационно-прочностными характеристиками для использования в виде различных текстильных форм. Установлено [14], что в условиях существующих скоростей водных потоков на предприятиях теплоэнергетики (время контакта сорбента с водой 45-50 сек) эффективность сорбции ионогенных органических веществ с помощью волокна ФИБАН А-5W и специально разработанного гранульного органопоглотителя Purolite A-860S примерно одинакова. Преимущества волокнистого органопоглотителя проявляются с увеличением скоростей водных потоков (табл. 5).

Таблица 5

Результаты очистки воды от природных органических веществ до перманганатной окисляемости ПИ = 3 мг О/л СЕ – количество поглощенных органических веществ, V – объем очищенной воды

Тип анионита	ПИ исходной воды, мг О/л	τ, сек	СЕ, мг О/г ионита	V, л/г ионита
ФИБАН А-7	15,4	45-50	190,4	13,7
ФИБАН А-5W	11,9		98,8	7,4
ФИБАН А-6	11,9		59,4	4,0
Amberlite IRA-900	11,9		0	0
Purolite A-501	11,9		51,0	5,1
Purolite A-860S	15,4	18-20	141,3	9,0
ФИБАН А-5W	4,0		46,1	16,8
Purolite A-860S	4,0	9-10	15,1	8,2
ФИБАН А-5W	4,0		43,7	12,2
ФИБАН А-6	4,0		11,0	6,1
Purolite A-860S	4,0		0,0	0

Преимущества волокнистых сорбентов были реализованы в разработанной технологии очистки воды с использованием картриджей с тонким слоем сорбционного материала, имеющим развитую поверхность контакта с потоком очищаемой воды и обеспечивающим высокую скорость потока и низкое гидродинамическое сопротивление при сохранении высокой эффективности очистки (рис. 4). Основным рабочим элементом автоматизированной очистной установки производительностью 20 м<sup>3</sup>/час служит фильтр из волокнистого органопоглотителя ФИБАН А-5W с высотой сорбционного слоя 8÷9 см. Сорбционный блок состоит из двух секций ионообменных фильтров, по 4 фильтра в каждой секции. Секции ионообменных фильтров работают попеременно, одна – в режиме сорбции, вторая – в режиме регенерации или ожидания, затем режимы меняются, что обеспечивает непрерывный режим работы. Испытания установки на Брестской ТЭЦ продемонстрировали ее работоспособность. Установка очищает 350÷400 м<sup>3</sup> воды с перманганатной окисляемостью 8÷9 мгО/л до значений 3,5÷4,5 мгО/л. Определено, что сорбционная емкость секции ионообменных фильтров составляет 1400÷1600 г О по ионогенным органическим веществам, что соответствует 350÷400 г О для одного ионообменного фильтра.



Рис. 4

Очистка воды от красителей. Волокнистые аниониты ФИБАН перспективны для очистки растворов от ионогенных органических веществ различной природы. Так, эффективность сорбции красящих веществ сахарного производства на волокне ФИБАН А-6 составила около 70%, что почти в 5 раз выше, чем на активированном угле [15].

Концентрирование вирусов и другие применения. Для обнаружения вирусов различными методами необходимо их предварительное концентрирование из больших объемов воды (500-1000 дм<sup>3</sup>) [16]. Показано, что волокна ФИБАН А-6 и А-7, содержащие сильноосновные группы и обладающие высоким набуханием в воде, поглощают вирусы с эффективностью 95-100% и позволяют сконцентрировать их до 20000 раз для последующей индикации методом ПЦР [17].

В заключении следует отметить, что уникальные свойства анионообменного волокна ФИБАН А-5 и его модификаций, а также разработка технологических приемов использования волокнистых материалов открывают широкие перспективы их применения в процессах очистки и концентрирования разнообразных химических соединений с анионными группами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иониты в химической технологии / Под ред. Б.П. Никольского, П.Г. Романова. – Л.: Химия, 1982. – 416 с.
2. Климов, Е. С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод / Е.С. Климов, М. В. Бузаева. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 201 с.
3. Волокна с особыми свойствами. Сб. – М.: Химия, 1980. – 240 с.
4. Soldatov, V.S. Syntheses and the Main Properties of Fiban Fibrous Ion Exchangers / V.S. Soldatov // Solvent Extraction and Ion Exchange. – 2008. – Vol. 26, № 5. – P. 457-513.
5. Зверев, М.П. Хемосорбционные волокна / М.П. Зверев – М.: Химия, 1981. – 192 с.
6. Акулич, З.И. Новые волокнистые полиакрилонитрильные иониты ФИБАН с сильноосновными группами / З.И. Акулич, В.И. Соколова, Г.В. Медяк, А.А. Шункевич, В.С. Солдатов // Научно-техн. проблемы развития производства химических волокон в Беларуси: материалы второй белорусской научно-практической конф. Могилев 13-15 декабря 2001 г. / Могилев, 2001. – Т. I. – С. 267-271.
7. Soldatov, V.S. Ion Exchangers for Air Purification / V.S. Soldatov, E.H. Kosandrovich // Ion Exchange and Solvent Extraction. A Series of Advances. – 2011. – V. 20. – P. 45-115.
8. Косандрович, Е.Г. Волокнистые иониты ФИБАН для очистки воздуха / Е.Г. Косандрович,

- В.И. Грачек, З.И. Акулич, В.С. Солдатов // Экология и промышленность. – 2008. – № 3. – С. 50-53.
9. Способ очистки вентиляционных выбросов от токсичных газов: пат. 2493901 РФ / М.Б. Серегин, А.А. Михаличенко, Л.П. Загорец, Н.И. Кузьмичева, Ю.В. Теньков; заявитель ВНИИХТ. – № 2012120268/05; заявл. 16.05.2012; опубл. 27.09.2013 // Бюл. – 2013. – № 27. – С.56.
10. Медяк, Г.В. Волокнистые иониты ФИБАН для очистки воды от ионов фтора / Г.В. Медяк, А.А. Шункевич, З.И. Акулич // Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов: Сб. научных статей XVI Международной научно-практической конференции 2-6 июня 2008г. г. Щелкино / – Харьков. Украина. 2008. – Т.2. – С.113-117.
11. Медяк, Г.В. Удаление формальдегида из воды путем химической конверсии на волокнистых анионитах ФИБАН / Г.В. Медяк, А.А. Шункевич, В.С. Солдатов, Л.Ю. Тычинская // Научно-технические проблемы развития производства химических волокон в Беларуси: Сб. Матер. III Белорусской научно-практической конф., Могилев, 2006 г. / Могилев, 2007. – С. 197-222.
12. Медяк, Г.В. Устройство для очистки воды от нитратов / Г.В. Медяк, З.И. Акулич, А.А. Шункевич, В.С. Солдатов // ЭКВАТЕК-2004: материалы 6-го Международного конгресса, Москва, 1-4 июня 2004 г. / Москва, 2004. – Ч. II. – С. 575-576.
13. Рябчиков, Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Б.Е. Рябчиков – М.: ДеЛи принт, 2004. – 301 с.
14. Способ очистки воды от ионов железа и природных органических веществ: пат. 17071 Респ. Беларусь, МПК С 02F 1/42, В 01D 61/14 / А.А. Шункевич, Г.В. Медяк, В.И. Соколова, З.И. Акулич, А.В. Бильдюкевич, В.П. Касперчик, В.М. Евдокименко; заявитель ИФОХ НАН Беларуси – № а 20110562; заявл. 29.04.11; опубл. 30.04.13 // Официальный бюл./ Нац. Центр интеллект. собственности – 2013. – № 2. – С. 91.
15. Ситников, А.И. Характеристики сорбции красящих веществ на анионите ФИБАН А-6 / А.И. Ситников, Ю.Н. Сорокина, Н.Н. Кривенко, Е.А. Свиридова // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2012 – Т.12, №.1. – С.153-156.
16. Дьяконова, О.В. Волокнистые ионообменные материалы как эффективные адсорбенты для концентрирования присутствующих в воде вирусов / О.В. Дьяконова, Т.В. Амвросьева, Н.В. Поклонская, А.А. Шункевич, З.И. Акулич, В.С. Солдатов // Медицинские новости. 2011 – №.11. – С. 76-77.
17. Амвросьева, Т.В. Алгоритм санитарно-вирусологического контроля объектов среды обитания человека / Т.В. Амвросьева, О.Н. Казинец, Н.В. Поклонская, Н.Н. Барановская, А.П. Поликарпов // Современные проблемы инфекционной патологии человека: Сб. научных трудов Республиканского научно-практического центра эпидемиологии и микробиологии. – Минск, 2014. – С. 16-20.

**РАЗРАБОТКА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ТЕКСТОЛИТОВ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ  
ПРОИЗВОДСТВА**

**THE DEVELOPMENT OF THERMOPLASTIC TEXTILE LAMINATES OF  
MULTIPURPOSE APPOINTMENT AND THEIR PRODUCTION TECHNOLOGY**

В.А. Грищенко<sup>1</sup>, С.В. Бухаров<sup>2</sup>, А.К. Лебедев<sup>2</sup>, Е.И. Шаповалова<sup>1</sup>  
V.A.Grishchenkova<sup>1</sup>, S.V. Bukharov<sup>2</sup>, A.K. Lebedev<sup>2</sup>, E.I. Shapovalova<sup>1</sup>

ОАО «ЦНИИЛКА» (Москва)  
Московский авиационный институт (научно-исследовательский университет)  
ОАО «TSNIILKA» (Moscow)  
Moscow Aviation Institute (National Research University)  
E-mail.ru textile@tsniilka.ru, bukharovsv@mail.ru

Статья посвящена разработке текстильных наполнителей для термопластичных текстолитов и технологии производства листовых текстолитов. Выбран метод изготовления и спроектированы структуры тканых наполнителей для изготовления наполнителей (препрегов) по волоконной технологии для последующего формования термопластичных текстолитов. Разработана технология производства листовых термопластичных текстолитов методом пошагового прессования, выработаны экспериментальные партии.

Ключевые слова: композит, препрег, термопластичный текстолит, термопласт, текстильные наполнители.

Article is devoted to development of textile fillers for thermoplastic textile laminates and the production technology of sheet thermoplastic textile laminates. The method of production is chosen and structures of woven fillers for production of fillers made by fiber technology for the subsequent formation of thermoplastic textile laminates are designed. The production technology of sheet thermoplastic textile laminates is developed by method of step-by-step pressing, pilot lots are developed.

Keywords: composite, prepreg, textile laminates, thermoplastic, textile fillers.

Композиционные материалы в настоящее время широко используются в различных областях промышленности: автомобильной, авиационной промышленности, строительной индустрии, машиностроении, металлургии, энергетике, бытовой технике, производстве одежды и обуви, медицине, спорте и т.д. (рис.1).

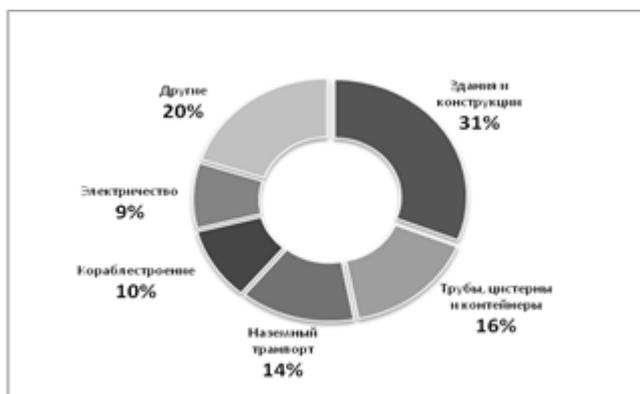


Рис. 1. Распределение композитных материалов на потребительском рынке

Объем мирового рынка композитов составляет в год не менее 700 млрд. евро. В то время как объемы производства композитов в России, по оценке Минпромторга, составляют всего 0,3-0,5% от мирового объема.

Поэтому одной из задач, стоящей сегодня перед предприятиями России, является разработка и освоение новых композиционных материалов и инновационных технологий их производства, обеспечив тем самым импортозамещение и развитие различных отраслей народного хозяйства.

Все более востребованным классом композиционных материалов становятся композиционные материалы на основе использования термопластичных матриц (термопласты). Обладая малой массой (по сравнению с металлами), высокой удельной прочностью, коррозионной стойкостью, демпфирующей способностью термопласты могут использоваться при изготовлении конструкций и изделий с мультифункциональным диапазоном применения.

Другими значимыми свойствами термопластов являются сокращение цикла формования изделий за счет исключения необходимости отверждения связующего, разнообразие методов производства изделий — штамповка, послойное комбинирование листовых заготовок, сварка, пултрузия и т.п. По уровню механических характеристик некоторые термопласты не уступают отвержденным термореактивным связующим, а по таким свойствам, как химическая стойкость и герметичность, как правило, превосходят их.

Важным преимуществом термопластов является возможность их вторичной переработки, в результате которой могут быть изменены форма и размеры полуфабриката, а также использованы бракованные и отслужившие свой срок детали. Такие качества делают их серьезными конкурентами композиционным материалам на основе термореактивных смол.

Варьируя в термопластах состав и свойства матрицы и наполнителя, их соотношения, ориентацию наполнителя можно получить современные материалы и готовые изделия с требуемыми эксплуатационными и технологическими свойствами.

Среди упрочненных непрерывными волокнами термопластов особое место занимают листовые термопластичные текстолиты, которые благодаря возможности изменения их формы при нагревании и последующего соединения полученных деталей (например, сваркой) могут быть преобразованы в изделия сложной конфигурации.

В рамках научно-технической программы Союзного государства «Разработка инновационных технологий и техники для производства конкурентоспособных композиционных материалов, матриц и армирующих элементов на 2012-2016 годы», по теме шифр «Компомат 13» проводятся исследования по разработке текстильных наполнителей для термопластичных текстолитов, технологии производства листовых текстолитов и профильных изделий из них.

В данной статье представлены результаты исследований по созданию термопластичных препрегов (наполнителей) по волоконной технологии и листовых термопластичных текстолитов методом пошагового прессования. Преимуществом волоконной технологии получения термопластичных препрегов является совмещение наполнителя с термопластичным связующим, вплетаемым в наполнитель на этапе получения текстильного наполнителя.

В качестве связующего использованы полимерные (полиамидные) волокна, которые после расплавления выполняли роль связующего на стадии подготовки композиции, и матрицы — на стадии эксплуатации, обеспечивая необходимое соотношение фаз и минимальный путь для расплава связующего в процессе формования. Кроме того, данная технология обеспечила высокую монолитность материала (объем пор не превышал 2,5- 3%), равномерность и регулярность распределения армирующей и плавкой фаз в заготовке, высокую стабильность состава полуфабрикатов при хранении, раскрое и сборке пакетов заготовок.

Пошаговый метод получения листовых термопластичных текстолитов в сравнении со статическим и непрерывным способами прессованием позволил реализовать следующие преимущества:

- выполнить прессование при постоянном давлении и высокой скорости нагрева пакета-заготовки;
- реализовать возможность использования двумерного температурного поля на поверхности пресс-формы, уменьшить пористость и ускорить процесс монолитизации материала.

При организации серийного производства термопластичных текстолитов пошаговый способ прессования позволит также использовать технологическое оборудование как для изготовления листовых текстолитов, так и профилированных изделий из них, что обусловит снижение себестоимости продукции. На рисунке 2 представлена схема технологического процесса изготовления термопластичных текстолитов методом пошагового прессования.

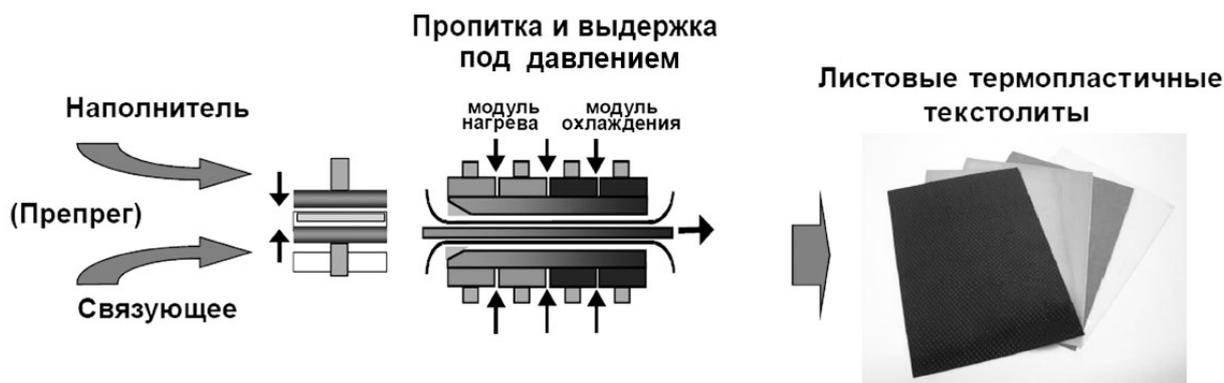


Рис. 2. Схема технологического процесса изготовления термопластичных текстолитов методом пошагового прессования

Для выработки экспериментальной партии термопластичных текстолитов были спроектированы структуры тканых наполнителей с использованием системы автоматизированного проектирования «Дессинатор 2.0».

Этапы проектирования тканых наполнителей (препрегов) с использованием САПР представлены на рисунке 3.

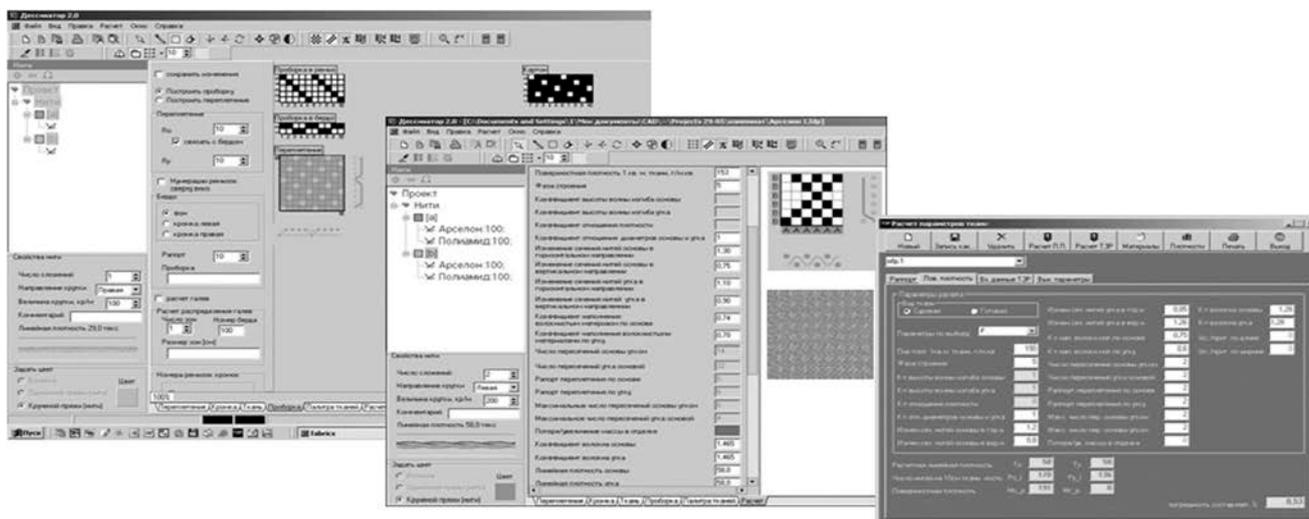


Рис.3. Этапы проектирования тканых наполнителей

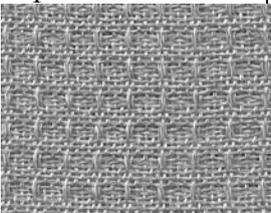
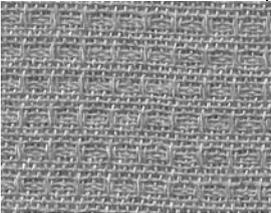
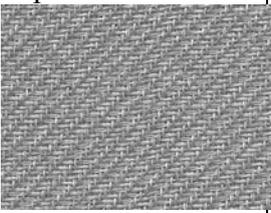
Тканые наполнители отличались наполнением волокнистым материалом, видом поверхности и переплетения: саржевое, комбинированное.

Составлены технические заправочные расчеты и выработаны экспериментальные партии тканых наполнителей для термопластичных текстолитов.

Наполнители изготовлены из комбинированных нитей, содержащих пряжу Арселон® и полиамидные комплексные нити, где полиамидные нити выполняли роль связующего при получении термопластичных текстолитов. Характеристика препрегов приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика термопластичных препрегов

Образец тканого наполнителя (препрега)	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Толщина монослоя, мм	Сырьевой состав наполнителя	Тип переплетения
обр. № А1 	160	0,380	Комбинированная нить – пряжа Арселон®, скрученная с комплексной полиамидной нитью	комбинированное
обр. № А2 	140	0,420	основа – комбинированная нить – пряжа Арселон®, скрученная с комплексной полиамидной нитью; уток – крученая пряжа Арселон®	комбинированное
обр. № А3 	150	0,365	Комбинированная нить – пряжа Арселон®, скрученная с комплексной полиамидной нитью	саржа

Исследованы структуры образцов тканых наполнителей с помощью цифрового USB микроскопа PCE-MM200 с программным обеспечением и с функцией измерения геометрических размеров. Изучение взаимного расположения нитей в ткани методом срезов позволило установить, что в большинстве случаев форма поперечного сечения нитей близка к эллипсу, соотношение длин осей которого определялось строением тканей и технологическими параметрами их производства.

Проведены исследования фильтрационных свойств и изучен процесс фильтрации термопластичных препрегов модельной жидкостью - скорость пропитки и фильтрационная способность образцов термопластичных препрегов в зависимости от структуры, величины уплотнения пакета заготовки под действием давления прессования. На рисунке 4 представлен график зависимости длины пути течения модельной жидкости от структуры тканого наполнителя. Согласно представленным данным в разработанных наполнителях длина пути течения модельной жидкости колебалась в интервале 7,9 -8,8 мм.

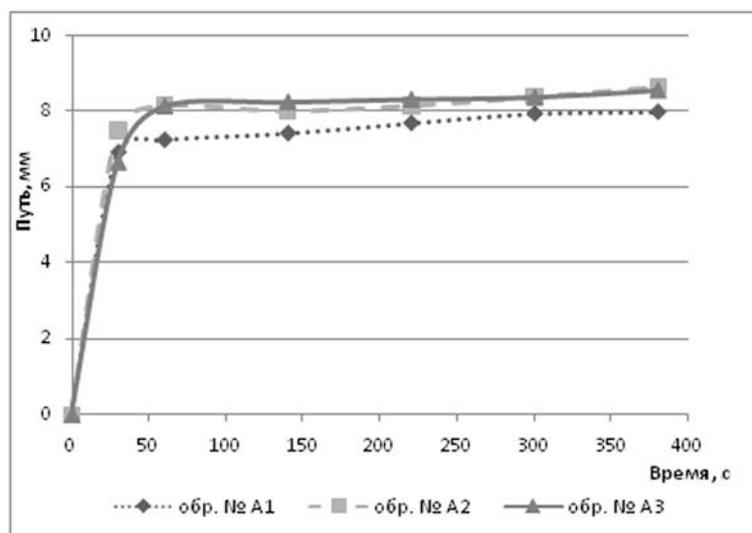


Рис.4. Зависимость длины пути течения модельной жидкости от типа переплетения

Формование термопластических текстолитов выполнено методом пошагового прессования с использованием двухмерного температурного поля на поверхности формующей плиты, обеспечивая распределение температурного поля от центра к краям формующей плиты. Это способствовало вытеснению воздушных включений из пакета-заготовки, ускорению процесса монолитизации материала и достижению минимальной пористости (рисунок 5).

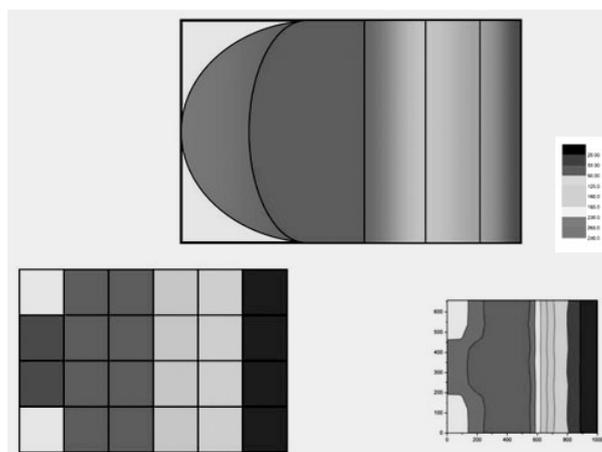


Рис. 5 Распределение температуры по поверхности формующей плиты

В таблице 2 приведены результаты физико-механических испытаний образцов текстолитов, изготовленных на основе термопластичных препрегов по волоконной технологии.

Таблица 2

Результаты физико-механических испытаний образцов термопластичных текстолитов

№ образца	Толщина образца, мм	Разрушающее напряжение при разрыве $\sigma_B$ , МПа	Плотность образца, г/см <sup>3</sup>	Усадка, %
обр. № А1	2,0	261	1,06	6,0
обр. № А2	2,2	253	1,07	7,6
обр. № А3	1,9	284	1,09	2,8

Анализ свойств термопластических текстолитов показал, что образец № А3 имеет лучшие показатели физико-механических свойств в сравнении с образцами № А1 и № А2 по следующим параметрам:

- повышенную устойчивость к действию разрушающих напряжений на 13,0%;
- большую плотность текстолита на 3%;
- пониженную в 2,5 раза усадку при формовании.

Данные преимущества образца №А3 можно объяснить структурой текстильного наполнителя при равных параметрах формования термопластических текстолитов.

По результатам проведенных научно-исследовательских работ был разработан эскизный проект экспериментальной установки с программным управлением для пошагового прессования листовых термопластичных текстолитов (рис.6-7), разработана технология производства тканых наполнителей и листовых термопластичных текстолитов, проекты нормативно-технической документации для промышленной апробации.

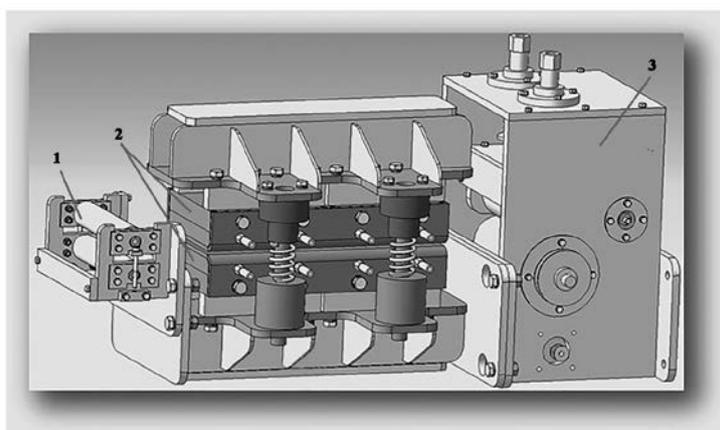


Рис. 6. Эскизный проект экспериментальной установки  
1 – приёмное устройство; 2 – формирующие плиты; 3 – тянущее устройство

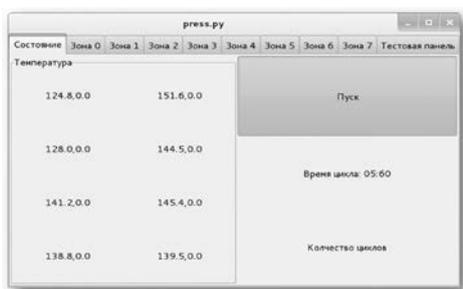


Рис. 7 Интерфейс программируемой системы управления

Подана заявка на патентование новизны технических решений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. // Спб.: Научные основы и технологии, 2010. – 822 с.
2. Армированные пластики: Справочное пособие / Буканов В.А., Головкин Г.С., Машинская Г.М. и др. / Под ред. Головкина Г.С., Семенова В.И. — М.: МАИ, 1997. — 404 с.
3. Волоконная технология переработки ТКМ / Г.С. Головкин, В.А. Гончаренко, В.П. Дмитренко и др.; Под ред. Г.С. Головкина.— М.: МАИ, 1993. — 232 с.
4. Катомин С. В, Жмаева Н.В. Термопласты, армированные органическими волокнами. — М.: НИИТЭХИМ, 1987.

**МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЛИЭФИРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДИОКСИДОМ ТИТАНА**

**MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF POLYESTER TEXTILE MATERIALS, MODIFIED OF TITANIUM DIOXIDE**

О.Ю. Кузнецов<sup>1</sup>, Т.Ю. Кумеева<sup>2</sup>, Н.П. Пророкова<sup>2</sup>  
O.Yu. Kuznetsov<sup>1</sup>, T.Yu. Kumeeva<sup>2</sup>, N.P. Prorokova<sup>2</sup>

Ивановская государственная медицинская академия  
Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)  
Ivanovo State Medical Academy of Ministry of Health of the Russian Federation  
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the RAS (Ivanovo)  
E-mail: olegkuz58@ya.ru, tyk@isc-ras.ru, npp@isc-ras.ru

**Проведен анализ опубликованных работ, посвященных исследованию микробиологических свойств наночастиц диоксида титана. Изучена микробиологическая активность полиэфирной ткани, модифицированной наночастицами диоксида титана. Показано, что указанная характеристика модифицированной полиэфирной ткани в значительной степени определяется количеством модификатора на её поверхности.**

**Ключевые слова:** микробиологическая активность, самоочищение, наночастицы диоксида титана.

**We conducted an analysis of published papers devoted to the investigation of microbiological properties of titanium dioxide nanoparticles. We studied the microbiological activity of polyester fabric, modified of titanium dioxide nanoparticles. We showed that this characteristic of the modified polyester fabric is largely determined by the amount of titanium dioxide on its surface.**

**Keywords:** microbiological activity, self-cleaning, titanium dioxide nanoparticles.

В настоящее время, для придания самоочищающих, антибактериальных и УФ-защитных свойств различным текстильным материалам используют наночастицы диоксида титана ( $TiO_2$ ) в кристаллической форме. Наночастицы диоксида титана имеют огромный потенциал и могут эффективно использоваться при модифицировании текстильных материалов.

Способ обработки текстильных материалов наночастицами  $TiO_2$  с технологической точки зрения представляется достаточно несложным, к тому же расход модификатора сравнительно невелик. Сам по себе  $TiO_2$  дешев, химически и физически стабилен. Фотокаталитические свойства, которыми обладают наночастицы  $TiO_2$ , делают возможной деструкцию адсорбированных на ткани загрязнений и придают  $TiO_2$  особую привлекательность как отделочному препарату, который может найти широкое применение в текстильной промышленности.

Способность наночастиц  $TiO_2$  генерировать на свету электроны, дырки, образовывать радикалы и частицы с высокой реакционной способностью приводит к пагубным последствиям для различных микроорганизмов (бактерий, микрогрибов, вирусов, водорослей и т.д.) [1,2,3]. Следовательно, это свойство  $TiO_2$  может быть использовано для придания антибактериальных свойств текстильным материалам. Точный механизм бактерицидной активности наночастиц  $TiO_2$  на данный момент не установлен, но некоторые общие представления о нем уже сложились [4].

Ранние работы Матсунага и др. показали, что коэнзим А (внутриклеточный фермент) опосредует перенос электронов между бактериальными клетками и полупроводниками [5]. Предполагалось, что фотогенерированная дырка получает электрон от коэнзима как электрон-донор, индуцируя образование димерных коэнзимов А. Окисление коэнзима А приводит к уменьшению дыхательной функции и, следовательно, вызывает гибель клеток.

Сайто и др. исследовали бактерицидное действие фотокаталитического порошкообразного  $\text{TiO}_2$  на бактерии *Streptococcus sobrinus* АНТ [6]. Было выдвинуто предположение, что быстрая утечка ионов калия работает одновременно с уменьшением жизнеспособности бактерий. Кроме того, бактериальные клетки медленно высвобождают белки и РНК. ПЭМ анализ бактерий показал, что полное разрушение клеток бактерий происходило через 1-2 ч фотокаталитического действия  $\text{TiO}_2$ , что указывает на гибель клеток и, как следствие, вызывает нарушения в клеточной мембране и дальнейшее разложение клеточной стенки.

Сунада с сотр. обнаружили, что  $\text{TiO}_2$  под действием УФ-облучения не только приводит к гибели бактериальных клеток, но и вызывает деградацию эндотоксина - липополисахарида, составляющего клеточную стенку грамотрицательной бактерии кишечной палочки [7]. В данной работе показано, что разрушение липидного слоя эндотоксина приводит к его инактивации в присутствии  $\text{TiO}_2$  при освещении ультрафиолетовым светом. Такое разложение означает, что  $\text{TiO}_2$  в качестве фотокатализатора разрушает внешнюю мембрану клетки кишечной палочки. В следующих работах этих авторов [8] данные выводы были подтверждены. Был предложен механизм разрушения бактерии кишечной палочки с помощью пленки диоксида титана. Чтобы лучше понять суть предложенного механизма следует подчеркнуть, что клеточная оболочка кишечной палочки состоит из наружной мембраны, монослоя пептидогликана и цитоплазматической мембраны. Наружная мембрана вместе с пептидогликановым слоем гарантирует механическую защиту, которая необходима, чтобы сохранить нетронутой морфологию клеток [9]. Первоначально фотогенерированные реакционноспособные радикалы медленно реагируют с внешней мембраной, вызывая ее частичное разложение (рис. 1). В течение этого начального периода фотокаталитического действия  $\text{TiO}_2$ , имеет место выпуск липополисахарида в качестве одного из основных компонентов наружной мембраны. Для изменений в слое пептидогликана необходимы более длительные периоды времени. Эти изменения в наружной мембране приводит к увеличению ее проницаемости, позволяя реакционноспособным частицам достичь цитоплазматической мембраны. За атакой реакционноспособными частицами цитоплазматической мембраны следует перекисное окисление липидов мембран, что приводит к потере жизнеспособности и, в конечном итоге, к гибели клеток.

Перекисное окисление мембранных липидов с помощью наночастиц  $\text{TiO}_2$  при УФ-освещении было изучено Манессом с сотруд. [10]. В качестве критерия измерения перекисного окисления липидов использовали формирование малонового диальдегида (МДА). Перекисное окисление липидов в полиненасыщенных фосфолипидах в *E.coli* явилось результатом окислительного действия наночастиц  $\text{TiO}_2$ . Было высказано предположение о том, что активные формы кислорода ( $\text{OH}^\bullet$ ,  $\text{O}_2^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) фотогенерированные на поверхности наночастиц  $\text{TiO}_2$ , атакуя полиненасыщенные фосфолипиды, вызывают распад клеточной мембраны и разрушение жизненно важных функций, таких как дыхательная деятельность.

Киви и Надточенко использовали ИК Фурье спектроскопию для исследования перекисного окисления клеток кишечной палочки, липополисахаридов и пептидогликана с применением пористой пленки, содержащей наночастицы диоксида титана [9]. В этом случае наблюдался распад полисахаридной полосы, ацильных полос, уширение  $\text{C-H}_2$  полосы,  $\text{C-H}_3$  полосы, и амидные полосы, а также быстрое исчезновение олигосахаридных полос кишечной палочки и бислоя липополисахарида с образованием продуктов перекисного окисления (альдегидов, кетонов и карбоновых кислот) [9, 11]. Интересно отметить, что скорости перекисного окисления липополисахаридов кишечной палочки и образца липополисахарида, осажденного на пористой мембране  $\text{TiO}_2$ , отличались друг от друга. Хотя в обоих случаях во время фотокатализа произошло нарушение липидного слоя липополисахаридов, перекисное окисление было гораздо более заметным при осаждении липополисахарида на пористой мембране  $\text{TiO}_2$ . Это означает, что порядок структуры двухслойного липополисахарида в *E.coli* оказывает более сильное влияние на скорость фотокаталитического процесса перекисного окисления. Это исследование также доказало, что пептидогликановый слой

является наиболее устойчивым к фотокаталитическому перекисному окислению. Авторы также попытались ответить на вопрос, вступают ли фотогенерированные носители заряда в реакцию с *E.coli* и липополисахаридами непосредственно или они производят реакционноспособные частицы вида ( $\text{OH}^\bullet$ ,  $\text{HO}_2^\bullet$ ,  $\text{O}_2^\bullet$  радикалы), которые в дальнейшем вступают в реакцию с бактериальными клетками. Эксперименты с лазерным фотолизом показали, что положительные дырки в ловушке на поверхности  $\text{TiO}_2$  очищаются *E.coli* и липополисахаридами. А именно, предполагается, что *E.coli* и липополисахариды конкурируют в очищении дырок с процессом рекомбинацией дырок с фотогенерированными электронами, в пределах времени в интервале более 50 нс очищение дырок органическим веществом протекает с образованием органических радикалов ( $\text{R}^\bullet$ ) и этот процесс рассматривается как начальная стадия в процессах радикального окисления цепи в клеточной мембране.

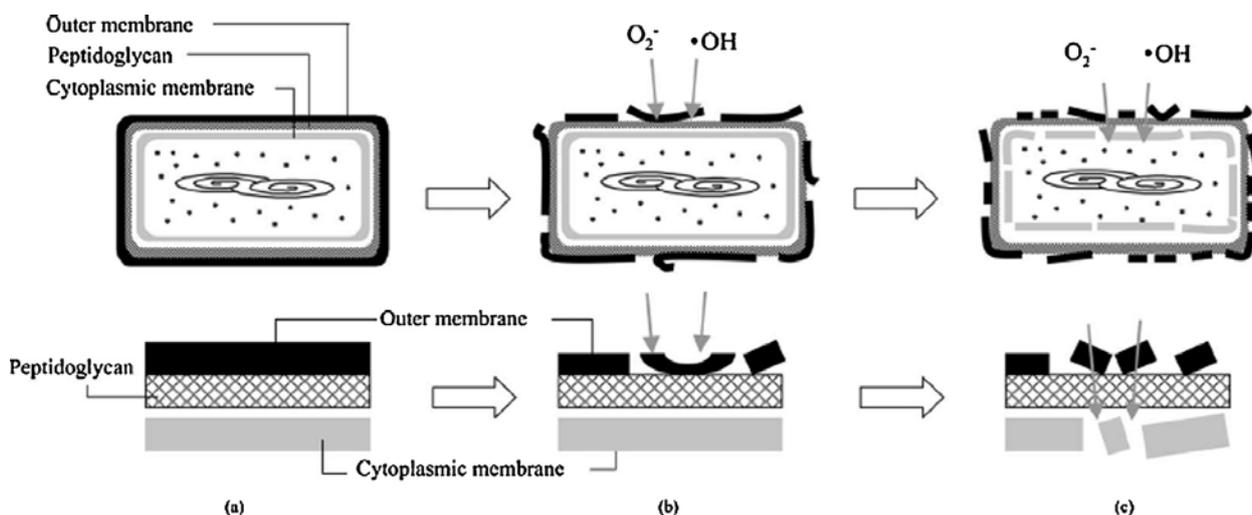


Рис. 1 (a-с). Схематическое изображение процесса фотоуничтожения кишечной палочки на пленке  $\text{TiO}_2$ . В нижнем ряду представлена часть клеточной оболочки (при увеличении) [8]

Лу с соавт. методом АСМ оценили морфологические изменения клеток кишечной палочки, вызванное фотокаталитическим действием тонкой пленки  $\text{TiO}_2$  при освещении [12]. АСМ-анализ показал, что пролонгирование времени освещения приводит к значительному изменению структуры поверхности и формы бактерии, которая после освещения в течение 60 мин. полностью превращалась из палочковидной к эллипсоидную. Наблюдаемые изменения, несомненно, отражают стадии разложения клеточной стенки и разрушения клеточных мембран. Как и ожидалось, увеличение проницаемости клеток бактерий вместе с утечкой внутриклеточных молекул приводит к гибели клеток. Овальная форма *E.coli* после воздействия  $\text{TiO}_2$  и УФ-излучения также наблюдалась с помощью сканирующей электронной микроскопии [13].

Недавние исследования показали, что наночастицы  $\text{TiO}_2$  индуцируют значительный окислительный заряд, который вызывает повреждение ДНК и смерть клеток *E.coli* [14]. Эта группа авторов предположила, что генерируются реакционноспособные частицы  $\text{OH}^\bullet$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $\text{O}_2^\bullet$ , которые ответственны за окисление полиненасыщенных фосфолипидов. Далее перекисное окисление липидов индуцирует повреждение ДНК и разрушение морфологии клеток мембран, а также цепной перенос электронов.

В нашей работе проведено исследование микробиологической активности ткани полиэфирной костюмной (поверхностная плотность  $180 \text{ г/м}^2$ ) модифицированной суспензией диоксида титана в форме анатаза. Ткань предварительно была активирована в растворе 0,1 М гидроксида натрия. Известно, что такая модификация поверхности полиэфирного материала приводит к увеличению содержания активных групп, прежде всего, концевых карбоксильных, обеспечивающих смачивание и адгезию к наносимым на волокнистый

материал препаратам [15-18]. После этого на ткань был нанесен диоксид титана методом окунания. Рассматривались суспензии  $\text{TiO}_2$  с такими концентрациями, при которых не происходит ухудшения потребительских свойств текстильного материала, таких как драпируемость, сминаемость. Полученные образцы не проявляют микробиологической активности. Микробиологическая активность материала определялась с помощью подсчёта количества образовавшихся колоний нефелометрическим методом (по изменению мутности раствора). Наличие слоя покрытия подтверждается данными атомно-силовой и электронной микроскопии.

Антимикробную активность материала определяли нефелометрическим методом (по изменению мутности раствора) относительно контроля. Для этого в каждую пробирку с 9 мл мясопептонного бульона вносили образец материала и 1 мл микробной тест-культуры разведения  $10^5$  и помещали в термостат на 24 часа. Тест-культуры для выполнения экспериментов были следующими: *Escherichia coli* M-17, штамм золотистого стафилококка *Staphylococcus aureus* 6538-P ATCC=209-P FDA и штамм дрожжеподобных микроскопических грибов *Candida albicans* CCM 8261 (ATCC 90028).

При значительном увеличении содержания препарата на поверхности текстильного материала (до  $40 \text{ г/м}^2$ ) при наличии УФ облучения получены результаты, свидетельствующие о хорошем и отличном ингибировании жизнедеятельности *E.coli* и *Staphylococcus aureus* (4-5 балла).

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-48-03064 p\_центр\_a)*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li Q., Mahendra S., Lyon D.Y., Brunet I., Liga M.V., Li D., Alvarez P.J. Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: potential applications and implications // *J. Mater Res.* 2008. V. 42. - P. 4591- 4602.
2. Мазуркова Н. А., Спицина Ю. Е., Шикина Н. В. и др. Взаимодействие наночастиц диоксида титана с вирусом гриппа // *Российские нанотехнологии.* 2010. Т. 5, № 5. С. 125-127.
3. Надточенко В. А., Радциг М. А., Хмель И. А. Антимикробное действие наночастиц металлов и полупроводников // *Российские нанотехнологии.* 2010. Т. 5, № 5-6. - С. 37-46.
4. Radeti M. Functionalization of textile materials with  $\text{TiO}_2$  nanoparticles // *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews.* 2013, V. 16. – P. 62-76.
5. Matsunaga T., Tomoda R., Nakajima T., Nakamura N., Komine T. // *Appl. Environ. Microbiol.* 1988, V. 54. – P. 1330-1335.
6. Saito T., Iwase Z., Morioka T. Bactericidal mode of titanium dioxide photocatalysis // *J. Photochem. Photobiol. B.* 1992, V. 14. – 369 p.
7. Sunada K., Kikuchi Y., Hashimoto K., Fujishima A. // *Environ. Sci. Technol.* 1998, V. 32. - P. 726-728.
8. Sunada K., Watanabe T., Hashimoto K. Bactericidal Activity of Photocatalytic  $\text{TiO}_2$  Reaction: toward an Understanding of Its Killing Mechanism // *J. Photochem. Photobiol. A.* 2003, V. 156. P. 226 -228.
9. Kiwi J., Nadtochenko V. Evidence for the Mechanism of Photocatalytic Degradation of the Bacterial Wall Membrane at the  $\text{TiO}_2$  Interface by ATR-FTIR and Laser Kinetic Spectroscopy// *Langmuir.* 2005, V. 21. P. 4631-4641.
10. Maness P.C., Smolinski S., Blake D.M., Huang Z., Wolfrum E.J., Jacoby W.A. Bactericidal Activity of Photocatalytic  $\text{TiO}_2$  Reaction: toward an Understanding of Its Killing Mechanism // *Appl. Environ. Microbiol.* 1999, V. 65. - P. 4094-4098.
11. Nadtochenko V.A., Sarkisov O.M., Nikandrov V.V., Chubukov P.A., Denisov N.N. // *Russ. J. Phys. Chem. B.* 2008, V. 2. – P. 2105-2021.

12. Lu Z.H., Zhou L., Zhang Z.L., Shi W.L., Xie Z.X., Xie H.Y., Pang D.W., Shen P. Cell damage induced by photocatalysis of TiO<sub>2</sub> thin films // *Langmuir*. 2003, V. 19, № 21. - P. 8765-8768.
13. Liu P., Duan W., Wang Q., Li X. // *Colloids Surf. B*. 2010, V. 78. - P. 171-177.
14. Kumar A., Pandey A.K., Singh S.S., Shanker R., Dhawan A. // *Free Radic. Biol. Med.* 2011, V. 51. – P. 1872-1878.
15. Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю. Модифицирующее действие нитрата аммония и гидроксида натрия на полиэтилентерефталатные материалы // *Химич. волокна*. 2004. № 6. – С. 19 – 21.
16. Пророкова Н.П., Хорев А.В., Вавилова С.Ю. Химический способ поверхностной активации волокнистых материалов на основе полиэтилентерефталата. Часть 1. Исследование действия растворов гидроксида натрия и препаратов на основе четвертичных аммониевых солей // *Хим. волокна*, 2009. №3. – С. 11-16.
17. Prorokova N.P., Chorev A.V., Kuzmin S.M., Vavilova S.Yu., Prorokov V.N. Surface Activation of Fibrous PET Materials // *Advances in sustainable petroleum engineering science*. 2013. V. 5. Is. 2. - P. 105-121.
18. Prorokova N.P., Chorev A.V., Kuzmin S.M., Vavilova S.Yu., Prorokov V.N. Chemical Method of Fibrous Materials Surface Activation on the Basis of Polyethylene Terephthalate (PET) // *Chemistry & Chemical Technology*. 2014. Vol. 8. No. 3. - P. 293 – 302.

УДК 677.047.625

## **КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ГОРЮЧЕСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **COMPOSITIONS BASED ON INTERPOLYMER COMPLEXES FOR REDUCING THE FLAMMABILITY OF TEXTILE MATERIALS**

Г.М. Коваленко, Е.С. Бокова, К.С. Бокова, В.В. Миронцева  
G.M. Kovalenko, E.S. Bokova, K.S. Bokova, V.V. Mirontseva

Московский государственный университет дизайна и технологии  
Moscow State University of Design and Technology  
E-mail: gregoryi84@mail.ru, esbokova@yandex.ru, ommgudt@yandex.ru,  
vasilisa.mirontseva@mail.ru

**В работе получены модифицирующие составы на основе интерполимерных комплексов (ИПК) полиакриловой кислоты с неионогенными полимерами (поливиниловым спиртом, полиэтиленоксидом, полиакриламидом). Изучены условия формирования полимер-полимерных комплексов в водной среде. Предложена методика импрегнирования хлопчатобумажных тканей с различной поверхностной плотностью композициями на основе интерполимерных комплексов стехиометрического и нестехиометрического состава. Установлена возможность регулирования привеса ИПК в структуре ткани. Доказано влияние ИПК на увеличение кислородного индекса тканей, снижение их воспламеняемости и практически полное сокращение времени самостоятельного горения.**

**Ключевые слова:** интерполимерные комплексы, горючесть, воспламенение, текстильные материалы, модификация.

**The modifying compounds were obtained from interpolymer complexes (IPC) of polyacrylic acid and nonionic polymers (polyvinyl alcohol, polyethylene oxide, polyacrylamide). The conditions of formation of the polymer-polymer complexes in aqueous media were studied. The method of impregnation of cotton fabrics with different surface density of the compositions based on interpolymer complexes of stoichiometric and non-stoichiometric composition was developed. The possibility of adjusting gain of IPC in the tissue structure. The impact of IPC to increase the oxygen index of tissues, reducing their flammability and the almost complete reduction of the self-combustion time was proved.**

**Key words:** interpolymer complexes, flammability, ignition, textiles, modification

Широкое применение полимерных материалов в технике и быту предъявляет к ним дифференцированные требования, одним из которых является снижение пожароопасности. Это связано с современной техногенной ситуацией, для которой характерно нарастание числа катастроф и аварий, сопровождающихся возникновением пожаров, а также огромными экологическими рисками, вызванными возгоранием изделий из полимеров.

Общепринятым научным подходом, направленным на снижение пожароопасности полимерных материалов, является введение в их состав модифицирующих добавок целенаправленного действия – антипиренов, дымоподавителей, адсорберов токсичных веществ и др. Как правило, эти добавки эффективны при достаточно высокой концентрации, что затрудняет переработку полимерных композиций и, в большинстве случаев, приводит к ухудшению других эксплуатационных показателей готовой продукции. [1, с.123-142].

Поэтому применение новых классов добавок, удовлетворяющих этим характеристикам, становится актуальной проблемой. К таким модификаторам относятся интерполимерные комплексы (ИПК), стабилизированные водородными связями. Эти соединения образованы высокогидрофильными полимерами и имеют в своей структуре комплементарно сочленённые и разобщённые звенья. Благодаря такой структуре ИПК способны поглощать большое количество воды, что предопределило интерес к их использованию в качестве модифицирующих добавок для снижения пожароопасности текстильных материалов.

Целью работы являлось разработка условий получения интерполимерных комплексов и их применения в качестве модифицирующих добавок для снижения пожароопасности текстильных материалов.

В качестве объектов исследования использовали: полиакриловую кислоту (ПАК) с молекулярной массой  $2 \cdot 10^5$  (ФГУП «НИИ химии и технологии полимеров им. ак. В. А. Каргина с опытным заводом», г. Дзержинск, Россия) в виде водного раствора с концентрацией от 30%; неионогенные полимеры – поливиниловый спирт (ПВС) марки VF-17, с молекулярной массой  $8,7 \cdot 10^4$  и степенью гидролиза 75 – 85%, фирмы «Chang Chun Petrochemical CO., LTD»; полиэтиленоксид (ПЭО) с молекулярной массой  $1 \cdot 10^6$  (Sigma Aldrich, США); полиакриламид (ПАА) марки FA 920 (фирмы SNF Floeiger, Франция), молекулярной массой  $7 \cdot 10^6$ .

В качестве объектов для модификации в работе были использованы текстильные тканые полотна: парусина (брезент) (ГОСТ 15330-93) – ткань (артикул 11291), поверхностная плотность  $315 \text{ г/м}^2$ ; парусина (брезент) (ГОСТ 15330-93) – ткань (артикул 11234 ОП), производимая переплетением из толстых нитей льняного, хлопкового волокна, поверхностная плотность  $440 \text{ г/м}^2$ , с огнезащитной пропиткой.

Известно, что в кислых средах растворы полиэлектролитов (поликарбоновых кислот) способны образовывать устойчивые соединения с неионогенными полимерами, за счёт межмолекулярных водородных связей [2, с.19-23].

Методами турбидиметрии и вискозиметрии было доказано, что в результате простого смешения растворов неионогенных полимеров и полиакриловой кислоты при переходе к кислым средам образуются устойчивые интерполимерные комплексы, стабилизированные водородными связями. В случае ПАК-ПВС образуется стехиометрический поликомплекс, состава 1:1, а в случае ПАК-ПЭО и ПАК-ПАА – нестехиометрические ИПК, состава 1:0,6 и 1:0,2 соответственно.

Ранее в работах [3, с. 152-154; 4, с.17-19.] был доказан факт наличия высокой температуры плавления и воспламенения интерполимерных комплексов. Исходя из этого, была проведена модификация текстильных полотен композициями на основе ИПК ПАК-ПВС, ПАК-ПЭО и ПАК-ПАА.

Модификацию проводили путём пропитки тканей смесью растворов полиакриловой кислоты и неионогенных полимеров. Затем пропитанную ткань помещали в ванну с 2 N

соляной кислотой. Интерполимерный комплекс формировался непосредственно в структуре ткани.

Данные по привесу ИПК в структуре тканей свидетельствуют о том, что, не смотря на высокую плотность парусин, количество полимерного связующего в них достаточно велико, вследствие образования фазы ИПК непосредственно на волокнах ткани ещё до агломерации частиц поликомплексов. Так для парусины артикула 11291, привес ИПК ПАК–ПВС составил - 4,6 г/г, ПАК–ПЭО и ПАК–ПАА – 1,5 г/г. Для брезента артикула 11234 при пропитке любым поликомплексом привес в среднем составлял 1 г/г. Количество модифицирующей добавки в ткани можно регулировать, изменяя условия комплексообразования.

В работе был определён кислородный индекс тканей, модифицированных ИПК.

Из диаграммы (рис.1) видно, что исходные ткань парусина артикула 11291 и 11234 относятся к классу легкогорючих материалов (кислородный индекс менее 27 %). Ткань артикула 11234, модифицированную ИПК ПАК-ПАА, можно отнести к трудногорючим материалам с кислородным индексом выше 27 %.

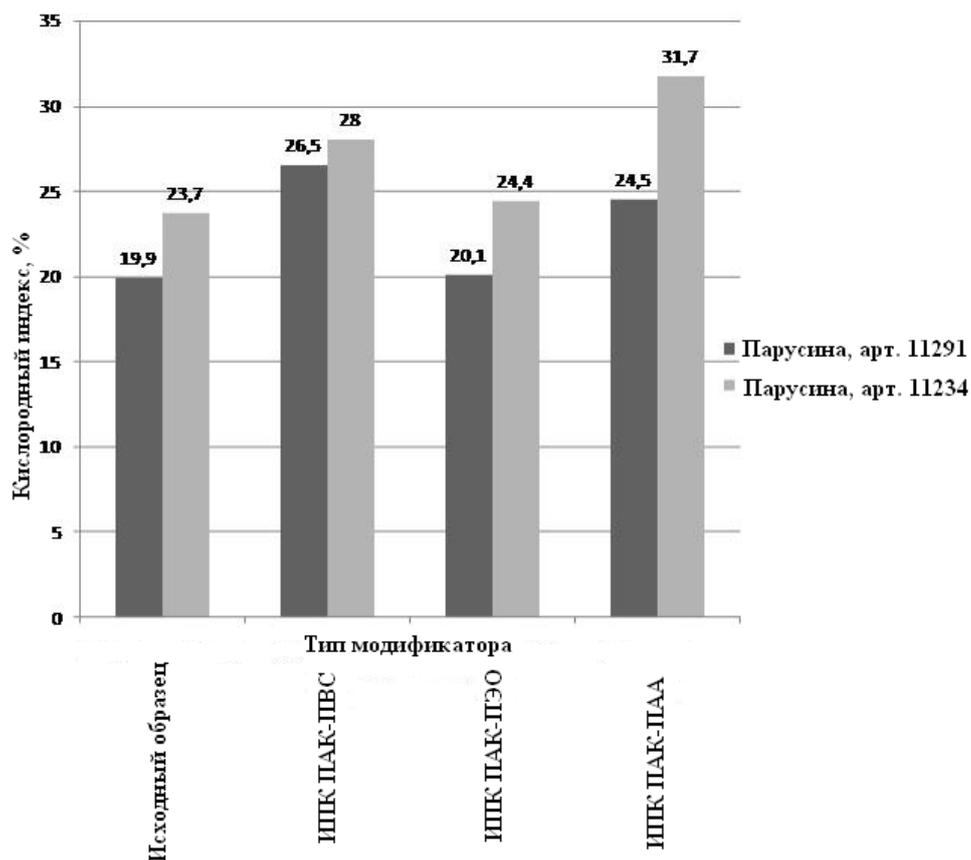


Рис. 1. Кислородный индекс текстильных полотен

Также в работе были исследованы показатели воспламеняемости тканей по ГОСТ Р 50810-95

Из таблицы 1 видно, что в целом обработка парусин композициями на основе поликомплексов приводит к значительному уменьшению (со 143 до 10 секунд) времени самостоятельного горения тканей, а в случае с ИПК ПАК-ПВС и ПАК-ПАА к полному прекращению горения образцов.

## Определение воспламеняемости тканей

Регистрируемые параметры (испытание вдоль основы)	Материал							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Парусина артикул 1129 1	Парусина арт.1129 1 с пропиткой ИПК ПАК-ПВС	Парусина арт.1129 1 с пропиткой ИПК ПАК-ПЭО	Парусина арт. 11291 с пропиткой ИПК ПАК-ПАА	Парусина артикул 11234 ОП	Парусина арт. 11234 с пропиткой ИПК ПАК-ПАА	Парусина арт. 11234 с пропиткой ИПК ПАК-ПЭО	Парусина арт. 11234 с пропиткой ИПК ПАК-ПВС
Время зажигания с поверхности, с	15	15	-	15	15	15	-	15
Время зажигания с кромки, с	15	15	15	15	15	15	15	15
Время самостоятельного горения, с	143	-	150	-	-	10	83	5
Прогорание до кромки	+	-	+	-	-	-	-	-
Длина обугленного участка, мм	*	77	*	73	59	80	135	37
Поверхностная вспышка		-	-	-	-	-	-	-

\* - прогорание образца до кромки

Поэтому, можно сделать вывод, что модификация парусины композициями на основе интерполимерных комплексов приводит к снижению воспламеняемости и горючести текстильных материалов. Наличие двух огнезащитных модификаторов, как в случае парусины артикула 11234, приводит к синергизму действия таких добавок и получению материала с высокой пожаробезопасностью и малой токсичностью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халтуринский Н.А., Берлин А.А. Современные представления о горении полимеров и механизм действия ингибиторов [Текст] - Тезисы докладов IV Международной конференции «Полимерные материалы пониженной горючести», Волгоград, 2000
2. Kovalenko, G.M., Bokova, E.S., Blinkova, A.N. Influence of the complexing medium on the structure and properties of interpolymer complexes of polyacrylic acid International Polymer Science and Technology, 2012, 39 (7).
3. А.А. Литманович. Особенности термических реакций в поликомплексах и композициях на их основе. Интерполимерные комплексы: Тезисы докладов 2-й Всесоюзной конференции. – Рига, 1989.
4. Г.М. Коваленко, Е.С. Бокова, К.С. Бокова. Изучение теплофизических свойств интерполимерных комплексов на основе полиакриловой кислоты. Теоретические и практические вопросы науки XXI в. сборник статей, Т.22 Международной научно-практической конференции, 28 февраля 2014 г., в 2 ч. Ч.1 – Уфа: РИЦ БашГУ, 2014.

## БИКОМПОНЕНТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ МЕДИ И СЕРЕБРА ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРОВ

### BICOMPONENT NANOPARTICLES OF COPPER AND SILVER FOR MODIFICATION OF POLYMERS

Е.В. Ерохина, Н.С. Дымникова

E.V. Yerohina, N.S. Dymnikova

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)

G.A. Krestov Institute of solution chemistry of the Russian Academy of Sciences (Ivanovo)

E-mail: erochina2007@yandex.ru

Применением методов спектрофотометрии и динамического рассеяния света изучены особенности синтеза стабильных бикомпонентных медь и серебросодержащих золей в присутствии нитрилотриметиленфосфоновой кислоты и природных высокомолекулярных соединений. Исследовано влияние температуры, соотношения катионов серебра и меди, концентрации гидроксида натрия и стабилизатора, скорости введения восстановителя на выход наночастиц и стабильность золей.

**Ключевые слова:** синтез наночастиц, бикомпонентные металлические золи, комплексон, текстильные материалы

By methods of spectrophotometry and dynamic dispersion of light the peculiarities of synthesis of stable bicomponent copper- and argentiferous sols in the presence of nitrotrimethylene- phosphonic acid and natural high-molecular compounds have been studied. The influence of temperature, ratio of cations of silver and copper, concentration of sodium hydroxide and stabilizer, speed of injection of reducing agent on the yield of nanoparticles and stability of sols has been researched.

**Keywords:** synthesis of nanoparticles, bicomponent metal sols, chelate, textile materials

Интерес к получению биологически активных наночастиц (НЧ) меди и серебра связан с выраженным антибактериальным действием их соединений, что является актуальным в условиях активизации борьбы с возрастающим количеством микроорганизмов, резистентных к антибиотикам и антисептикам.

Широкие возможности регулирования свойств металлических золей и модифицируемых ими материалов открывает новое перспективное направление синтеза смешанных НЧ [1-3]. Полагают, что совмещение в гетерометаллической частице двух биоактивных металлов может привести к возникновению синергического эффекта.

Несмотря на интерес исследователей к формированию медных и серебряных золей, синтез смешанных наночастиц меди и серебра недостаточно изучен. Зависимость структуры НЧ от многих факторов, включающих тип восстановителя, соотношение потенциалов и концентраций присутствующих металлов, природу стабилизаторов, условия проведения процессов и т.д., указывают на актуальность исследования процессов химического восстановления катионов. Сложность контролирования синтеза в присутствии двух катионов обусловлена протеканием окислительно-восстановительных процессов между металлами. Существенное различие окислительных потенциалов ( $E^0$ ) пар  $Ag^+/Ag^0$  (+0,7994 В) и  $Cu^{2+}/Cu^0$  (+0,3450 В) указывает на меньшую активность катионов меди в реакциях с восстановителями и способность металлической меди и катионов  $Cu^+$  восстанавливать катионы серебра [4].

Ранее нами была выявлена целесообразность формирования устойчивых к окислению и агрегированию смешанных медь-серебряных золей в присутствии комплексообразующих соединений - аминных производных фосфоновой кислоты. Применение производных фосфоновой кислоты при формировании золей обусловлена их относительной безопасностью для человека, о которой свидетельствует применение ряда комплексонов (НТФ, ДТФ, ОЭДФ) в пищевой промышленности и медицине [5, 6].

Цель данной работы заключается в выявлении оптимальных условий синтеза гетерометаллических зольей меди и серебра в присутствии нитрилотриметиленфосфонофой кислоты и комплексного стабилизатора.

Экспериментальная часть. Для формирования малых частиц с узким распределением по размерам использовали восстановитель тетрагидроборат натрия ( $\text{NaBH}_4$ ) с высоким отрицательным редокс-потенциалом (Е). Наночастицы металлов синтезировали в открытой термостатируемой ячейке при температуре  $20-80^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . При заданной температуре растворы выдерживали в течение 30 мин., после чего быстро охлаждали.

В водный раствор (85 мл), содержащий стабилизатор, сульфат меди (II), нитрат серебра(I) и гидроксид натрия вводили при постоянном перемешивании 15 мл раствора тетрагидробората натрия со скоростью 0,08-15 мл/мин. Щёлочность растворов контролировали титриметрически. Синтезированные золи хранили в закрытых колбах.

В качестве стабилизаторов использовали НТФ и/или желатин марки П-11 фирмы «Химмед» (0,1–1,5%). Выбор желатина и комплексона в качестве стабилизаторов обусловлен доступностью, высокой эффективностью стабилизации и экологической безопасностью. Пятиводный сульфат меди (II), нитрат серебра (I), гидроксид натрия и серная кислота имели квалификацию «хч». Тетрагидроборат натрия марки Б (фирмы Вектон) дополнительной очистке не подвергали.

Процесс формирования высокодисперсных частиц контролировали визуально по изменению окраски растворов, их агрегативной устойчивости, а также спектрофотометрически. Оптические спектры поглощения растворов с синтезированными наночастицами регистрировали в области 300-800 нм на спектрофотометре Agilent 8453 в кварцевых кюветах при длине оптического слоя 2 мм. Размер НЧ в коллоидных растворах определялся методом динамического рассеяния света на анализаторе размера субмикронных частиц Zetasizer Nano ZS (Malvern).

Оптические спектры гидрозолей, содержащих металлические наночастицы, характеризуются наличием максимумов поверхностного плазмонного резонанса (ППР), появляющихся при совпадении частоты падающей электромагнитной волны и собственных колебаний электронов в наночастице. О наличии в растворе наночастиц меди и серебра судили на основании изменения формы спектральных кривых, имеющих характеристические плазмонные полосы поглощения в области 560-590 нм (для меди) и 380-410 нм (для серебра).

Обсуждение результатов. Наиболее удобным методом получения биметаллических НЧ является химическая реакция восстановления, осуществляемая в водных растворах, не являющихся, в отличие от большинства органических растворителей, токсичными и опасными. Для формирования биметаллических зольей из растворов их солей использовали сильный восстановитель - тетрагидроборат натрия ( $\text{NaBH}_4$ ) с высоким отрицательным редокс-потенциалом. Он способен восстанавливать медь и серебро до элементного состояния, инициировать образование большого числа зародышей новой фазы на начальной стадии процесса и ингибировать реакции автокаталитического восстановления катионов на поверхности частиц [7]. В зависимости от условий проведения процесса могут формироваться различные по размерам частицы ядро-оболочка (core-shell) в которых в качестве ядра могут выступать как медь, так и серебро, а в слоях оболочки могут присутствовать как металлы, так и их оксиды [1, 2].

На основании анализа спектральных кривых поглощения зольей были выявлены оптимальная температура, рН растворов, скорость введения компонентов, при которых обеспечивается максимальный выход биметаллических НЧ. В этих случаях спектры зольей характеризуются наиболее высокой интенсивностью максимума в области плазмонного резонанса НЧ серебра и/или меди. Показано, что устойчивые во времени наночастицы с высоким выходом образуются с использованием комплексного стабилизатора. Анализ спектров поглощения позволяет предположить, что биметаллический золь при варьировании мольного соотношении  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ag}^+$  равного 1:0,05±0,5 образуют отдельные наночастицы

серебра и меди, хотя нельзя исключить и образование частиц «медь-серебро» по типу «ядро-оболочка».

В рамках данного исследования определены размеры образующихся биметаллических НЧ методом динамического рассеяния света. На рисунке показано, что при оптимальных условиях синтеза формируются стабильные НЧ радиусом 18-20 нм.

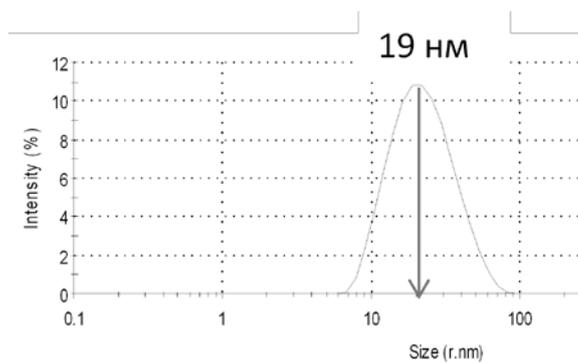


Рис. 1

Биметаллические НЧ серебра и меди могут найти применение при получении модифицированных волокон для последующего изготовления антибактериальных материалов медицинского и бытового назначения: медицинского и бытового текстиля, антибактериальных стелек для обуви, чулочно-носочных изделий.

Спектральные измерения выполнены на оборудовании центра коллективного пользования "Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований".

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов Б.Г., Абхалимов Е.В. //Коллоидный журнал. 2009. т. 71. № 4. С. 486-491.
2. Michel Pellarin, Inas Issa, Cyril Langlois u.and. // J. Физика Chem. С. 2015. 119. P. 5002–5012.
3. Шевченко Г. П., Свиридов В. В. //Вестник БГУ. 2003. Сер. 2. С. 56-73.
4. Ерохина Е.В., Галашина В.Н., Богачкова Т.Н., Дымникова Н.С., Морыганов А.П. // ЖПХ. 2015. Т. 88. Вып. 5. С. 69-76.
5. Крутяков Ю. А., Кудринский А.А., Оленин А.Ю., Лисичкин Г.В. // Успехи химии. 2008. Т. 77. С. 242 — 269.
6. Копейкин В.В., Панарин Е.Ф. // ДАН. 2001. Т. 380. № 4. С. 497-500.
7. Васильев В.П. //Соросовский образовательный журнал. 1996. № 4.С. 39-44.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННЫХ  
ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ  
НАНОЧАСТИЦАМИ**

**VISCOELASTIC PROPERTIES OF HIGH ORIENTED POLYPROPYLENE  
COMPOSITES FILLED WITH CARBON NANOPARTICLES**

О.А. Москалюк, А.В. Шибанова, Е.С. Цобкалло  
O.A. Moskalyuk, A.V. Shibanova, E.S. Tsobkallo

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
E-mail: olga-moskalyuk@mail.ru, anchik-89-89@mail.ru, tsobkallo@mail.ru

Получены лабораторные образцы высокоориентированных композитов на основе полипропилена, наполненного техническим углеродом. Изучено влияние концентрации сферических частиц наполнителя на вязкоупругие свойства высокоориентированного композита в широком диапазоне нагрузок.

**Ключевые слова:** композит, высокоориентированная структура, полипропилен, технический углерод, механические свойства, ползучесть, податливость, вязкоупругость.

Laboratory samples of highly oriented composites based on polypropylene filled with carbon black were obtained. The effect of the concentration of spherical filler particles on the viscoelastic properties of highly oriented composites in a wide range of loads was studied.

**Keywords:** composite, highly oriented structure, polypropylene, carbon, mechanical properties, creep, ductility, viscoelasticity.

Инновационная текстильная продукция – это, прежде всего, материалы, обладающие определённым комплексом специальных свойств. Одним из способов создания таких материалов является получение композитов на основе синтетических матриц с различными видами наполнителей. Механические свойства наполненных полимерных материалов оцениваются, как правило, по прочностным характеристикам. Однако подобные материалы могут испытывать действия длительного нагружения (или деформации). В результате чего, в значительной мере проявляются их релаксационные свойства, такие как ползучесть или релаксация напряжений. Оценка протекания и прогнозирования релаксационных процессов имеют большое практическое значение, однако остаются мало изученными. В научной литературе имеется лишь очень ограниченная информация об особенностях вязкоупругих свойств наполненных полимерных композиционных материалов, исследуемых в режиме длительного нагружения [1].

Цель данной работы состояла в получении высокоориентированных композитов на основе полипропиленовой матрицы и углеродных наполнителей, определении влияния концентрации наполнителя на вязкоупругие свойства полученных материалов, исследуемых в режиме длительного нагружения.

Материалы и методы исследования.

Одним из самых распространённых волокнообразующих термопластичных полимерных материалов является полипропилен [2]. При введении углеродных наполнителей (технического углерода, углеродных нановолокон, углеродных многостенных и одностенных нанотрубок) в полипропиленовую матрицу нами были получены нити и волокна с антистатическими свойствами [3-5]. Показано, что введение в полипропиленовую матрицу наполнителей влияет на деформационно-прочностные свойства композита [6, 7], однако релаксационное поведение этих материалов ранее не анализировалось.

Для выполнения поставленной задачи была получена серия лабораторных образцов композитов. В качестве матрицы использовался изотактический полипропилен (ПП) Бален в

гранулах, а наполнителем служили сферические частицы технического углерода (ТУ) марки П-805Э. Степень наполнения (С) ТУ составляла 0, 10, 20, 30 и 40 % от массы полимера.

Изготовление образцов композитов производилось по расплавной технологии с использованием двухшнекового микрокомпаундера DSM Xplore 5 ml Microcompounder. В результате были получены невытянутые композиционные плёнки, содержащие различные концентрации наполнителя. Для изготовления высокоориентированных композитов (ВОК) полученные образцы подвергались высокотемпературной ориентационной вытяжке ( $\lambda=8$ ) на специальном вытяжном устройстве. Исследуемые в нашей работе образцы имели следующие размеры: толщина - 20-40 мкм, ширина - 2-3,5 мм.

Деформационно-прочностные свойства ВОК исследовались с помощью универсальной установки Instron-1122. Из диаграмм растяжения были определены основные механические характеристики: разрывное напряжение ( $\sigma_p$ ) и относительное разрывное удлинение ( $\epsilon_p$ ) композиционных нитей.

Исследование вязкоупругих свойств ВОК в режиме длительного нагружения (ползучесть) проводилось на релаксметре деформаций в диапазоне значений напряжения от 75 до 150 МПа. Время ползучести составляло до 4 минут.

Результаты и обсуждения.

На рис.1 представлены диаграммы растяжения высокоориентированных композитов ПП-ТУ.

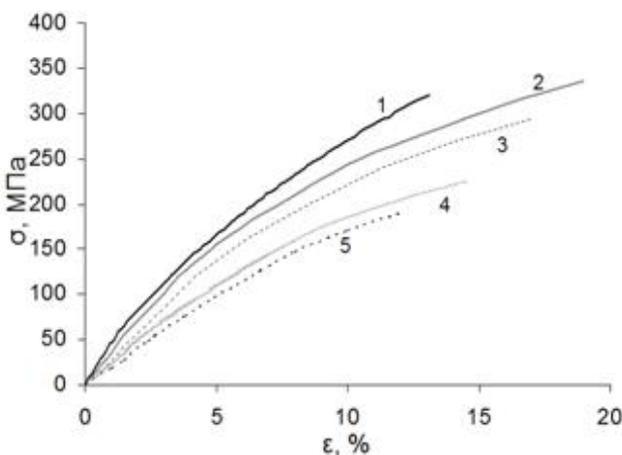


Рис.1. Диаграммы растяжения ориентированных композитов ПП-ТУ: 1 – чистый ПП; 2 – ПП+ 10%ТУ; 3 – ПП+ 20%ТУ; 4 – ПП+30%ТУ; 5 – ПП+40%ТУ.

Как видно из рис.1 значения прочности ВОК плавно снижаются с ростом концентрации дисперсного наполнителя с 330 до 180 МПа, при малых значениях концентрации наполнителя ( $C \leq 20\%$ ) наблюдается существенный рост  $\epsilon_p$  с 13 до 17%, а при более высоких концентрациях - падение значений  $\epsilon_p$  до исходных значений, соответствующих ненаполненному материалу. Прочностные и деформационные характеристики, несмотря на их важность, не позволяют проанализировать релаксационные процессы в исследуемых композитах. Среди известных релаксационных процессов одним из наиболее значимых является процесс ползучести, т.е. процесс отражающий изменение деформации материалов во времени под действием постоянной нагрузки (напряжения).

Семейства кривых ползучести были получены при следующих концентрациях наполнителя: 0, 10, 20, 30, 40%. Для графического представления процессов ползучести удобно использовать полулогарифмическую систему координат, что связано с интенсивным протеканием ползучести в начальный период времени и затем постепенным замедлением этого процесса. На рис. 2 в качестве примера представлены эти семейства для ненаполненного высокоориентированного ПП и для ВОК на его основе с  $C=10$  и 40%, соответственно.

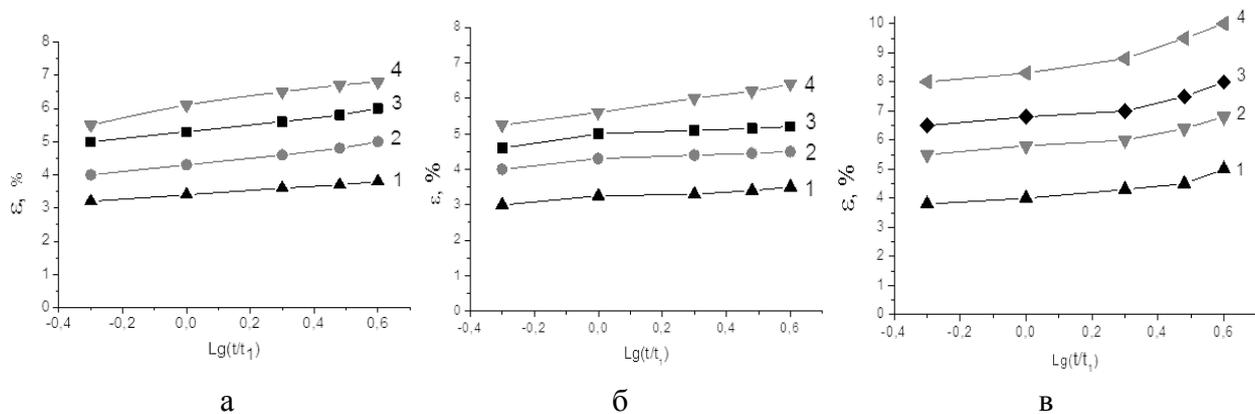


Рис. 2. Семейства кривых ползучести для ненаполненных ПП (а) и ВОК с  $C=10\%$  (б) и  $C=40\%$  (в) в диапазоне напряжений  $\sigma$  (МПа): 75 (1); 100 (2); 125 (3); 150 (4)

Как видно из рис.2 введение 10% ТУ не вызывает существенного изменения релаксационных процессов протекающих в полимерном ВОК в процессе длительного нагружения, в то время как максимальное наполнение ТУ ( $C=40\%$ ) приводит к последовательному увеличению ползучести композита в среднем на 30-50% в исследуемом диапазоне напряжений. Такой эффект может быть связан с тем, что частицы углерода существенно «разрыхляют» структуру полимерной матрицы при формировании перколяционного кластера [3, 6].

Для выявления особенностей вязкоупругих свойств ВОК, встаёт вопрос о выборе характеристик процесса ползучести, позволяющих проводить такое сравнение.

Семейства кривых ползучести были перестроены в семейства кривых податливости (D). Податливость определяется по следующей формуле:

$$D = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma}$$

где  $\varepsilon(t)$  – кривые ползучести,  $\sigma$  – значение прикладываемого напряжения, МПа

Семейства кривых податливости для ненаполненного ПП и ВОК на его основе с  $C=10$  и  $40\%$ , соответственно, представлены на рис.3.

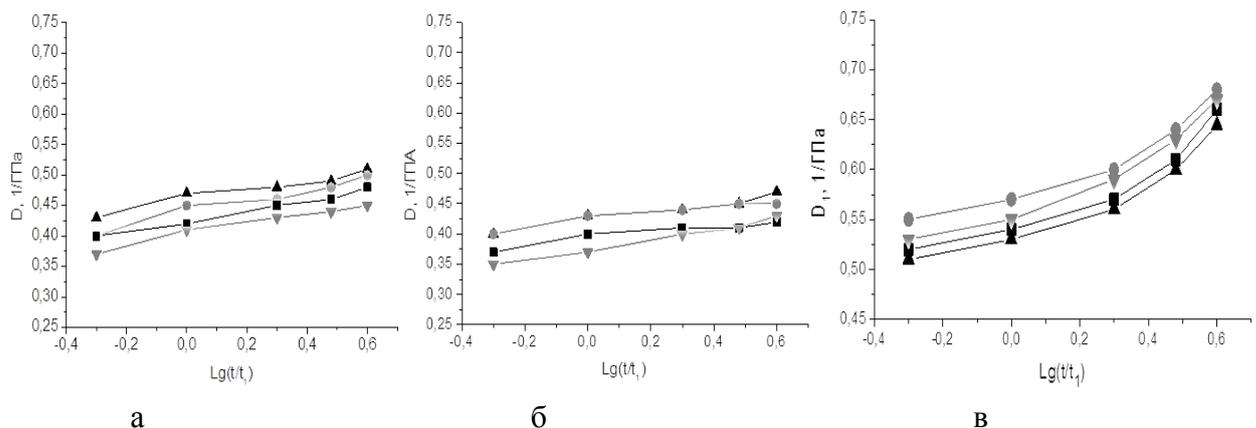


Рис. 3. Семейство кривых податливости для ненаполненных ПП (а) и ВОК с  $C=10\%$  (б) и  $C=40\%$  (в) в диапазоне напряжений  $\sigma$  (МПа): 75 (▲); 100 (●); 125 (■); 150 (▼)

Все полученные зависимости  $D[\text{lg}(t/t_1)]$  при различных нагрузках расположены близко друг к другу, что позволяет в дальнейшем характеризовать процессы ползучести по усреднённым значениям кривых податливости. Из усреднённых кривых податливости, полученных для композитов с  $C=0, 10, 20, 30, 40\%$ , определяем значение  $D$  при времени ползучести равном 1 минуте (рис. 4). Величины  $D$  широко используются при описании и прогнозировании процессов ползучести в материалах.

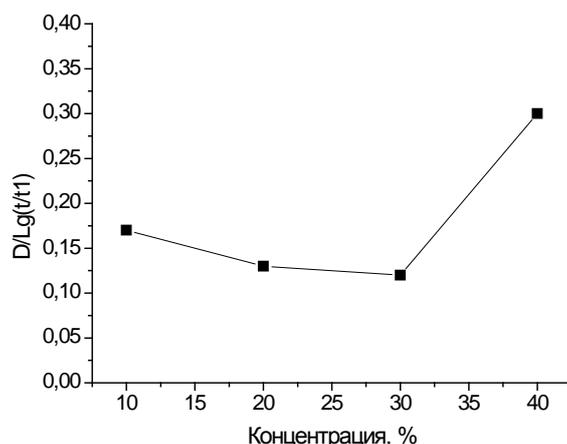


Рис.4. Значение D для ВОК при времени ползучести равном 1 минуте

В рассматриваемом приближении процессы ползучести анализируются по усреднённым значениям кривых податливости  $D [\lg(t/t_1)]$ , целесообразно для оценки скорости процесса ползучести использовать параметр скорости податливости:

$$V = \frac{\partial D}{\partial \lg t}$$

Так как усреднённые зависимости  $D[\lg(t/t_1)]$ , полученные для ВОК с различным наполнением, представляют собой нелинейные зависимости, встаёт вопрос о выборе временного диапазона, на котором будет оцениваться скорость процесса. Несомненно, оценить скорость развития ползучести представляется важным на всём временном интервале. Однако в данной работе ограничились оценкой этого параметра на временном промежутке от 3 до 4 минут. На рис.4 приведена зависимость параметра скорости податливости композиционного материала от содержания наполнителя.

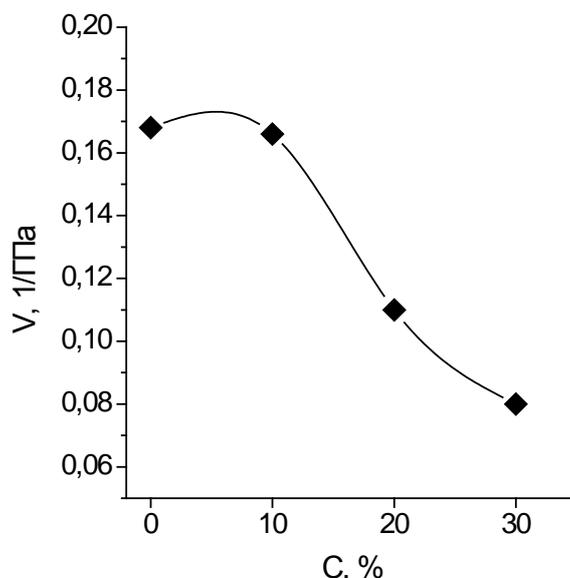


Рис.5. Зависимость скорости податливости ВОК от содержания наполнителя

Как видно из рис. 4 и 5 малые концентрации наполнителя ( $C = 10\%$ ) не вносят изменений в протекание процесса ползучести, затем процесс ползучести развивается более интенсивно. Полученные результаты подтверждают выводы о том, что наполнение, соответствующее  $C > 10\%$  существенно «разрыхляет» структуру полимерной матрицы.

В настоящей работе для проведения сравнения жёсткости материалов целесообразно было определить значения релаксационного модуля ( $E_1$ ) из полученных значений податливости. Так как величины  $D$  и  $E_1$  обратно пропорциональны, то значения релаксационного модуля  $E_1=1/D_1$ . Полученные значения  $E_1$  соответствуют времени ползучести 1 минуте. Зависимость  $E_1$  от  $C$  представлена на рис.6.

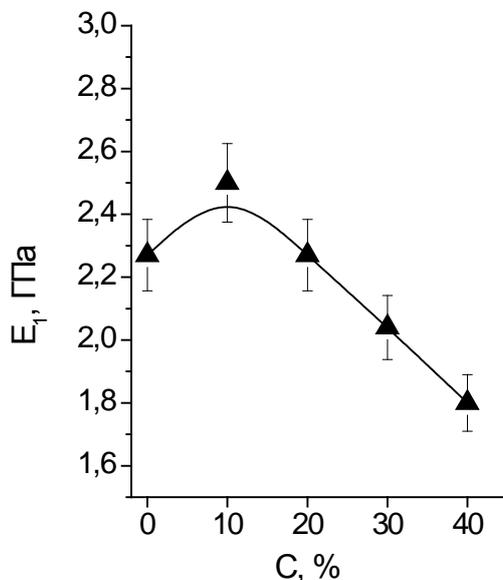


Рис.6. Зависимость релаксационного модуля жёсткости ( $E_1$ ), полученного из кривых ползучести, от концентрации наполнителя для ВОК

Анализируя полученные зависимости (рис. 1-6) отметим влияние наполнения на механические свойства ВОК. Так при малых концентрациях наполнителя ( $C=10\%$ ) значение прочности не снижается, но значительно возрастает относительное разрывное удлинение (более 40%) и несколько увеличивается модуль жесткости (более 7%). Следовательно, можно считать, что наполнение не приводит к возникновению дополнительных структурных дефектов, но способствует процессу структурной упорядоченности как во внутрифибриллярных, так и межфибриллярных аморфных областях, что ведёт как к повышению модуля жёсткости, так и к увеличению эластичности. Дальнейшее увеличение концентрации приводит к существенному уменьшению прочности, к возвращению значения относительного разрывного удлинения к исходному состоянию и заметному снижению модуля жёсткости. Так при  $C = 40\%$  наблюдается уменьшение прочности (более чем на 40%) и модуля жёсткости (более чем на 20%). Тем самым подтверждается вывод о том, что наполнение приводит к формированию дефектной структуры полимерной матрицы.

Таким образом, введение небольшого количества наполнителя в полимерные материалы приводит к повышению модуля жёсткости без ухудшения прочности, что может иметь практическое значение.

Выводы.

- Получены высокоориентированные композиты на основе полипропиленовой матрицы, наполненной техническим углеродом различной концентрации.
- Изучены особенности вязкоупругих свойств полученных образцов на основе семейства кривых ползучести для концентраций наполнителя 0, 10, 20, 30, 40% и в диапазоне значений прикладываемого напряжения от 75 до 150 МПа.
- Предложены характеристики, позволяющие провести оценку вязкоупругих свойств высокоориентированных композитов с различным содержанием наполнителя, исследуемых в режиме длительного нагружения: релаксационный модуль, полученный из семейства кривых податливости, и параметр скорости податливости.

• Исследовано влияние концентрации наполнителя на вязкоупругие свойства высокоориентированных композитов. Так при малых концентрациях наполнителя ( $C=10\%$ ) значение прочности не снижается, но значительно возрастает относительное разрывное удлинение (более 40%) и несколько увеличивается (более 7%) значение релаксационного модуля жесткости. Дальнейшее увеличение концентрации наполнителя приводит к существенному уменьшению прочности, к возвращению значения относительного разрывного удлинения к исходному состоянию.

• Показано, что введение в полимерную матрицу малых концентраций наполнителя ( $C=10\%$ ) не вносит изменений в протекание процесса ползучести (сохраняется стабильной), с увеличением содержания наполнителя процесс ползучести развивается более интенсивно.

*Работа финансируется Министерством образования и науки РФ, государственное задание 2014/186, проект 2040.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nwabunma D., Kyu T. Polyolefin composites. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2008. 603 p.
2. Левин А.Н. Полиэтилен и полипропилен. Современные методы производства и обработки. М.:ГОСИНТИ, 1961. 192 с.
3. Москалюк О.А., Алешин А.Н., Цобкалло Е.С., Крестинин А.В., Юдин В.Е. Электропроводность полипропиленовых волокон с дисперсными углеродными наполнителями // Физика твердого тела. 2012. том 54. вып. 10. С. 1993-1998.
4. Москалюк О.А., Цобкалло Е.С., Юдин В.Е., Гойхман М.Я., и др. Механические и электропроводящие свойства полипропиленовых волокон, наполненных углеродными нанотрубками с функционализированной поверхностью // Журнал прикладной химии. 2012. № 6. С. 977-982.
5. Москалюк О.А., Цобкалло Е.С., Юдин В.Е. Влияние углеродных наночастиц полимерного электропроводящего материала на значения модуля упругости, определённого различными методами // Дизайн. Материалы. Технология. 2012. № 5. С. 98-103.
6. Цобкалло Е.С., Баланёв А.С., Юдин В.Е., Москалюк О.А. Влияние ориентационной вытяжки на физико-механические свойства полипропиленовых пленочных нитей, наполненных наночастицами технического углерода // Известия вузов. Технология легкой промышленности. 2010. № 4. С. 25-29.
7. Москалюк О.А., Цобкалло Е.С., Юдин В.Е., Иванькова Е.М. Влияние концентрации и формы углеродных наполнителей на механические свойства полипропиленовых волокон // Химические волокна. 2014. № 5. С. 23-31.

## ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ ПЕКТИН - БЕЛОК

### INFLUENCE OF MEDIUM ASIDITY ON INTERACTION IN PECTIN- PROTEIN SYSTEM

Г.В. Чистякова  
G.V. Chistyakova

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)  
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the RAS (Ivanovo)  
E-mail: chi@isc-ras.ru

Методом вискозиметрии изучено взаимодействие в системе «пектин-белок» при pH 3,8 и 5,8. Показано, что в зависимости от pH среды и концентрации белка в системе протекают различные виды взаимодействий. В кислой области в интервале концентраций 0-0,1 г/л возможны межчастичные взаимодействия полисахарида и белка, приводящие к уменьшению набухания полисахарида. Увеличение содержания альбумина приводит к образованию пектин-белковых комплексов за счет электростатических сил. Дальнейший рост концентраций белка связан с фазовыми превращениями и выпадением осадков. При pH 5,8 до  $C_{\text{белка}} = 0,5$  г/л взаимодействие альбумина с пектином протекает по тем же механизмам, что и в кислой среде. В высококонцентрированных растворах расслоение фаз не наблюдается, осадки не образуются.

**Ключевые слова:** пектин, альбумин, белок, вязкость

The interaction in pectin-protein system at pH 3.8 and 5.8 was studied by means of viscosimetry method. It was shown that in dependence of a medium acidity and a protein concentration the different interactions carry out. In the acid medium at pectin concentration region of 0-0.1g/cm<sup>3</sup> the interparticle interactions of polysaccharide with protein resulting in decreasing of the swelling for the first can be possible. The increase of albumin concentration goes to the pectin-protein complex formation due to electrostatic forces. The further increase of protein concentration is a result of the phase transition and precipitation. On pH 5.8 up to  $C_{\text{protein}} = 0.5\text{g/cm}^3$ , the interaction between albumin and pectin carry out be the same mechanism as in the acidic medium. In the concentrated solutions no any phase immiscibility and solid formation are observed.

**Key words:** pectin, albumin, protein, viscosity

В последнее время исследования в области создания сорбентных материалов из отходов деревообрабатывающей, сельскохозяйственной и льноперерабатывающей промышленности, приобретают большое теоретическое и практическое значение. Достоинствами природных сорбентов являются ежегодная возобновляемость сырья, экологичность и низкая стоимость. Особый интерес представляют льносодержащие материалы. Пектиновые вещества, входящие в их состав, способны сорбировать как катионы переходных металлов, так и органические соединения, например, белки. При очистке сточных вод пищевых предприятий выделение и утилизация белковых соединений позволяет использовать их в дальнейшем в производстве кормовых добавок и технических продуктов [1]. Однако такие материалы обладают низкой селективностью и малой сорбционной емкостью, повысить которую можно оптимизацией параметров процесса адсорбции.

Целью настоящей работы является изучение влияния кислотности среды на сорбцию белка пектином.

В работе использовали сывороточный белковый альбумин – глобулярный белок с молекулярной массой 66000 и яблочный пектин со степенью этерификации 58%. Пектин представляет собой гетерогенный полисахарид на основе комплекса линейных и разветвленных полимеров галактуроновой кислоты и рамнозы с боковыми ответвлениями из нейтральных полисахаридов.

В модельных экспериментах вискозиметрическим методом на установке с капиллярным вискозиметром Оствальда, оснащенной системами ультратермостатирования и автоматического отсчета времени истечения жидкости, изучено влияние рН среды на систему «яблочной пектин–альбумин». Эксперимент проводили при рН 3,8 и 5,8 создаваемым ацетатным буфером, концентрация полимера оставалась постоянной и составляла 2,5 г/л, содержание белка изменяли в пределах 0,03 – 2,5 г/л. Экспериментальные данные представлены на рис. 1.

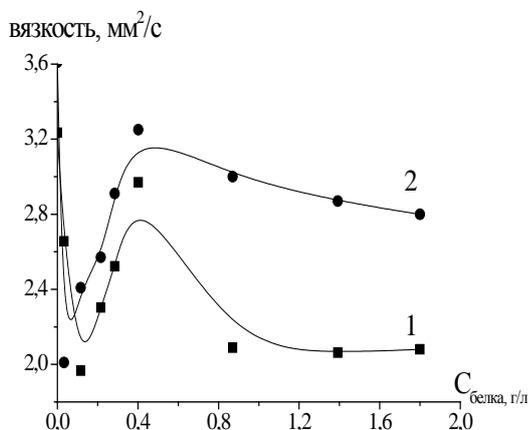


Рис.1 Влияние концентрации альбумина на вязкость растворов пектина  
1- рН= 3,8; 2- рН= 5,8

Как видно из рисунка, зависимость вязкости растворов полимера от концентрации белка имеет сложный характер, что может быть связано с различным типом взаимодействий, протекающих в системе «пектин – белок».

Сывороточный альбумин – белок с изоэлектрической точкой при рН=6,0 [1]. При значениях рН<6 аминокислотные группы альбумина протонированы, за счет чего полимер проявляет свойства поликатиона. Пектин в водных растворах проявляет полианионные свойства за счет диссоциации карбоксильных групп ( $pK_a = 3,34$ ). При концентрациях альбумина до 0,1 г/л снижение кинематической вязкости гидрогеля может быть связано с межчастичным взаимодействием полисахарида и белка, приводящим к уменьшению набухания полисахарида.

В интервале концентраций  $0,1 < C_{\text{белка}} < 0,5$  г/л взаимодействие происходит за счет отрицательного заряда сегментов цепи яблочного пектина и положительно заряженных фрагментов молекул альбумина с образованием пектин-белкового комплекса (ПБК) [1]. С ростом концентрации альбумина выход ПБК увеличивается, частицы агрегируются. Укрупнение частиц связано с повышением вязкости. При концентрации белка 0,5 г/л происходит расслоение гидрогеля на фазы и выпадение осадка. Выход нерастворимого комплекса с увеличением весовой доли белка проходит через максимум при соотношении 5:1.

При рН 5,8 до  $C_{\text{белка}} = 0,5$  г/л взаимодействие в системе «пектин- белок» протекает по тем же механизмам, что и в кислой области, а именно, за счет электростатического взаимодействия разноименно заряженных групп полиэлектролитов. При более высоком содержании альбумина фазовые превращения замедляются, осадки не образуются.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №15-43-03075р\_центр\_a*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Математическое описание и расчет процесса очистки сточных вод / А. П. Булеков [и др.] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2012. - № 1 (337). - С. 116-121

2. Усманова С.Р. Комплексообразование пектиновых веществ с лактоглобулинами молочной сыворотки. Автореф. дис. на соиск. степени канд. хим. наук. Душанбе. 2014. 19с.

УДК 532.63:532.64

## СМАЧИВАНИЕ, КАПИЛЛЯРНОСТЬ И НАНОМОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН

### WETTABILITY, CAPILLARY ATTRACTION AND NANOMODIFICATION OF THE POLYMERIC FIBER

В.А.Волков, А.А. Агеев  
V.A.Volkov, A.A.Ageev

Московский государственный университет дизайна и технологии  
Российский новый университет (Москва)  
Moscow state university of design and technology  
Non-state educational institution of higher education Russian new university (Moscow)  
E-mail: vav36@mail.ru; ageev49@bk.ru

Рассматриваются закономерности смачивания, капиллярности и поверхностной наномодификации полимерных волокон. Рассмотрены методы определения параметров капиллярной структуры капиллярно-пористых тел, математический аппарат, возможности методов для определения структурных и поверхностных энергетических параметров волокон.

**Ключевые слова.** Смачивание, капиллярность, размер капилляров, углы смачивания, поверхностная наномодификация.

**Discusses the results of capillary characteristics of capillary-porous body and angle of wetting of the surface modification polymer fibers.**

**Key words:** wetting, capillarity, capillary size, angle of wetting, surface modification, nanoscale layers.

Введение. Капиллярные свойства ткани, как известно [1] играют огромную роль в процессах облагораживания и отделки тканей и нитей, а также их модификации и в практическом применении текстильных материалов, например, в качестве геотекстиля. Обычно капиллярность характеризуют по высоте поднятия воды по вертикальному образцу за 30 мин. Но это способно привести к неправильным выводам, поскольку найденная таким методом «капиллярность» зависит не только от размера капилляров, но и от краевого угла смачивания, которые изменяются при очистке и модификации поверхности волокон [2], а подчас и в самом процессе смачивания при экстракции некоторых веществ из волокон. В данной работе наряду с проблемами капиллярности текстильных материалов обсуждаются экспериментальные данные, показывающие инверсию закономерностей смачивания модифицированных хлопчатобумажных и смесовых тканей.

Элементарные основы смачивания и капиллярности.

Смачивание-способность жидкостей растекаться по поверхности твердого тела.

Капиллярность- способность капиллярно-пористых тел поглощать жидкости в каналах между волокнами и нитями при смачивании.

Равновесие на границе трех фаз, контактный угол смачивания и правило “трех сигм” Юнга-Дюпре

Изменение энергии Гиббса при смачивании определяется изменением площади контакта жидкости с твердым телом

$$dG_{см} = (\sigma_{тг} - \sigma_{тж})dA - \sigma_{жг} \cos(\theta - \Delta\theta)dA \quad (1)$$

При равновесии  $dG_{см} = 0$ , тогда  $dA_{см} \rightarrow 0$  и  $\Delta\theta_{см} \rightarrow 0$ , следовательно

$$\sigma_{тг} - \sigma_{тж} - \sigma_{жг} \cos \theta = 0 \quad (2)$$

Откуда получаем известное уравнение правила трех сигма Юнга-Дюпре

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{тг} - \sigma_{тж}}{\sigma_{жг}} \quad (3)$$

Очевидно, что величина  $\cos \theta$  определяется  $\Delta G_{см} \rightarrow \min$ . Поэтому для повышения способности твердого тела к смачиванию следует получить  $\sigma_{тг} > \sigma_{тж}$ , а для предотвращения смачивания необходимо  $\sigma_{тг} < \sigma_{тж}$ .

На границе раздела трех фаз возможно проявление тонких сил, например линейного натяжения на линии соприкосновения трех фаз [3], но рассматривая макроскопические капли можно этого не учитывать.

Аналогично теми же закономерностями определяется и капиллярность, т.е. проникновение жидкости в каналы между волокнами при смачивании поверхности волокон.

Движущей силой капиллярности является также изменение энергии Гиббса [4], которая только уменьшается при заполнении капилляров жидкостью. В работе [5] было получено уравнение, связывающее работу смачивания с капиллярным давлением в капиллярах произвольной формы.

$$P_k = \gamma \sigma \cos \theta = \gamma (\sigma_{жг} - \sigma_{жт}), \quad (4)$$

где  $\gamma$  — параметр формы капилляров: отношение величины параметра смачивания  $\Pi$  к площади поперечного сечения капилляра  $S$ , т.е.  $\gamma = \Pi/S$ .

Очевидно, что как растекание капли по поверхности пленки и впитывание жидкости в капилляры определяются исключительно изменением энергии Гиббса при изменении площади контактирующих фаз.

Поверхностная модификация полимерных волокон.

Для предотвращения смачивания твердой поверхности волокон в текстильных материалах жидкостью следует провести такую наномодификацию их поверхности, чтобы

$P_k = \gamma \sigma \cos \theta < 0$ , что возможно, если  $(\sigma_{жг} < \sigma_{жт})$ , и  $\cos \theta < 0$ , т.е.  $\theta > 90^\circ$ .

Для этого на поверхности волокон как на внешней, так и внутри капилляров формируется нанопленка фторсодержащего вещества из латекса, раствора фторсодержащего олигомера или полимера [1], наноразмерный слой, полученный методом молекулярного наслаивания [4] или включаются фрагменты фторполимера непосредственно в состав волокон [5]. Все эти методы позволяют получить высокое значение краевых углов смачивания модифицированных текстильных материалов не только водой, но и маслом. Однако при контакте водной капли с модифицированным текстильным материалов наблюдается инверсия правила трех сигма: при некотором времени контакта капли масла с модифицированной поверхностью удерживаются лучше, чем капли воды. Капля воды при увеличении времени контакта с поверхностью модифицированных волокон начинает растекаться, краевой угол смачивания уменьшается и в результате капля впитывается в капилляры..

На рис.1. показаны зависимости краевого угла смачивания и размера капли воды от времени контакта с поверхностью модифицированной ткани. Модификация проводилась путем последовательного молекулярного наслаивания макромолекул хитозана из водного

раствора и фторсодержащего поверхностно-активного вещества из раствора в перхлорэтилене.

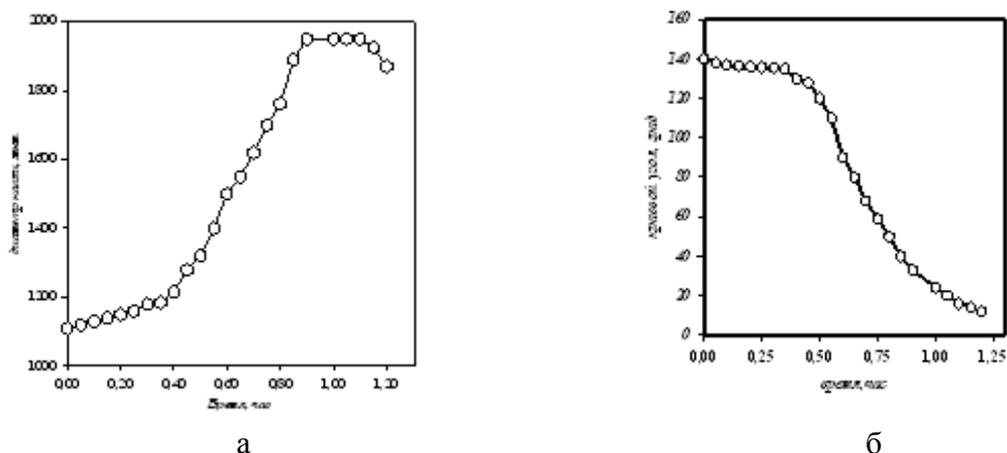


Рис.1. Влияние времени контакта капли воды с поверхностью модифицированной ткани на размер контакта капли (а) и краевой угол смачивания (б)

На рис.2. показана соответствующая зависимость для капли масла на том же образце модифицированной ткани. Можно видеть, что капля воды растекается постепенно по поверхности модифицированной ткани а угол смачивания постепенно уменьшается. В результате этого, примерно через 1,25 часа капля полностью впитывается в капилляры модифицированной ткани. Капля масла сохраняет тупой угол смачивания в течение 15 дней, хотя его размер несколько уменьшается.

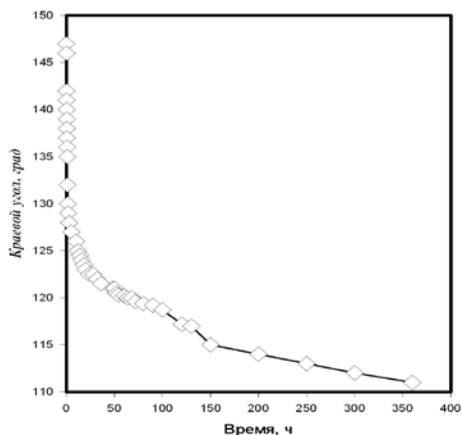


Рис.2. Влияние времени контакта капли масла с поверхностью модифицированной ткани на краевой угол смачивания

Приведенные на этих рисунках данные получены в лаборатории поверхностных явлений ИФЭХ РАН., за что авторы выражают благодарность чл.кор. РАН Л.Б. Бойнович.

По нашему мнению такой процесс может быть связан с экстракцией водной каплей тех поверхностно-активных веществ, которые могут присутствовать в модифицирующей пленке в свободном состоянии, т.е. не закрепленные химически на поверхностных группах полимеров. Или те ПАВ, которые присутствуют в волокнах, попадая туда при получении волокнистых материалов в результате авиважной и антиэлектростатической обработок волокон, а у натуральных волокон- при первичной переработке и облагораживании. Как показали наши исследования требуется не менее восьми водных экстракций для удаления неионогенных ПАВ из волокон и 4-х для удаления анионоактивных ПАВ. В этой связи перед модификационной обработкой и исследованием как синтетических, так и натуральных волокон требуется проводить их предварительную подготовку методом экстракции [6,7] для исключения влияния присутствующих в волокнах ПАВ на результаты исследований.

В наших исследованиях этот факт проявился как «эффект увлажнения» при определении капиллярности текстильных материалов гравитационным методом, когда было установлено, что капиллярность нетканого материала Стелан на основе полиэфирных волокон, найденная как поглощение воды увеличивается по мере увеличения количества измерений, проведенных для одного и того же образца.

Методы определения параметров капиллярности.

При рассмотрении процесса капиллярного течения в капиллярно-пористых телах с цилиндрическими капиллярами [8,9] когда  $\Pi=2\pi r$ , а  $S=\pi r^2$  то  $\gamma=2/r$  и уравнение (4) переходит в известное уравнение Лапласа

$$P_{\kappa} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}, \quad (5)$$

В работе [10] на основании рассмотрения течения жидкостей по вертикальным капиллярам приведен вывод и анализ уравнения Уошборна,

$$l_m \ln \frac{l_m}{l_m - l} - l = Kt, \quad (6)$$

которое позволяет рассчитать средний размер капилляров в ткани, т.к.  $K_l = \frac{\rho g r^2}{8\eta}$  если известна величина максимально возможного подъема жидкости по вертикальному образцу. В этой же работе предложен кинетический метод определения высоты максимального подъема жидкости  $l_m$  по вертикальному образцу ткани с расчетом  $l_m$  по уравнению

$$l = l_m \frac{kt}{1 + kt} \quad (7)$$

после приведения его к линейной форме. Затем рассчитывается величины радиуса капилляров по уравнению Уошборна (6) и краевого угла смачивания поверхности волокон в капиллярах по уравнению Жюрена

$$l_m = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}, \quad (8)$$

Другой вариант такого определения предложен в работе [11], в которой после разложения в ряд уравнения Уошборна (6) получено уравнение линейной зависимости скорости подъема жидкости от высоты подъема.

$$\frac{l}{t} = \frac{K_l l_m}{l} - K_l \quad (9)$$

В последнее время мы проводили исследования по объемному поглощению жидкости и расчету распределения капиллярного пространства по размерам капилляров [8] с расчетом по специально разработанной программе для ПЭВМ [12]. Этот метод позволяет выявить важные параметры капиллярности, но его точность недостаточна, поскольку определить объем поглощенной жидкости с точностью более, чем  $0,1 \text{ см}^3$  не представляется возможным, кроме того определение производится визуальным методом.

В этой связи нами разработан гравитометрический (весовой) метод определения капиллярных параметров капиллярно-пористых тел, точность определения количества поглощенной жидкости в котором на три порядка выше, чем в объемном методе [13].

Для описания кинетики гравитационного впитывания жидкостей капиллярно-пористыми телами после умножения левой и правой части уравнения (6) на  $\pi r^2 \rho n$ , где  $\rho$  - плотность жидкости,  $n$  - количество капилляров в образце текстильного материала, были получены уравнения

$$m_m \ln \frac{m_m}{m_m - m} - m = K_m t, \quad (10)$$

где  $m, m_m$  - масса поглощенной жидкости за время  $t$  и предельная масса поглощенной жидкости,  $K_m$  - константа весового поглощения жидкости.

Уравнение (10) является аналогом уравнения Уошборна для линейного поглощения жидкости [3]. Уравнение (10) неудобно для практического применения, поэтому оно было упрощено методом разложения логарифмической функции в ряд Тейлора. В результате преобразования было получено уравнение

$$m^2 = K(m_m - m)t, \quad (11)$$

которое по форме аналогично уравнению Уошборна для кинетики впитывания жидкости горизонтальными образцами

$$m^2 = Ct, \quad (12)$$

где  $C$  - константа уравнения кинетики впитывания жидкостей горизонтальными образцами.

Уравнение (12) часто используют для обработки кинетических зависимостей не только при горизонтальном размещении впитывающих образцов, но и для начального участка впитывания жидкостей вертикальными образцами, на том участке кинетической зависимости, когда гидростатическое давление не вносит существенной погрешности в расчеты.

В отличие от уравнения Уошборна наше уравнение (11) учитывает вклад гидростатического давления членом  $(m_m - m)$ , что позволяет получать более точные результаты расчета.

Для нахождения капиллярных параметров уравнение (11) приводится к удобной линейной форме

$$\frac{m}{t} = K_m \frac{m_m}{m} - K_m. \quad (13)$$

В уравнении (13)  $K_m = \frac{\pi r^4 \rho^2 n g}{8 \eta}$ ,  $\left(\frac{m_m}{m}\right)$  - степень заполнения капилляров жидкостью, при

$\left(\frac{m_m}{m}\right) = 1$   $\frac{m}{t} = 0$ , т.е. наступает равновесие и  $\lim_{m \rightarrow 0} \frac{1}{m} = -K_m$ , а тангенс угла наклона

линейной зависимости  $tg \varphi = K_m m_m$ , поэтому после построения линейной зависимости в координатах уравнения (13) можно определить как предел заполнения капилляров, так и их размер.

Очевидно, что предложенный новый метод определения капиллярных характеристик отличается от использованных ранее методов простотой и обладает более высокой точностью, поскольку массу поглощенной жидкости можно определять с точностью до 4 знака после запятой, в то время как визуальное определение высоты подъема, особенно если фронт поднимающейся жидкости не горизонтальный, находится с погрешностью в несколько процентов, также как и объем поглощенной жидкости, который также определяется визуально.

Кроме того, предложенный новый метод гравитометрического определения капиллярных параметров можно использовать и для расчета распределения капиллярного пространства по размерам капилляров по программе, разработанной нами для объемного метода простым переводом массы поглощенной жидкости в её объем [12].

При проведении исследований с целью определения воспроизводимости результатов гравитометрического определения капиллярности нами был обнаружен «эффект увлажнения» нетканого материала из синтетических полиэфирных волокон Стелан. Полученные результаты приведены на рис.3, а на рис.4. результаты исследования влияния времени экстракции водой этого материала на количество выделившегося ПАВ.

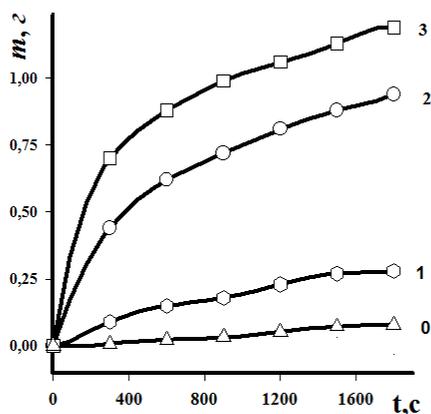


Рис.3. Влияние количества измерений N на количество поглощенной воды Стеланом. N= :0-1, 1-2, 2-3, 3-4

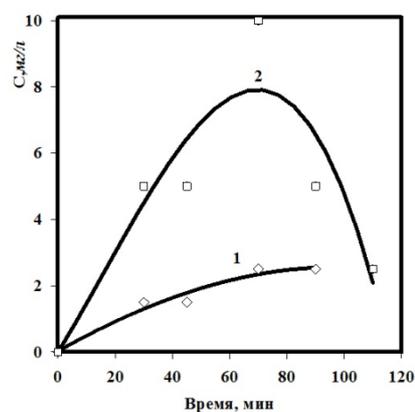


Рис.4. Влияние времени экстракции нетканого материала водой на концентрацию выделенного ПАВ. ПАВ: 1- неионогенное, 2- анионактивное

Было установлено, что из полиэфирного материала экстрагируется водой только неионогенное ПАВ, а из смеси полиэфира с шерстью как неионогенное, так и анионактивное. Таким образом, при исследовании капиллярности было установлено, что при увлажнении нетканого материала из полиэфира выделяется ПАВ, что было подтверждено непосредственным определением его концентрации и класса ПАВ.

В случае наблюдающегося такого же эффекта при включении модификатора в полимерное волокно, или при создании из фторсодержащих латексов полимерной модифицирующей пленки на поверхности волокон, изменение краевых углов смачивания поверхности водой может быть объяснено вымыванием молекул ПАВ из полимерной пленки, сформированной из латекса или из тех участков полимерных волокон, которые сформированы из полиэфира.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев А.А., Волков В.А. Поверхностные явления и дисперсные системы в производстве текстильных материалов и химических волокон. –М.: Совьяж Бево, 2004, 246 с.
2. Сафонов В.В. Роль ПАВ в процессе щелочной отварки хлопковых волокон.// Сафонов В.В., Атрепьева Л.В., Волков В.А. Химическая пром-сть, 1990, №2, с.15-17
3. Волков В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. СПб. Лань. 2015. 672 с.
4. Агеев А.А. Глава 10. Поверхностная модификация полимерных волокон текстильных материалов методом молекулярного наслаивания фторсодержащих поверхностно-активных веществ./ Агеев А.А., Волков В.А., Щукина Е.Л.и др. Растворы в химии и технологии модифицирования полимерных материалов. (Проблемы химии растворов) .Отв. ред. А.Ю. Цивадзе. Иваново: ОАО «Издательство «Иваново», 2014. – С. 498-543
5. Н.П. Пророкова, Глава 8 .Придание сверхгидрофобных свойств полиэфирным тканям на основе использования растворов низкомолекулярной фракции ультрадисперсного политетрафторэтилена в сверхкритическом диоксиде углерода/ Н.П. Пророкова, Т.Ю. Кумеева, Л.Н. Никитин, В.М. Бузник/ Растворы в химии и технологии модифицирования полимерных материалов. (Проблемы химии растворов) / Отв. ред. А.Ю. Цивадзе. Иваново: ОАО «Издательство «Иваново», 2014. – С.401-457
6. А.А. Агеев О фторсодержащих поверхностно-активных веществах, способных модифицировать полимерные волокна тканей. /А.А. Агеев, И.В. Аксёнова, В.А. Волков, А.Ф. Елеев Электронный журнал «Фторные заметки» № 4 (83), Июль—Август. 2012. 15 с. [http://notes.fluorine1.ru/public/2012/4\\_2012/letters/rusletter3.html](http://notes.fluorine1.ru/public/2012/4_2012/letters/rusletter3.html)

7. Михайловская А.П. Влияние четвертичных аммониевых солей на структуру полипропиленового волокна // Михайловская А.П., Каширский Д.А., Серенко М.С., Новоселов Н.П. Химические волокна, 2015. - № 4. – С. 75-79.
8. Волков В.А. Капиллярные свойства текстильных материалов. Волков В.А., Щукина Е.Л., Егорова О.С. Химическая технология. 2011. Т. 12. № 2. С. 84-99.
9. Агеев А.А. Гидродинамика движения жидкости в капиллярах пористого тела. Агеев А.А., Волков В.А., Жигунова Л.К., Зуев А.А. Вестник МНЭПУ: Сборник научных трудов. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2015. – С. 133-146.
10. Волков В.А. Определение размера капилляров и угла смачивания волокон тканей и нетканых материалов жидкостями по кинетике подъема жидкости по вертикальным образцам. Волков В.А., Булушев Б.В., Агеев А.А. Коллоидн. ж. 2003 г. Т. 65, № 4. С. 569-572.
11. Агеев А.А. Корреляция моющей способности и смачиваемости в бинарных растворах ПАВ в перхлорэтилене./ Агеев А.А., Волков В.А., Кибалов М.С., Егорова О.С. В сб. материалов Сессии научного Совета РАН, секции Физической химии растворов ПАВ «Поверхностно-активные вещества в технологических процессах». Москва, МИТХТ, 2010, с.32-34.
12. Волков В.А. Определение параметров капиллярности капиллярно-пористого тела( на примере ткани)/ Волков В.А. Кузьмина Т.М., Агеев А.А. Дизайн и технология. 2015.
13. Волков В.А., Гравитометрический метод определения параметров капиллярности тканей и нетканых материалов//Волков В.А., Агеев А.А., Слабова К.Д., Титов Ю.И. В сб.: Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности Материалы докладов Международной научно-технической конференции. Витебский государственный технологический университет. 2015. С. 33-34.

УДК 620.192.67

## НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ БИОДЕСТРУКЦИИ

### SILVER NANOPARTICLES FOR BIOPROTECTION OF CELLULOSE MATERIALS

Н.С. Дымникова, Е.В. Ерохина  
N.S. Dymnikova, E.V. Erohina

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)  
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the RAS (Ivanovo)  
E-mail: nsd@isc-ras.ru

Исследована возможность получения золей серебра путем восстановления его солей, различающихся растворимостью на 5-40 порядков (ПР от  $1,6 \cdot 10^{-5}$  до  $8,5 \cdot 10^{-45}$ ). Методами спектрофотометрии и потенциометрии оценены кинетические закономерности формирования металлической фазы из различных прекурсоров. Выявлено, что повышение скорости восстановления катионов в кристаллической решетке малорастворимых солей влечет за собой уменьшение выхода наночастиц, расширение диапазона их размеров. Сопоставлена эффективность золей в обеспечении целлюлозным материалам защиты от биодеструкции. Для повышения биозащиты экспериментальных образцов выявлена целесообразность использования композиционных составов.

Ключевые слова: наночастицы серебра, малорастворимые соли, спектрофотометрия, биозащита, целлюлозные материалы.

The possibility of obtaining of sols of silver by reduction of its salts differing in solubility by 5-40 orders (solubility limit from  $1,6 \cdot 10^{-5}$  to  $8,5 \cdot 10^{-45}$ ) is investigated. The kinetic regularities of formation of a metal phase from various precursors are estimated by methods of spectrophotometry and potentiometry. It is revealed that

the increase of reduction rate of cations in lattice of slightly soluble salts results in the reduction of outcome of nanoparticles and the expansion of range of their sizes. The efficiency of sols for providing cellulose materials with protection against biodestruction is compared. The expediency of use of compounds for the increase of bioprotection of experimental samples is revealed.

**Key words:** nanoparticles of silver, slightly soluble salts, spectrophotometry, bioprotection, cellulose materials.

В последнее время получило широкое распространение научное направление, связанное с созданием нанокомпозитов, в которых в качестве матрицы используются полимеры, а наполнителями являются металлические наночастицы (НЧ). Металл-полимерные нанокомпозитные материалы широко изучаются в связи с тем, что введение НЧ металлов придает полимерам новые перспективные для практического использования свойства. Применение отбеленных целлюлозных полимеров с наночастицами Ag создает возможности для производства экологически чистых медицинских и санитарно-гигиенических изделий, обладающих бактерицидными и антимикробными свойствами, а нативных – биозащищенных материалов для авиа-судо-автомобилестроения, стройиндустрии и т.д. Однако, следует отметить, что одной из важнейших проблем является получение достаточно стабильных на воздухе наночастиц малого размера, в течение длительного времени сохраняющих высокую активность и при этом в приемлемых с экономической точки зрения условиях (не требующих больших затрат энергии, дорогостоящего оборудования и химических реагентов и т.п.). Поэтому вопросы получения наночастиц и процессы их стабилизации необходимо рассматривать в комплексе.

Ранее проведенными исследованиями нами было изучено формирование ультрадисперсных частиц серебра из растворов их хорошо растворимых солей в присутствии различных реагентов. В качестве последних использовали восстановители различной природы, при этом экологически безопасные природные полимеры выполняли функции, как восстановителей, так и стабилизаторов. Это позволило создать серию препаратов с НЧ<sub>Ag</sub>, условно названных «Нанотекс», обладающих антимикробным действием по отношению к тест-культурам *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Candida albicans*. Их применение позволяет обеспечить высокую биозащищенность модифицированным полимерам при минимальном содержании в них наночастиц серебра (0,07 % масс), повысить экономичность и экологическую безопасность, как технологий, так и готовых изделий [1,2].

Новым, интересным, но малоизученным является процесс получения металлических наночастиц серебра химическим восстановлением в водных растворах их малорастворимых солей. Перспективность данного направления обусловлена возможностью синтезировать частицы, размер которых контролируется размером частиц предшественников, и регулировать в широком диапазоне состав, структуру и свойства синтезируемых наночастиц [3]. При этом важно, что переводом серебра в высокодисперсное состояние обеспечивают несвойственную его малорастворимым солям антимикробную активность [4].

Цель данной работы заключалась в оптимизации условий формирования из малорастворимых соединений стабильных золей серебра, обеспечивающих биозащиту материалам на основе целлюлозных волокон.

Синтез наночастиц осуществляли путем восстановления серебра в водных растворах его солей, различающихся растворимостью на 5-40 порядков (ПР от  $1,6 \cdot 10^{-5}$  до  $8,5 \cdot 10^{-45}$ ). В качестве восстановителя, использовали тетрагидроборат натрия. Процесс формирования высокодисперсных частиц контролировали по изменению окраски растворов, их агрегативной устойчивости, спектрофотометрически и путем потенциометрического титрования. Оптические спектры поглощения Ag гидрозолей регистрировали в фиолетовой части видимого спектра с максимумом полосы 390—450 нм на спектрофотометре Agilent 8453 в кварцевой кювете при длине оптического слоя – 1 см. Потенциометрическое титрование проводили на автоматическом титраторе АТП-02. Размеры частиц металла оценивали методом фотонной корреляционной спектроскопии на приборе «Zetasizer Nano ZS».

Биозащищенность материалов определяли по коэффициенту их устойчивости к микробиологическому разрушению после длительного (10-14 дней) контакта с микрофлорой, включающей совокупность штаммов плесневых грибов и бактериальных культур.

На примере получения золя хлорида серебра исследовано влияние условий приготовления реакционных систем перед введением в них тетрагидробората натрия. Известно, что использование ВМС на стадии перед синтезом наночастиц позволяет контролировать в дальнейшем процесс восстановления, поскольку катионы солей-предшественников включаются в комплекс с желатином посредством донорно-акцепторного взаимодействия с атомами азота в его цепи [5]. Дисперсные системы готовили путем введения стабилизатора в водный раствор хлорида натрия, либо в водный раствор нитрата серебра, либо в систему после образования хлорида серебра.

Изучение динамики восстановления  $\text{AgCl}$  после введения боргидрида натрия в стабилизированные реакционные системы показало, что предварительное связывание растворимых солей в комплекс с желатином обеспечивает лучшие результаты при синтезе НЧ серебра. В этих случаях спектральные кривые золя, имеющие размытые полосы поглощения в области 360-450 нм *extempore* (т.е. сразу после приготовления), постепенно в течение 24-144 часов трансформируются в спектры с четко выраженным максимумом высокой интенсивности при 400 нм. Такие изменения рассматривают как доказательство образования наночастиц серебра с узким распределением по размерам [6]. Интенсивность окраски формирующегося серебряного золя с течением времени приобретает насыщенный желто-коричневый цвет, что обусловлено образованием высокодисперсного серебра.

Методом фотонной корреляционной спектроскопии определены размеры синтезированных частиц серебра. Эволюция данных спектров показывает, что восстановление протекает достаточно медленно. Так только по истечении 144 ч. диаграмма распределения частиц по размерам, формируемых при выявленных оптимальных условиях синтеза, свидетельствует о преимущественном образовании НЧ радиусом 20-25 нм, включая оболочку стабилизаторов.

Изучена зависимость образования наночастиц серебра от растворимости его солей. Так, соли серебра, с наиболее низкой растворимостью в воде (ПР  $10^{-22}$  -  $10^{-45}$ ), восстанавливаются очень медленно. Даже по истечении суток спектральные кривые имеют размытый максимум. Напротив, спектры зольей, формируемых из солей серебра, имеющих растворимость порядка  $10^{-5}$  -  $10^{-10}$ , характеризуются более выраженным максимумом в области 400 нм.

Для определения биологической активности синтезированных зольей серебра была оценена их эффективность в обеспечении защиты целлюлозосодержащим текстильным материалам от действия биодеструкторов. При контакте в течение 14 суток с почвенной микрофлорой ткани, содержащие нативные целлюлозные волокна, теряют до 100 % прочности. Нарушение целостности структуры незащищенной хлопко-льняной ткани свидетельствует о полной потере её эксплуатационных и эстетических свойств. В аналогичных условиях ткань, обработанная серебряным золем, не имеет видимых следов разрушения. Однако, для повышения биозащиты экспериментальных образцов выявлена целесообразность использования композиционных составов, применение которых позволит обеспечить высокую устойчивость целлюлозных материалов при минимальном содержании в них  $\text{НЧ}_{\text{Ag}}$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галашина В.Н., Дымникова Н.С., Морыганов П.А., Братченя Л.А., Есенкова Н.П. Экономичный способ получения биозащищенного льноволокна для нетканых материалов со специальными свойствами// Дизайн. Материалы. Технология.2013. №4

2. V. N. Galashina, P. A. Moryganov, N. S. Dymnikova. Bio-Protected Flax Nanocomposites as Basis for Manufacturing of High-Tech Eco-Products // Russian Journal of General Chemistry, 2012, Vol. 82, No. 13, pp. 2270-2278.
3. Бокшиц Ю.В. и др. Формирование наночастиц серебра и меди при восстановлении их труднорастворимых предшественников в водном растворе /Бокшиц Ю.В., Шевченко.П., Понявина А.Н., Рахманов С.К. //Коллоидный журнал. 2004. Т. 66. № 5. С. 581-587.
4. Благитко Е.М., Бурмистров В.А., Колесников А.П., Михайлов Ю.И., Родионов П.П. – Серебро в медицине. – Новосибирск, Наука-Центр, 2004, 254 с.
5. Вегера А.В. Влияние условий синтеза на коллоидно-химические свойства наночастиц серебра. Дисс. ... канд. хим. наук. – 2006. – 164 с.
6. Ю.А. Крутяков, А.А. Кудринский, А.Ю. Оленин, Г.В. Лисичкин Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы // Успехи химии. 2008. Т. 77. С. 242 — 269.

УДК 677.494.674

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕТОДОМ КРЕЙЗИНГА ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН**

### **INNOVATION TEXTILE GOODS WITH SPECIAL PROPERTIES BASED ON NANOMODIFIED BY CRAZING POLYESTER FIBERS**

А.Л. Крылов,<sup>1</sup> Т.Н. Кудрявцева,<sup>2</sup> В.А. Грищенко<sup>2</sup>  
A.L.Krylov,<sup>1</sup> T.N.Kudriavtseva,<sup>2</sup> V.A.Grishchenkova<sup>2</sup>

ОАО «Центральная компания Межгосударственной промышленно-финансовой группы  
«Формаш» (Москва)

ОАО «Центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации  
легкой промышленности» (Москва)

OSC "CCIFG "FORMASH" (Moscow)

OSC "Central Scientific-Research Institute for Integrated Automation of Light Industry" (Moscow)

E- mail: formash@iristelekom.ru; textile@tsnilka.ru

Текстильные материалы, обладающие пониженной горючестью, антимикробными и антистатическими свойствами, повышают безопасность среды, минимизирует последствия катастроф, террористических актов. Разработана крейзинг технология получения наномодифицированных полиэфирных волокон, обладающих бактерицидными свойствами, пониженной горючестью, антистатических. Выработаны опытно-промышленные партии волокон и текстильных изделий с их использованием.

**Ключевые слова:** волокнистые текстильные материалы, крейзинг, наномодифицированные полиэфирные волокна, антимикробные и антистатические свойства, пониженная горючесть.

**Making of the fibrous textile materials with antimicrobe, antistatic properties and reduced combustibility. These materials raise the safety in the premises as well as minimize the disaster and terrorist action effects. The Project stipulates the development of the technology for obtaining the nanomodified by crazing polyester fibers with bactericidal, anti- anti-static properties and reduced combustibility. Production of the batch of fibers and textile articles made of these fibers.**

**Keywords:** the fibrous textile materials, crazing, nanomodified polyester fibers, antimicrobe, antistatic properties, reduced combustibility.

За последние десятилетия в мире существенно снизилась безопасность среды обитания человека, в том числе био –пожаро, электромагнитная и др. Прогноз на среднесрочную и долгосрочную перспективы показывает возможность синергетического усиления указанных рисков. Становится актуальной минимизация вредного воздействия ухудшения среды

обитания, в том числе за счет использования текстильных изделий с multifunctional защитными свойствами, способными комплиментарно поддерживать здоровье человека и решать различные экологические и технические задачи. Одним из способов придания текстильным изделиям защитных свойств является использование в их составе полиэфирных волокон, модифицированных методом крейзинга.

Крейзинг – процесс пластического деформирования полимеров при определенном уровне нагружения и свойствах окружающей среды, приводящий к возникновению особых зон ориентированного состояния – крейзов. Крейзы - микротрещины, стенки которых соединены фибриллярными тяжами диаметром менее 10 нм. Если вытяжку волокон осуществляют в жидкости, возникающая во время деформирования волокна система микротрещин непрерывно заполняется окружающей жидкой средой, обеспечивая возможность введения в структуру полимера модификаторов и их равномерное распределение в полимерной матрице. При дальнейшем вытягивании и снятии нагрузки происходит схлопывание (закрытие) структуры крейзов, рис.1. Захваченные в крейзы модифицирующие вещества чрезвычайно медленно (до нескольких лет) выделяются в окружающее пространство, обеспечивая заданные специальные свойства волокнам. Первые публикации о технологии крейзинга появились в начале 1970-х гг.

В рамках научно-технической программы Союзного государства «Современные технологии и оборудование для производства новых полимерных и композиционных материалов, химических волокон и нитей на 2008-2012 годы», шифр «Композит 10» разработаны технологии производства nano модифицированных по методу крейзинга полиэфирных волокон и технологии переработки их в инновационные текстильные изделия с защитными свойствами.

Используя механизм крейзинга, в полиэфирные волокна вводились различные жидкие и твердые тонкодисперсные модификаторы для придания специальных свойств. Реализация такого метода не требует больших затрат. Процесс может быть осуществлен на стандартном промышленном оборудовании с использованием дополнительного узла для введения модификатора (модуля крейзинга) в непрерывном высокоскоростном режиме производства волокон, с небольшим расходом модификатора, за счет введения его только в поверхностный слой волокна.

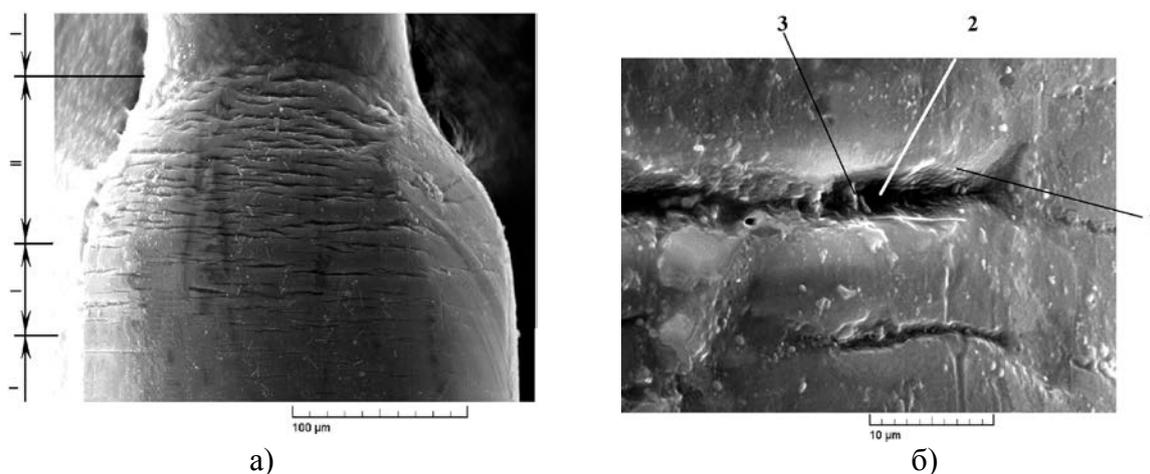


Рис.1 Участки напряженного состояния полиэфирного волокна в процессе ориентационного вытягивания (РЭМ изображения)  
а) образование шейки и зарождение крейзов; б) микротрещины (крейзы)

ИММС НАН Беларуси и ОАО «СветлогорскХимволокно» спроектировали, изготовили модуль крейзинга и смонтировали его на штапельном агрегате ША-5К между вторым семивальцевым вытяжным станом и камерой по обработке волокон острым паром. Модуль крейзинга представляет собой замкнутую систему для циркуляции модифицирующей

жидкости, которую подают на жгут вытягиваемых волокон в зоне возникновения крейзов на шейке, образующейся на волокне. Подача жидкости осуществляется из реактора через разбрызгивающие форсунки. Реактор снабжен мешалкой и гидронасосом. Стекающая жидкость собирается в поддоне и возвращается в емкость. Модифицирование волокон осуществлялось при следующих технологических параметрах:

Развес жгута невытянутого волокна, г/м	10–20
Скорость подачи жгута, м/мин	30–50
Кратность вытяжки волокна в зоне модифицирования	2,5
Расход модифицирующей жидкости, л/мин	0,3
Температура модифицирующей жидкости, С <sup>о</sup>	20–25

Выработаны опытно-промышленные партии модифицированных полиэфирных волокон со следующими специальными свойствами:

- волокна пониженной горючести: кислородный индекс 28,9 % по ГОСТ 21793-76;

- **волокна бактерицидные:** зона задержки роста бактерий до 4 мм (бактериостатический эффект) и до 32мм (бактерицидный эффект);

- **волокна репеллентные:** коэффициент отпугивающего действия (КОД) -88-92%;

- **антистатические волокна:** удельная проводимость волокна  $1,4 \times 10^{-3}$  См/м.

С использованием модифицированных методом крейзинга полиэфирных волокон разработаны технологии производства и изготовлены инновационные текстильные материалы с защитными свойствами: пряжа, ткани, трикотажные и нетканые полотна. Учитывая, что по физико-механическим характеристикам модифицированные методом крейзинга полиэфирные волокна соответствовали требованиям ГОСТ 10435-94, текстильные материалы были выработаны по стандартным технологическим режимам с некоторыми уточнениями.

Для получения бактерицидных полиэфирных волокон методом крейзинга использована модифицирующая эмульсия на основе триклозана и синтаноло (рис. 2а). Триклозан активно действует на большинство патогенных микроорганизмов, которые встречаются на поверхности кожи, табл.1. Принципиальный момент крейзинг технологии состоит в контактировании волокон с модифицирующей эмульсией в точке вытяжки волокон. Установлено, что повышение температуры модифицирующей эмульсии на основе триклозана до 50 °С несущественно влияет на антимикробную активность волокон.

Таблица 1

Антибактериальное действие триклозана (по данным Московского ФБУН Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана)

Грам-положительные бактерии	Грам-отрицательные бактерии	Грибки и дрожжевые микроорганизмы
Staphylococcus aureus	Esherichia coli	Candida albicans
Staphylococcus epidermidis	Enterobacter cloacal	Epidermophyton floccsum
Streptococcus pyogenes	Enterobacter aerogenes	Trichophyton
Propionibacterium acnes	Klebsiella pneumonial	mentagrophytes
Clotridium tetani	Proteus vulgaris	Tricophyton rumbum
Corynebacterium species	Proteus mirabilis	
Salmonella paratyphi A, B		
Salmonella choeraesuis		
Shigella dysenterial		
Vibrio choleral		

С учетом ассортиментной направленности разработаны технологии и изготовлены парафармацевтические текстильные материалы с вложением различных долей вложения полиэфирных волокон, содержащих триклозан. Процессы прядения, ткачества, вязания и производства нетканых материалов проходили стабильно.

Разработаны технологии получения бактериостатических полиэфирных волокон, модифицированных по механизму крейзинга модифицирующей эмульсией с коллоидными биметаллическими частицами (Ag+Cu). Полиэфирные волокна, модифицированные частицами (Ag+Cu), обладают бактериостатическими, фунгицидными и антистатическими свойствами, рис. 2 б).

Микробиологические исследования бактерицидных свойств полиэфирных волокон, модифицированных методом крейзинга, и текстильных материалов с их использованием проводились в ГЦПШиПМ ФГУ «Институт хирургии им. А.В. Вишневского» в соответствии с «Методическими указаниями по лабораторной оценке антимикробной активности текстильных материалов, содержащих антимикробные препараты» (Минздрав СССР, 1984г.). Исследования показали, что модифицированные триклозаном полиэфирные волокна, и текстильные материалы с вложением указанных волокон обладают высокой антимикробной активностью. Зона задержки роста тестовых микроорганизмов *St. epidermidis* составила 8–32 мм. Проведена стирка текстильных изделий с вложением модифицированных волокон в соответствии с требованиями ГОСТ 9733-83 «Устойчивость антимикробного эффекта к мокрым стиркам». Микробиологические исследования после 10-15 циклов стирки циклов продемонстрировали активное подавление роста бактерий *Staphylococcus ep.*

Проведены микробиологические исследования полиэфирных волокон, модифицированных методом крейзинга составами, содержащими триклозан, и хранившихся в кипах на складе завода в течении 5-ти лет. Зона задержки роста антимикробной активности микрофлоры по *Staphylococcus ep.* бактерицидных полиэфирных волокон после 5-ти лет хранения составляла 28 мм.

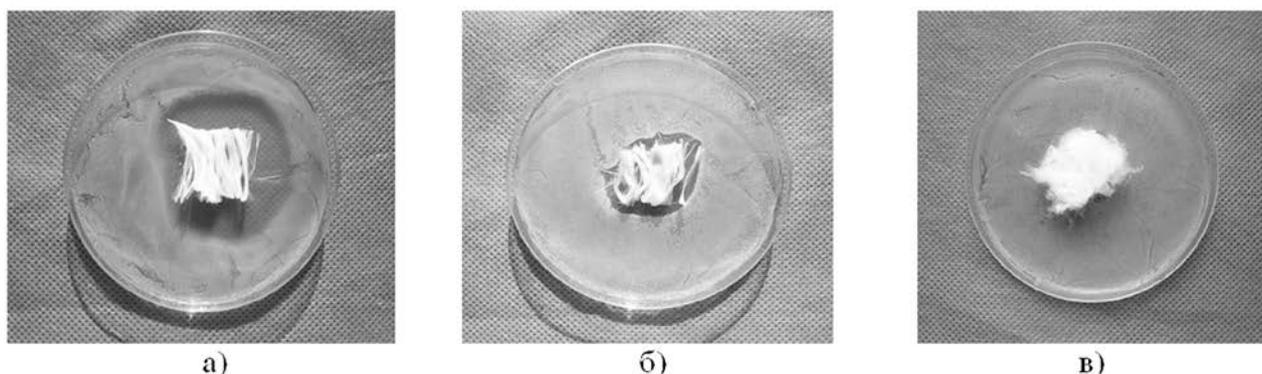


Рис 2. Зоны задержки роста антимикробной активности микрофлоры по *Staphylococcus ep.* бактерицидных полиэфирных волокон

- а) полиэфирные волокна, модифицированные составами, содержащими триклозан;
- б) полиэфирные волокна, модифицированные составами, содержащими (Ag+Cu);
- в) исходные полиэфирные волокна

Текстильные изделия, содержащие полиэфирные волокна, модифицированные наночастицами серебра и меди, создают бактериостатический эффект, который не нарушает бактериальный баланс кожи, но купирует размножение болезнетворных бактерий и грибов. Микробиологические исследования тканей с вложением 10-15% полиэфирных волокон, модифицированных коллоидными биметаллическими частицами (Ag+Cu) продемонстрировали устойчивую бактериостатическую антимикробную активность по *Staphylococcus ep.* до 4 , в том числе после 50 циклов стирки по ГОСТ 9733-83. Удельная проводимость волокна составила  $1,4 \times 10^{-3}$  См/м. Использование полиэфирных волокон, содержащих наночастицы (Ag+Cu), позволяет снизить уровень напряженности электростатического поля на поверхности текстильных материалов до 1 кВ/м.

Разработан ассортимент парафармацевтических текстильных изделий с вложением малых долей (10-15%) полиэфирных волокон, модифицированных триклозаном или

коллоидными частицами (Ag+Cu). Бактерицидные и бактериостатические текстильные изделия востребованы для производства специальной, медицинской, форменной одежды, перевязочных и расходных медицинских материалов и т.п. Поскольку для получения бактерицидного эффекта достаточно вложить в смесь небольшую долю модифицированных методом крейзинга бактерицидных полиэфирных волокон взамен стандартных, себестоимость текстильных изделий увеличивается незначительно. В то же время придание изделиям защитного бактерицидного эффекта усиливает стратегический, ориентированный на маркетинг фактор, который обеспечивает гигиенически защищенным текстильным материалам и изделиям с их использованием повышенный спрос у покупателей.

В современном постиндустриальном обществе пожары - самый распространенный вид чрезвычайных ситуаций. В России за 2014 год произошло почти 140 тысяч случаев пожаров, при которых погибло более 8,5 тысяч человек, причем 69% пожаров возникали на бытовом уровне. Экономические потери от пожаров в 2014 году составили 118,5 млрд. руб. (данные МЧС России). Современное общество не в состоянии восполнить ущерб от пожаров.

Профилактика пожаров за счет применения огнестойких текстильных изделий становится чрезвычайно актуальной. В ряде стран приняты законы, которые запрещают применение воспламеняющихся текстильных материалов в быту, для детской одежды и домашнего текстиля, в гостиницах, зрелищных, лечебных, социальных и детских учреждениях, в авиации, автомобилестроении, железнодорожном транспорте. В России пока не приняты системные законодательные акты по запрету использования воспламеняющихся текстильных материалов широкого потребления, в т.ч. в быту. Но ситуация с пожарами, особенно в детских и социальных учреждениях, вызывает острую необходимость применения текстильных изделий пониженной горючести.

В рамках проекта разработаны технологии получения модифицированных методом крейзинга полиэфирных волокон пониженной горючести с использованием в качестве модификатора антипирена PEKOFLAM NPP в чистом виде. Для оценки горючести волокон и текстильных изделий использован метод определения кислородного индекса по ГОСТ 21793-76\* «Пластмассы. Метод определения кислородного индекса». Метод используется для сравнительной оценки горючести волокон и текстильных изделий в определенных контролируемых условиях и не применим для оценки пожаро- опасности волокон и изделий в целом. Испытания показали, что для модифицированных антипиреном PEKOFLAM NPP полиэфирных волокон кислородный индекс составил  $KI = 29,2 \%$ , а текстильные материалы, содержащие не менее 75 % модифицированных полиэфирных волокон, имеют умеренный уровень огнезащиты; кислородный индекс составляет 28.0-28,2 %.

Использование смеси модифицированных на основе крейзинга полиэфирных волокон бактерицидных и пониженной горючести позволяет выработать инновационные текстильные материалы с многофункциональными свойствами: пониженной горючести и бактерицидными, обеспечивающими комфортную и безопасную среду обитания человека. Разработан ассортимент огнебиозащитных утеплителей со следующими свойствами: кислородный индекс- 27,6% по НПБ 161-97; гигроскопичность - 9%; зона задержки роста микрофлоры, по St. Epidermidis-15-20мм.

В рамках проекта разработана технология производства полиэфирных репеллентных волокон, модифицированных методом крейзинга, растворами, содержащими перметрин – 2 % масс., и ассортимент репеллентных текстильных изделий с их использованием. Перметрин обладает широким спектром инсектицидного действия, обеспечивая паралич, а затем гибель крысиных блох, чесоточных клещей, головных и лобковых вшей, клопов, муравьев, тараканов, имаго и других эктопаразитов семейства членистоногих. Перметрин мало токсичен для теплокровных животных и человека и при нанесении на кожу в рекомендованных дозах и концентрациях, не обладает кожно-резорбтивным, местно-раздражающим и сенсibiliзирующим действием.

Оценка репеллентности модифицированных волокон и текстильных материалов проведена в аккредитованном (ГР № РОСС RU.0001.516846) испытательном центре НИИ

биоцидов и нанобиотехнологий (г. Москва) в отношении крысиных блох *Xenopsylla cheopis* и желтолихорадочного комара *Aedes aegypti* по МУ 3.5.2.1759-03 «Методы определения эффективности инсектицидов, акарицидов, регуляторов развития и репеллентов, используемых в медицинской дезинсекции» п. 3.4.2, 4.15. Согласно указанным методам код отпугивающего действия, КОД, должен быть больше 70%.

Показано, что в отношении крысиных блох *Xenopsylla cheopis* и желтолихорадочного комара *Aedes aegypti* все образцы модифицированных волокон, нетканых материалов и тканей с вложением в смесь до 15 % полиэфирных волокон с репеллентными свойствами обладают высокой репеллентностью. КОД составил 88-100%. Репеллентные свойства сохраняются в течение 1, 2, 3 месяцев. Далее испытания не проводились.

Прогнозная годовая потребность российского рынка в полиэфирных волокнах пониженной горючести - 11,7 тыс.т., бактерицидных (антимикробных, фунгицидных и др.) - 12 тыс.т., репеллентных, антистатических и др. - 6,5 тыс. т. В случае принятия в России законодательных актов по обеспечению безопасности среды обитания человека: обязательного страхования жилища от пожара, запрета использования воспламеняющихся материалов в жилом секторе, общественных заведениях, детских и медицинских учреждениях; ужесточения требований к «чистым комнатам», потребность в полиэфирных волокнах со специальными свойствами может быть существенно увеличена. Отсутствие в России производства инновационных химических волокон в требуемом объеме и ассортименте усугубляет кризисное состояние текстильной и легкой промышленности, обедняет потребительский рынок товаров народного потребления, существенно сокращая число рабочих мест, а государство лишается значительных налоговых поступлений.

Мировой опыт показывает, что успех на рынке защитных текстильных изделий возможен благодаря структурной кооперации предприятий, производящих химические волокна, и предприятий, производящих и реализующих защитные текстильные изделия. Такой вид объединений облегчает обмен научно-технической информацией и способствует успешной разработке и внедрению новых технологий. Для реализации инновационных технологий в России необходима государственная поддержка по вопросам :

- Создания новых малотоннажных высокотехнологичных производств химических волокон нового поколения, в том числе с различными специальными свойствами, в том числе на текстильных предприятиях, в объеме 3-4 тыс. тонн в год.
- Разработке конкретных механизмов схем взаимодействия и согласования интересов предприятий производителей, переработчиков волокон и торговли защитными изделиями, а также независимой оценки предлагаемых предприятиями схем и обеспечения их равно выгодности для всех участников.
- Согласования цепочки взаимодействия с целью уменьшения необходимых денежных объемов для производства и реализации инновационной продукции с расчетом по их реализации. Согласованное движение позволяет обеспечить более низкие цены, соблюдение технических требований по ассортименту изделий, конкурентоспособность на рынке и обеспечить диверсификацию продукции при высокой занятости мощностей производств.
- Стимулирования рынка текстильных изделий с защитными свойствами за счет увеличения госзакупок таких изделий для ведомственных структур.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцева Т.Н. Приоритеты развития комплекса по производству и переработке полиэфирных волокон в России // Директор, 2003г., № 5.
2. Кудрявцева Т.Н. Создание технологии производства и организация выпуска огнебиозлектрозащитных текстильных изделий личного и специального назначения на основе полиэфирных волокон нового поколения // Директор, 2003, № 4.
3. Кудрявцева Т.Н.. Текстиль и микробиология. Безопасность среды обитания. // Экология и промышленность России, 2002 г., № 9.

4. Патент № 2439221 Текстильный волокнистый материал с биозащитными свойствами / Т.Н Кудрявцева, В.А Грищенкова, Л.С Пинчук., В.А. Гольдаде. МПК D 03 D 25/00. Оpubл. 2012.
5. Пинчук Л.С., Гольдаде В.А. Крейзинг в технологии полиэфирных волокон. – Минск: Беларуская наука, 2014.-177с.

УДК 677.494.745.32

## УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА С ДОБАВКАМИ НАНОВОЛОКОН ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

### CARBON FIBERS BASED ON POLYACRYLONITRILE CONTAINING NANOFIBERS OF ALUMINUM OXIDE

И.Ю. Скворцов<sup>1</sup>, А.К. Беркович<sup>2</sup>, И.С. Макаров<sup>1</sup>, И.В. Парашутин<sup>2</sup>, В.Г. Куличихин<sup>1</sup>  
I.Yu. Skvortsov<sup>1</sup>, A.K. Berkovich<sup>2</sup>, I.S. Makarov<sup>1</sup>, I.V. Parashutin<sup>2</sup>, V.G. Kulichikhin<sup>1</sup>

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (Москва)  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
A.V.Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis RAS (Moscow)  
Moscow State University  
E-mail: Amber5@yandex.ru

Впервые получены композиционные волокна на основе полиакрилонитрила с добавлением нановолокон оксида алюминия (Нафен). Разработана методика получения стабильных суспензий Нафена в растворителе и в прядильном растворе ПАН, подтвержденные морфологическими данными. Из растворов были впервые сформованы композиционные волокна. Исследованы механические и термофизические свойства полученных волокон.

**Ключевые слова:** полиакрилонитрил, композитные волокна, Нафен,

Novel composite fibers based on polyacrylonitrile and aluminum oxide nanofibers (Nafen) were obtained. A new method for the preparation of stable suspensions of Nafen in a solvent and in the spinning solution of PAN in DMSO was developed, supported by morphological data. From these solutions the first composite fibers were spun. The mechanical and thermo-physical properties of the fibers were estimated.

**Keywords:** Polyacrylonitrile, composite fibers, Nafen.

Введение.

Углеродные волокна (УВ) на основе полиакрилонитрила обладают высокими показателями прочности и модуля упругости, что объясняется определенным набором молекулярных характеристик, химическим составом исходного ПАН, как правило, сухомокрым способом формования с достижением высокой степени ориентации кристаллитов, особенностями надмолекулярной структуры и правильным проведением процессов термоокислительной стабилизации и карбонизации волокон. До сих пор в РФ не удалось успешно реализовать все вышеприведенные требования, и прочностные характеристики лучших углеродных волокон находятся на уровне 3.5-4.0 ГПа, в то время как японская фирма Toray декларирует о значениях прочности углеродных волокон из ПАН прекурсоров выше 7-8 ГПа [1].

Одним из путей решения проблемы получения волокна с требуемыми механическими характеристиками, является использование различных высокодисперсных добавок, обладающих высокой площадью поверхности, влияющих на структуру и свойства как белых, так и черных волокон [2]. Наиболее популярной добавкой являются углеродные нанотрубки, позволяющие существенно снизить тепловые эффекты окисления ПАН и несколько повысить механические характеристики волокон при условии достижения их преимущественной ориентации вдоль оси волокна [3-5].

Альтернативой углеродным нанотрубкам и нановолокнам могут рассматривать нановолокна оксида алюминия (торговое название Nafen (Нафен) [6], представляющие собой термостабильные до 1200°C фибриллы диаметром 10-15 нм и средней длиной порядка 500 нм со значениями прочности единичного кристалла, достигающими 12 ГПа, и модулем упругости выше 400 ГПа. Форм-фактор нановолокон Нафена позволяет надеяться на существенную модификацию свойств волокон ПАН и термическое поведение при условии высокой степени ориентации нановолокон  $Al_2O_3$  в матрице ПАН волокна.

Вышеописанные эффекты могут проявляться лишь в хорошо диспергированных системах, отсюда основной целью работы на данном этапе являлось получение стабильных дисперсий  $Al_2O_3$  в растворах ПАН в диметилсульфоксиде, отработка режима традиционного формования белых волокон - прекурсоров УВ и исследование их термического поведения на стадии термоокисления и механических свойств.

#### Экспериментальная часть.

В качестве базового полимера использовали тройной сополимер ПАН состава: 96% акрилонитрила, 2% метилакрилата, 2% акриловой кислоты с широким ММР ( $M_w = 103$  кДа,  $M_n = 36$  кДа). Сополимер ПАН синтезировали в среде сверхкритического  $CO_2$  [7]. В качестве растворителя использовали диметилсульфоксид (ДМСО).

Диспергирование Нафена в ДМСО проводили на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-А с частотой 22 кГц сеансами по 1 минуты общей продолжительностью обработки 15 мин. Затем в растворитель, содержащий Нафен порциями вводили порошок ПАН при непрерывной соникации. Концентрация полимера в прядильном растворе была выбрана равной 15%, а концентрация Нафена (на ПАН) была выбрана на основании данных ранее проведенных работ, согласно которым она не должна превышать 1% [8-10].

Осадительную ванну для мокрого формования готовили на основе ДМСО с добавлением 15% дистиллированной воды. Волокна получали на лабораторном стенде в мягкую осадительную ванну с использованием фильеры с 80 отверстиями диаметром 100 мкм. Дисперсность композиционных растворителя и раствора, а также морфологические особенности сформованных волокон исследовали с помощью поляризационного микроскопа на БИОМЕД-6ПО, Россия.

Термическое поведение волокон изучали на приборе для синхронного термического анализа "Netzsch STA 499 C Jupiter". Атмосфера воздух/аргон. Линейный нагрев со скоростью 10 град/мин до температуры 1500°C.

Механические характеристики волокон определяли на разрывной машине "Instron 1122" при скорости растяжения 10 мм/мин.

#### Результаты и их обсуждение.

Дисперсии нанокристаллов Нафена в маточном растворе ПАН в ДМСО (концентрация 1%) представляют собой прозрачные опалесцирующие смеси с небольшим содержанием видимых в оптический микроскоп включений диаметром менее 1 мкм, длиной 3-10 мкм. На их основе были приготовлены серии растворов для формования с варьируемой концентрацией добавки. На рисунке 1 показана фотография 15%-ного раствора ПАН с добавлением 1% диспергированного Нафена.

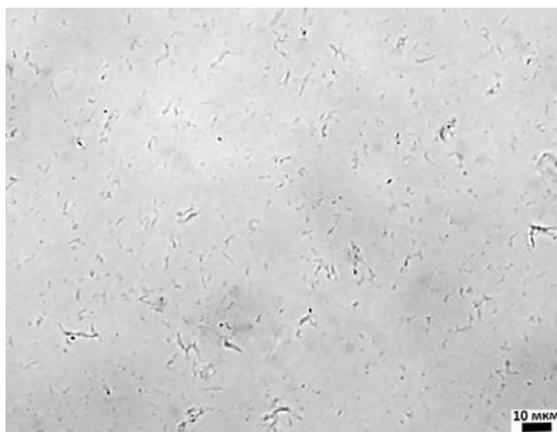


Рис. 1. Фотография раствора ПАН с добавлением Нафена

На рисунке 2 представлены фотографии полученных волокон различного состава на просвет в проходящем обычном (I) и поляризованном (II) свете.

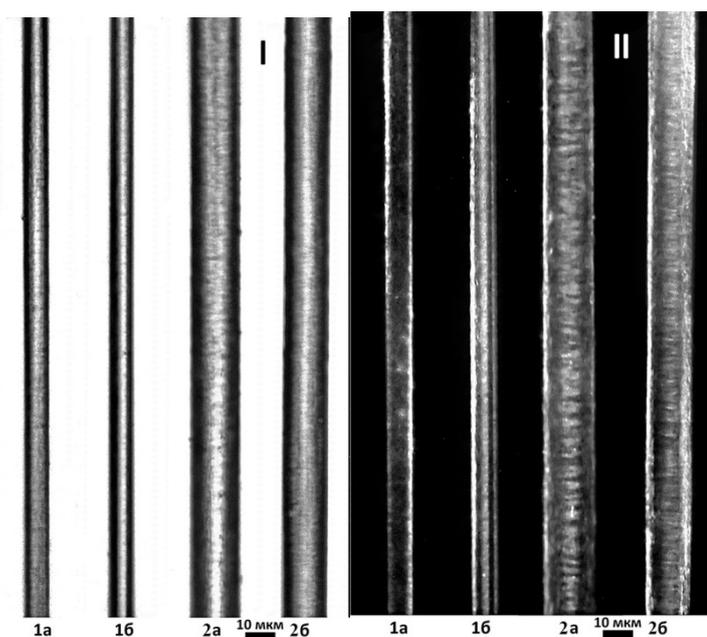


Рис 2. Фотографии сформованных ПАН волокон в проходящем обычном (I) и поляризованном (II) свете. 1а и 1б – волокна на основе ПАН, 2а и 2б – волокна на основе ПАН с добавлением 1% Нафена

Из рисунка 2 видно, что при введении 1% Нафена наблюдается изменение структуры поверхности и существенное повышение диаметра волокон. Последнее связано с тем, что для композитных волокон не удалось добиться таких же высоких значений фильерной и ориентационной вытяжки, как для гомогенных растворов ПАН в ДМСО.

Механические свойства полученных ПАН и композитных волокон представлены в таблице 1. Видно, что введение в ПАН матрицу 1% Нафена практически не оказывает влияния на механические свойства. При этом снижается кратность вытяжки и соответственно возрастает средняя толщина монофиламентов.

Таблица 1

Результаты испытаний ПАН волокон разного состава и условий формования. 1 – ПАН, 2 – ПАН с добавлением 1% Нафена

	Прочность, МПа	Модуль упругости, ГПа	Разрывное удлинение, %	Средняя толщина монофиламента, мкм	Кратность вытяжки при формовании
1	463	6.3	20	8	16
2	416	6.9	24	15	~12

Незначительное изменение механических характеристик композиционных волокон, по-видимому, обусловлено недостаточной степенью дезагрегации Нафена в полимерной матрице, по этой же причине не удавалось достигнуть требуемых кратностей вытяжки на лабораторном стенде.

На рис. 3 представлены термограммы и ТГ образцов ПАН волокна и ПАН волокна с добавлением 1% Нафена в процессе термоокислительной стабилизации в воздушной атмосфере. Видно, что области температур, характерной для циклизации ПАН, наблюдается двукратное снижение суммарного теплового эффекта и его сглаживание. При этом изменяется и термогравиметрия, что свидетельствует о существенной роли, оказываемой Нафеном в ходе термолиза. Не исключено даже химическое взаимодействие между оксидом алюминия и ПАН.

Таким образом, добавление Нафена в матрицу ПАН волокна позволяет проводить термоокислительную стабилизацию в более мягких условиях.

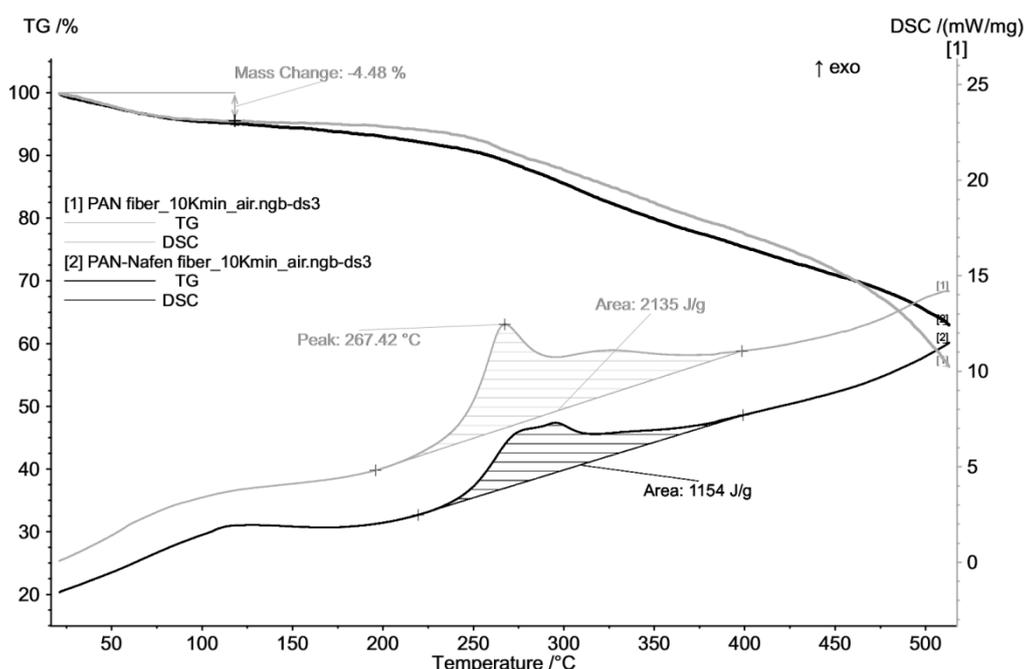


Рис 2. Данные ДСК и ТГА для 1– ПАН волокна, 2 – волокна ПАН с добавлением 1% Нафена

В ходе работы были выявлены следующие закономерности процесса получения данных композитов:

- диспергирование кристаллов Нафена ультразвуком в растворителе ПАН позволяет получить стабильную суспензию с агрегатами кристаллов Нафена длиной до 10 мкм и диаметром до 1 мкм;

- введение в ПАН 1% оксида алюминия оказывает существенное влияние на термическое поведение, позволяя проводить термоокислительную стабилизацию в более мягких условиях;

- не было отмечено снижения механических свойств белых волокон, несмотря на меньшую кратность вытяжки и в вдвое больший диаметр моноволокон с оксидом алюминия. Более того, модуль упругости вырос на 10%, что может объясняться влиянием жестких ориентированных нановолокон алюминия.

Полученные результаты дают возможность рассматривать Нафен как новую перспективную добавку, при этом дальнейшие исследования будут направлены на приготовление стабильных дисперсий моноволокон оксида алюминия, и получение новых прекурсорных и углеродных волокон.

*Авторы благодарят РФФИ (грант 14-03-00538) за частичную финансовую поддержку работы.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Kafía, M. Husonb, C. Creightona, J. Khooc, L. Mazzolae, T. Gengenbachf, F. Jonesd, B. Fоха Effect of surface functionality of PAN-based carbon fibres on the mechanical performance of carbon/epoxy composites. Composites Science and Technology 2014 94:89–95
2. F.R. Jones, A review of interphase formation and design in fiber reinforced composites. J Adhes Sci Technol 2010;24(1):171–202
3. V.G. Kulichikhin, S.O. Ilyin, M.V. Mironova, A.K. Berkovich, I. E. Nifant'ev, A.V.Shlyahin, A.Ya. Malkin, From polyacrylonitrile, its solutions, and filaments to carbon fibers. 1. The study of basic polymers and their solutions in DMSO, in press
4. V.G. Kulichikhin, I.Yu. Skvortsov, A.N. Ozerin, T.C. Kurkin, A.K. Berkovich, A.Ya. Malkin, From polyacrylonitrile, its solutions, and filaments to carbon fibers. II. Spinning PAN-precursor, in press
5. E.A. Karpushkin, A.K. Berkovich, M.V. Artemov, V.G. Sergeev, Rheological Properties of Polyacrylonitrile Solutions Containing Highly Dispersed Carbon Nanotubes. Polymer Science - Series A 2014; 56(5):681-686
6. [www.nafen.eu](http://www.nafen.eu)
7. Shlyahin A.V., Nifant'ev I.E., Bagrov V.V., Lemenovskii D.A., Tavgorkin A.N., Timashev P.S. // Green Chem. 2014. № 16. P. 1344.
8. И.Ю. Скворцов, Л.Б. Кандырин, П.В. Суриков, В.Н. Кулезнев. Получение композитов на основе эпоксидных связующих, модифицированных малыми концентрациями углеродных нанотрубок и исследование их физико-механических свойств. / Вестник МИТХТ. – 2010. – Т. 5, № 3. – С. 108-109.
9. Каблов Е. Н. Механизм наноструктурирования полимерных матриц, легированных углеродными нанотрубками. / Е. Н. Каблов [и др.] : Москва, Наноматериалы: Сб. докл. Харьковской нанотехнол. ассамблеи-2008, Харьков, Украина, 26 - 30 мая 2008. Т.2. – 170 с.
10. И.В. Золотухин, Ю.Е. Калинин, О.В. Стогней Новые направления физического материаловедения. / Издательство Воронежского государственного университета, 2000. – 360 с.

## ОЦЕНКА СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ БИМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛЬНОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

### ESTIMATE OF ADSORPTION PROPERTIES OF BIOMODIFIED FLAX FIBER MATERIALS

С.В. Алеева, С.А. Кокшаров  
S.V. Aleeva, S.A. Koksharov

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)  
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the RAS (Ivanovo)  
E-mail: sva@isc-ras.ru, ksa@isc-ras.ru

В статье обсуждаются результаты анализа равновесного поглощения молекулярных маркеров (йод, метиленовый голубой, альбумин, ионы меди) для вариантов биомодифицирующего воздействия на полимерную систему связующих веществ комплексного льняного волокна или на структуру элементарных волокон. Предложены зависимости для дифференцирования вклада физической и химической адсорбции при связывании белка и ионов металлов с учетом изменения пористости сорбента и структурного высвобождения пектиновых веществ.

**Ключевые слова:** льняные волокнистые материалы, ферментная обработка, поровая структура, удельная поверхность, адсорбционная емкость.

The results of the analysis for equilibrium absorption of the molecular markers (iodine, methylene blue, albumin, copper ions) by flax fiber after biomodification of pectin components or the structure of the elementary fibers having been discussed in the article. The dependences for differentiate of role of physical and chemical adsorption when the protein bind the metal ions and into account the changes of the porosity in the sorbent and structural pectin liberated have been proposed.

**Keywords:** flax fiber materials, enzymatic treatment, pore structure, specific surface, adsorption capacity.

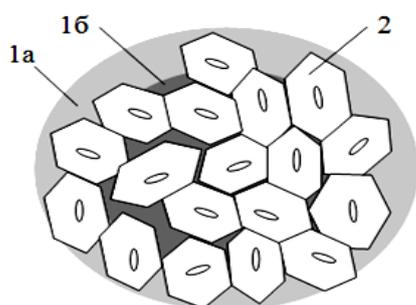
Льноволокнистые материалы отличаются многоуровневой организацией строения элементарных и комплексных волокон и распределения в их структуре различных полимерных компонентов. Это обуславливает целесообразность и технологические преимущества использования селективных биокаталитических способов изменения их строения как при получении лубоволокнистого сырья [1], так и для достижения уникального сочетания технологических и потребительских свойств текстильной продукции [2]. Одно из развиваемых нами прорывных направлений использования ферментативного катализа при модифицировании биополимерных систем состоит в реализации приемов пространственно локализованного действия белковых катализаторов в разных структурных зонах обрабатываемого субстрата. Регулирующим фактором является размер глобулы ферментов, величина которого для изоформ биокатализаторов, продуцируемых различными микроорганизмами, варьирует от 3...7 до 50...100 нм, что служит дополнительным критерием при подборе состава биопрепарата с учетом стерических ограничений зоны его действия в структуре биополимерного материала.

Для обоснования эффективных методов регулирования сорбционной способности льноматериалов необходимо определить структурный уровень пространственно локализованного действия ферментов-деполимераз для развития поровой системы материала. При этом важно учитывать способность полимерных компонентов льноволокна, прежде всего, пектиновых веществ к проявлению хемосорбционных взаимодействий.

Рис. 1 иллюстрирует используемый прием регулирования структурной зоны действия целлюлолитического препарата В200 mix 3В при реализации двух вариантов проведения биообработки льняного чесаного волокна:

- *вариант 1* предполагает непосредственное воздействие биопрепарата на прядки чесаного волокна; объектом деструкции являются слой инкрустов на поверхности лубяных пучков и межклеточные образования связующих веществ в структуре комплексного волокна, которые покрывают элементарные волокна и защищают их от действия биокатализатора;

Объекты воздействия при обработке по варианту 1 по варианту 2



1а – инкрусты;  
1б – межклеточные связующие;  
2 – элементарные волокна

Рис. 1. Схема поперечного сечения модифицируемого комплексного льняного

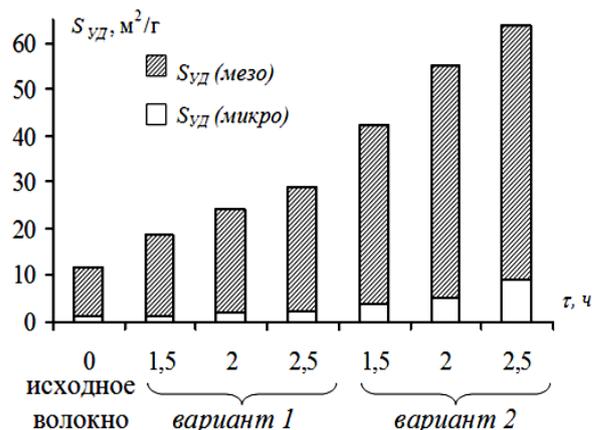


Рис. 2. Развитие поровой структуры волокнистого материала при разной

- *вариант 2* включает поперечное разрушение (резку) прядок чесаного волокна перед проведением биообработки; преимущественным объектом воздействия ферментов является фибриллярная структура элементарных волокон, вскрытые торцы которых составляют около 90 % площади среза лубяных пучков (миноритарное действие биокатализатора в зонах межклеточных связующих веществ льняных комплексов не исключается).

На рис. 2 представлены результаты оценки изменения пористости материалов с применением стандартных методов сорбции молекулярных маркеров для определения общего значения площади внутренней удельной поверхности  $S_{уд} (общ)$  (сорбция йода ГОСТ 6217-74) и доли мезопоровых пространств  $S_{уд} (мезо)$  (сорбция метиленового голубого ГОСТ 13144-79), по разности которых определяется составляющая субмикроскопических пор  $S_{уд} (микро)$ :

$$S_{уд} (субм) = S_{уд} (общ) - S_{уд} (мезо).$$

Полученные результаты подтверждают, что наблюдаемое для *варианта 1* увеличение величины общей удельной поверхности в 1,5...2,5 раза обусловлено, главным образом, развитием мезопоровых пространств. В этом случае основным объектом проявления каталитической активности биопрепарата являются гемицеллюлозные соединения в составе углеводно-белкового комплекса связующих веществ в структуре льняных пучков, поскольку эндоглюканаза, являющаяся основным компонентом применяемого биопрепарата, как известно, обладает субстратной специфичностью не только к линейным макромолекулам целлюлозы, но и к разветвленным полимерам галактана, маннана и  $\beta$ -глюканов. По данным [3] на эти виды полисахаридов приходится 72 масс.% межклеточных связующих веществ в лубяной части льняного стебля.

*Вариант 2* имеет принципиальное отличие в возможностях протекания биокатализируемых превращений в волокнистом материале, поскольку обеспечивается доступность фибриллярной структуры элементарных волокон для проникновения целлюлолитических ферментов. Их деполимеризующее действие не только обуславливает 5-кратное возрастание величины  $S_{уд} (мезо)$ , но также сопровождается нарушением межцепных взаимодействий между макромолекулами волокнообразующих полимеров, что выражается в 9-кратном увеличении значения удельной поверхности субмикроскопических пор.

Характеристика изменений внутренней структуры волокнистых материалов дополнена представленными в табл. 1 значениями суммарного объема пор ( $V_{\Pi}$ ), определенного по данным равновесной сорбции воды. Более существенное вскрытие внутренней структуры в случае *варианта 2* можно сравнить с эффектом раскрывающегося веера, когда малые изменения на внутрифибриллярном уровне сопровождаются существенной подвижкой в периферийных слоях полимерного окружения элементарных волокон. В результате величина  $V_{\Pi}$  в 1,75 раза выше значений показателя для соответствующих временных точек обработки по *варианту 1*.

Таблица 1

Результаты исследования изменений суммарного объема пор, доступности пектиновых веществ лубоволокнистых материалов и адсорбционной емкости субстратов по белку ( $A_B$ ) и меди ( $A_{Cu}$ )

Исследуемый образец ( <i>вариант обработки</i> )	Время биообработки, $\tau$ , ч	$V_{\Pi}$ , $\frac{см^3}{г}$	$G_{\Pi B}$ , мг/г	$A_B$ , мг/г	$A_{Cu}$ , мг/г
льняное волокно	0	0,07	2,24	18	6,8
<i>вариант 1</i>	1,5	0,09	2,58	22	8,2
	2,0	0,11	2,81	25	8,7
	2,5	0,12	2,91	27	9,5
<i>вариант 2</i>	1,5	0,15	2,74	29	8,9
	2,0	0,18	3,05	35	9,8
	2,5	0,20	3,27	38	11,3

Это находит закономерное отражение в повышении характеристики структурного высвобождения пектиновых веществ ( $G_{\Pi B}$ ), оцениваемого по количеству экстрагируемого полимера в раствор щавелевой кислоты. Как видно из представленных в табл. 1 данных, несмотря на то, что в случае *варианта 2* действие ферментов в меньшей степени направлено на разрушение полимерного окружения пектиновых веществ в межклеточных образованиях, увеличение их доступности для реагентов (в частности, для экстрагирующей жидкости) повышается в 1,5 раза более существенно, чем после модификации по *варианту 1*.

Изменение сорбционной активности субстратов оценено по отношению к модельным белковым соединениям (сывороточный альбумин с молекулярной массой 66000) и ионам тяжелых металлов (поглощение ионов  $Cu(II)$  из раствора  $CuSO_4$ ). На базе полученных данных предпринята попытка дифференцирования вклада механизмов физической и химической адсорбции в совокупный результат поглощения модельных веществ. Математическая обработка результатов проведена методом регрессионного анализа. Зависимости, которые позволяют с высокой степенью аппроксимации описать закономерности в изменении адсорбционной емкости сравниваемых субстратов, имеют следующий вид:

$$A_B = 0,0805 + 4,1816 \cdot G_{\Pi B} + 122,07 \cdot V_{\Pi}, R = 0,9877 ;$$

$$A_{Cu} = -0,0211 + 3,1169 \cdot G_{\Pi B} + 3,1069 \cdot V_{\Pi}, R = 0,9852 .$$

Сравнительный анализ приреченных множителей демонстрирует, что в обоих уравнениях вклад «пектинового компонента» имеет одинаковый порядок, в то время как весомость структурного фактора различается более чем в 40 раз. Логично предположить, что это обусловлено различием структурных составляющих свободного объема, оказывающих непосредственное влияние на протекание адсорбционного процесса с участием соответствующего вида сорбируемого вещества. В случае адсорбции белкового маркера принципиальное значение имеет наличие мезопор с крупными размерами, что способствует более рациональной ориентации полипептидных молекул, сорбированных пектиновыми

веществами, с меньшим блокированием реакционно способных карбоксильных группировок в соседних галактуронатных звеньях полиуронидной цепи. При этом вероятность участия субмикроскопических поровых пространств в процессах сорбции молекул белка довольно низкая.

В то же время для сорбции ионов металлов присутствие в волокнистом материале мелких пустот является благоприятным фактором, поскольку они выполняют роль эффективных ловушек для частиц малых размеров и их удерживания за счет взаимодействий физической природы. Как следует из данных рис. 2, доля субмикроскопических пор в суммарном внутреннем объеме субстратов невелика, что и получило отражение в малой величине соответствующего множителя во втором уравнении.

С этих позиций предпринята попытка выражения физического фактора с учетом структурных параметров мезо- и субмикроскопических пор, в частности, через показатели площади удельной поверхности данных структурных элементов. Полученные закономерности имеют вид:

$$A_B = 0,0936 + 6,6504 \cdot G_{ПВ} + 0,2928 \cdot S_{уд} (\text{мезо}), R = 0,9944 ;$$

$$A_{Cu} = -0,0724 + 3,027 \cdot G_{ПВ} + 0,1578 \cdot S_{уд} (\text{субм}), R = 0,9951.$$

Как видно, данный вариант отражения взаимосвязи параметров повышает степень корреляции между экспериментальными данными. Свободные члены уравнений имеют пренебрежимо малые значения, что позволяет сопоставить вклад химического и физического факторов в адсорбционные характеристики сравниваемых лубоволокнистых материалов. Результаты анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Дифференциация вклада повышения доступности пектиновых веществ и развития элементов поровой структуры субстрата в изменение его адсорбционной емкости по белку и меди

Исследуемый образец (вариант обработки)	Время биообработки, ч	Вклад в величину $A_B$ (мг/г) параметров		Вклад в величину $A_{Cu}$ (мг/г) параметров	
		$G_{ПВ}$	$S_{уд} (\text{мезо})$	$G_{ПВ}$	$S_{уд} (\text{субм})$
льняное волокно	0	14,8	3,2	6,6	0,2
вариант 1	1,5	17,1	5,1	7,8	0,4
	2,0	18,7	6,5	8,5	0,5
	2,5	19,3	7,7	8,8	0,7
вариант 2	1,5	18,2	11,2	8,3	0,6
	2,0	20,3	14,7	9,0	0,8
	2,5	21,7	16,1	9,9	1,4

Как видно, при связывании ионов металла хоть и наблюдается повышение вклада физической адсорбции с 3 % для исходного материала до 5...7 % и 7...12 % соответственно для образцов, подвергнутых модифицированию по вариантам 1 и 2, но доминирующую роль играет химическая составляющая взаимодействий. Причем, вследствие высокой проникающей способности частиц  $Cu(II)$  при заполнении раствором поровых пространств субстрата, величина прироста сорбционной емкости мало зависит от технологического варианта модифицирующего воздействия.

Для сорбции белковых веществ исходным материалом определяющее значение имеет присутствие в структуре волокна химически активного соединения, способного извлекать полипептиды из внешнего раствора и удерживать их в структуре материала, предупреждая обратную десорбцию. Создание минимально необходимых условий для проникновения белковых молекул в структуру субстрата и их взаимодействия с полиуронидами обеспечивается наличием в материале аморфных областей с порами достаточно крупных размеров, дополнительно увеличивающимися при набухании. Однако вклад структурного

фактора составляет немногим более 17 %. Модификация материала *по варианту 1* способствует увеличению возможностей пектиновых веществ связывать белковые соединения, проникающие в структуру материала, но мало влияет на способность белка внедряться в структуру материала.

Модификация *по варианту 2* обеспечивает повышение весомости физического фактора для хемосорбционного поглощения белкового маркера. При этом вклад развития мезопоровой системы в величину сорбционной емкости биомодифицированного субстрата в этом случае в 2 раза превышает роль фактора для образцов, обработанных *по варианту 1*.

Таким образом, в ходе исследований установлено, что определяющим фактором в проявлении сорбционных свойств льняными материалами является его хемосорбционная способность. Вместе с тем целенаправленное воздействие белковых катализаторов на определенные структурные области льняного волокна и повышение доступности полимерных компонентов для структурного высвобождения и проявления их химической активности позволяет создать необходимые условия для селективной регулируемой сорбции химических веществ в зависимости от специфики применения сорбента.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований №15-43-03075р\_центр\_а.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшова Т.А., Кудряшов А.Ю., Кокшаров С.А. и др. Влияние условий выращивания льна-долгунца сорта «Алексим» и первичной обработки льнотресты на свойства трепаного волокна // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2008. №2. С. 31-34.
2. Koksharov S.A., Aleeva S.V, Lepilova O.V. Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the process of its preparation for spinning // Autex Research Journal. 2015. Vol. 15. No 3. P. 215-225.
3. Иванов А.Н. Физико-химические основы технологии приготовления льнотресты: дисс. ... докт. техн. наук. – Кострома: 1989. 535 с.

**НОВЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ПРЕПАРАТЫ ТЕЗАГРАН  
И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
С КОМПЛЕКСНЫМИ ЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

**NEW ENVIRONMENTALLY SAFE COMPOUND TEZAGRAN AND MODERN  
TECHNOLOGIES FOR OBTAINING OF TEXTILE MATERIALS WITH COMPLEX  
PROTECTIVE PROPERTIES**

Э.А. Коломейцева<sup>1</sup>, А.П. Морыганов<sup>1</sup>, В.И. Таранов<sup>2</sup>  
E.A. Kolomeytseva<sup>1</sup>, A.P. Moryganov<sup>1</sup>, V.I. Taranov<sup>2</sup>

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)  
ООО «Апотекс» (Иваново)  
G.A. Krestov Institute of solution chemistry of the RAS (Ivanovo)  
Limited Company "Apotex" (Ivanovo)  
E-mail: apotex@bk.ru

Разработаны новые огнезащитные, биоцидные и грязеотталкивающие препараты серии Тезагран для придания необходимых мультифункциональных защитных свойств различным текстильным материалам: тканям, трикотажным полотнам, нетканым материалам из натуральных и синтетических волокон, предназначенных для спецодежды, транспортного машиностроения, строительства. Это позволяет заменить более дорогие и экологически небезопасные импортные препараты и материалы отечественными.

**Ключевые слова:** композиционные составы, термостойкость, огнезащита, биоцидность, нетканые материалы, технические ткани.

New flame retardant, biocidal and dirt-repellent compounds of Tezagran series for giving the necessary multifunctional protective properties to various textile materials - fabrics, knitted and non-woven fabrics made from natural and synthetic fibers intended for clothing, transport engineering and building were developed. This makes it possible to replace more expensive and environmentally dangerous imported products by Russian materials.

**Keywords:** composite compounds, heat resistance, fire protection, biocidal properties, nonwovens, technical textiles.

В результате проведения многоплановых научных исследований ИХР РАН совместно с ООО «Апотекс» была разработана серия экологически безопасных безгалогенных антипиренов Тезагран, придающих тканям, трикотажным полотнам, нетканым материалам из натуральных и синтетических волокон улучшенные свойства огнезащищенности и термостойкости. Достаточно широкое распространение получили антипирены Тезагран-Л и Тезагран-ХЛ. С их применением выпускаются огнезащищенные хлопчатобумажные, льняные и смесовые (хлопок/полиэфир) ткани, предназначенные для изготовления спецодежды в металлургической и химической отраслях (см. табл.1). Преимущества предлагаемых антипиренов заключаются в высоких свойствах огнезащиты при сохранении прочностных показателей тканей в условиях отделки. Эти препараты могут заменить импортные антипирены фирмы «Thog» (Германия) и других производителей.

При этом, если наиболее часто используемые в настоящее время для изготовления спецодежды льносодержащие ткани, обработанные смесью диаммонийфосфата и мочевины, препаратом Рукофлам НРК (Германия) или препаратом Флован CGN (Швейцария), не обладают устойчивостью к любым водным обработкам (даже к атмосферным осадкам), то отделка препаратом Тезагран обеспечивает определенную устойчивость эффекта огнезащищенности к воздействию влаги (промывка холодной и теплой водой, легкая стирка).

Таблица 1

Эффективность огнезащитной отделки тканей различного волокнистого состава с использованием антипиренов Тезагран

Текстильный материал	Высота обугленного участка, мм. ( $\tau=30$ с)	Устойчивость к прожиганию, с.	Кислородный индекс, %
Полульняная ткань парусина, поверх.плот. 450 г/м <sup>2</sup>	17	245	44
Хлопчатобумажная ткань саржа, поверх. плот. 270 г/м <sup>2</sup>	25	60	39
Хлопчатобумажная ткань авизент, поверх. плот. 400 г/м <sup>2</sup>	32	75	41
Хлопкополиэфирная ткань декоративная гобеленовая, ПЭФ-30% поверх. плот. 350 г/м <sup>2</sup>	23	58	37
Хлопкополиэфирная ткань (35% ПЭФ), 320 г/м <sup>2</sup>	37	-	36
НОРМАТИВ	Не более 150 мм.	Для льносодержащих тканей - не менее -50 с	Не менее 28

Впервые были получены х/б ткани (саржа, гобеленовые) с показателями стойкости к прожиганию при температуре 8000С на уровне 50-70 с; при обработке другими (в т.ч. импортными) антипиренами стойкость к прожиганию не превышает 10-15 с. Ткани, обработанные препаратом Тезагран, способны выдерживать многократные химчистки.

В последнее время значительно расширена область применения новых модификаций препаратов Тезагран, а также текстильных материалов, выпускаемых с их использованием. Разработаны композиционные многофункциональные составы с включением интумесцентных добавок и нанокатализаторов направленного действия для придания комплекса защитных свойств текстильным материалам, определены основные технологические параметры ресурсосберегающих одностадийных процессов спецотделки. Техническим тканям, нетканым материалам придаются высокие свойства огнебиозащищенности, а также огне-биозащищенности в комплексе с маслогрязеотталкиванием. Применяются такие материалы в транспортном машиностроении: автомобилестроение, судостроение и ж/д транспорте в качестве огнезащитающих и огнебиозащищенных термостойких прокладок в конструкциях кресел, полок, потолка пассажирских вагонов, в фильтрующих элементах систем кондиционирования на транспорте и в пожароопасных производствах.

ООО «Апотекс» производится трудногорючий хлопкополиэфирный тик и композитный льнополиэфирный нетканый материал с огнебиозащитными свойствами, которые могут использоваться для изготовления трудногорючих чехлов на матрасы и мягкую мебель. При этом готовые изделия (кровати, сиденья и т.д.) приобретают свойства огнезащищенности, что чрезвычайно важно для обеспечения пожарной безопасности при использовании на транспорте, в больницах, детских учреждениях и т.д.

Большое внимание нами уделяется разработкам по получению трудногорючего полиэфирного волокна и текстильных материалов на его основе. Получены технические полиэфирные ткани, а также нетканые материалы различной структуры и поверхностной плотности с достаточно высокими показателями огнезащищенности (см. табл.2). Кислородный индекс материалов, обработанных антипиреном Тезагран-П, достигает 34-35 %

(норматив не менее 28 %); при этом обеспечивается уменьшенное дымовыделение, отсутствие экологически опасных газообразных продуктов в процессе пиролиза.

Таблица 2

Эффективность огне- и огнебиозащитной обработки текстильных материалов, содержащих ПЭФ волокно, препаратами Тезагран-Био и Тезагран-У

Наименование текстильного материала	Показатели огнебиозащищенности				
	Потери массы при горении%	Высота обугленного участка, мм	Кислородный индекс, %	Коэффициент дымовыделения, м <sup>2</sup> /кг	Коэффициент биоустойчивости, %
Ткань ПЭФ-100% пов. пл. 120 г/м <sup>2</sup>	18,3	36	31,0	141	-
Ткань ПЭФ-100% пов. пл. 580 г/м <sup>2</sup>	8,4	28	33,7	156	97
Композит лен-80%, ПЭФ-20%, микропленка-синергетик пов. пл. 500 г/м <sup>2</sup>	8,5	30	36	125	96
Нетканый материал ПЭФ-50%, ВЛ-50% пов. пл. 430 г/м <sup>2</sup>	9,0	32	34,3	170	95
Нетканый материал ПЭФ-100% пов. пл. 430 г/м <sup>2</sup>	14	35	32,7	168	-
Норматив	Не более 20 (Г1)	-	Не менее 28	Не более 500	Не менее 85

Огнезащищенные полиэфирные ткани рекомендуется использовать в качестве основы для нанесения поливинилхлоридного покрытия при изготовлении винилискожи, а также как основу при изготовлении конвейерных транспортерных лент в пожароопасных производствах.

В настоящее время большую актуальность приобретает проблема изготовления огнебиозащищенных утеплителей на основе натуральных волокнистых материалов. Для придания таких свойств утеплителям из льноволокна используется смесь бората натрия и ортоборной кислоты, производимых за границей (в частности, в Турции).

В условиях Института химии растворов РАН совместно с ООО «Фабрика нетканых материалов «Весь мир» (г. Подольск) проводились испытания и оценка свойств огнебиозащищенного волокна, обработанного оптимизированным составом препарата Тезагран-Био в сравнении со свойствами волокон, обработанных составом, включающим борат натрия и ортоборную кислоту. Обработка проводилась по маломодульной технологии аэрозольным способом. Результаты представлены в табл.3.

Показатели волокон, используемых при изготовлении льняного утеплителя, обработанных препаратом Тезагран-Био-Н, превышают соответствующие показатели волокон, обработанных антипиреном сравнения.

Таблица 3

Основные показатели свойств огнебиозащищенного льноволокна, обработанного препаратом Тезагран-Био-Н аэрозольным способом

Показатели свойств волокна	Льноволокно	Льноволокно с добавлением полиэфирного волокна	Образец сравнения - волокно, обработанное смесью буры и борной кислоты*
Кислородный индекс, %	31,5	30,7	27,5
Степень повреждения образца по массе, %	12,8	11,5	19,7
Коэффициент дымообразования (Dm) м <sup>2</sup> /г	131,70	135,0	296,0
Коэффициент биоустойчивости, %	92	93	93

\*) – в случае использования этой смеси снижаются прочностные показатели льняного волокна.

Таким образом, антипирены Тезагран и многофункциональные композиционные составы на их основе позволяют придавать текстильным материалам различного волокнистого состава и структуры высокие защитные свойства, повышающие безопасность жизнедеятельности общества.

Разработанные препараты сертифицированы, защищены патентами РФ и выпускаются ООО «Апотекс»; производство осуществляется на основе отечественного сырья.

**СТРУКТУРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИЭФИРНОГО ВОЛОКНА  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**THE STRUCTURAL MODIFICATION OF POLYESTER FIBER FOR CREATING  
THE COMPOSITE REINFORCEMENT MATERIALS**

С.А. Кокшаров<sup>1</sup>, Н.Л. Корнилова<sup>2</sup>, О.В. Радченко<sup>2</sup>  
S.A. Koksharov<sup>1</sup>, N.L. Kornilova<sup>2</sup>, O.V. Radchenko<sup>2</sup>

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)  
Ивановский государственный политехнический университет  
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences (Ivanovo)  
Ivanovo State Polytechnical University  
E-mail: ksa@isc-ras.ru; nkorn@mail.ru

Развит подход к получению полимерно-волокнистых композиционных материалов с разветвленным строением армирующего межфазного слоя, что позволяет регулируемо повышать жесткость материала в 10-16 раз. Формирование поровой структуры полиэфирного волокна достигается в результате проведения локализованного поверхностного омыления полиэтилентерефталата. Наноразмерные параметры поровых образований в волокне и частиц армирующей полимерной дисперсии оценены с использованием методов газовой адсорбции и динамического светового рассеяния.

Ключевые слова: омыление полиэфирного волокна, композитные материалы, структура межфазного слоя, жесткость.

The article describes a study of effective methods of creating the polymer-fiber composite materials with a comb structure of the interfacial layer. This method allows to increase the stiffness of the material is adjustable in the 10-16 times For this purpose the superficial saponification of the polyester fiber was used to form the localized pore spaces, which were filling with a polymer binder. The pore sizes are estimated using a gas adsorption method and a dynamic light scattering method.

Keywords: saponification of polyester fiber; composite materials, the structure of the interfacial layer, stiffness.

Согласно классическим признакам систематизации композитов конструкционного назначения в группе полимерно-волокнистых материалов функции компонента, определяющего механические свойства системы, выполняет волокнистый наполнитель, а полимерная матрица обеспечивает перераспределение напряжений и защиту армирующих элементов от повреждений. Вместе с тем современные представления о структуре композитов предполагают, что макросвойства системы во многом определяются состоянием межфазного слоя, специфическая организация которого может быть достигнута с применением методов наномасштабного молекулярного дизайна. Одно из направлений базируется на развитии приемов синтеза полимеров сложной пространственной архитектуры, в частности, молекулярных щеток и гребнеобразных полимеров [1,2]. Строение таких соединений характеризуется ковалентным присоединением к основной цепи многочисленных узкодисперсных боковых радикалов. При этом взаимодействие боковых ответвлений в существенной степени влияет на свойства полимера [3], в десятки раз повышая уровень равновесной жесткости по сравнению с линейным аналогом [4].

Перспективным представляется адаптация данного направления к решению задач дополнительного армирования полимерно-волокнистых материалов за счет создания развитой трехмерной структуры межфазного слоя путем синтеза полимерного связующего в форме молекулярных щеток, пронизывающих поровые пространства текстильного носителя. Реализуемость подхода показана [5] на примере модифицирования хлопко- или вискозосодержащих полотен для получения формообразующих деталей швейных изделий с регулируемыми упруго-деформационными свойствами. Проникновение армирующей

полимерной дисперсии в мезопоровые пространства целлюлозного волокна, позволяет повысить уровень жесткости композита в 2...2,5 раза. Использование ультрадиспергированных форм армирующего препарата с размером частиц менее 3,5 нм создает условия для заполнения субмикроскопических пор, что дает увеличение показателя жесткости материалов в 6...8 раз.

Для распространения развиваемых подходов в сферу получения полимерно-волоконистых композитов технического назначения [6], включая геотекстиль, слоисто-каркасные конструкционные материалы и т.п., необходимо учитывать, что текстильный компонент таких материалов выполняется преимущественно из синтетических (например, полиэфирных) волокон, не обладающих системой внутриволоконных поровых пространств. В связи с этим актуальны исследования, направленные на изменение микрорельефа поверхности волокна для проникновения в его структуру армирующей полимерной дисперсии.

В случае полиэфирного волокна с этой целью может быть применен известный метод поверхностного омыления полимера [7], в частности вариант его реализации с введением в систему четвертичного аммониевого соединения, способствующего локализованному протеканию гидролиза с точечным образованием ямок травления [8]. Поскольку имеющиеся литературные данные не позволяют а-приори определить условия обработки для проникновения в его структуру полимерного модификатора, задачи исследования включают поиск рациональной глубины морфологических преобразований поверхности волокна, что обеспечило бы получение требуемых эффектов армирования композиционного материала.

Исследования проведены с использованием полиэфирной ткани арт. 215/1 (ОАО Искож, г. Нефтекамск). Поверхностное омыление осуществляли в кипящем растворе NaOH (0,025...1 моль/л) в присутствии четвертичного аммониевого соединения алкамон ОС-3 (0,3 г/л). Образцы обрабатывали в колбе с обратным холодильником в течение 2...20 мин с последующей промывкой проточной холодной и горячей (80°C) водой до нейтральной реакции по фенолфталеину. В качестве армирующего полимерного компонента применялись выпускная форма препарата Акратам AS 01-М (ОАО «Пигмент» г. Тамбов, Россия) и образец, подвергнутый ультрадиспергированию на лабораторной коллоидной мельнице.

Изменение пористости полиэфирного волокна оценивали методом низкотемпературной адсорбции-десорбции паров азота при 77 К на газовом сорбционном анализаторе NOVA 1200e (ф. Quantachrome Instruments, США). Размер наночастиц ( $r$ , нм) в гидрозоле препарата контролировали методом динамического светового рассеяния на анализаторе Zetasizer Nano ZS (ф. Malvern Instruments Ltd., Англия) с учетом рекомендаций [9] по работе с полидисперсными объектами.

Для оценки эффективности армирующего действия на сопоставляемые образцы тканого полотна методом трафаретной печати наносили варьируемое количество ( $S_{АП}$ , г/м<sup>2</sup>) препарата Акратам AS 01-М в исходной и ультрадиспергированной формах. После сушки на воздухе образцы подвергали последовательным операциям сухого нагрева при 80°C и влажно-термической обработки (пропаривание 2 мин., нагрев до 140°C). Жесткость материала ( $EI$ , мН·см<sup>2</sup>) оценивали консольным методом в соответствии с ГОСТ 10550-93.

Материалы рис. 1 позволяют оценить нарастание показателя  $V_{П}$  в образцах волокна по ходу увеличения диаметра пустот и провести их сопоставление с кривыми удельного вклада отдельных поровых фракций в величину достигаемого приращения внутреннего объема.

Признавая технологическую малозначимость величины показателя  $V_{П}$  для исходного волокна (кр. 1), следует отметить, что свободный объем субстрата преимущественно обеспечивается пустотами с размером более 90 нм, т.е. немногочисленными дефектами и трещинами, образовавшимися в процессе формирования волокна и последующей переработки текстильных материалов. Вместе с тем применяемый метод прецизионной оценки позволяет выделить присутствие полостей с поперечником до 15 нм. Причем наиболее многочисленными

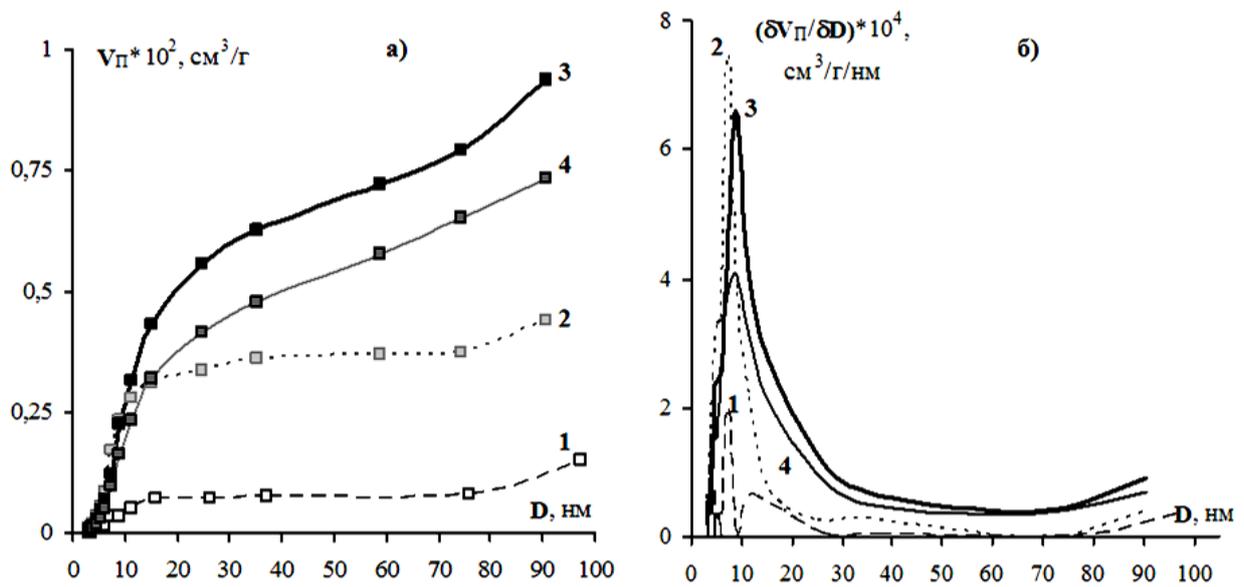


Рис. 1. Вклад поровых фракций в нарастание свободного объема полиэфирного волокна (а) и в величину удельного приращения внутреннего объема (б) для исходного материала (1) и образцов, подвергнутых омылению: 2-  $C_{\text{NaOH}} = 0,25$  моль/л,  $\tau = 10$  мин; 3-  $C_{\text{NaOH}} = 1$  моль/л,  $\tau = 3$  мин; 4-  $C_{\text{NaOH}} = 1$  моль/л,  $\tau = 5$  мин

являются пустоты субмикроскопических размеров 7...8 нм, что определяет максимальное значение удельного показателя пористости, приведенного к величине приращения размерного параметра для соответствующей фракционной группы пор  $\partial V_{\Pi}/\partial D$  (см. рис. 1б).

Вполне вероятно, что наличие этих мельчайших полостей обуславливает сорбцию алкамона ОС-3, выполняющего роль межфазного катализатора-переносчика при протекании гидролиза полиэтилентерефталата. Именно для этой фракции поровых пространств наблюдается наиболее существенной рост в образцах модифицированного волокна. В условиях умеренного щелочного гидролиза (кр. 2) амплитуда пика на дифференциальной кривой возрастает в 3,7 раза. С увеличением концентрации щелочи (кр. 3) амплитуда основного пика снижается, поскольку «ямки травления» разрастаются и пополняют объем пор большего размера. Основной прирост  $V_{\Pi}$  обеспечивается мезопорами с поперечником до 35...40 нм.

На рис. 2 приведены результаты анализа коллоидного состояния гидрозоля для исходной (ИФ) и ультрадиспергированной (УФ) форм препарата Акратам AS 01-М.

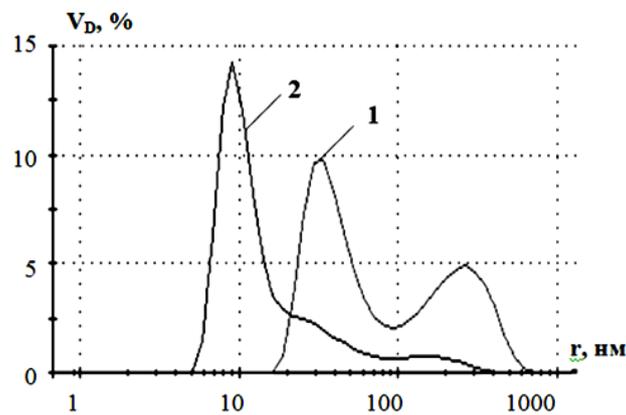


Рис. 2. Распределение относительного объема дисперсной фазы по размеру частиц в препаратах армирующего полимера: 1- ИФ-препарат; 2- УФ-препарат

Анализ кривых фракционного распределения показал, что в ИФ-препарате более 60 %

объема дисперсной фазы ( $V_D$ ) характеризуются значениями размера частиц ( $r$ ) до 100 нм, а доминирующие фракции приходятся на интервал 25...40 нм. Вполне закономерно, что в данном случае интенсивная сорбция препарата наблюдается лишь при формировании пустот соответствующего размера. В гидрозоле УФ-препарата около 40 % объема дисперсной фазы приходится на фракции мельче 10 нм, что определяет возможность эффективного поглощения частиц волокном даже для «умеренных» режимов поверхностного омыления.

Результат избыточной деструкции волокна демонстрирует кр. 4 на рис. 1. Наиболее существенно меняется доля субмикроскопических поровых пространств в связи с их разрастанием. При этом общее «стравливание» поверхности сокращает и мезопоровую составляющую, но менее ощутимо. Логично ожидать, что уменьшение пористости материала проявится в снижении его доступности для обеих форм армирующей полимерной дисперсии, но для УФ-препарата спад будет более ощутимым.

На рис. 3 сопоставлены результаты изменения показателя жесткости композитного материала при варьировании количества наносимой армирующей полимерной дисперсии в исходной и ультрадиспергированной формах на немодифицированное полиэфирное полотно арт. 215/1 (кр.1) и на образцы ткани с предварительным поверхностным омылением волокна в условиях, соответствующих режимам обработки для рис. 1.

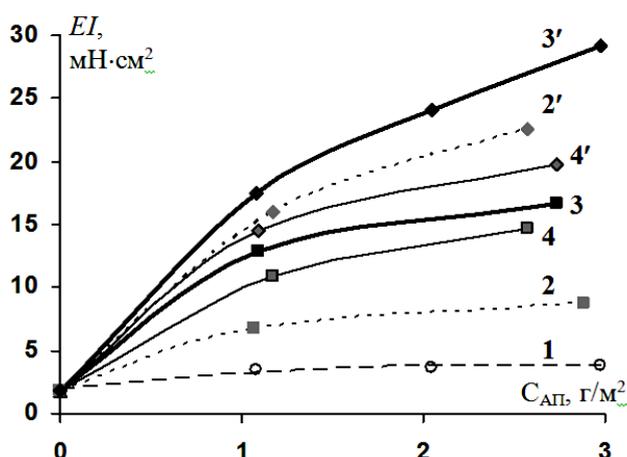


Рис. 3. Изменение жесткости композитных материалов при варьировании нанесения армирующего полимера в исходной (1-4) и ультрадиспергированной форме (2'-4') на полиэфирный текстильный носитель (нумерация режимов поверхностного омыления соответствует обозначениям на рис. 1)

Полученные экспериментальные данные наглядно демонстрируют отсутствие армирующего эффекта для немодифицированной ткани. На этом фоне вполне закономерно, что наилучшим вариантом предварительной активации волокна для обработки исходной формой полимерной дисперсии является режим 3 ( $C_{NaOH} = 1$  моль/л,  $\tau = 3$  мин). Для УФ-препарата поверхностный гидролиз может быть осуществлен и при пониженной (до 0,25 моль/л) концентрации щелочи.

Таким образом, варьирование параметров стадии омыления и количества нанесенной армирующей полимерной дисперсии является эффективным приемом регулируемого повышения жесткости композита. В сопоставимых условиях проведения экспериментов с использованием ИФ-препарата, способного заполнять мезопоровые пространства, обеспечивается прирост показателя EI до 10 раз. При переходе к ультрадиспергированной форме полимерного модификатора, обладающей возможностью проникновения в пустоты субмикроскопических размеров, повышение жесткости материала может достигать 12,7...16,4 раза.

*Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания № 11.1898.2014/К Минобрнауки РФ с использованием научно-исследовательского оборудования Центра коллективного пользования «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платэ Н.А., Шибаяев В.П. Гребнеобразные полимеры и жидкие кристаллы. М.: Химия, 1980. 304 с.
2. Ishizu K., Tsubaki K., Mori A. et al. Architecture of nanostructured polymers // Prog. Polym. Sci. 2003. V. 28. N 1. P. 27-54.
3. Колбина Г.Ф., Кононов А.И., Штенникова И.Н. и др. Влияние молекулярной архитектуры бокового радикала на оптические свойства гребнеобразных полимеров // Высокомолек. соед. С. 2010. Т.52. №7. С. 1314-1317.
4. Филиппов А.П., Беляева Е.В., Красова А.С. и др. Синтез и исследование свойств в растворах привитых блок-сополимеров полиимида и полиметилметакрилата // Высокомолек. соед. А. 2014. Т.56. №1. С. 3-12.
5. Кокшаров С.А., Корнилова Н.Л., Федосов С.В. Получение армированных композиционных материалов с нанопористым текстильным носителем и щеточным строением полимерного межфазного слоя / Росс. хим. ж. 2015. Т. LIX. №3. С. 112-123
6. Корнилова Н.Л., Чистобородов Г.И., Федосов С.В. Будущее отрасли – технический текстиль, функциональные материалы с новыми или улучшенными эксплуатационными свойствами // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти . 2014. № 4 (352) . С. 24-28.
7. Bruce M. Latta Improved Tactile and Sorption Properties of Polyester Fabrics through Caustic Treatment // Text. Res. J. 1984. V. 54. № 11. P. 766-775.
8. Кабаев М.М. и др. Влияние щелочной обработки на строение приповерхностных слоев элементарных нитей из полиэтилентерефталата // Химические волокна. 1988. № 5. С. 52-53.
9. Кокшаров С.А. О применении метода динамического светового рассеяния для оценки размера наночастиц в бикомпонентном гидрозоле // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2015. Т. 58. № 1. С. 33-36.

УДК 615.462.036.5

#### **ПРОТИВОСПАЕЧНЫЕ ХИРУРГИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С ПРОГНОЗИРУЕМЫМИ СРОКАМИ РАССАСЫВАНИЯ**

#### **SURGICAL ANTI-ADHESIVE MATERIALS WITH PREDICTABLE TIMING OF DISPERSAL**

В.А. Жуковский, В.Е. Немилев, А.В. Полянский, К.Е. Скворцова  
V.A. Zhukovsky, V.E. Nemilov, A.V. Polyanskiy, K.E. Skvortsova

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
Saint-Petersburg State University industrial technology and design  
E-mail: vyachnem@mail.ru

Представлены исследования по получению водостойких пленок на основе карбоксиметилцеллюлозы и глутаровой кислоты, обладающих противоспаечным эффектом для использования в медицинской практике.

Ключевые слова: полимеры медицинского назначения, карбоксиметилцеллюлоза, глутаровая кислота, термообработка, противоспаечный эффект.

Presented the study to obtain water-resistant films based on carboxymethylcellulose and glutaric acid, which has anti-adhesive effect for use in medical practice.

**Keywords:** polymers medical appointment, carboxymethylcellulose, glutaric acid, heat treatment, effect protivospaechny.

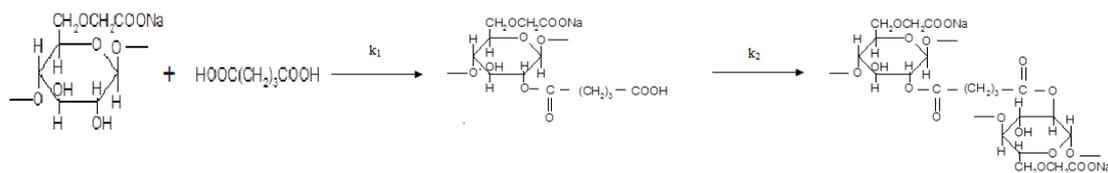
Применение карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) в хирургической практике и, в частности, в абдоминальной хирургии, в качестве полимера для получения противоспаечных плёнок широко известно [1 -3]. Натриевая соль КМЦ растворима в воде, полимер обладает плёнкообразующими свойствами, рассасывается в организме и полностью выводится из него. Однако плёнки на основе КМЦ, являясь, также как и полимер, водорастворимыми, быстро разрушаются и выводятся из организма.

Возможность применения плёнок на основе КМЦ может быть реализована, если они будут водостойкими, т.е. обладать малой степенью набухания: Для этого следует создать сетчатую структуру у линейного полимера КМЦ. Все описанные способы базируются на получении водного раствора КМЦ в натриевой форме с последующей частичной перезарядкой карбоксильных групп в Н-форму путем добавления в раствор соляной кислоты в количестве 2 -8 % масс. Далее в раствор добавляется сшивающий агент, содержащий функциональные группы различной природы (салициловая, аминосалициловая, аминокусусная и аминокaproновая кислоты, танин, декстрин). Формирование сетчатой структуры при последующей термообработке полученных пленок осуществляется за счет взаимодействия карбоксильных групп КМЦ с функциональными группами сшивающих агентов с образованием сложноэфирных и амидных групп в структурированном полимере [4]. Представляло интерес получить сшитые структуры КМЦ с использованием ее гидроксильных групп, чтобы исключить из процесса соляную кислоту. В качестве сшивающего агента для получения такой структуры в данном исследовании использована двухосновная предельная дикарбоновая кислота - глутаровая.

Глутаровая кислота имеет температуру плавления 96°C, поэтому при высокотемпературном прогреве плёнок содержащаяся в них глутаровая кислота будет находиться в жидком агрегатном состоянии, что улучшит её диффузию в плёнке КМЦ.

Можно полагать, что в процессе высокотемпературной обработки пленок на основе КМЦ возникают условия для протекания реакции этерификации между гидроксильными группами КМЦ и карбоксильными группами глутаровой кислоты с образованием как кислых, так и полных эфиров.

Предполагаемые реакции взаимодействия в системе КМЦ – глутаровая кислота при высокой температуре:



Приведенная схема образования сетчатой структуры при взаимодействии глутаровой кислоты с КМЦ показывает протекание последовательных реакций, так как образование сшивок в результате одновременного взаимодействия двух карбоксильных групп глутаровой кислоты маловероятно из-за невозможности сближения на необходимое расстояние реагирующих групп, но их ориентация и энергия могут быть достаточными для образования кислого эфира. Очевидно, что в результате протекания реакций этерификации по ходу процесса должно меняться содержание карбоксильных групп в модифицированных пленках КМЦ.

Термообработку пленок, содержащих 1,35; 2,47; 4,26; 6,64 мг-экв/г глутаровой кислоты проводили при 100°C на воздухе. Повышение температуры (до 105°C и выше) нецелесообразно, т.к. при большом содержании глутаровой кислоты начинается процесс её

термодеструкции. Продолжительность термообработки варьировали от 60 до 360 минут. При продолжительности термообработки менее 60 минут не удаётся получить необходимого количества сшивок, а более 360 минут начинается потемнение плёнок, что свидетельствует о начале термоллиза.

Влияние продолжительности термообработки на изменение содержания карбоксильных групп в модифицированных пленках оценивали по сорбции ими меди, используя для этого раствор ацетата меди с построением калибровочной кривой. Количество сорбированной пленками меди определяли по изменению концентрации ацетата меди в растворе до и после сорбции. Результаты представлены на рисунке 1.

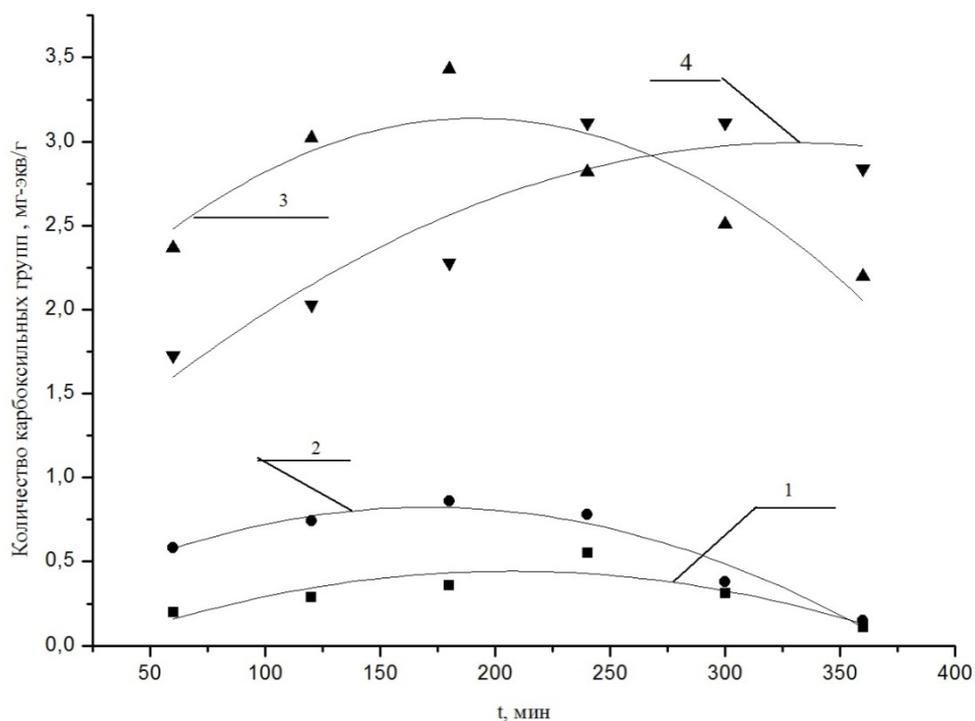
Как видно из представленных данных, при введении в плёнку 1,35 мг-экв/г глутаровой кислоты увеличение продолжительности термообработки до 240 мин обеспечивает рост содержания карбоксильных групп в плёнке, свидетельствующий о том, что при взаимодействии глутаровой кислоты с КМЦ образуется в основном кислый эфир, т.е. реакция идёт с константой скорости  $k_1$ . При увеличении продолжительности термообработки наблюдается снижение содержания карбоксильных групп, вероятно в результате образовании полного эфира, т.е. реакция проходит с константой скорости  $k_2$ .

При увеличении количества вводимой в плёнку глутаровой кислоты до 2,47 мг-экв/г и увеличение продолжительности термообработки до 175 мин повышается содержание карбоксильных групп в КМЦ плёнках, а дальнейшее увеличение продолжительности термообработки способствует снижению содержания карбоксильных групп, что, вероятно, можно связать с образованием межмолекулярных сшивок между макромолекулами КМЦ и глутаровой кислотой. Повышение количества глутаровой кислоты в пленке до 4,26 мг-экв/г и продолжительности термообработки до 150 мин также приводит к резкому возрастанию содержания карбоксильных групп, которое при дальнейшем росте продолжительности термообработки столь же резко снижается, что свидетельствует о протекании реакции с образованием полного эфира КМЦ с глутаровой кислотой.

При введении максимального количества глутаровой кислоты 6,64 мг-экв/г в КМЦ плёнку при увеличении продолжительности термообработки до 325 мин наблюдается резкое увеличение содержания карбоксильных групп, т.е. в данных условиях образуется в основном кислый эфир, а повышение продолжительности термообработки до 360 мин приводит к незначительному их снижению, т.е. возникают условия для образования сшивок.

Представленные на рис.1 данные по содержанию карбоксильных групп в КМЦ плёнках включают в себя суммарное содержание карбоксильных групп в карбоксиметилцеллюлозе и карбоксильных групп глутаровой кислоты при образовании кислого эфира.

Поскольку, для приготовления плёнок использовали натриевую соль КМЦ, то при термообработке взаимодействие между карбоксильными и гидроксильными группами не происходит и количество карбоксильных групп остаётся постоянным. Это подтвердили и экспериментальные исследования плёнок, приготовленных из Na-КМЦ и термообработанных при температуре 100 °С в течение 360 минут. Содержание карбоксильных групп в плёнках, образовавшихся в результате взаимодействия КМЦ с глутаровой кислотой, рассчитывали как разницу между суммарным количеством карбоксильных групп, определенных по сорбции ионов меди, и количеством карбоксильных групп в карбоксиметилцеллюлозе (4,41 мг-экв/г).

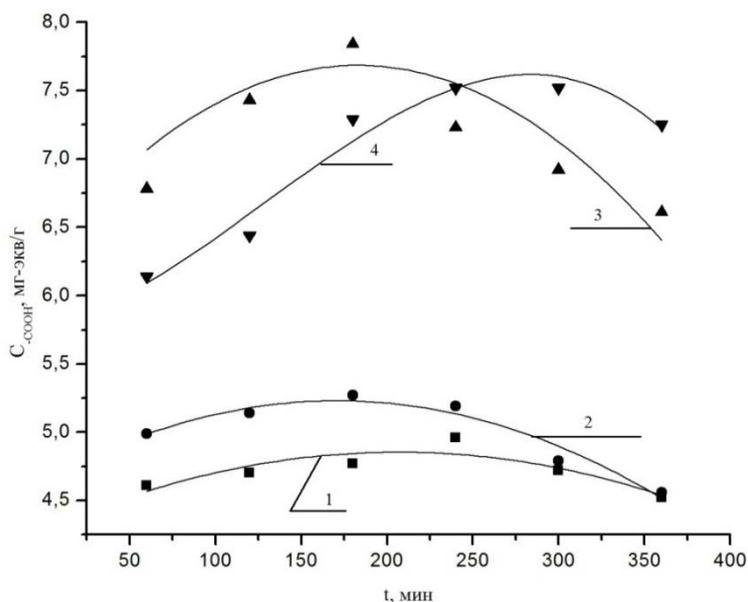


1 – 1,35мг-экв/г; 2 – 2,47мг-экв/г; 3 – 4,26мг-экв/г; 4 – 6,64 мг-экв/г

Рис. 1. Зависимость количества карбоксильных групп, образовавшихся в результате реакции этерификации КМЦ с различным количеством глутаровой кислоты, от продолжительности термообработки

Зависимость количества карбоксильных групп, образовавшихся в результате реакции этерификации КМЦ с глутаровой кислотой, от продолжительности термообработки при 100 °С представлена на рис. 2.

Как видно из рисунка, сохраняется такая же тенденция, которая наблюдалась на рис. 1. Количество образующихся карбоксильных групп в результате взаимодействия КМЦ с глутаровой кислотой до определенного момента существенно зависит от количества вводимой в плёнку глутаровой кислоты.



1 – 1,35мг-экв/г; 2 – 2,47мг-экв/г; 3 – 4,26мг-экв/г; 4 – 6,64 мг-экв/г

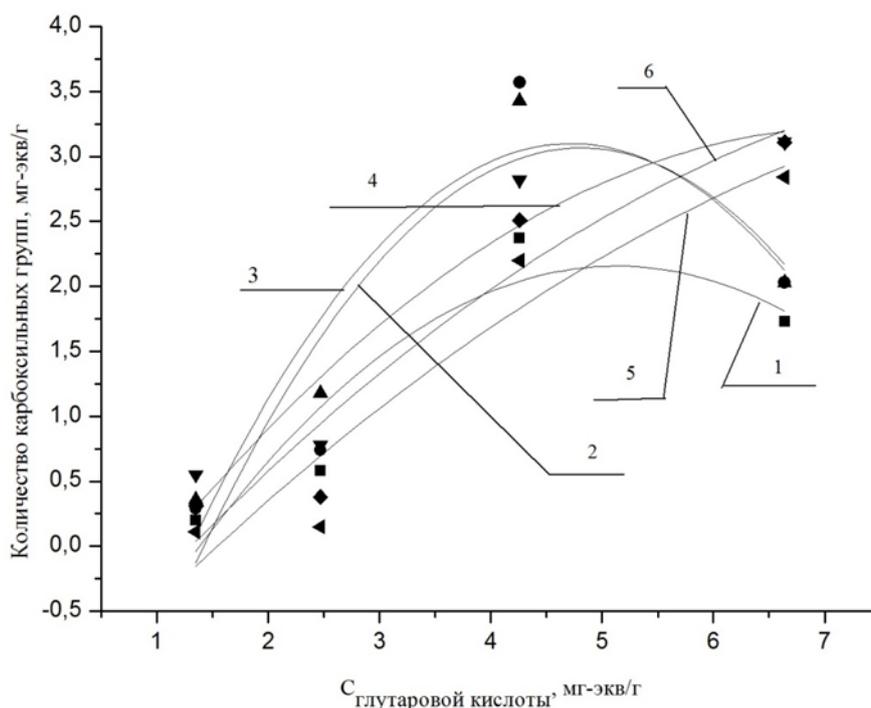
Рис. 2. Зависимость общего количества карбоксильных групп в КМЦ от продолжительности термообработки для различного количества введенной глутаровой кислоты

Более наглядно выявить зависимость количества образующихся в результате взаимодействия КМЦ и глутаровой кислоты карбоксильных групп от количества введенной в плёнку глутаровой кислоты при различной продолжительности термообработки плёнки при 100 °С можно из рис. 3.

Как видно из представленных на рис. 3 данных, повышение содержания глутаровой кислоты в исходной плёнке до 5 мг-экв/г приводит к увеличению количества карбоксильных групп в результате термообработки плёнок в течение 60, 120 и 180 минут, что свидетельствует об образовании в основном кислого эфира. Увеличение количества глутаровой кислоты более 5 мг-экв/г приводит к снижению содержания карбоксильных групп в термообработанных при таких условиях плёнках, что может свидетельствовать о преимущественном протекании реакции, приводящей к образованию сшивок между макромолекулами целлюлозы и глутаровой кислотой.

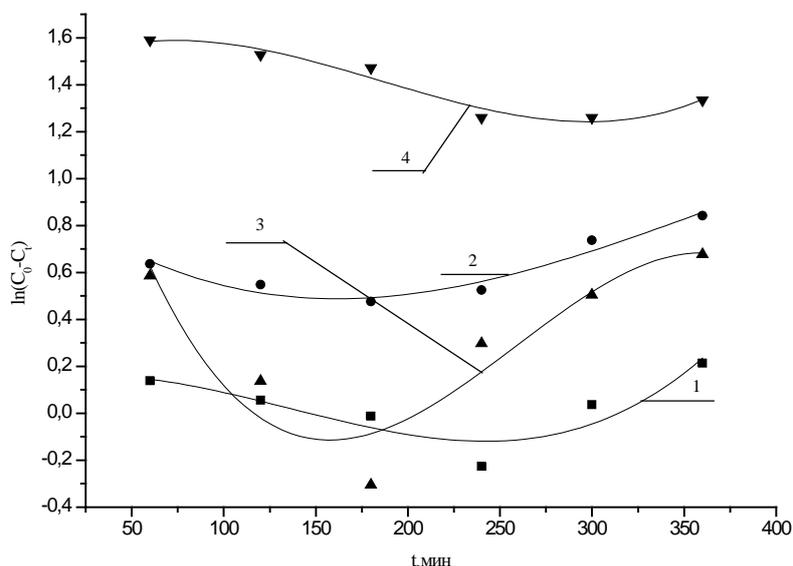
При продолжительности термообработки от 240 до 360 минут происходит монотонный рост количества карбоксильных групп при увеличении количества введенной в плёнку глутаровой кислоты, т.е. при этих условиях, вероятно, образуется в большей степени только кислый эфир. Таким образом, увеличение содержания глутаровой кислоты более 5 мг-экв/г от массы КМЦ нецелесообразно. Это подтверждается и данными рис. 2. При максимальном введении глутаровой кислоты (кривая 4) наблюдается только увеличение содержания образовавшихся карбоксильных групп в КМЦ плёнках.

Константы скорости реакции взаимодействия КМЦ с глутаровой кислотой в первом приближении можно рассчитать, используя логарифмическую зависимость количества карбоксильных групп, представляющих собой разницу между количеством карбоксильных групп, содержащихся во введенной в плёнку КМЦ глутаровой кислоте ( $C_0$ ) и количеством карбоксильных групп, образовавшихся в результате взаимодействия КМЦ с глутаровой кислотой в данный период термообработки ( $C_t$ ) от продолжительности термообработки. Такая зависимость представлена на рис. 4.



1 – 60мин; 2 – 120мин; 3 – 180мин; 4 – 240мин; 5 – 300мин; 6 – 360мин

Рис. 3. Зависимость количества карбоксильных групп, образовавшихся в результате взаимодействия КМЦ и глутаровой кислоты, от количества введенной в плёнку глутаровой кислоты при различной продолжительности термообработки



1 – 1,35мг-экв/г; 2 – 2,47мг-экв/г; 3 – 4,26мг-экв/г; 4 – 6,64 мг-экв/г  
 Рис. 4. Зависимость  $\ln(C_0-C_t)$  карбоксильных групп в КМЦ от продолжительности термообработки при 100 °С с различным содержанием глутаровой кислоты

Сложную зависимость  $\ln(C_0-C_t)$  от продолжительности термообработки, можно объяснить влиянием ряда факторов, а именно: изменением условий диффузии в процессе образования шивок и боковых цепей эфиров глутаровой кислоты и КМЦ; возможностью взаимодействия карбоксильных групп кислого эфира КМЦ с гидроксильными группами КМЦ только при определенных конформациях с достаточной энергией и взаимной ориентацией групп.

Таким образом, в дальнейших исследованиях представляло интерес изучение влияния продолжительности термообработки пленок на основе КМЦ с введенной глутаровой кислотой на степень сшитости полимера, которая напрямую связана с показателями набухания. Для нахождения параметров сетки полученных плёнок изучали процесс их набухания в воде [5], продолжительность которого зависела от наступления равновесия.

Плётки КМЦ, в которые было введено 1,35 мг-экв/г глутаровой кислоты и термообработанные в течение 60 минут, растворились в воде при 20 °С через 7 суток, а термообработанные в течение 360 минут – через 38 суток.

По данным изменения массы модифицированных пленок в процессе выдерживания их в воде рассчитана равновесная степень набухания плёнок.

Графики зависимости равновесной степени набухания КМЦ плёнок, содержащих глутаровую кислоту, от продолжительности термообработки представлены на рис. 5 и 6.

Из полученных данных следует, что наименьшая степень набухания (1,65) наблюдается у плёнок, содержащих 6,64 мг-экв/г глутаровой кислоты и термообработанных в течение 180 минут, при этом равновесная степень набухания устанавливается через 26 суток. Несколько большая степень набухания (1,75) получена у плёнок, содержащих 4,26 мг-экв/г глутаровой кислоты и термообработанных в течение 240 минут. Равновесная степень набухания у этих плёнок наблюдается через 37 суток. Термообработанные КМЦ плёнки, содержащие 2,47 мг-экв/г глутаровой кислоты, набухают значительно сильнее, наименее набухающие плёнки с равновесной степенью набухания 7 получены при термообработке в течение 260 минут. Равновесная степень набухания наблюдалась у этих плёнок через 16 суток выдерживания их в воде.

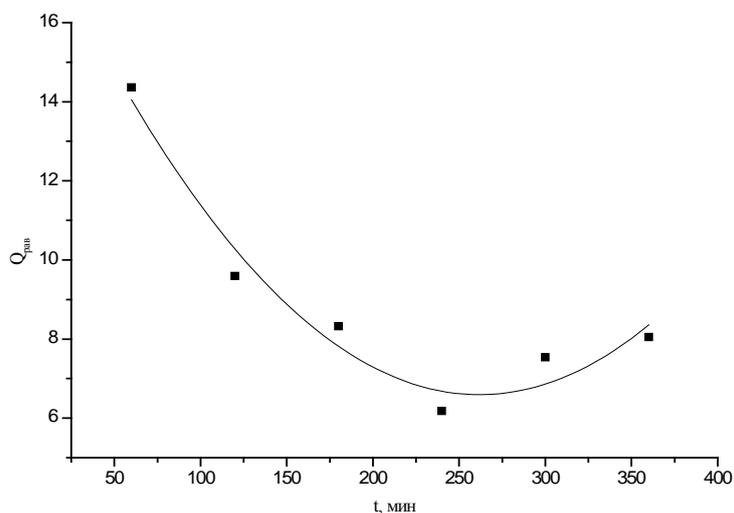


Рис. 5. Зависимость равновесной степени набухания КМЦ плёнки с содержанием глутаровой кислоты 2,47 мг-экв/г от продолжительности термообработки

По результатам определения набухания образцов пленок рассчитывали долю золь-фракций в плёнках и степень их сшитости. Зависимость степени сшитости КМЦ плёнок, содержащих различное количество глутаровой кислоты и термообработанных в течение различного времени, представлена на рис.7.

Как видно из рисунка, наибольшее количество сшивок образуется в КМЦ плёнках, содержащих 6,64 мг-экв/г глутаровой кислоты и термообработанных в течение 180 минут. Немного меньше сшивок образуется в плёнках КМЦ, содержащих 4,26 мг-экв/г глутаровой кислоты и термообработанных в течение 240 минут.

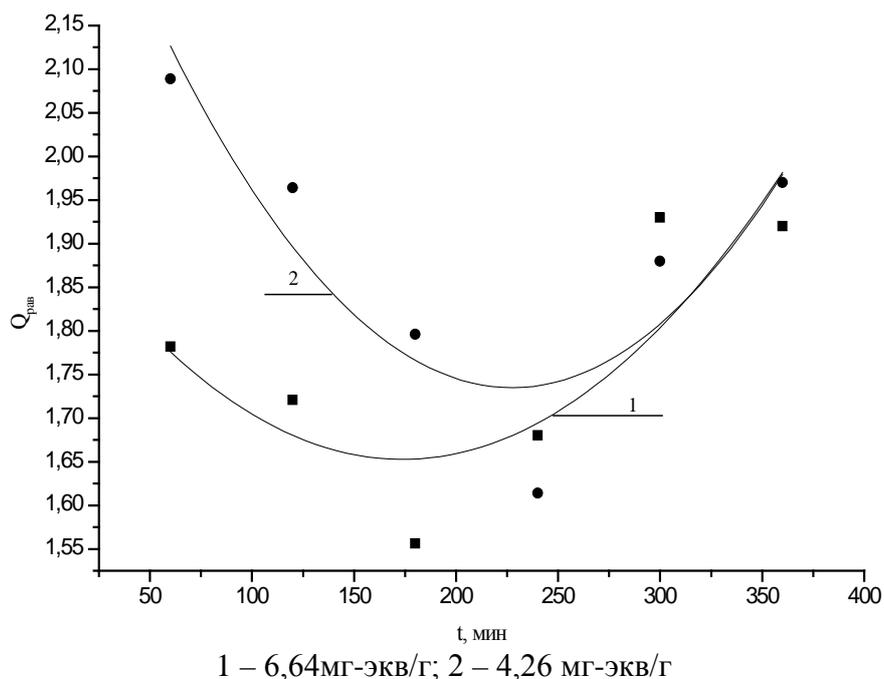
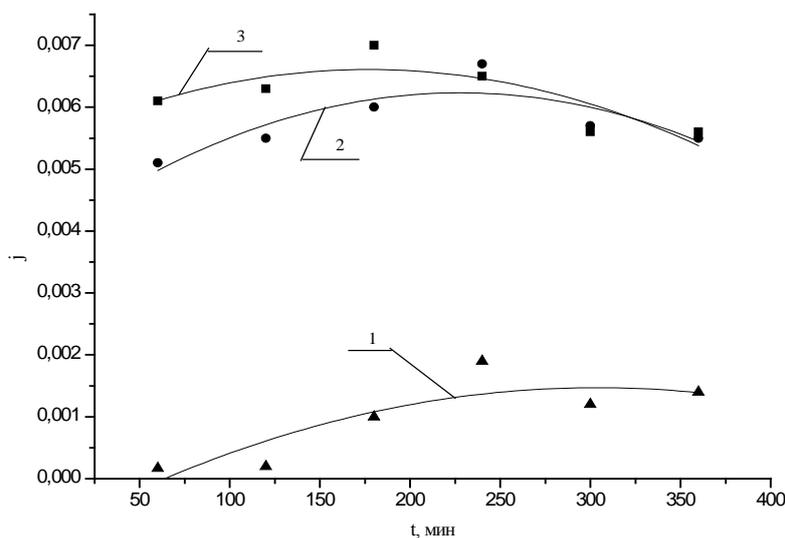


Рис. 6. Зависимость равновесного набухания КМЦ плёнок с различным содержанием глутаровой кислоты от продолжительности термообработки



1 – 2,47 мг-экв/г; 2 – 4,26 мг-экв/г; 3 – 6,64 мг-экв/г

Рис. 7. Зависимость степени сшитости КМЦ плёнки с различным содержанием глютаровой кислоты от продолжительности термообработки при 100 С

Для получения нерастворимых и малонабухающих плёнок на основании полученных данных целесообразно использовать следующий режим: пленки, отлитые из раствора, содержащего 39 % глютаровой кислоты от массы КМЦ (полученные пленки содержат 4,26 мг-экв/г глютаровой кислоты) подвергаются термообработке при 100 С в течение 240 минут. Такие плёнки имеют малую степень набухания и достаточно водостойки, предклинические испытания показали, что время их пребывания в области операционной раны составляет до 31 суток, при этом противовоспалительный эффект, выраженный в баллах [6], составляет 1,67 против 18,10 в контрольной группе животных.

#### Выводы

1. При использовании в качестве сшивающего агента глютаровой кислоты получены нерастворимые плёнки на основе карбоксиметилцеллюлозы с малой степенью набухания.
2. Исследовано влияние количества глютаровой кислоты, вводимой в КМЦ плёнки, и температуры термообработки на равновесную степень набухания КМЦ плёнок и количество образующихся карбоксильных групп.
3. На основании данных по равновесной степени набухания КМЦ плёнок, содержащих различное количество глютаровой кислоты и термообработанных в течение различного времени, рассчитана степень сшитости полимера.
4. Показана эффективность применения полученных пленок на основе карбоксиметилцеллюлозы и глютаровой кислоты в качестве противовоспалительного барьера в хирургической практике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Послеоперационные грыжи передней брюшной стенки и их хирургическое лечение/ Г.И. Синенченко, И.В. Гайворонский, М.В. Ромашкин-Тиманов, А.А. Курыгин, В.А. Жуковский, /Монография. – СПб.: Элби-СПб, 2009.-176 с.
2. Патент РФ 2352 584 МПК С08В 15/04 / Способ получения геля на основе карбоксиметилцеллюлозы/ Д.А. Вербицкий, В.А. Жуковский, В.Е.Немилов, И.В. Слепцов, И.И.Жуковская. Опубл. 20.04.09, Бюл. № 11.
3. Патент US 5,906,997 МПК А61К 47/00/ Саморассасывающиеся соединения карбоксиполисахаридных полиэфирных интермакромолекулярных комплексов и способы их применения для уменьшения послеоперационных спаек/ Herber E. Schwartz; John M. Blackmore. Дата выдачи патента 25. 05.1999 г.

4. Патент РФ 2 509784 МПК C08J 5/18/ Способ получения пористых, плёночных материалов на основе карбоксиметилцеллюлозы/ В.А. Жуковский, В.Е. Немилов, О.З. Ахметшина, И.И. Жуковская, Н.А. Едомина, Ю.А. Красий, И.М. Соснина, В.А.Липатов. Оpubл. 20.03.2014, Бюл. № 8.
5. В.Ф Куренков, Практикум по химии и физике полимеров. – М.: «Химия», 1990 г. – 304 с.
6. В.А. Липатов «Концепция профилактики послеоперационного спаечного процесса брюшной полости с применением барьерных средств»: автореф. дис. док. мед. наук., Курск, 2013

УДК 677.46 54.03

## ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗА В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН И МЕМБРАН

### HEMICELLULOSE IN THE PROCESS OF OBTAINING CELLULOSE FIBERS AND MEMBRANES

И.С. Макаров, Г.Н. Бондаренко, Л.К. Кузнецова  
I.S. Makarov, G.N. Bondarenko, L.K. Kuznetsova

Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН (Москва)  
A.V.Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis, RAS (Moscow)  
E-mail: makarov@ips.ac.ru

Работа посвящена исследованию поведения гемицеллюлозы, образующейся в процессе получения целлюлозных волокон и пленок из растворов в N-метилморфолин-N-оксиде. Показано, что гемицеллюлоза способна аккумулироваться на поверхности формуемых материалов. Использование осадительных ванн различной природы и состава, влияет на морфологию поверхности формуемых объектов и на распределение гемицеллюлозы в системе целлюлоза/гемицеллюлоза/растворитель/осадитель. Использование элементов установки формования, выполненных из алюминия, приводит к накоплению гемицеллюлозы на поверхностях данных элементов.

**Ключевые слова:** целлюлоза, гемицеллюлоза, ММО, мембраны, волокна.

The work is devoted to the study of behavior of hemicellulose formed in the process of obtaining of cellulose fibers and films from solutions of cellulose in N-methylmorpholine-N-oxide. It has been shown that hemicellulose is capable to accumulate on the surface of molded materials. Using various precipitation bath of different nature and composition affects surface morphology of the molded objects and distribution of hemicellulose in the system of cellulose/hemicellulose/solvent/nonsolvent. Using the installation molding units made of aluminum, leads to the accumulation of hemicellulose on the surfaces of these elements.

**Keywords:** Cellulose, hemicellulose, MMO, membrane, fibers.

Гемицеллюлоза (ГМЦ) занимает второе место в мире по распространенности и уступает лишь целлюлозе. Общее количество гемицеллюлозы в растениях может достигать 30% (от сухого веса). Молекулярная масса ГМЦ меньше, чем у целлюлозы. По типу гемицеллюлозы можно разделить на ксиланы, маннаны, глюканы, галактаны, арабиногалактаны и т.д.

Молекулы ГМЦ имеют специфическую структуру, характеризующуюся различным расположением звеньев в полимерной цепи, типом связи между остатками моносахаридов, степенью и характером разветвления звеньев, содержанием различных свободных и, следовательно, высокополярных функциональных групп – гидроксильных, карбоксильных, ацетильных и метоксильных.

Такая структура делает ГМЦ нерастворимой в слабополярных органических растворителях таких, как метанол, этанол, ацетон и др. В качестве растворителей ГМЦ возможно использование воды, диметилсульфоксида, диметилформамида и растворов щелочей. Как правило, в последних — значительно лучше, что обусловлено частичной ионизацией макромолекул полисахаридов в этих условиях, а значит, и лучшей гидратацией. Использование неорганических солей сильно влияет на растворимость ГМЦ, их высокие концентрации уменьшают гидратацию макромолекул и способствуют осаждению полисахарида. ГМЦ ассоциирует с целлюлозой за счет межмолекулярных водородных связей [1].

В работах [2,3] показано, что ГМЦ хорошо растворяется и может быть извлечена из целлюлозы с помощью таких растворителей, как N-метилморфолин-N-оксид и ионные жидкости. Интересным результатом работы стал вывод о том, что максимальное извлечение ГМЦ возможно при использовании растворяющей системы, содержащей 80% ММО и 20% воды.

Согласно гипотезе выдвинутой Обермансом и развитой в классических работах С.П. Папкина, в целлюлозной матрице практически всегда содержится небольшое количество ГМЦ, приводящей к формированию “роговидных” образований в целлюлозе [4-6]. При низкотемпературной сушке целлюлозы ГМЦ сохраняют исходную гетерогенность, высокотемпературная сушка приводит к растворению ГМЦ в воде, содержащейся в целлюлозе, и формированию тонких пленок, которые могут перекрывать капилляры и поры, образующиеся в процессе получения целлюлозных волокон и пленок.

Как результат внутренние области целлюлозы, закупоренные ГМЦ, становятся недоступными для ряда химических реагентов [5,6].

Интересно проследить, как влияет гемицеллюлоза на структурно-морфологические особенности целлюлозных материалов в процессе удаления воды (сушки) и последующего смачивания объекта водой.

В литературе представлен ряд работ [7-9], в которых приводятся данные по изучению влияния содержания воды и способа сушки целлюлозных материалов на степень кристалличности. Так, например, в работе [7] было продемонстрировано с помощью метода рентгеноструктурного анализа, что с уменьшением содержания воды в целлюлозном волокне степень кристалличности и продольный порядок возрастают. При содержании воды в волокне менее 35% паракристаллическая структура трансформируется в кристаллическую. Сформировавшаяся в процессе при сушке волокна кристаллическая структура не разрушается при последующем смачивании этого волокна.

Авторы работы [8], сравнивая различные методы сушки целлюлозных материалов, отмечают, что в зависимости от способа сушки может формироваться различная структура, морфология.

Малоугловой рентгеноструктурный анализ позволил определить размеры пор в целлюлозных волокнах и проследить их эволюцию в процессе смачивания и сушки волокон [10-12]. Набухшие в воде волокна демонстрировали наличие сети мелких пор между элементарными фибриллами. Для всех образцов в ходе сушки целлюлозных волокон отмечалось увеличение размера пор и уменьшение объемной доли пустот. Вода при нагреве образца мигрировала из пор, при этом маленькие поры схлопывались, образуя более плотные участки и области пор большого объема [12].

Наблюдаемый феномен хорошо согласуется с механизмом ороговения целлюлозных волокон, когда гемицеллюлозы, внедряясь между элементарными фибриллами, образуют дополнительные водородные связи, которые невозможно разорвать при последующем смачивании образца.

Геометрия пор в процессе удаления воды из целлюлозного волокна изменяется следующим образом (средние значения высоты: ширины: толщины (Å)): в мокром состоянии – 360:110:3, в сухом - 2700:340:50 [12]. Смачивание водой высушенного образца приводит к тому, что продольные размеры и объем пор уменьшаются, параметры пор в поперечном

направлении практически не изменяются. Минимальные значения угла разориентации наблюдаются для высушенных волокон ( $13^\circ$ ), для свежесформованных волокон из которых удален растворитель  $19^\circ$ , максимальная разупорядоченность формируется в волокнах при повторном их смачивание после сушки ( $24^\circ$ ) [11].

Опираясь на работу Бишопа [13] логично предположить, что изменение структуры целлюлозы при последовательных процессах смачивания и сушки в различных условиях сопряжено с перераспределением гемицеллюлозы в системе целлюлоза-ГМЦ-вода.

Отсюда, целью данного исследования стало исследование влияния условий формования на перераспределение гемицеллюлозы в системе целлюлоза/ГМЦ/растворитель/осадитель и морфологию получаемых из растворов целлюлозы в ММО волокон и пленок.

Для получения волокон и мембранных пленок использовали сульфатную вискозную целлюлозу Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (Россия) (СП 600) (альфа целлюлозы 94-95%). В равновесном состоянии порошковая целлюлоза содержала 8% влаги. Растворитель N-метилморфолин-N-оксид с  $T_{пл.}=120-160^\circ\text{C}$  (содержание воды 8-10%) (Demoschem, Китай).

Приготовление растворов целлюлозы в ММО основывалось на методике “твердофазного” растворения целлюлозы в ММО с предварительной активацией системы целлюлоза-ММО, протекающей в условиях всестороннего сжатия и сдвиговых деформаций [14]. Волокна и пленки формовались из 12-18% растворов целлюлозы в ММО. Качество растворов контролировалось с помощью поляризационного микроскопа Voetius (VEB Kombinat Nadema, ГДР).

Полученные растворы высокой степени гомогенности формовались в осадительную ванну комнатной температуры, где в результате массообменных процессов происходило удаление растворителя из раствора и коагуляция целлюлозы. В качестве осадителей использовались: вода, водные растворы ММО и спиртов, этиловый и изопропаноловый спирты. После осадительной ванны свежесформованная пленка поступала в водную промывочную ванну для полного удаления растворителя. После полного удаления растворителя из системы, полученные пленки сушили при комнатных условиях в свободном состоянии или под натяжением до равновесного содержания влаги в целлюлозе.

Наработка растворов и формование волокон осуществлялось на лабораторном стенде сухо-мокрого формования, созданном на базе вискозиметре МВ-3. Пленки формовались из полученных растворов с использованием ламинатора HLCL-1000. Полученный раствор помещался между двух пленок – подложек и пропускался между нагретыми до температуры  $120^\circ\text{C}$  валами ламинатора. Толщину формируемой пленки задавали установлением требуемого зазора между валами.

ИК-спектры волокон целлюлозы и композиционных волокон регистрировали в режиме отражения (ATR) на ИК-микроскопе HYPERION-2000, сопряженным с ИК-фурье-спектрометром IFS-66 v/s Bruker (100 скан., кристалл ZnSe, разрешение  $2\text{ см}^{-1}$ , диапазон  $600-4000\text{ см}^{-1}$ ). Разрешение прибора 0.5-2.0%.

Для решения поставленной цели, готовые целлюлозные мембраны и волокна, сформованные в осадительные ванны различной природы и состава, были исследованы с помощью оптической и сканирующей электронной микроскопии. На рисунке 1 представлены фотографии поверхностей полученных целлюлозных пленок.

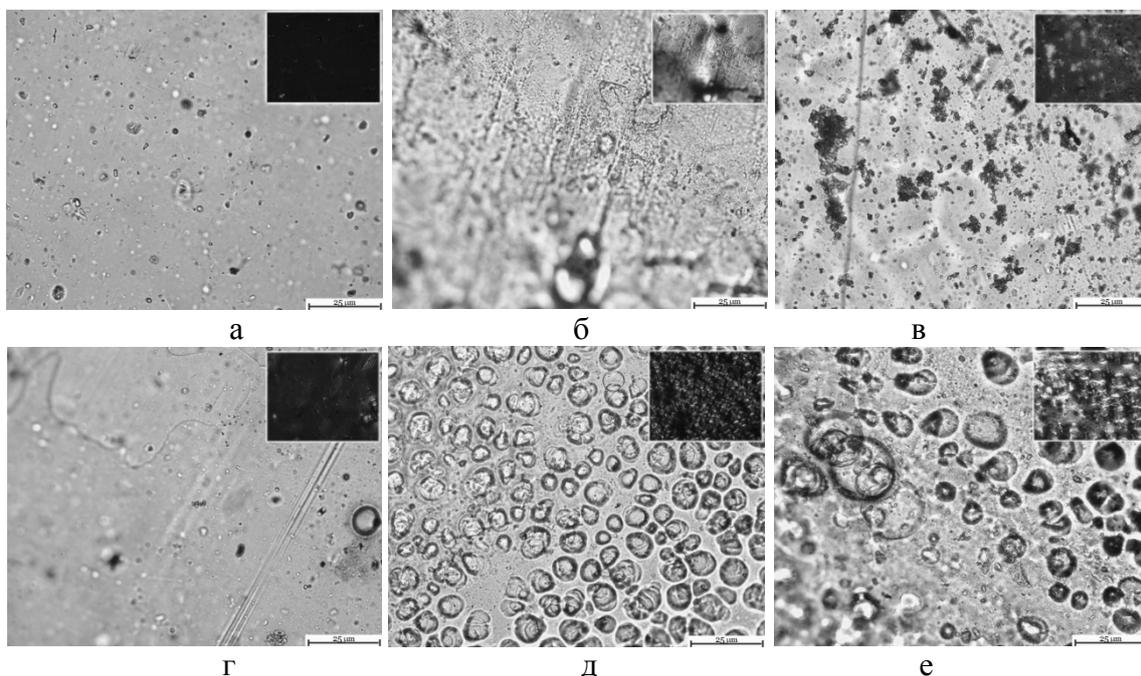


Рис. 1. Фотографии поверхностей целлюлозных пленок, полученных осаждением в ванны (фотография в правом верхнем углу, наблюдаемая картина в поляризованном свете): а – вода, б – этанол, в – 80% вода+20%ММО, г – 90% вода+10%ММО, д- 100% ИПС, е- 80% вода+20% ИПС

Как видно из приведенных фотографий, пленки, сформованные в смесевые ванны, содержащие ИПС и водные растворы ИПС, кардинально выделяются морфологической картиной. На поверхности пленок наблюдается скопление частиц со средним диаметром 5-7 мкм. Похожие частицы были обнаружены в промывочной ванне и на подложках для сушки пленок (рис.2).

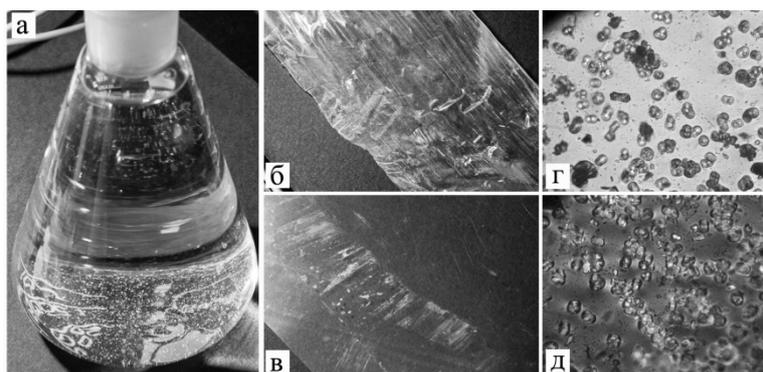


Рис. 2. Фотографии частиц сформировавшихся в ходе получения пленки через водно-спиртовую ванну: а – вода из промывочной ванны, б – поверхность готовой пленки, в – подложка для сушки пленки, г и д- частицы образовавшиеся в процессе получения пленки в прямом и поляризованном свете.

Наряду с оптической микроскопией, поверхности целлюлозных пленок изучались с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Так, целлюлозные пленки и волокна, формуемые в водные осадительные ванны, характеризуются гладкой поверхностью и плотной и практически бездефектной морфологией (рис.3).

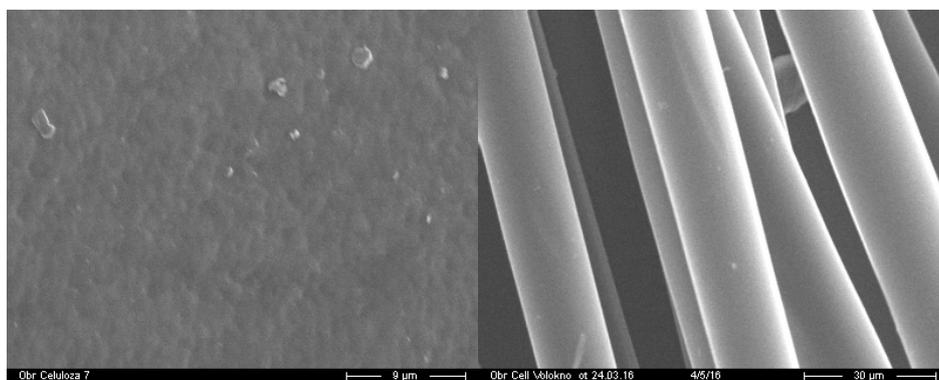


Рис. 3. СЭМ-микрофотографии поверхностей целлюлозной пленки (а) и волокна (б), полученных осаждением в водную ванну.

В случае использования в качестве осадительной ванны водно-спиртового раствора морфологическая картина резко отличается (рис. 4).

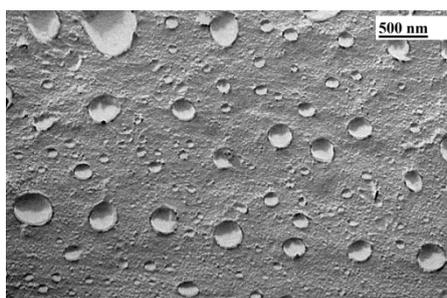


Рис. 4. СЭМ-микрофотография реплики поверхности целлюлозной пленки, полученной при осаждении в ванну содержащую 65%Н<sub>2</sub>О+35%ИПС

Как видно из фотографии реплики поверхности целлюлозной пленки, полученной через осадительную ванну, содержащую 65%Н<sub>2</sub>О+35%ИПС, на поверхности пленки присутствуют твердые частицы овальной и круглой формы, которые оставляют четкие отпечатки на реплике из желатины.

Похожие частицы, высаживающиеся на поверхности свежеформованного волокна, были зафиксированы в процессе его получения (промывки и его последующей сушки на галетах, выполненных из алюминия) (рис.5).

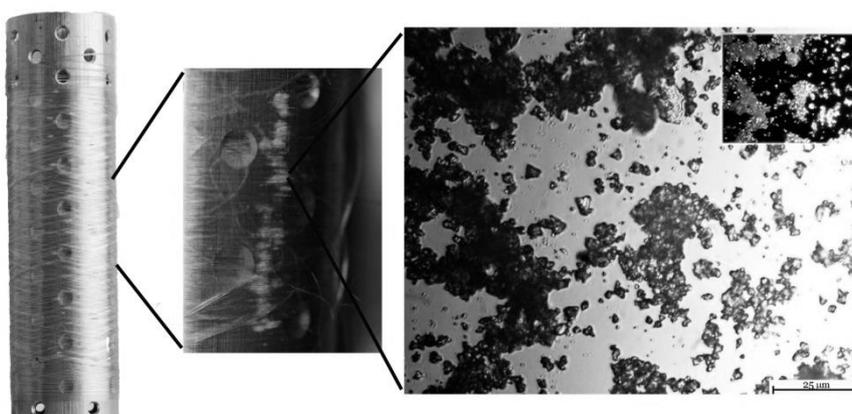


Рис. 5. Фотография порошка образовавшегося на поверхности алюминиевой галеты в процессе формования волокна

Средний размер частиц отложившегося порошка составляет 2-3 мкм. Образовавшийся порошок был исследован с помощью метода ИК-спектроскопии (рис. 6).

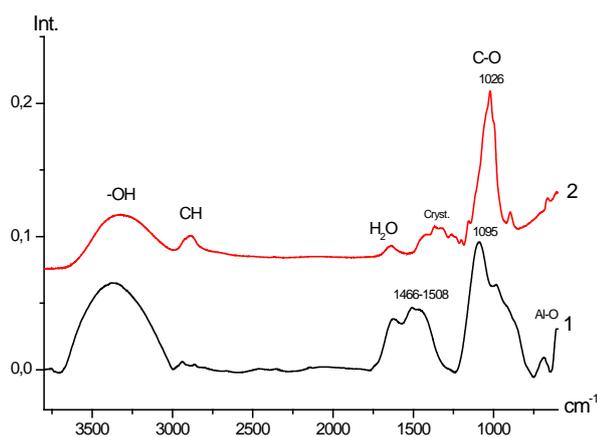


Рис.6. ИК спектры: 1 - белый порошок, снятый с поверхности алюминиевых галет, 2 – целлюлозное волокно

Спектр порошка (рис.6, кр.1) отражает все признаки присутствия глюкопиранозных колец, однако структура их существенно отличается от целлюлозы (рис.6, кр.2). Полосы от связей С-О и –О-Н в спектре порошка сильно сдвинуты в сторону коротких волн по сравнению со спектром целлюлозы.

Полностью отсутствуют полосы в области  $1430-1120\text{ см}^{-1}$ , ответственные за кристаллические участки в целлюлозных волокнах. Появляется интенсивная широкая полоса  $1466-1508\text{ см}^{-1}$  и слабая полоса около  $1730\text{ см}^{-1}$ , что указывает на присутствие в образце порошка карбоксилатной группы, которая практически полностью ионизирована ( $\text{COO}^-$ ). Т.е. анализ спектра позволяет сделать вывод о присутствии в составе порошка низкомолекулярной фракции с высокой примесью глюкуроновых кислот, связанных ионными связями с алюминием. В длинноволновой области спектра имеются полосы, которые можно отнести к связям Al-O. Спектр порошка близок к спектру гемицеллюлозы, в составе которой постулируют присутствие глюкуроновых кислот, представленный в работе [15]. Похожие спектры были получены и для частиц, обнаруженных при формировании целлюлозных мембран в водно-спиртовых осадительных ваннах.

Полученные нами данные хорошо согласуются с данными, описанными в работе [16], в которой  $\text{Al}_2\text{O}_3$  используется для очистки сточных вод обогащенных лигнином и гемицеллюлозой.

Представленная выше морфология целлюлозных пленок ответственна за малую проницаемость этилового спирта через целлюлозные мембраны вне зависимости от ее толщины. Уменьшение толщины пленки от сотен микрон до 10 мкм позволяет лишь незначительно увеличить проницаемость пленки.

Из литературы известно, что основными способами изменения морфологии целлюлозных материалов, и как результат проницаемости, являются варьирование состава осадительной ванны и водная активация сформированных пленок [17-19].

Водная активация целлюлозных мембран подразумевает выдерживание пленки в течение определенного временного интервала в воде, далее вода замещается, например, этиловым спиртом. В результате такой обработки пленки удастся добиться увеличения проницаемости целлюлозной мембраны на порядок.

Использование ванн различного химического состава позволяет изменить морфологию получаемых волокон и пленок, однако, как показано выше, замена водных осадительных ванн на водно-спиртовые или спиртовые приводит образованию и отложению гемицеллюлозы на поверхности целлюлозных мембран и волокон.

## Выводы

В работе была исследована морфология целлюлозных пленок и волокон, получаемых в осадительные ванны различной природы и состава.

Показано, что в процессе осаждения целлюлозы в спиртовые и водно-спиртовые ванны в среде осадителя и на поверхности целлюлозной мембраны присутствует гемицеллюлоза в виде частиц со средним размером 2-5 мкм.

Использование алюминиевых частей стенда формования может приводить к аккумулярованию на них гемицеллюлозы.

Полученные результаты свидетельствуют о чрезвычайной важности стадии отмывки волокон и пленок в процессе их формования из растворов в ММО, которая должна обеспечивать полное удаление из них продуктов деструкции целлюлозы (гемицеллюлозы) и растворителя.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-01775). Исследования проводились в ИНХС РАН.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудкин М.С., Громов В.С. Гемицеллюлозы. Рига: Зинатне; 1991. С. 488.
2. Rongfu Li and etc. Methods for removing hemicellulose. // US 20140048222 A1. 2014.
3. Anugwoma I., Mäki-Arvelaa P., Virtanena P., Willförb S., Sjöholm R., Mikkolaa J.-P. Selective extraction of hemicelluloses from spruce using switchable ionic liquids. // Carbohydrate Polymers; 2012. V. 87. № 3, P. 2005–2011.
4. Obermans H. E. A study of the effect of hemicelluloses on the beating and strength of pulps. // Paper Trade Journal; 1936. V. 103, № 7. P. 83-91.
5. Папков С.П. Физико-химические основы переработки растворов полимеров. Москва: Химия; 1971. С. 372.
6. Папков С.П., Файнберг Э.З. Взаимодействие целлюлозы и целлюлозных материалов с водой. Москва: Химия; 1976. С. 231.
7. Yuan W.M., GeSheng Y., YaoXin T., HuiLi S., XueChao H. Formation of the crystal structure of Lyocell fiber during drying. // Holzforschung; 2009. V.63. №1. P. 23-27.
8. Peng Y., Gardner D.J., Han Y., Kiziltas A., Cai Z., Tshabalala M.A. Influence of drying method on the material properties of nanocellulose I: thermostability and crystallinity. // Cellulose; 2013. V.20 P. 2379–2392.
9. Lenz J. Properties and structure of lyocell and viscose-type fibres in the swollen state. // Lenzinger Berichte; 1994. V.9. P. 19-25.
10. Lenz J. Properties and structure of lyocell and viscose-type fibres in the swollen state. // Lenzinger Berichte; 1994. V.9. P. 19-25.
11. Vickers M.E., Briggs N.P., Ibbett R.N., Payne J.J., Smith S.B. Small angle X-ray scattering studies on lyocell cellulosic fibres: the effects of drying, re-wetting and changing coagulation temperature. // Polymer; 2001. V.42. P. 8241-8248.
12. Crawshaw J., Cameron R.E. A small angle X-ray scattering study of pore structure in Tencel cellulose fibres and the effects of physical treatments. // Polymer; 2000. V. 41. P. 4691-4698.
13. Bishop C.T. Crystalline xylans from straws. // Canadian Journal of Chemistry; 1953. V.31. №9. P. 793-800.
14. Golova L.K., RF Patent 1645308; 1992.
15. Mizi Fan, Dasong Dai, Biao Huang. Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Natural Fibres. // Fourier Transform - Materials Analysis book edited by Salih Mohammed Salih; InTech: Rijeka, 2012.
16. Hermann-Josef Dipl Che Solbach. DE 2418185 A1; 1975.
17. McBain J.W., Kistler S.S. Membranes for high pressure ultrafiltration. // Transactions of the Faraday Society; 1930. V.26. P. 157-162.

18. Юшкин А.А., Анохина Т.С., Волков А.В. // Мембраны и мембранные технологии; 2015. Т.5. №3. С.226-233.
19. Stamm A.J. Colloid Chemistry of Cellulosic Materials. U.S. Department of Agriculture; 1936. P. 91.

УДК 677.11.08

## **ВЛИЯНИЕ РЕДОКС-ПРЕВРАЩЕНИЙ ЛИГНИНА НА ИЗМЕНЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛУБОВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ**

### **INFLUENCE OF LIGNIN REDOX TRANSFORMATIONS TO CHANGE OF ADSORPTION PROPERTIES FROM BAST FLAX RAW**

О.В. Лепилова, С.В. Алеева  
O.V. Lepilova, S.V. Aleeva

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)  
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences (Ivanovo)  
E-mail: lov@isc-ras.ru

**В докладе обсуждается эффективность повышения хемосорбционной способности лигнина в структуре льноволокнистых материалов, которое достигается при реализации оригинального метода редокс-превращений полимера с участием генерируемых в системе продуктов биокатализируемого расщепления полиуглеводных компонентов.**

**Ключевые слова:** льняное волокно, лигнин, сорбционная емкость по фенолу.

**The effectiveness of increasing of the lignin chemisorption ability in the structure of flax fibrous materials which is achieved at the realization of the original method redox transformations polymer with participation of products generated in the system by biocatalysis disintegration of polycarbohydrate components was discussed in the report.**

**Key words:** flax fibre, lignin, sorption capacity to phenol.

Общеизвестно, что комплексное льняное волокно представляет собой многокомпонентную систему сложного полимерного состава, что предопределяет совокупность его физико-химических свойств, и в частности, сорбционную способность. Так, например, в процессах физической адсорбции важнейшую роль играет наличие аморфных областей в структуре элементарных волокон и в зонах соединяющих их межклеточных веществ с разветвленной системой мезо- и субмикроскопических поровых пространств, обеспечивающих доступность материала для различных реагентов. Возможность хемосорбционных взаимодействий определяется присутствием в структуре полимерных компонентов волокна группировок, обладающих реакционной способностью в отношении определенных видов сорбатов. В частности, высокая сорбционная способность пектиновых веществ зависит от долевого содержания в цепи главных валентностей галактуронатных звеньев с незамещенной карбоксильной группой. Разветвленные аморфные структуры гемицеллюлоз также обладают повышенной способностью к хемосорбции благодаря наличию большого количества несвязанных водородными связями гидроксильных, карбоксильных и карбонильных групп, являющихся основными центрами сорбции в целлюлозных материалах. Природная полимерная структура лигнина и широкий набор функциональных групп обуславливает проявление его сорбционной способности к органическим соединениям, что имеет практическое значение при использовании целлюлозных сорбентов для очистки сточных вод от нефтепродуктов.

Для повышения реакционной способности лигнина в отношении сорбатов найдены оригинальные решения, обеспечивающие пространственно локализованную деструкцию

полимера в структуре льняного волокна. С этой целью адаптированы технологические подходы к осуществлению мацерационно-делигнифицирующей биохимической модификации льноволокнистых текстильных материалов [1,2] с использованием продуктов регулируемой биокатализируемой деструкции полиуглеводов комплексного волокна в качестве вторичных реагентов для протекания редокс-превращения лигнина.

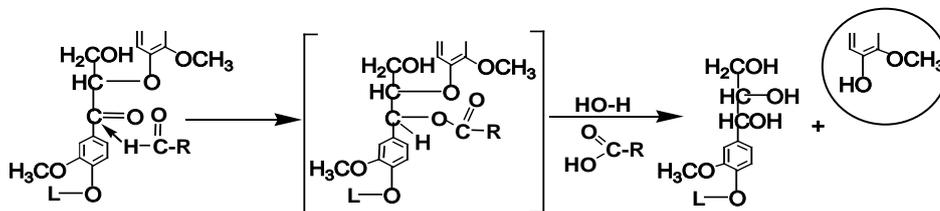
В настоящей работе осуществлен подбор биокаталитических систем для обеспечения эффективного вскрытия внутренней структуры комплексного льняного волокна и генерации высокоактивных редуцирующих агентов для редокс-превращений лигнина с учетом решаемых задач повышения хемосорбционной способности данного полимерного компонента льноволокнистых материалов. Учитывая положительное влияние пектиновых веществ и гемицеллюлозных соединений на сорбционную емкость волокнистой системы, направленность действия ферментного препарата ориентирована, прежде всего, на модификацию основного волокнообразующего полимера – целлюлозу. Для обеспечения ее деструкции в структуре волокнистого объекта (суровой ровницы чесаного льна №16) использован целлюлолитический препарат (*ЦП*) предприятия ЗАО «Энзим» (г. Ладыжин, Винницкой обл., Украина). Для обеспечения необходимых преобразований поровой структуры волокнистого материала ферментативную обработку льняной ровницы осуществляли в течение 2 ч при оптимальных для проявления каталитических свойств ферментов значениях температуры 40°C и pH среды 6,5. Для проведения экспериментальной оценки восстановительных свойств в системе «раствор-волокно» жидкостной модуль обработки волокнистого субстрата составил 40. По окончании стадии энзимной модификации волокна технологический раствор нагревали до 95°C и выдерживали при pH 11 в течение 20 мин для повышения реакционной способности генерируемых редуцирующих сахаров и инактивации белковых катализаторов.

Подбор состава биопрепарата для модифицирования льноволокнистого материала осуществлен с учетом технологической целесообразности сохранения структурной целостности пектиновых веществ и гемицеллюлоз. Для генерации высокоактивных форм редуцирующих сахаров, способных инициировать протекание целевых химических превращений в макромолекулах лигнина, полиферментная композиция *ЦП* усилена добавкой гомогенных ферментов экзогенного действия *экзогалактозидаза (Г)* или *экзоксилозидаза (К)*, а также их смеси. Специфика действия этих ферментов связана с последовательным отщеплением моно- или димерных звеньев от концевых участков макромолекулы нейтральных углеводов (галактанов и ксиланов). Это незначительно изменяет степень полимеризации гемицеллюлозных соединений и их извлечение из волокна, но способствует эффективному накоплению в реакционной системе сахаров, ретроальдольный распад которых обеспечивает достижение высокого уровня редуцирующей способности. В частности, исследования восстановительных свойств анализируемых систем «раствор-волокно» после обработки полиферментной композицией *ЦП* и смесовыми биопрепаратами с добавками экзополимераз показали, что уровень восстановительного потенциала раствора (–ОВП, мВ) при температуре 40°C возрастает в ряду: *ЦП* (320) < *ЦП+Г* (570) < *ЦП+К* (650) < *ЦП+Г+К* (980).

Важно отметить, что для обеспечения редокс-превращения лигнина волокна восстановительный потенциал системы должен составлять более –1000 мВ. Требуемый уровень ОВП способны развивать сильные восстановители, такие как борогидрид натрия. Для анализируемых объектов «раствор-волокно» необходимая величина восстановительного потенциала достигается на стадии термоактивации генерируемых сахаров при температуре выше 95°C в присутствии агента, обеспечивающего повышение щелочности среды до pH 11.

Эффективность повышения хемосорбционной способности лигнина в структуре льноволокнистых материалов после реализации его редокс-превращений в результате проведения биохимической модификации волокна анализируемыми видами полиферментных систем сопоставлена с воздействием борогидрида натрия. Выбор восстановителя обусловлен однотипным механизмом воздействия редуцирующих сахаров и

NaBH<sub>4</sub> на полимер. Ранее в работе [2] экспериментально доказано, что аналогично взаимодействию лигнина с гидридами металлов [3] повышение его реакционной активности под действием высокоактивных редуцирующих систем обусловлено протеканием реакции восстановления карбонильных группировок в структуре полимера, сопровождающейся дестабилизацией прилегающей эфирной связи между фенилпропановыми звеньями, что приводит к частичной его деполимеризации и образованию дополнительных звеньев в свободной фенольной форме:



Весомость подобных превращений для общего изменения химического состояния лигнина определяется тем обстоятельством, что в его макромолекулах более 20 % структурных фенилпропановых звеньев содержат карбонильную группировку, подвергающуюся воздействию редуцирующих агентов. Вместе с тем реакции восстановления протекают и с участием ненасыщенных  $-C=C-$  связей, присутствующих в пропановых цепочках 7...10 % структурных фрагментов полимера.

Изменения сорбционной способности лигнина в волокне после биохимической модификации оценивали по величине его активности в отношении фенола, который является селективным молекулярным маркером, позволяющим оценить участие фенольных структурных звеньев лигнина в реакциях взаимодействия с соединениями ароматического ряда. Сорбционную активность материала ( $A_{\text{Ф}}$ , мг/г) по отношению к фенолу оценивали в соответствии с рекомендациями [4]. Равновесную концентрацию маркера в системе определяли спектрофотометрическим методом.

Представленные на рисунке результаты оценки сорбции фенола для сравниваемых образцов позволили выявить основное направление применения ферментативного катализа для активации протекания целевых химических реакций лигнина и повышения его сорбционной активности в структуре льноволокнистого материала. Сопоставление вариантов реализации биохимической модификации волокнистого материала проведено с вычленением в совокупном результате вклада последовательных стадий модифицирующей обработки: ферментативной деструкции полисахаридов с накоплением в системе низкомолекулярных продуктов и последующей термоинициируемой восстановительной деструкции лигнина. Эффективность изменения равновесного поглощения фенола биомодифицированным волокном сопоставлена с уровнем сорбционной активности лигнина в исходном волокнистом материале, а также после проведения восстановительной обработки раствором борогидрида натрия.



Рис.1. Сопоставление равновесного поглощения фенола исходным льняным волокном и образцами, подвергнутыми воздействию ферментных препаратов и борогидрида натрия

Сравнительный анализ представленных на рисунке данных показал, что расщепление межклеточных связующих веществ в структуре льняных комплексов при ферментативной обработке волокна анализируемыми видами биопрепаратов способствует повышению доступности лигнина для взаимодействия с модельным сорбируемым соединением. Однако развитие поровой структуры субстрата после воздействия ЦП, сопровождающееся двукратным увеличением показателя  $A_{\phi}$ , можно считать малозначимым для поглощения молекулярного маркера волокнистой матрицей. Уровень контролируемого показателя практически не меняется и при использовании смесовых биопрепаратов.

Определяющей стадией для повышения сорбционной способности волокна в отношении соединений ароматического ряда является восстановительная деструкция лигнина. Причем усиление целлюлазного препарата введением гомогенных осаживающих ферментов или их смеси способствует существенному повышению величины  $A_{\phi}$  относительно уровня показателя для исходного волокна. В частности, прирост равновесного поглощения фенола лигнином для образцов, подвергнутых воздействию препаратов ЦП+Г или ЦП+К, составил соответственно 5,6 и 8,3 раза относительно базового уровня.

Максимальный эффект повышения хемосорбционной активности лигнина, среди анализируемых видов полиферментных препаратов, достигнут при комбинированном воздействии на волокно препарата ЦП и смеси гомогенных ферментов экзогалактозидаза и экзоксилотидаза. Экспериментально установлено, что активация целевых химических реакций лигнина обеспечивает прирост равновесного поглощения фенола для рассматриваемого варианта составляет 15,6 раза в сравнении с исходным значением контролируемого показателя в ровнице. Полученный результат сопоставим с действием такого сильного восстановителя, как борогидрид натрия.

Таким образом, в ходе исследований выявлены пути модификации структуры лигнина в волокнистой матрице для повышения сорбционных свойств льняного волокна. Полученные данные могут послужить ключом к совершенствованию технологических процессов получения высокоэффективных сорбентов на основе льняных волокнистых материалов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 15-43-03075р\_центр\_а.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лепилова О.В., Алеева С.В., Кокшаров С.А. Новые возможности использования ферментативного катализа при подготовке и белении льняных тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. № 3. С. 51-55.
2. Лепилова О.В., Алеева С.В., Кокшаров С.А. Анализ химических превращений лигнина в щелочных растворах моносахаридов // Химия растительного сырья. 2013. № 1. С. 47-52.
3. Оболенская А. В. Химия лигнина – СПб.: ЛТА. 1993. 80 с.
4. Минаевская Л.В., Щеголихина Н.А. Лигнин в качестве сорбента при очистке промышленных сточных вод // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2012. Т. 55. № 10. С. 114-116.

УДК 677.074.166:677.076.75

### **НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩИХ АМОРТИЗИРУЮЩИХ УДАРОГАСЯЩИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОРОГОВОГО СРАБАТЫВАНИЯ**

### **NEW GENERATION OF THE POWER- ABSORBING AND SHOCK-ABSORBING UDAROGASYASHCHY TEXTILE PRODUCTS OF THRESHOLD OPERATION**

С.Г. Керимов, Л.Н. Попов  
S.G. Kerimov, L.N. Popov

ОАО «Научно-исследовательский институт технических тканей» (Ярославль)  
Joint-stock company «Research Institute of Technical Fabrics» (Yaroslavl)  
E-mail: niitt@rambler.ru

**Описаны конструкции и принцип действия шести новых видов амортизирующих ударогасящих текстильных изделий порогового срабатывания, используемых в аварийных и экстренных ситуациях.**

**Ключевые слова:** текстильные изделия, ткани, тканые ленты, плетеные шнуры, разрывная нагрузка, частичное разрушение изделия при программируемой пороговой нагрузке, диаграмма растяжения изделия при аварийном срабатывании.

**We describe the design and operation of six new types of cushioning shock absorbing textiles of a threshold trigger operation used in accident and emergency situations.**

**Keywords:** technical textiles, fabrics, woven tapes, braided cords, breaking load, partial destruction. of the product and Program at the threshold load chart stretching products for emergency actuation.

Специалистами научно-исследовательского института технических тканей на уровне изобретений разработаны и доведены до серийного производства пять новых видов страховочных энергопоглощающих амортизирующих ударогасящих текстильных изделий порогового срабатывания нового поколения. Эти изделия порогового срабатывания могут быть использованы в амортизирующих и предохранительных энергопоглощающих устройствах для гашения кинетической энергии и ударной нагрузки движущихся масс, преимущественно для комплектации парных текстильных модулей аварийных тормозных установок в качестве упругих одноразовых элементов - амортизаторов, обеспечивающих экстренное торможение транспортных средств в том числе и при аварийной посадке приземляющихся самолетов. Кроме того они могут быть использованы в амортизирующих устройствах транспортных ремней безопасности, предохранительных поясов монтажников и любых энергопоглощающих устройств, преимущественно в улавливающих узлах установок для гашения кинетической энергии движущихся масс.

По конструкции и принципу действия разработанные виды изделий порогового срабатывания относятся к двум основным типам: поперечно раздираемым (раздвигаемым) и

продольно растяжимым (разрываемым). Три вида изделий относятся к первому типу, а два ко второму.

Основным атрибутом конструкции текстильных изделий порогового срабатывания первого типа является наличие в их составе двух параллельно расположенных относительно друг друга тканых полосок, соединенных между собой системой нитей, служащих одновременно энергопоглощающими элементами, разрываемыми под действием заданной пороговой нагрузки. На одном из концевых участков изделий порогового срабатывания соединенные между собой тканые полоски методом надреза разделяются с образованием язычков заданной длины, которые фиксируются на двух разных плоскостях амортизирующего устройства.

В случае аварийного перемещения одной или обеих плоскостей с закрепленными на них язычками тканых полосок соединяющие их нити разрываются, при этом происходит превращение кинетической энергии движущихся тел в работу разрыва соединительных энергопоглощающих нитей.

Особенностями конструкции текстильных изделий порогового срабатывания второго типа является наличие в их составе нескольких групп (не менее трех) продольно разрываемых силовых нитей, имеющих разную относительно друг друга фактическую длину, которые при приложении к отрезку текстильного изделия продольной ударной нагрузки удлиняются и впоследствии, при достижении нагрузки пороговой величины, поочередно в порядке обратном абсолютной длине заработанных в изделие нитей, разрываются, превращая кинетическую энергию движущихся тел в работу разрыва разнотолстых энергопоглощающих нитей. Кроме того текстильные изделия порогового срабатывания второго типа обеспечивают небольшую величину перемещения страхуемого тела при пороговом срабатывании, не превышающую 50% исходной длины. При этом фоновая часть изделия обладает страховочным свойством фиксировать и удерживать страхуемое тело после порогового срабатывания не менее чем с 10 кратным запасом прочности порога срабатывания.

Схемы расположения нитей в пяти видов вновь разработанных страховочных энергопоглощающих амортизирующих ударогасящих текстильных изделий порогового срабатывания приведены на рисунке 1. Три изделия расположенные в верхней части иллюстрации, относятся к первому типу, а два нижних - ко второму типу. В верхней части иллюстрации 2 приведена схема приложения сил разрыва к текстильным изделиям порогового срабатывания первого типа и график изменения их разрывной нагрузки. На этом рисунке приняты следующие условные обозначения: **P** - приложенная к ветвям изделия пороговая нагрузка; **A** - амплитуда колебания (перепад) разрывной нагрузки; **1, 2** - первый и второй фоновые слои, **3** - амортизирующие разрываемые элементы. В нижней части иллюстрации 2 изображена схема приложения нагрузок к текстильным изделиям порогового срабатывания второго типа и характер диаграмм «нагрузка-удлинение» при их нагружении.

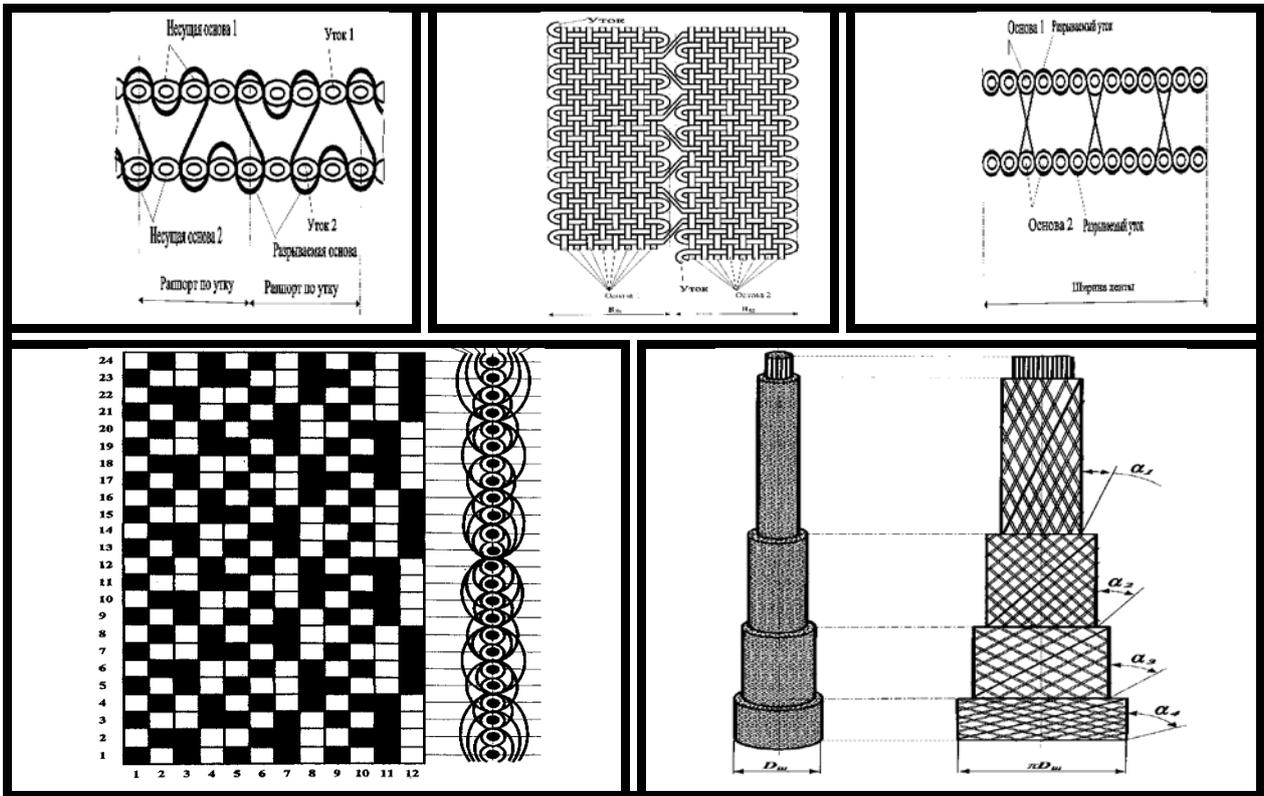


Рис. 1. Схемы расположения нитей в страховочных энергопоглощающих амортизирующих ударогасящих текстильных изделиях порогового срабатывания

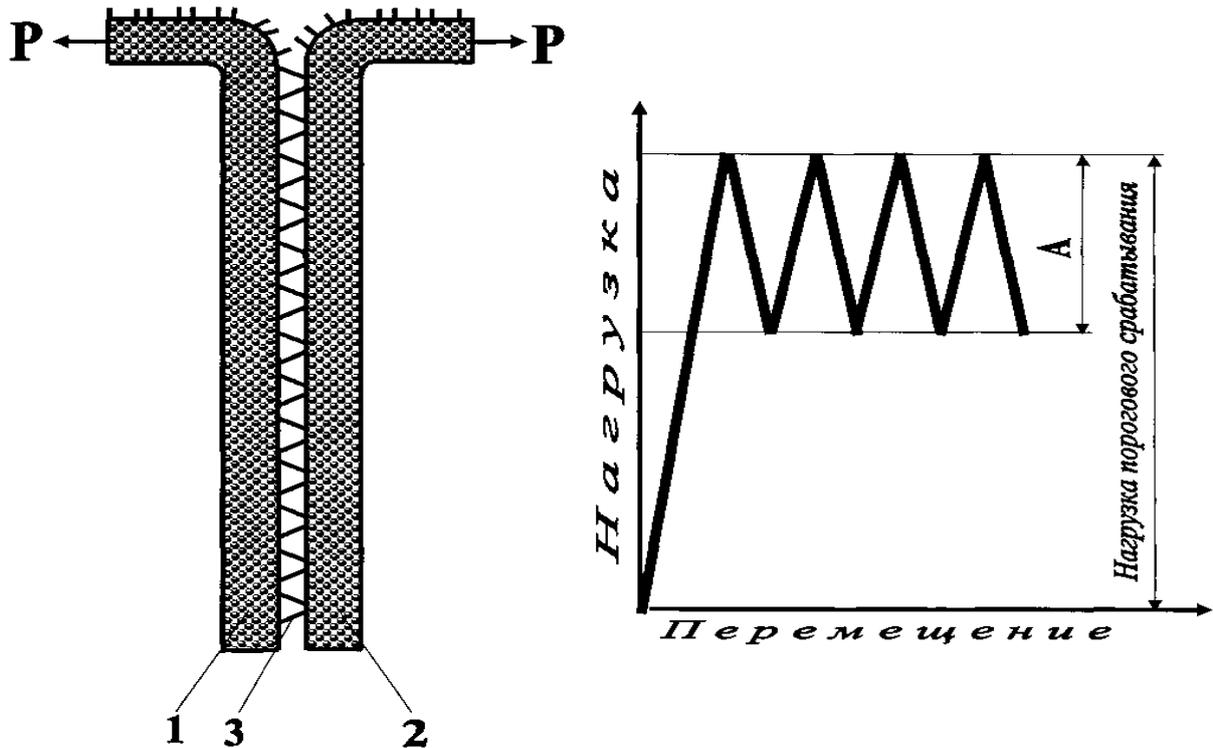


Рис.2. Схема приложения сил разрыва к текстильным изделиям порогового срабатывания первого типа и характер диаграмм «нагрузка-удлинение» при их нагружении

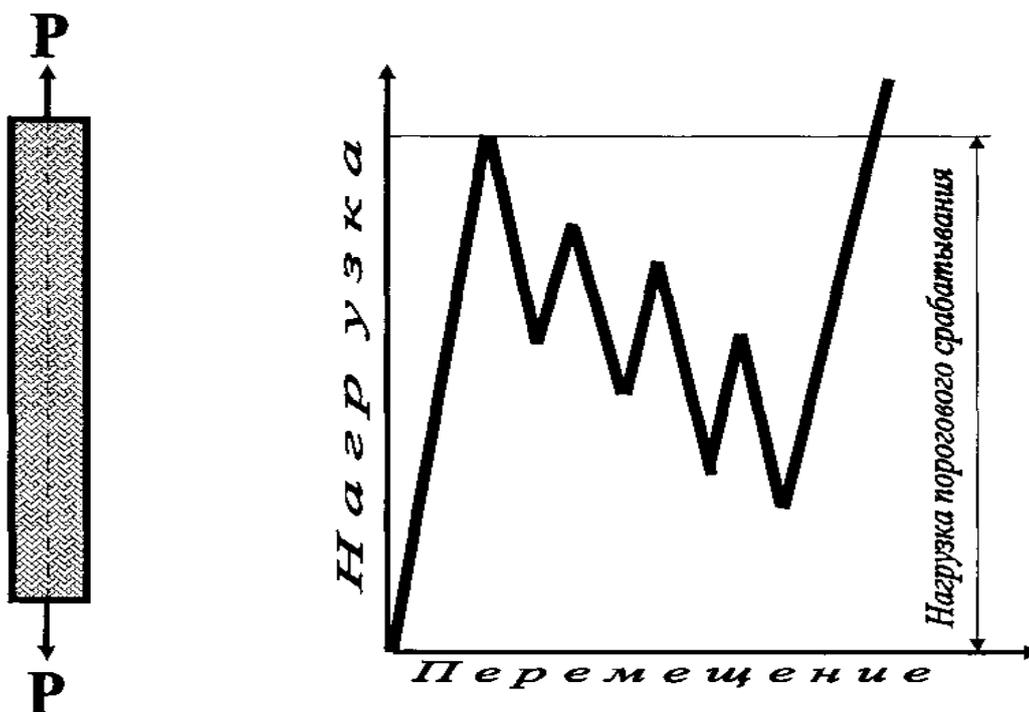


Рис.3. Схема приложения сил разрыва к текстильным изделиям порогового срабатывания второго типа и характер диаграмм «нагрузка-удлинение» при их нагружении

Все пять новых видов текстильных изделий порогового срабатывания могут эксплуатироваться при температуре окружающей среды  $\pm 50^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности до 98%.

Кроме того, нами создана биоксиизотропная энергопоглощающая техническая ткань порогового срабатывания, которая может быть использовано в качестве армирующего тканого каркаса композитов на основе эластомерных материалов преимущественно для изготовления «мягких» топливных баков наземных транспортных средств и летательных аппаратов. Предлагаемая ткань без полимерного покрытия может быть использована в качестве противовзрывных заградительных экранов, нейтрализующих ударные волны взрывных устройств, а также для изготовления специальной защитной одежды, бронежилетов и бронепластин. Принцип срабатывания этой ткани основан на реализации известного факта, что наиболее эффективным способом гашения кинетической энергии, образованной взрывной волной, является её механическое преобразование в работу разрыва (разрушения) силовых элементов защитной щитовой перегородки, поставленной на пути ударной волны. В качестве такой защитной перегородки может служить специальная ткань, биаксиизотропная по конструкции и одновременно с этим обладающая программируемыми энергопоглощающими ударогасящими амортизирующими свойствами, проявляющимися при воздействии на неё пороговой нагрузки или взрывной волны.

При воздействии на такую ткань кинетической энергии, образованной взрывной волной, в ней сначала разорвется только часть компонентов нитей, имеющих меньшую эластичность, работа разрыва которых частично ослабит силу взрывной волны, а оставшаяся часть волокон этих нитей, взаимодействуя с ослабленной волной, нейтрализует ее разрушающее действие. Будучи только частично разрушенной, ткань задержит движимые взрывной волной поражающие осколки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Керимов С. Г., Уточкин М. А. «Канат страховочно-спасательный спирального плетения». Патент РФ № 2374371, БИ № 33, 2009.
2. Керимов С. Г., Попов Л. Н., Попов А. Л. «Энергопоглощающая тканая лента порогового срабатывания». Патент РФ № 2377346, БИ № 36, 2009.
3. Керимов С. Г., Попов Л. Н., Попов А. Л. «Амортизирующая тканая лента порогового срабатывания». Патент РФ № 2394951, БИ № 20, 2010.
4. Керимов С. Г., Попов Л. Н., Попов А. Л. «Ударопоглощающая тканая лента порогового срабатывания». Патент РФ № 2394952, БИ № 20, 2010.
5. Керимов С.Г., Ауце И. Г. «Шнур плетеный страховочно-спасательный». Патент РФ № 2401894, БИ № 29 2010.
6. Керимов С.Г., Ауце И. Г. «Шнур плетеный страховочный порогового срабатывания». Патент РФ № 2401895, БИ № 29, 2010.
7. Керимов С.Г., Ауце И. Г. «Страховочная тканая лента порогового срабатывания». Патент РФ № 2404302, БИ № 32, 2010.

УДК 677.074.3

### **ТЕХНИЧЕСКАЯ ТКАНЬ ДЛЯ ОПОРНОГО СЛОЯ ЭЛАСТИЧНОГО СПАСАТЕЛЬНОГО РУКАВА ДЛЯ ЭКСТРЕННОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПОЖАРАХ И ДРУГИХ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

### **TECHNICAL TEXTILES FABRIC FOR THE SUPPORTING LAYER OF ELASTIC SLEEVES FOR RESCUE EMERGENCY EVACUATION OF PEOPLE FROM THE HIGH-RISE BUILDINGS AND STRUCTURES IN A ON FIRE OR OTHER EMERGENCY SITUATIONS**

С.Г. Керимов, Л.Н. Попов  
S.G. Kerimov, L.N. Popov

ОАО «Научно-исследовательский институт технических тканей» (Ярославль)  
Joint-stock company «Research Institute of Technical Fabrics» (Yaroslavl)  
E-mail: niitt@rambler.ru

**Описана конструкция и принцип использования рукавной технической ткани для несущего опорного слоя эластичного спасательного рукава для экстренной эвакуации людей из высотных зданий и сооружений при пожарах и других аварийных ситуациях. Приведен пример конкретной установки спасательного устройства на высотном здании.**

**Ключевые слова:** спасательное устройство, рукавная ткань, аварийная ситуация, безопасная эвакуация людей.

**Describes the design and principle of using tubular technical fabrics usage for carrying opornogosloâ supporting layer of elastic sleeves for the emergency evacuation and rescue people from tall high-rise buildings and structures in on fires and other emergencies. Shows aAn example of installation-specific rescue device to a high-rise building is shown.**

**Keywords:** safety device, sleeve tubular fabric, emergency, the safe evacuation of personspeople.

Наметившаяся в настоящее время тенденция строительства высотных зданий и технических сооружений привела к серьезным трудностям, связанным с необходимостью экстренной эвакуации из них людей в случае пожара или других аварийных ситуаций. Эти трудности связаны с тем, что применение традиционных средств (веревки, лестниц,

полотнищ) для экстренной эвакуации людей из высотных зданий и сооружений малоэффективно. Кроме того, в случае эвакуации людей из высотных зданий большое значение на эффективность их спасения имеет психологический фактор страха высоты и открытого пространства. Поэтому встал вопрос создания высокоэффективных и безопасных средств эвакуации людей из высотных зданий и сооружений. Таким эффективным средством стал разработанный исполнителями работы тканевый эластичный спасательный рукав, состоящий из трех слоев, расположенных один в другом рукавных тканей, закрепленных в кольце диаметром 600 мм. Внутренний рукав является нерастяжимым в осевом направлении и служит для восприятия осевых нагрузок, возникающих при эвакуации людей и предметов. Средний слой является эластичным в поперечном направлении и служит для создания требуемого давления на поверхность спускаемых тел, наружный слой – огнезащитный [1]. Во время спуска в эластичном спасательном рукаве эвакуируемый человек обжимается рукавом, обладающим упругостью относительно поперечных деформаций, при этом между одеждой эвакуируемого и рукавом возникает сила трения, замедляющая падение. Эластичный спасательный рукав (Рис. 1) обеспечивает регулируемую скорость спуска в пределах 0,1 – 1,0 м/с людей различной массы и габаритов В процессе эксплуатации рукавные ткани для спасательных рукавов испытывают трение, приводящее к образованию и накоплению на их поверхности зарядов статического электричества и последующим разрядам, что отрицательно влияет на самочувствие людей, соприкасающихся с опорным слоем, вызывая у них дискомфорт и известные неудобства.

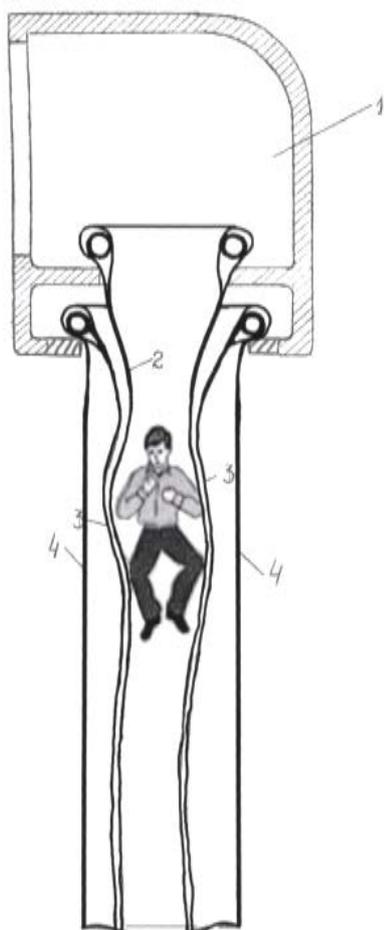


Рис. 1. Схема устройства спасательного рукава для экстренной эвакуации людей из высотных зданий и сооружений: **1** – входное устройство; **2**. Опорный рукав, воспринимающий нагрузки; **3**. – тормозной рукав с эластичным утком; **4**.- огнезащитный рукав; фотография спасательного устройства, стационарно установленного на административном здании.

Проведенными исследованиями установлено, что для нейтрализации зарядов статического электричества в тканях для спасательных рукавов их сырьевой состав необходимо подбирать таким образом, чтобы на нитях основы и утка при трении возникали заряды статического электричества, одинаковые по количеству, но различные по знаку, и нейтрализовали друг друга. Величина заряда зависит от состояния контакта между трущимися поверхностями. При трении о различные материалы на полиамидных волокнах в основном возникают положительные заряды, тогда как на полиэфирных волокнах - отрицательные заряды. Поэтому в качестве основы опорного слоя спасательного рукава была принята полиамидная (капроновая) нить, а в качестве утка – полиэфирная (лавсановая) пряжа.

Проектирование рациональной структуры рукавной ткани опорного слоя спасательного рукава производилось по методике и расчетным формулам НИИТТ. В основу расчета положено обеспечение заданной прочности, т. е. разрывной нагрузки ткани, составляющей не менее 17000 кгс, чтобы обеспечить одновременное безопасное нахождение в рукаве до 20 человек при 8 кратном запасе прочности опорного слоя.

Фиксация нитей утка в зоне формирования кромочных складок на станке СТБ происходит за счет прокладки концов уточных нитей в последующий зев, происходящий на противоположном слое. В этом случае целостность кромок сохраняется исключительно за счет сил трения изогнутых нитей утка. Зафиксированная длина закладной уточины равна двум ширинам закладной кромки. В разработанной рукавной ткани (См. Табл. 1.) прочность ткани по утку в зоне закладной кромки не менее 35% прочности аналогичной уточной полоски фона (что оговорено исходными требованиями на ткань).

Таблица 1

Техническая характеристика рукавной ткани для опорного слоя эвакуационного рукава

Наименование показателя	Значения
Ширина полупериметра, см	95,0 ± 3,0
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	380 ± 30
Линейная плотность, г/м	720 ± 50
Толщина 1 слоя, мм, не более	0,75
Количество нитей на 10 см (на 1 слой): по основе по утку	113 ± 2 87 ± 2
Разрывная нагрузка полоски ткани размером 50 x 200 мм, Н (кгс)? не менее: по основе по утку	4410 (450) 470 (150)
Удлинение полоски ткани размером 50 x 200 мм при разрыве, %, не более: по основе по утку	30,0 18,0
Разрывная нагрузка уточной полоски размером 50 x 200 мм, Н (кгс) не менее	81 (100)
Удлинение при разрыве уточной полоски ткани ткани размером 50 x 200 мм, %, не более	20
Расчетная разрывная нагрузка ткани в целом по периметру, Н (кгс), не менее	166667 (17000)

Раздирающая нагрузка, Н (кгс), не менее: по основе по утку	441 (45) 441 (45)
Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$	$300 \pm 30$
Стойкость ткани к истиранию по плоскости, число оборотов, не менее	3000
Вид волокна и структура нитей: основы  утка	Нить полиамидная (капроновая) 93,5 текс x 1 пряжа полиэфирная (лавсановая) 50 текс x 3
Вид переплетения	Рукав саржевый 2/1

Опытные образцы рукавной ткани саржевого переплетения рассчитанной структуры были изготовлены в условиях опытного производства «Научно-исследовательского института технических тканей», (г. Ярославль) на бесчелночном ткацком станке СТБТ-180.

Дополнительным преимущественным достоинством ткани является её свойство гасить заряды статического электричества, возникающие при эксплуатации [2].

На структуру рукавной ткани оптимальной структуры составлены и в установленном порядке согласованы и утверждены технические условия. При этом основным преимущественным достоинством этой ткани является наличие в ней антистатических свойств, обеспечивающих эвакуируемым людям относительный комфорт при перемещении внутри рукава. Опытная партия спасательных рукавов, содержащих опорные слои из разработанной ткани была изготовлена и с положительным результатом испытана в реальных условиях различных объектов, расположенных в России, Белоруссии, Украине и Казахстане.

Экономический эффект от использования комплекта спасательного рукава при фактическом спасении составит 1 млн. рублей на каждого спасенного человека.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Керимов С. Г., Попов Л. Н., Полая техническая ткань для опорного слоя спасательного рукава. Патент РФ № 2370577. БИ 2009, № 33.
2. Керимов С. Г., Постников А. В. Нейтрализация зарядов статического электричества при выработке и эксплуатации обивочных тканей для сидений транспортных средств. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 4.

**РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ХИМИЗАЦИЯ АССОРТИМЕНТА  
ПРОИЗВОДИМОГО В РОССИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ТЕКСТИЛЯ**

**EXPANSION RESOURCE AND CHEMICALIZATION  
OF TECHNICAL TEXTILES IN RUSSIA**

Л.Н. Попов, С.Г. Керимов

L.N. Popov, S.G. Kerimov

ОАО «Научно-исследовательский институт технических тканей» (Ярославль)

Joint-stock company «Research Institute of Technical Fabrics» (Yaroslavl)

E-mail: niitt@rambler.ru

**Показана практическая и экономическая целесообразность замены в производстве технического текстиля натуральных волокон химическими. Приведена динамика достигнутой степени химизации в производстве технического текстиля в определенном временном интервале.**

**Ключевые слова:** изменение сырьевого состава технического текстиля, натуральные волокна, химические нити, разработка нового ассортимента технических тканей.

**It is shown that the practical and economic feasibility of the natural fibers' substitution by the chemical ones in the production of technical textiles was shown including its dynamics in a certain time interval textiles of natural fibers chemically. The dynamics of the achieved degree of Application of chemicals in the production of technical textiles in a time interval.**

**Keywords:** changing the composition of the raw material of technical textiles, natural fibers, chemical threads, the development of a new range of technical fabrics. technical textiles, natural fibers, chemical fibers, technical fabrics, assortment.

В декабре 2015 года ОАО «Научно-исследовательский институт технических тканей» исполнилось 50 лет. Целью создания института была централизация проведения научных исследований в области разработки технологии и ассортимента тяжелых технических тканей с применением химических волокон и нитей взамен натуральных. За годы своего существования институт в основном решил важнейшую государственную задачу по замене хлопка химическими волокнами в производстве тяжелых технических тканей. Долгие годы институт являлся головной организацией страны по вопросам создания ассортимента и технологии тяжелых технических тканей.

В результате научной деятельности в институте разработана гамма тканей для конвейерных лент, резинотканевых рукавов, клиновых и плоских приводных ремней, диафрагменных тканей для электролиза никеля, фильтрации апатитов и железорудных концентратов, глинозема, металлургических газов и др. сред. Огромная работа проведена по созданию и внедрению в производство высококачественных тканей с разрывной нагрузкой 50-500 кгс/см, которые используются в качестве гибких ограждений (юбок,) для судов на воздушной подушке малой, средней и большой грузоподъемности. Разработаны и внедрены в производство ткани для надувных шлюпок морских судов, мягких резервуаров, предназначенных для транспортировки и наземного хранения топлива и моторных масел, изготовления боновых ограждений, используемых при экологических катастрофах.

90% объема ассортимента тяжелых технических тканей, выпускаемых предприятиями текстильной промышленности России, являются разработками института.

За последние 10 лет институтом проделана большая исследовательская работа в области развития ассортимента и технологии новых технических тканей. Создано и внедрено на текстильных и перерабатывающих технических текстиль предприятиях 86 новых вида текстильных изделий, из которых 52 выполнены на уровне изобретений (текстильные

материалы порогового срабатывания, ткани под эластомерное покрытие рукавные полые, биаксиотропные армирующие и защитные, фильтровальные и многие другие).

Разработанные институтом в период 2005 - 2015 годов текстильные изделия технического назначения внедрены на предприятиях и в организациях России, Белоруссии, Украины, Казахстана, Литвы.

Текстильные материалы технического и специального назначения широко используются в различных отраслях народного хозяйства. В отличие от аналогичных материалов бытового назначения они характеризуются более высокими физико-механическими и эксплуатационными показателями.

Эксплуатационные показатели материалов технического назначения обусловлены их целевым назначением. Основными видами текстильных материалов технического назначения являются ткани, тканые ленты, полотна и плетеные шнуры.

До недавнего времени в сырьевом составе текстильных материалов технического и специального назначения преобладали натуральные волокна с небольшим содержанием химических волокон и нитей. Степень химизации технических тканей не превышала 43%, что явно не достаточно. Практически подтверждено, что применений 1 тонны химических нитей в производстве технических тканей высвобождает в среднем 2 тонны хлопка. При этом трудозатраты в текстильной промышленности сокращаются от 30 до 60% в зависимости от ассортимента. Повышается прочность, стойкость к агрессивным средам и атмосферным воздействиям, а срок эксплуатации изделий, изготовленных из химических нитей, увеличивается от 1,5 до 5,0 раз в зависимости от назначения. Поэтому химизация технотканой подотрасли текстильной промышленности всегда была и остаётся актуальной задачей. Так, если в 90-е годы XX столетия основными итоговыми результатами химизации было высвобождение сырьевых, трудовых и энергетических ресурсов, то в настоящее время к ним добавилась новая, не менее актуальная цель – импортозамещение хлопка, которого в настоящее время в России практически не производится.

Прямая замена хлопчатобумажной пряжи химическими нитями, при производстве текстильных изделий технического назначения, из-за специфики свойств, оказалась неэффективной, так как текстильная переработка химических нитей на технологическом оборудовании, адаптированном к переработке хлопка, оказалась чрезвычайно затруднительной, а в некоторых случаях практически невозможной. Кроме того, оказалось, что для расчета параметров строения текстильных изделий технического назначения из химических нитей требуются свои (новые) расчетные формулы и новые специфические методы и средства испытания на новые для отрасли показатели.

В связи с этим перед специалистами научно-исследовательского института технических тканей была поставлена задача дальнейшей химизации подотрасли технических тканей.

С этой целью создано новое поколение охраноспособных энерго- и ресурсосберегающих импортозамещающих текстильных изделий технического и специального назначения. Всего создано и внедрено более **75** видов текстильных материалов. Достигнутая при этом степень химизации производства технического текстиля в России составила 90 % (См. табл. 1).

Динамика химизации в производстве технических тканей

Сырьевой состав текстильных изделий технического и специального назначения	Г о д					
	1985	1990	1995	2000	2005	2015
Хлопка, %	57	43	28	16	12	10
Химических волокон и нитей, %	43	57	72	84	88	90

Экономическая эффективность от внедрения в промышленность вновь разработанного ассортимента текстильных материалов технического назначения составила 38,7 миллионов рублей в год.

Работы по увеличению степени химизации производства текстильных материалов технического назначения продолжаются и в настоящее время.

УДК 677.074.3

**ТКАНАЯ СИЛОВАЯ ОБОЛОЧКА ТРАНСПОРТИРОВОЧНОЙ РЕАНИМАЦИОННО-РЕАБИЛИТАЦИОННОЙ БАРОКАМРЫ ДЛЯ ЭКСТРЕННОГО ЛЕЧЕНИЯ КЕССОННОЙ БОЛЕЗНИ**

**WOVEN STRUCTURAL ENVELOPE FOR CONVEYANCE TRANSPORTING RESUSCITATIVE REANIMATION - REHABILITATION BAROKAMERY PRESSURE CHAMBER FOR EMERGENCY TREATMENT OF DECOMPRESSION CAISSON SICKNESS**

С.Г. Керимов, Л.Н. Попов  
S.G. Kerimov, L.N. Popov

ОАО «Научно-исследовательский институт технических тканей» (Ярославль)  
Joint-stock company «Research Institute of Technical Fabrics» (Yaroslavl)  
E-mail: niitt@rambler.ru

Приведена техническая характеристика специально разработанных высокопрочных рукавных тканей, используемых в качестве силовой оболочки складываемой транспортируемой реанимационно-реабилитационной барокамеры для экстренного лечения кессонной болезни.

**Ключевые слова:** рукавная ткань, арамидные и комбинированные нити, силовая оболочка, кессонная болезнь, барокамера, повышенное давление.

**The technical characteristics of specially designed high-strength fabric bag woven sleeves used as a power foldable shell structural envelope transported resuscitative- eabilitatsionnoy reanimation- rehabilitation hyperbaric chambers for emergency treatment of decompression caisson sickness.**

**Keywords:** tubular fabric, aramid and composite yarns, power structural envelope shell, decompression caisson sickness, hyperbaric chamber, high blood pressure.

Во время пребывания человека под повышенным атмосферным давлением или при его быстром переходе из среды с повышенным атмосферным давлением в среду с более низким давлением (например, из кессона или скафандра после работы под водой, или при нарушении герметизации кабины самолета на значительной высоте) у него возникает комплекс болезненных явлений, называемых кессонной болезнью. Основные симптомы

кессонной болезни: кожный зуд, суставные и мышечные боли, расстройства со стороны сердечно-сосудистой системы и дыхания, головокружение, расстройства речи, помрачение сознания, параличи. Эти симптомы чаще всего проявляются через небольшой период времени после выхода из-под повешенного давления: в 50% случаев в течение первых 30 мин., в 30% — от 30 до 60 мин., в 18% - от 1 мин. до 3 часов. Чем короче этот период, тем тяжелее протекает болезнь.

Лечение больного от кессонной болезни заключается в быстром возвращении пострадавшего под повышенное давление (рекомпрессия) в специальных барокамерах, с последующей постепенной декомпрессией (снижение давления). Наибольший лечебный эффект имеют переносные транспортируемые барокамеры, максимально приближенные к месту поражения больного высоким давлением.

Разработке рациональной структуры рукавной ткани для силовой оболочки транспортируемой барокамеры была посвящена специальная работа.

Транспортируемая барокамера представляет собой цилиндр состоящий из высокопрочного тканого рукава с встроенной внутрь камерой. В данную барокамеру помещается извлеченный из морской глубины человек и подается давление до 10 - 12 атмосфер, в зависимости от глубины, с которой поднят пострадавший. Известно, что цилиндрические конструкции работающие под давлением, разрушаются по образующей цилиндра, т. е. в нашем случае по утку. В связи с этим первоочередной задачей в создании данной силовой оболочки явилось разработка рукавной ткани с максимально-возможной прочностью по утку.

Таблица 1

Техническая характеристика рукавных тканей из комбинированных нитей для силовой оболочки транспортируемой реанимационной барокамеры

Наименование показателя	Значения для ткани марки	
	<b>TPCO - 1</b>	<b>TPCO – 2</b>
Ширина полупериметра, мм	943 ± 2,0	943 ± 2,0
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	825 ± 30	850 ± 30
Линейная плотность, г/м	1750 ± 70	1820 ± 70
Толщина, мм, не более	1,70	1,90
Количество нитей на 10 см (на 1 слой): по основе по утку	72 ± 2 54 ± 2	72 ± 2 72 ± 2
Разрывная нагрузка полоски ткани размером 25x 200 мм, Н (кгс), не менее: по основе по утку	1530 (1500) 1530 (1500)	735 (750) 1530 (1500)
Удлинение полоски ткани размером 25 x 200 мм при разрыве, %, не более: по основе по утку	6,0 6,0	20,0 6,0
Вид волокна и структура нитей: основы  утка	[(НАр 100 тек x 2 + НПам 93,5 текс) x 1] x 3  (НАр 100 текс x 3) x 3	НПэф 454 текс x 3  (НАр 100 текс x 3) x 3
Вид переплетения	Рукав «неправильная рогожка 2/1»	

---

Примечания.

1. Сокращенные обозначения структуры ткани:

**ТРСО** – ткань рукавная силовой оболочки;

**1,2** – модификация ткани, отличающаяся сырьевым составом нитей основы;

2. Сокращенные обозначения структур нитей:

**НАр** – нить арамидная «Русар»;

**НПам** – нить полиамидная (капроновая);

**НПэф** – нить полиэфирная (лавсановая).

Повышенные требования к прочности по утку объясняется тем, что транспортировка пострадавшего в барокамере осуществляется под давлением.

В случае обрыва одной-двух уточных нитей происходит лавинообразный процесс разрушения соседних нитей, в оболочке и в камере образуется отверстие (свищ), выходящая из которого под давлением струя воздуха приведет к резкому не предсказуемому смещению барокамеры в пространстве, что приведет к гибели человека в барокамере и обслуживающего персонала.

Высокая стабильная прочность по утку разработанной рукавной ткани обусловлена применением нитей «Руслан», а также, что очень важно, за счет равнодлинности уточных нитей по периметру рукава. Равнодлинность была достигнута с помощью специально сконструированного для этой цели запатентованного кромкообразующего устройства.

Помимо высокой прочности рукав (барокамера) согласно требованиям Заказчика должен обладать достаточной драпируемостью. В нерабочем состоянии барокамера должна складываться как меха гармони (Рис. 1 и Рис. 2). С этой целью для выработки рукавной ткани (оболочки) было выбрано переплетение «полурогожка 2/1», что обеспечило требуемую драпируемость. Ткани для силовой оболочки изготавливаются в опытном производстве ОАО «НИИТТ», а транспортировочные барокамеры на их основе – ЗАО «СКБ экспериментального оборудования при институте медико-биологических проблем» РАН» (г. Химки, Московской обл.).



Рис. 1. Общий вид барокамеры в сложенном виде

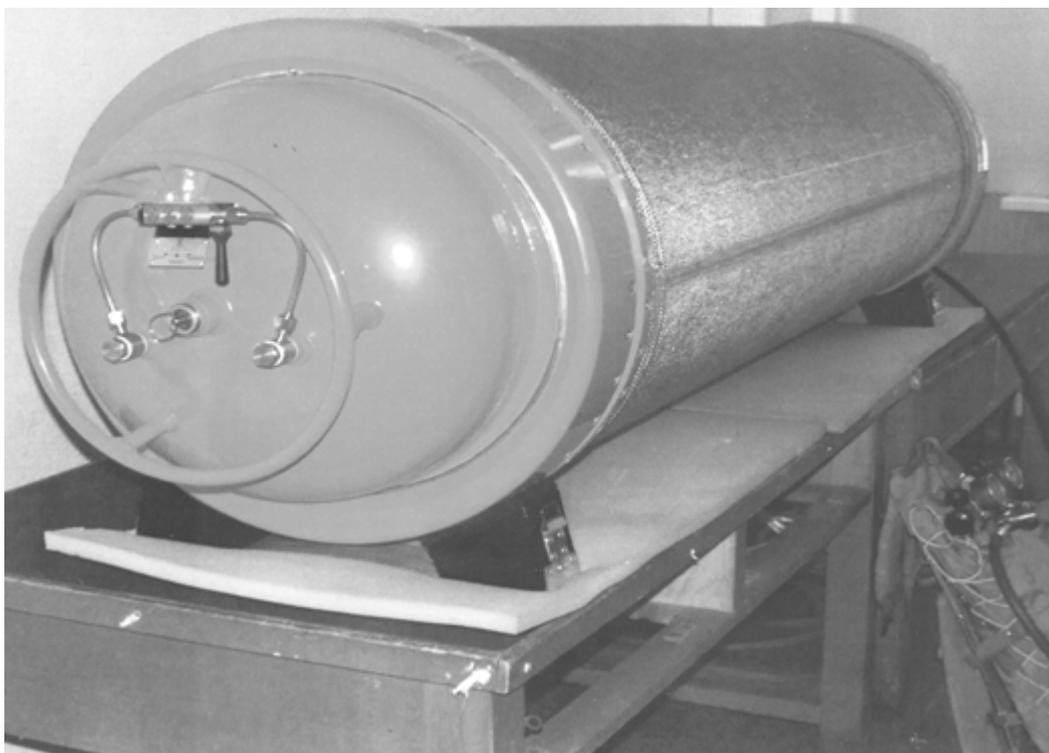


Рис. 2. Общий вид барокамеры в развернутом состоянии

677.027.4.017

**ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ НА КОЛОРИСТИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШЕРСТИ В ПРОЦЕССЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО КРАШЕНИЯ**

**THE INFLUENCE OF INTENSIFIERS ON COLORISTIC AND PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF WOOL IN THE PROCESS OF LOW-TEMPERATURE DYEING**

А.А. Буринская, А.Н. Аитова, Е.С. Цобкалло, О.А. Москалюк  
А.А. Burinskaia, А.Н. Aitova, Е.С. Tsobkallo, О.А. Moskalyuk

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
E-mail: burinska\_sag\_al@mail.ru; alya190990@mail.ru; tsobkallo@mail.ru;  
olga-moskalyuk@mail.ru

Изучен процесс низкотемпературного крашения шерстяной пряжи кислотным ярко-красным 4Ж красителем с использованием в качестве интенсификаторов редокс-систему, аминокислоту и совместно редокс-систему с аминокислотой. Установлено, что предложенные текстильно-вспомогательные вещества улучшают колористические характеристики окрашенной пряжи и приводят к повышению прочностных свойств и эластичности субстрата.

Ключевые слова: шерстяная пряжа, редокс-система, аминокислота, кислотный краситель, деформация, прочность, жесткость.

The process of low-temperature dyeing of woolen yarns with Acid Red dye, using redox-system, amino acid and the combination of redox-system and amino acid, was investigated. It is established that these intensifiers improves coloristic characteristics of the dyed yarn, and leads to increase of strength properties and elasticity of the substratum.

**Key words: Woolen yarn, redox system, amino acid, acid dye, deformation, durability, rigidity.**

Шерстяная отрасль текстильной промышленности отличается высоким удельным весом стоимости исходного сырья в себестоимости готовой продукции (90%), в связи с этим немаловажным является разработка низкотемпературных (70-80 °С) способов обработки, в том числе крашения, что положительно скажется на экономической составляющей процесса и позволит сохранить волокнистый субстрат и потребительские свойства готовых изделий.

Исследована возможность повышения качества шерстяной пряжи по комплексу показателей в процессе низкотемпературного крашения красителем кислотным ярко-красным 4Ж (Acid Red) в случае применения окислительно-восстановительной (редокс) системы (персульфат аммония – тиомочевина) и глутаминовой аминокислоты.

Известно, что в присутствии редокс-систем происходит формирование свободных радикалов на волокне шерсти и красителе с закреплением красителя на субстрате при их взаимодействии не только за счет основных ионных (солевых), но и, возможно, ковалентных связей. Механизм образования свободных радикалов рассмотрен в работах [1,2]. Существует также доказательство интенсифицирующего влияния аминокислот на процессы колорирования текстильных материалов с улучшением качества окрасок и их устойчивости к физико-химическим воздействиям [3].

Ранее проведенными исследованиями были определены оптимальные концентрации предлагаемых редокс-системы и аминокислоты и их место в технологическом процессе [4,5].

Крашение шерстяной пряжи 155 текс в присутствии исследуемых интенсификаторов осуществлялось при 80 °С в течение 60 мин.

Интенсивность окраски характеризовали показателем Гуревича – Кубелки – Мунка (K/S), определенным в соответствии с коэффициентом отражения окрашенной пряжи, измеренном на приборе «Spesol-11» при длине волны 520 нм. Значение K/S для образца, окрашенного по традиционной технологии при температуре 100 °С составило 11,52, а для образцов, окрашенных при пониженной температуре в присутствии только глутаминовой кислоты и совместно с редокс-системой 14,17 и 16,26, соответственно.

Полученные данные свидетельствуют о более эффективном совместном действии редокс-системы и аминокислоты на сорбцию красителя шерстяным волокном, что связано с увеличением количества свободных аминогрупп и коррелируется со спектрами поглощения окрашенных материалов, полученных с помощью микроспектрофотометра МСФУ-К (рис. 1).

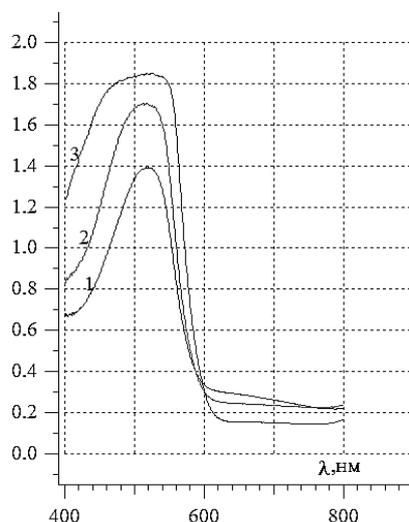


Рис. 1. Спектры поглощения волокон шерсти: 1 – образец, окрашенный по традиционной технологии при 100 °С, 2 – окрашенный при пониженной температуре в присутствии аминокислоты, 3 – окрашенный при пониженной температуре в присутствии редокс-системы и аминокислоты.

Ход кривых указывает на то, что интенсивность окраски шерстяной пряжи, окрашенной с использованием интенсифицирующих добавок выше, чем у образца, окрашенного по традиционной технологии при температуре кипения, что подтверждается проявлением гиперхромного эффекта. Отсутствие батохромных и гипсохромных сдвигов в спектрах свидетельствует о неизменности хромофорной системы красителя с сохранением оттенка полученных окрасок, что важно при крашении текстильных материалов в заданный цветовой тон.

Спектрофотометрическими исследованиями с использованием спектрофотометра фирмы «Gretag Magbeth» были определены колористические характеристики окрашенной пряжи в системе Lab и CMC в диапазоне длин волн – 360-750нм.

Система CIE  $L^*a^*b^*$  представляет собой равноконтрастную систему цветового пространства с расчетными формулами для цветовых различий, которые широко применяются в науке, технике и промышленности. В рамках данной системы приняты следующие обозначения:

$L^*$  – мера светлоты объекта;  $a^*$  – мера красноты ( $a^+$ ) или зеленоватости ( $a^-$ ) объекта;  $b^*$  – мера желтизны ( $b^+$ ) или голубизны ( $b^-$ ) объекта.

Система CMC представляет собой цветовое уравнение для расчета малых цветовых различий (МЦР). Оно базируется на системе Lab и включает показатели светлоты ( $L$ ), насыщенности ( $c$ ) и цветового тона ( $h$ ).

В табл. 1 представлены колористические характеристики и координаты цвета окрашенной кислотным ярко-красным 4Ж красителем шерстяной пряжи в равноконтрастной системе Lab, определенные при источнике освещения А – аппроксимирующий свет лампы накаливания с цветовой температурой 2854° К, и источнике D 65 – рассеянный солнечный свет, включающий ультрафиолетовую составляющую, имеющий цветовую температуру 6500° К.

Таблица 1

Колористические характеристики и координаты цветности окрашенной пряжи

№ образца	Цветовые характеристики в системе Lab									
	Стандартный источник освещения D65					Стандартный источник освещения А				
	$L^*$	$C^*$	$h^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$C^*$	$h^*$	$a^*$	$b^*$
1	45,2	56,6	24,9	51,4	23,8	52,7	62,6	38,7	49,8	37,9
2	42,5	57,8	27,1	51,2	26,2	49,9	64,4	38,6	50,3	40,1
3	43,2	61,0	27,5	54,2	28,1	51,7	67,9	39,0	52,5	43,0

Из анализа данных табл. 1 видно, что светлота ( $L^*$ ) образцов шерстяной пряжи, окрашенной в присутствии редокс-систем и аминокислоты ниже, чем субстрата, окрашенного по традиционной технологии, а показатели насыщенности ( $C^*$ ) - выше, что указывает на более высокую интенсивность полученных окрасок. Показатели цветового тона ( $h^*$ ) образцов шерстяной пряжи, окрашенных в присутствии интенсификаторов и по традиционной технологии, практически совпадают. Это свидетельствует о том, что присутствие исследуемых интенсифицирующих веществ не изменяет оттенок цвета полученных окрасок, что согласуется с данными, приведенными выше.

Степень повреждения шерстяной пряжи определялась по методу Гарриса и Смита (потеря массы образцов после растворения в 0,1 н растворе NaOH при 65 °С). Для образцов, окрашенных при 100 °С, она составила 12,6 %; окрашенных при использовании редокс-системы – 11,5%. Наилучшие результаты по сохранности материала показало использование в качестве интенсификатора процесса крашения аминокислоты (7,15%). Это можно объяснить так называемым эффектом «залечивания ран»: мономеры, в качестве которых выступает аминокислота, взаимодействуют с поверхностью шерстяного волокна (полимера), перекрывая микротрещины и повреждения материала.

Помимо высокой интенсивности окрасок и сохранности шерстяной пряжи немаловажно добиться высоких показателей фиксации красителя на волокне, так как степень фиксации красителя является одним из основных показателей эффективности применяемой технологии крашения и качества готовой текстильной продукции.

Степень фиксации красителей на волокне характеризовалась спектрами поглощения образцов шерстяной пряжи, подвергшихся экстракции в среде органического растворителя диметилформамида (ДМФА) при температуре кипения [6].

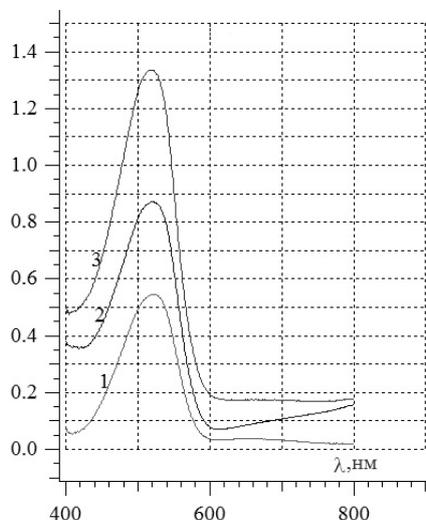


Рис. 2. Спектры поглощения волокон шерсти после экстракции в ДМФА: 1 – образец, окрашенный по традиционной технологии при 100 °С, 2 – окрашенный при пониженной температуре в присутствии аминокислоты, 3 – окрашенный при пониженной температуре в присутствии редокс-системы и аминокислоты.

Полученные данные свидетельствуют в пользу образования более прочных связей или увеличения количества межмолекулярных связей при крашении в присутствии редокс-системы и аминокислоты, обеспечивающих более прочное взаимодействие краситель – волокно.

Испытания механических свойств проводили на универсальной установке Instron 1122 в режиме активного растяжения. Скорость растяжения составляла 100 мм/мин, базовая длина - 200 мм. Все испытания проводились при нормальных условиях ( $T=20$  °С, влажность 65 %). На основе полученных диаграмм растяжения определялись прочность ( $\sigma_p$ , сН/Текс), удлинение до разрыва ( $\epsilon$ , %) и начальный модуль жесткости ( $E_0$ , сН/Текс).

Все исследуемые образцы шерстяной пряжи имеют схожую форму кривой растяжения, на которой выделяют три характерные для шерсти области: зону квазиупругой деформации в диапазоне  $0 \leq \epsilon \leq 3$  %, зону «текучести» –  $3 \% \leq \epsilon \leq 12-35$  % и третью зону –  $\epsilon \geq 12-35$  %, соответствующую области «после текучести». Подобные характерные области на кривых растяжения наблюдались и для моноволокон шерсти и отмечены в ряде работ [7-9]. Для шерстяной пряжи, состоящей из отдельных моноволокон, на эти три характерные области накладываются и эффекты, связанные с изменением макроструктуры при растяжении, а именно, распрямление отдельных моноволокон в пряже, расползание пряжи, связанное с проскальзыванием друг относительно друга отдельных моноволокон. Кроме того, структура и свойства отдельных моноволокон шерсти оказывают существенное влияние на диаграмму растяжения и характерные ее точки.

Значения прочности исследуемых образцов шерстяной пряжи до и после обработки и крашения представлены на диаграмме (рис. 3). Проанализировав значения прочности исследуемых шести видов образцов, следует отметить следующее. Для всех образцов, за исключением номера 5, прочность пряжи составляет около 7 сН/Текс, разброс значений находится в пределах погрешности измерений, а для образца 5  $\sigma_p$  возрастает и составляет 9

сН/Текс, что можно объяснить меньшей термодеструкцией моноволокон в пряже при крашении в условиях пониженной температуры. Некоторое возрастание прочности можно связать и с увеличением количества межмолекулярных связей при крашении в присутствии аминокислоты. Следует также отметить, что в качестве причины повышения прочностных показателей шерстяного волокна при использовании в качестве интенсификатора процесса крашения глутаминовой кислоты может выступать эффект залечивания ран, т.е. микротрещин на поверхности шерстяного волокна, что согласуется с приведенными выше данными по потере массы.

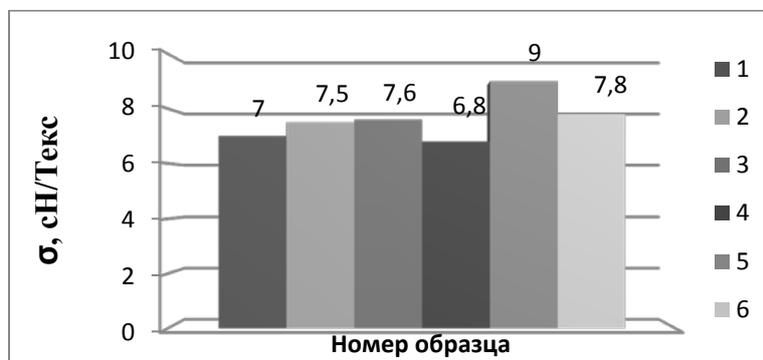


Рис. 3. Зависимость прочности шерстяной пряжи от типа обработки: 1 – исходный образец; 2 – обработанный глутаминовой кислотой; 3 – обработанный редокс-системой и глутаминовой кислотой; 4 – окрашенный по традиционной технологии при 100 °С; 5 – окрашенный при пониженной температуре (80 °С) в присутствии аминокислоты; 6 – окрашенный при 80 °С в присутствии редокс-системы и аминокислоты.

Было отмечено, что первоначальный участок кривых растяжения шерстяной пряжи – зона квазиупругих деформаций (в диапазоне  $0 \leq \epsilon \leq 3 \%$ ) представляет собой зависимость, близкую к прямой. По наклону отрезков прямых линий для всех исследуемых образцов пряжи были определены начальные модули жёсткости, значения которых представлены в виде диаграммы на рис. 4. Наиболее прочный образец 5, окрашенный при пониженной температуре в присутствии аминокислоты, оказался и наиболее податливым – значение начального модуля жесткости данного образца соответствует уровню значений исходной необработанной пряжи. Пряжа, окрашенная по традиционной технологии при 100 °С, проявила максимальную жесткость, которая возросла на 14 % по сравнению с исходным образцом, что можно связать с повреждением  $\alpha$ -структуры моноволокон шерсти при традиционном методе крашения. Из представленных данных можно сделать вывод, что предлагаемая технология низкотемпературного крашения в присутствии исследуемых интенсификаторов позволяет получать пряжу с пониженной жесткостью.

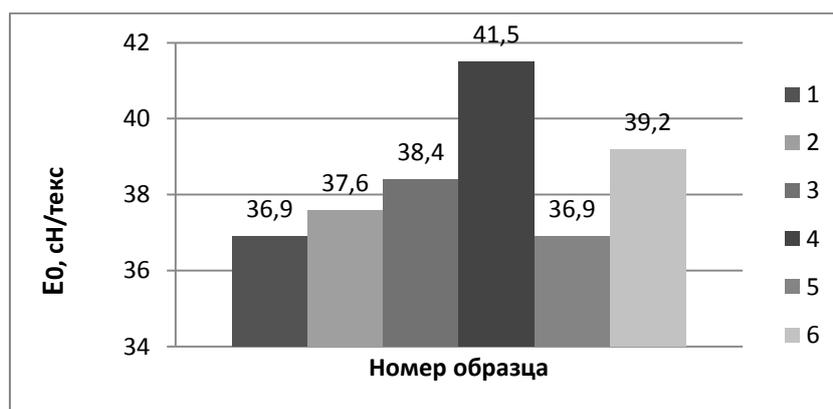


Рис. 4. Зависимость начального модуля жесткости шерстяной пряжи от типа обработки: 1 – исходный образец; 2 – обработанный глутаминовой кислотой; 3 – обработанный редокс-

системой и аминокислотой; 4 – окрашенный по традиционной технологии при 100 °С; 5 – окрашенный при пониженной температуре в присутствии аминокислоты; 6 – окрашенный при пониженной температуре в присутствии редокс-системы и аминокислоты.

Проведено сравнение эластичности исследуемых образцов шерстяной пряжи. В качестве характеристики эластичности использовано значение удлинения при разрыве пряжи (рис. 5).

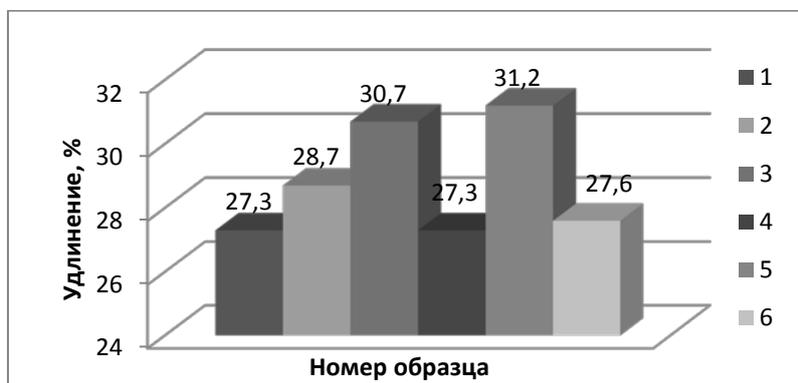


Рис. 5. Зависимость удлинения до разрыва шерстяной пряжи от типа обработки: 1 – исходный образец; 2 – обработанный глутаминовой кислотой; 3 – обработанный редокс-системой и аминокислотой; 4 – окрашенный по традиционной технологии; 5 – окрашенный при пониженной температуре в присутствии аминокислоты; 6 – окрашенный при пониженной температуре в присутствии редокс-системы и аминокислоты

Представленные данные свидетельствуют о том, что обработка пряжи исследуемыми интенсификаторами, а также крашение в присутствии аминокислоты и редокс-системы при температуре 80 °С, позволяют получить пряжу с более высокой эластичностью, по сравнению с образцом, окрашенным при 100 °С. Причем, наибольшее удлинение при разрыве относится к образцу 5, окрашенному в присутствии глутаминовой кислоты.

Повышение эластичности шерстяной пряжи связано с проскальзыванием отдельных моноволокон друг относительно друга, чему способствует сглаживание поверхности волокон шерсти в результате воздействия аминокислоты или редокс-системы с аминокислотой.

Поверхность моноволокон шерстяной пряжи была изучена на сравнительном микроскопе Leica FS 4000 в режиме пропускания при увеличении 400 X (рис. 6).

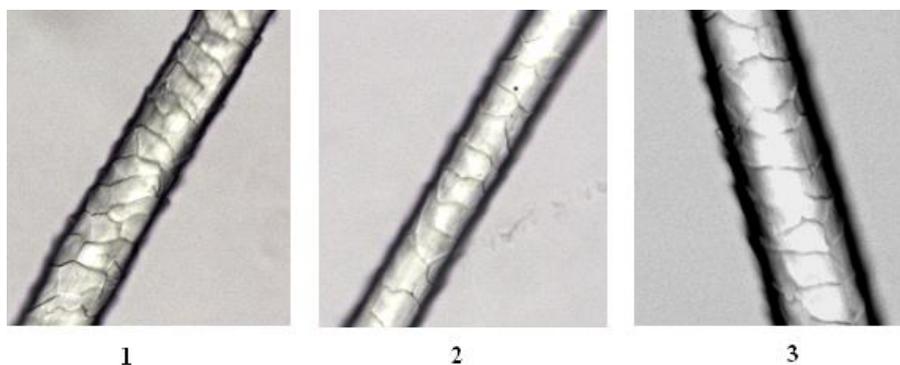


Рис. 6 Фотографии поверхности волокон: 1 – исходный необработанный образец; 2 – обработанный аминокислотой; 3 – обработанный редокс-системой и аминокислотой.

Низкотемпературное крашение шерстяной пряжи кислотным красителем в присутствии глутаминовой кислоты и редокс-системы (персульфат аммония – тиомочевина) позволяет получить более глубокие и прочные окраски пряжи, не подвергая материал жестким

условиям крашения, при этом предотвращая деструкцию материала, способствуя увеличению прочности и эластичности шерстяной пряжи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Burkinshaw S.M., Jiann Guand Lu. Dyeing in the Presence of Free Radical Initiators. Part 6: The dyeing of wool with disperse dyes // Department of Colour Chemistry and Dyeing, The University of Leeds, Leeds LS2 9JT. UK & Department of Textile Engineering, Van Nung Institute of Technology, Chung-Li (320), Taiwan. - 1994
2. Jutao Luo. Low-temperature dyeing of real silk fabrics using a redox system // Zhejiang Textile School, Ningbo, China. - 1991. P. 117 - 119.
3. Пат.2002874 С1 МПК6 D06 P 3/14 Способ крашения текстильного материала из шерсти или ее смеси с полиамидным волокном/Буринская А.А., Окуловская Н.В., Баруздина Л.В., Громов В.Ф., Стоцкий А.А., Гуртовенко С.И., Могильная Л.Н. №4909293/05; Заявлено 07.02.91; Опуб. 15.11.93.
4. Буринская А.А., Петрова О.В., Жукова А.И. Интенсификация процесса крашения шерсти активными красителями с использованием окислительно–восстановительных систем // Технология текстильной промышленности. – 2002.– №6. С. 57–59.
5. Аитова А.Н, А. А. Буринская, Г. М. Чекренева. Применение редокс-систем и аминокислот для интенсификации процесса печатания шерстяных тканей кислотными металлокомплексными красителями // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности. Научный журнал. Том 21, №3, 2013 г., С. 36-40.
6. S.A. Abdel-Haliz. Fixation of a direct dye on cotton using a cellulose thiocarbonate/ammonium persulphate system./ S.A. Abdel-Haliz // Helwan University, Faculty of Science. Chemistry Dept, Cairo, Egypt. – 1997.
7. Hearle J.W. // International Journal of Biological Macromolecules. – 2000, Vol 27, P.123-138.
8. Feughelman M. // Journal of Applied Polymer Science. – 2002, Vol 83. P.489-507.
9. Worthmann F.-J., Zahn H. // Textile Research Journal. – 1994, Vol 64(12). P.737. 114 № 4 (309)

УДК 677.024.3

#### **НОВЫЕ СТРУКТУРЫ ТКАНЕЙ ДЛЯ ГЕОТЕКСТИЛЯ И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ НА ОТЕЧЕСТВЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ**

#### **NEW FABRICS STRUCTURES FOR GEOTEXTILE AND THEIR FORMATION POSSIBILITY ANALYSIS ON DOMESTIC EQUIPMENT**

Т.Ю. Карева, Г.И. Толубеева, Т.И. Шейнова  
T.Y. Kareva, G.I. Tolubeeva, T.I. Sheynova

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

Рассмотрены некоторые вопросы особенностей строения и формирования геотекстильных тканых полотен. Определены требования к работе механизмов зверообразования и отвода ткани ткацкого станка.

Ключевые слова: геотекстиль тканый, ортогональное строение, неортогональное строение, переплетение, зверообразование, перевивочная ремизка, классическая ремизка.

Some questions of structure features and geotextiles woven fabrics formation are considered. Requirements to shedding mechanisms work and fabric removal off the loom are defined.

**Keywords: woven geotextiles, orthogonal structure, unorthogonal structure, weave, shedding, crossing heald, classical heald.**

В последние десятилетия в мировой практике производства текстильных материалов неуклонно растет доля технического текстиля. Со стороны различных отраслей промышленности увеличивается спрос на ткани специального назначения, что определяет рост их выпуска, особый интерес вызывают геоткани. Термины и понятия, используемые в области геотекстильных и геотекстилеподобных материалов, применяемых в науке, технике и производстве, регламентированы требованиями ГОСТ Р 53225-2008 [1]. Понятие геотекстиль тканый (en woven geotextile) трактуется как «материал, полученный путем полотняного переплетения, как правило, двух систем нитей, филаментов и (или) других элементов (основы и утка)». Однако, на сегодняшний день это определение не является полным и требует дополнения, что предполагалось разработчиками стандарта. В тексте стандарта указано, что «...приведенные определения терминов можно при необходимости изменять, вводя в них произвольные признаки, раскрывая значения используемых терминов и/или указывая объекты, относящиеся к определенному понятию» [1].

Все многообразие геотканей можно разделить на две группы: ткани классического ортогонального строения, чаще всего полотняного переплетения, с равномерным заполнением ткани волокнистым материалом, и ткани ячеистой структуры ортогонального и неортогонального строения. Следует отметить, что ткани первой группы и ткани ячеистой ортогональной структуры второй группы можно вырабатывать как на зарубежном, так и на отечественном ткацком оборудовании. В последнее время на рынке геотекстиля более востребованы ячеистые тканые структуры неортогонального строения в силу их улучшенных физико-механических свойств и стабильности формы ячеек. Они обладают более высокой устойчивостью к раздвижке по причине большего количества точек скрещивания нитей и больших углов обхвата нитей друг друга. При одинаковых плотностях нитей тканей ортогонального и неортогонального строения, натяжении и коэффициенте трения, геоткани неортогонального строения имеют устойчивость к раздвижке в 1,7 раз выше, на 30 % уменьшенный расход материала и на 40 % более высокую производительность изготовления, чем ткани ортогонального строения [2]. Особый интерес представляют сложные структуры текстильных тканых геополотен, сочетающие элементы перевивочного и классического переплетений (неортогонального и ортогонального строения). Текстильное оборудование и технологию изготовления тканей ячеистой сложной структуры неортогонального строения предлагают исключительно ведущие иностранные фирмы - производители ткацкого оборудования. Для решения задач по импортозамещению встает необходимость анализа образцов геотканей неортогонального сложного строения и составления технического задания для предприятий отечественного текстильного машиностроения по совершенствованию конструкции ткацкого станка с целью расширения их ассортиментных возможностей. В научно-исследовательской лаборатории инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности ИВГПУ проведены исследования образцов геотканей зарубежных фирм-изготовителей, в том числе полотен сложной структуры. На рис. 1 представлены фотографии трех образцов геотканей.

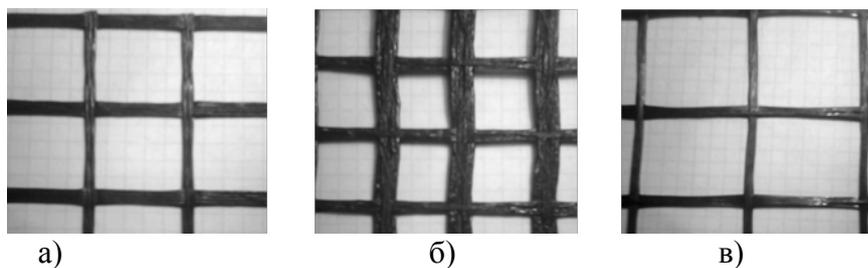


Рис. 1. Фотографии образцов геотканей

На рис. 1-а представлен образец геоткани неортогонального строения. В данном образце присутствует только перевивочное переплетение, показанное на рис. 2. Из рис. 2 видно, что в формировании вертикального ребра ячейки участвуют две пары перевивочных нитей основы. Горизонтальное ребро формируется группой из нитей утка. Для изготовления такой ткани требуются только две перевивочные ремизки. При прокладывании первых четырех уточных нитей первые перевивочные нити находятся в верхнем положении слева, вторые перевивочные нити – в нижнем положении справа. При прокладывании вторых четырех уточных нитей первые перевивочные нити находятся в верхнем положении справа, вторые перевивочные нити – в нижнем положении слева. Свое положение слева направо и наоборот перевивочные нити меняют после каждых четырех нитей утка. При этом вторые перевивочные нити при перемещении слева направо и наоборот всегда находятся выше первых перевивочных нитей (см. рис. 2).

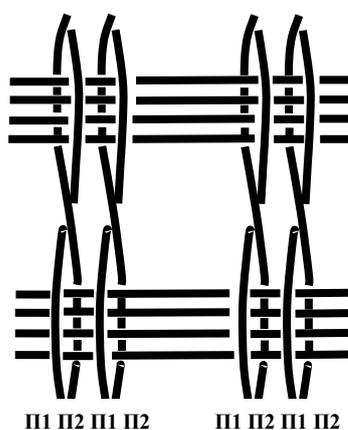


Рис. 2. Переплетение геоткани неортогонального строения (перевивочное переплетение)

На рис. 1-б представлена фотография геоткани сложного строения, рисунок ее переплетения показан на рис. 3.

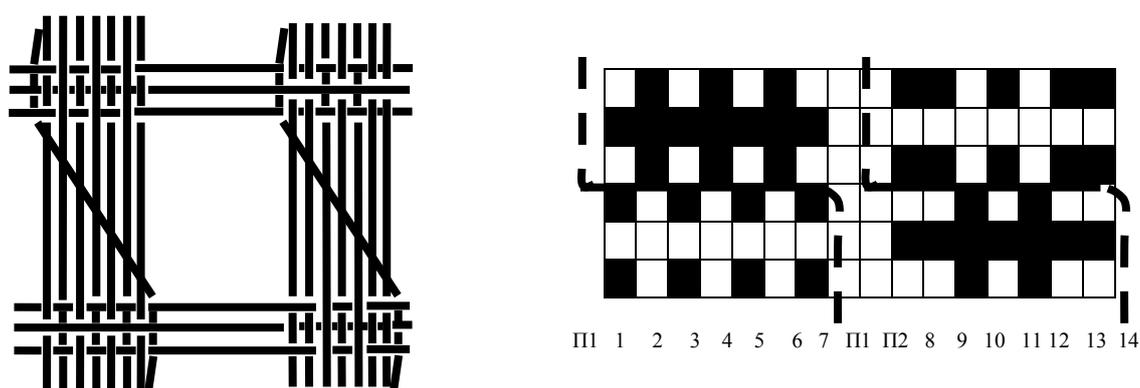


Рис. 3 Переплетение геоткани сложного строения

Для изготовления данного образца геоткани дополнительно к перевивочной ремизке требуются 4 классические ремизки, приводимых в движение кулачковым зевобразовательным механизмом. Часть основных нитей переплетается с утком полотняным переплетением, часть – основным репсом 3/3. Вертикальное ребро ячейки формируется нитями основы классического строения и перевивочной нитью. Горизонтальное ребро сформировано нитями утка, определенным образом переплетающимися с нитями основы ортогонального строения. При прокладывании уточных нитей, составляющих горизонтальное ребро ячейки, перевивочная нить находится

в нижнем положении и образует нижнюю ветвь зева. Свое положение слева направо и наоборот перевивочная нить меняет после каждых трех нитей утка, находясь сверху всех основных нитей основы ортогонального строения - пучка (с 1 по 7 нити – первый пучок, с 8 по 14 нити – второй пучок), в момент выхода ее в верхнее положение, участвуя в образовании верхней ветви зева.

Перевивочная ремизка должна быть снабжена жесткими стержнями с глазками для пробирания в них перевивочных нитей (жесткими галевыми) с верхним закреплением стержней (рис. 4) и иметь возможность горизонтального перемещения только в тот момент, когда она участвует в формировании верхней ветви зева.

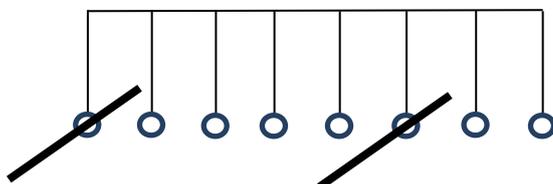


Рис. 4 Схема расположения жестких галев на перевивочной ремизке

На рис. 1-в представлена фотография ткани сложного строения с использованием в основе нитей более высокой линейной плотности, чем для образца геоткани, показанного на рис.1-б. На рис. 5 представлен рисунок переплетения третьего образца геоткани.

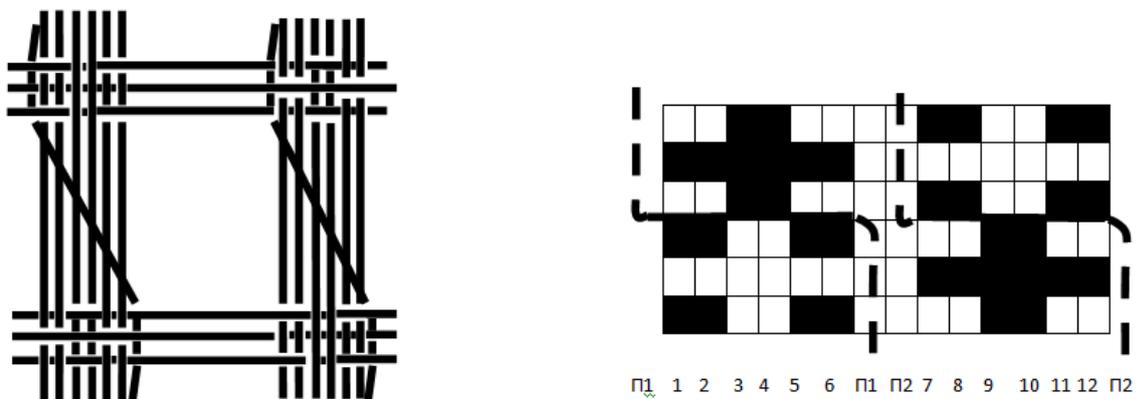


Рис. 5 Переплетение геоткани сложного строения с нитями большой линейной плотности

Как и для второго образца, для формирования данной ткани требуются одна перевивочная ремизка и четыре классических ремизки. Переплетение нитей классических ремизок с нитями утка такое же, как во втором образце (рис.1-б и рис. 3). Отличие заключается в количестве нитей в пучке, а также в чередовании классических нитей полотняного переплетения и основного репса 3/3 между собой. Перевивочная нить поднимается, опускается и перемещается в горизонтальном направлении таким же образом, как и перевивочная нить второго образца.

Наряду с отмеченными особенностями работы зевобразовательного механизма, для формирования геоткани ячеистой структуры требуется товарный регулятор, обеспечивающий отвод ткани с переменной плотностью по утку.

В результате анализа образцов геотканей и определения особенностей их формирования были подготовлены рекомендации ЗАО «Внешнеторговая фирма «Текстильмаш», г. Чебоксары, для проведения модернизации ткацкого станка СТБУФ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 53225-2008 «Национальный стандарт Российской Федерации. Материалы геотекстильные. Термины и определения».
2. EasyLeno® - EasyLeno®2T Новая технология для новых видов ткани [www.lindauerdornier.com](http://www.lindauerdornier.com)
3. Гойс Т.О. Совершенствование системы классификации геосинтетических материалов /Т.О. Гойс, А.Ю. Матрохин/ Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.- 2014.- №6.- С.37-41
4. Грузинцева Н.А. Обеспечение требуемого уровня качества геотекстильных материалов для дорожного строительства / Н.А. Грузинцева, М.А. Лысова, Т.В. Москвитина, Б.Н. Гусев / Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.- 2015.- №2.- С.19-22

УДК 677:687.03

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

#### **IMPROVING SEWING GARMENTS QUALITY THROUGH USING MODERN COMPOSITE MATERIALS**

О.В. Метелёва, И.Ю. Белова, С.В. Федосов  
O.V. Meteleva, I.Y. Belova, S.V. Fedosov

Ивановский государственный политехнический университет,  
Ivanovo State Polytechnic University.  
E-mail: kaf-tshi@yandex.ru

Приведен краткий аналитический обзор работ сотрудников Ивановского государственного политехнического университета, направленных на разработку и внедрение новых композиционных материалов в серийное производство швейных изделий бытового и специального назначения. Разработаны варианты многослойных материалов для проектирования швейных изделий с эффектами визуально-оптической и тепловой маскировки. Создан и апробирован композиционный пленочный материал при изготовлении различных швейных изделий, обеспечивающий герметичность ниточных соединений. Разработан новый ассортимент формообразующих (прокладочных) материалов, представляющих собой полимерно-волоконистые композиты с регулируемым изменением упруго-деформационных свойств и формоустойчивости дублированного пакета.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, швейные изделия бытового и специального назначения, материалы с металлонанпылением, маскировка, герметичность.

**In this article we see a short analytical review of staff works of Ivanovo State Polytechnic University. They are referred to the development and implementation of new composite materials in serial production of domestic and special garments. The variants of multilayered materials for design of garments with the visual-optical and heat camouflage are developed. The composite membranous material was created and approbated while making different garments. It ensures the integrity of thread connection.**

**Keywords:** composite materials, domestic and special garments, materials with metal-spraying masking, tightness.

Швейная промышленность играет значительную роль в обеспечении экономической и стратегической безопасности государства, занятости трудоспособного населения и повышении его жизненного уровня. Проблема устойчивого функционирования и конкурентоспособности предприятий швейной промышленности всегда актуальна, т.к. продукция имеет устойчивый спрос и востребована во многих сферах жизнедеятельности человека. Основными потребителями изделий швейной промышленности являются

индивидуальные покупатели, на долю которых приходится около 92% от общего объёма. Роль отечественных предприятий в формировании и наполнении внутреннего рынка отечественной продукцией трудно переоценить, особенно учитывая необходимость решения проблемы импортозамещения [1].

Учитывая значимость швейной промышленности, 24 сентября 2009 г. приказом Министерства промышленности и торговли РФ № 853 была утверждена Стратегия развития лёгкой промышленности РФ на период до 2020 г. [2], далее – стратегия развития. Основная цель этого документа – разработка мероприятий, способствующих интенсификации инновационного развития лёгкой промышленности РФ, обеспечению соответствия объёмов производства, качества и ассортимента продукции спросу потребителей. Развитию швейной промышленности способствует внедрение инновационных технологий, новых композиционных материалов, позволяющих предприятиям расширять ассортимент выпускаемой продукции, снижать трудоёмкость, совершенствовать качество. Это, в конечном итоге, способствует повышению авторитета отечественной швейной промышленности и росту её значимости в мировом сообществе.

В соответствии с одним из приоритетных мероприятий Стратегии развития, а именно, развития инновационной и научной деятельности, совершенствовании системы обеспечения лёгкой промышленности сырьевыми ресурсами в рамках выполнения проектной части государственного задания в сфере научной деятельности № 11.1898.2014/К (2014-2016гг) «Разработка научно-технических основ технологии наноструктурной модификации полимерно-неорганических композиционных материалов для лёгкой промышленности и строительной индустрии» в Ивановском государственном политехническом университете проводятся работы по созданию и внедрению в серийное производство новых композиционных материалов [3] для швейных изделий бытового и специального назначения.

В рамках проведения теоретических и экспериментальных исследований по разработке и обоснованию структуры многослойных композиционных материалов [4], а также конструктивного решения целостной системы защиты изделий, предназначенных для визуально-оптической и тепловой маскировки в разных климатических условиях их эксплуатации ведутся работы в трёх основных направлениях. I – разработка структуры многослойных энергоотражающих материалов, содержащих частицы металлов; II – разработка многослойных композиционных теплоизоляционных материалов; III – разработка вариантов теплосъёмных конструктивных решений.

Проведённый анализ материалов, экранирующих ИК-излучение, показал, что основная масса разработок лежит в области модификации текстильных материалов металлами, которые обладая характерными металлическими свойствами, такими, как высокая теплопроводность и металлический блеск оказывают существенное влияние на изменение оптических свойств материалов и их способность отражать тепловое излучение, так как и световой и тепловой поток – составляющие электромагнитного излучения. Используемая технология модификации текстильной основы металлом определялась его волокнистым составом. Для материалов, содержащих в своем составе преимущественно химические волокна и нити применялась технология ионно-плазменного распыления металлов, реализуемого в глубоком вакууме в мягких условиях так называемой низкотемпературной плазмы, что позволяет сохранить мягкий гриф, воздухо- и влагопроницаемость, драпируемость и прочностные характеристики. Для хлопчатобумажных и хлопколавансовых материалов, содержащих в своём составе более 60% натурального волокна, применялась технология ракельного нанесения химической композиции, содержащей частицы металлов на поверхность текстильной основы. Полиэфирный и хлопчатобумажный или хлопколавансовый текстильный материал с камуфлирующей раскраской и водоотталкивающей пропиткой, обеспечивает защиту биологического объекта от осадков в виде дождя и снега и способствует сохранению комфортных эксплуатационных свойств человеку в любых погодных условиях. Камуфлирующий рисунок, нанесённый на текстильную основу, может выполняться в цветовом фоне максимально соответствующим

фону окружающей среды нахождения объекта, что обеспечивает ему визуально-оптический камуфляж в дневное время суток.

Металлизированное покрытие, наносимое на материал со стороны, обращённой к источнику теплового излучения, способствует отражению той части теплового потока, которая передаётся от теплокровного объекта в окружающую среду излучением не препятствуя, при этом отведению тепла за счёт испарения [5].

Разработка структуры пакета материалов в изделии, предполагающем экранирование потока ИК-излучения, идущего от человека, т.е. обеспечивающего тепловую маскировку всегда будет сопряжена с проблемой сохранения в таком изделии нормальной системы терморегуляции организма. Эффект тепловой маскировки и обеспечение комфортных микроклиматических условий в пододёжном пространстве в изделиях, изготавливаемых из разработанных авторами многослойных композиционных материалов, создаётся за счёт того, что элементы одного из слоёв многослойной конструкции имеют цилиндрическую, эллипсоидную или каплевидную форму и размещаются на лицевой стороне основного слоя рядами непрерывно или прерывисто, либо примыкающими друг к другу либо внахлёт. Пример варианта такого решения представлен на рис. 1. За счёт теплопроводных свойств основной слой многослойного материала принимает от теплоотдающего биологического или другого объекта на себя и передаёт в окружающую среду тепловую нагрузку. На пути движения теплового потока конструкцией многослойного материала сформирован своеобразный барьер, обеспечивающий возможность реализации теплообменных процессов тёплого воздуха, поступающего от нагретого тела и холодного воздуха окружающей среды. В зависимости от разности температур (нагретого тела и окружающей среды), т.е. условий использования многослойного материала в разных природно-климатических условиях, форма и порядок расположения конструктивных элементов на поверхности основного слоя могут быть разными.

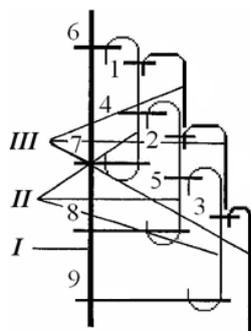


Рис. 1 Вариант структурного решения композиционного материала: I, II, III – основной, теплоизолирующий и камуфлирующий слои многослойного материала; 1,2,3 и т.д. – последовательность выполнения соединительных строчек

Материалы, используемые в качестве текстильной основы с более высокой поверхностной плотностью и низкой теплопроводностью, а также частое расположение конструктивных элементов на основном слое, будет способствовать большему эффекту теплоизоляции и, как следствие, ИК-экранированию. Использование более лёгких материалов, прерывное и редкое расположение конструктивных элементов на поверхности основного слоя снижают эффект теплоизоляции, что позволяет использовать такой материал в изделиях при более высоких температурах окружающей среды [6].

Наибольшую эффективность в ослаблении теплового изображения приборами, детектирующими тепловое излучение позволяют получить теплосъёмные конструктивные решения. Один из вариантов этого направления реализован в многослойном материале, содержащем внутренний и наружный слои, между которыми расположена система термостатирования, сформированная цепочкой соединённых последовательно или параллельно между собой термоэлектрических преобразователей Пельтье, связанных с

источником питания [7].

Благодаря многослойной структуре композиционного материала, разнородным материалам, входящим в его состав, а также эффективной системе термостатирования, тепло, передаваемое непосредственно от «горячей» стороны элементов Пельтье, а также тепло, образуемое в результате температурного гомеостаза человека, выводится наружу через внутренний слой композиционного материала, т.к. пористая структура внутреннего слоя композиционного материала этому не препятствует и тёплый поток воздуха будет

постепенно, по мере его накапливания, двигаться в сторону более холодного воздуха (подождённого пространства). «Холодная» сторона системы термостатирования, обращённая к внешней среде создаёт эффект теплового камуфляжа благодаря регулятору подводимой мощности электрического тока, что обеспечивает изменение разности температур на «горячей» и «холодной» стороне элементов Пельтье, в зависимости от температуры окружающей среды. Многослойный материал обладает водоотталкивающими свойствами, экранирует инфракрасное излучение, обеспечивает комфортные микроклиматические условия биологическому объекту.

Расширение ассортимента материалов для швейных изделий и повышение их качественных показателей должны быть учтены при разработке современных технологий производства одежды. Значимость исследований и разработок в области улучшения защитной функции швейных изделий обусловлена сложностью и необходимостью учета при проектировании и пошиве таких изделий большого комплекса производственных и эксплуатационных факторов, влияющих на достижение конечного результата. Основным негативным последствием отсутствия научного обоснования и практических рекомендаций [8] по обеспечению требуемого уровня защитных свойств является массовое производство швейных изделий с функцией защиты неизвестного уровня качества. Для герметизированных швейных изделий, представленных на рынке, характерны высокая материалоемкость, трудоемкость, зависимость от зарубежных поставок герметизирующих материалов и оборудования, а, следовательно, высокая стоимость изделий и часто нарушение экологии производства.

К настоящему времени предложена эффективная технология клеевой герметизации ниточных соединений бытовой и специальной одежды, технических изделий из различных материалов [9]. Для реализации технологии разработан специальный герметизирующий материал. Герметик в виде протяженной пленки заданной ширины, обладающей адгезионной способностью к широкому ассортименту субстратов за счет наличия свойства постоянной остаточной липкости, максимально удовлетворяет технологическим и экономическим требованиям производства изделий из материалов с защитным покрытием. Установлено, что наиболее перспективными пленкообразующими композициями для получения герметизирующего материала являются водные дисперсии акриловых полимеров (акрилатные латексы). Они имеют ряд преимуществ, делающих их привлекательными для использования в швейном производстве. При использовании пленок, обладающих этим свойством, для образования клеевого соединения достаточно воздействия лишь механического давления.

Условием надежности герметизированных швов в эксплуатации является необходимая адгезия герметика к полимерному покрытию непроницаемого материала. Разработаны экспериментальные образцы герметизирующих материалов многослойных пленочных структур, обладающие постоянной остаточной липкостью, обеспечивающие необходимый уровень адгезионной прочности (3,5-9,5 Н/см) к известным полимерным водонепроницаемым покрытиям. Швы, герметизированные с использованием разработанных материалов, обладают водоупорностью, соответствующей водоупорности водонепроницаемых материалов (не менее 10 кПа), устойчивы к истиранию по плоскости и на сгибах, растяжению. В результате герметизации швов с использованием этих герметизирующих материалов не происходит значительного повышения жесткости швов (не более 15%).

При изготовлении современных защитных швейных изделий применяют широкий ассортимент материалов, различных как по составу, структуре, так и по свойствам (эластичные и неэластичные пленочные материалы, ткани с пленочным покрытием, нетканые материалы, прорезиненные материалы, искусственная кожа). В литературе и нормативно-технической документации отсутствуют какие-либо сведения или рекомендации по соединению разнородных материалов [9]. Традиционные ниточные способы для качественного соединения подобных материалов не могут быть применены, поскольку

возникают определенные трудности: разрушается структура пленочных материалов, затруднено либо невозможно продвижение пакета под лапкой швейной машины, нарушается герметичность швов. При изготовлении определенных видов швейных изделий, например, капюшонов–самоспасателей, возникают все перечисленные проблемы. Использование клеевых соединений с применением созданного композиционного пленочного материала позволяют решить большую часть перечисленных проблем.

Исследования показали, что адгезионная прочность на расслаивание ( $C_p$ ) зависит от нескольких составляющих: адгезионной активности ( $AA$ ) исходных материалов, толщины клеевого слоя пленки, времени существования клеевого соединения. Адгезионная активность исходных материалов зависит от структуры поверхности – чем более гладкая поверхность, тем быстрее произойдет затекание клея в микровпадины материала, и чем более она неоднородна и шероховата (нетканые клеёные и иглопрошивные полотна), тем дольше будет протекать процесс во времени. Материалы М5, М6, М7 (рис. 2) – адгезионно неактивные – адгезионная прочность соединений их с разными материалами остается практически на одном и том же уровне. Наличие отделки при этом не влияет на прочность расслаивания (разность между  $C_p$  материалов М6 и М7 составляет 0,2...0,6 Н), более важным фактором при формировании соединения является структура материалов.

Исследуемые эластичные пленочные материалы (М9 и М10) имеют высокую  $AA$ , поэтому первым всегда отслаивается материал с низкой  $AA$ . Различие в интенсивности отслаивания зависит от показателя эластичности материала и составляет от 1,5 до 5 см в нерастянутом положении. При отслаивании композиционного пленочного материала от эластичного материала преобладает процесс их совместного растяжения, что препятствует разрушению клеевого соединения и увеличивает его жизнеспособность.

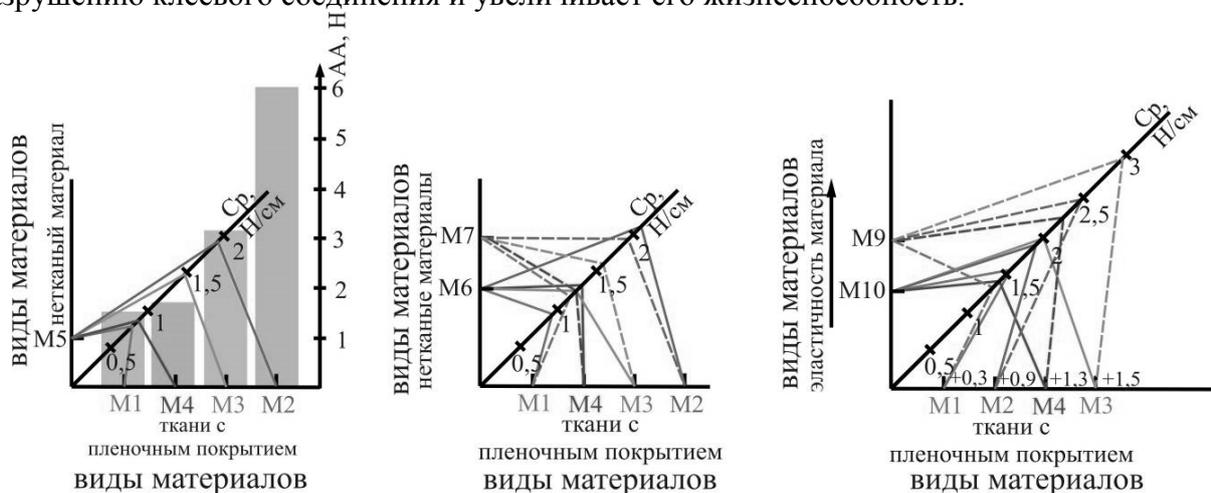


Рис. 2. Результаты исследований клеевых соединений пар разнородных материалов с помощью разработанного композиционного пленочного материала

В результате исследования установлено – склеивать можно пленочные материалы с разной  $AA$ , в том числе и с нулевой. При этом склеивая их с материалами, у которых  $AA$  больше, можно повысить прочность клеевого соединения за счет выбора более адгезионно активного материала, управляя, таким образом, свойствами готового изделия. Причем сформированное клеевое соединение разнородных материалов имеет сопротивление расслаиванию не усредненной величины, но достигается некий синергетический эффект, зависящий от приведенных выше факторов. Так например, при склеивании прорезиненного материала А (М3) с эластичными пленками А и В (М9, М10) (см. рис. 2) адгезионная прочность на расслаивание различается в 1,5 раза (2 Н/см и 3 Н/см соответственно).

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что с помощью разработанного композиционного пленочного материала можно соединять разнородные материалы: эластичные и неэластичные, различной структуры и прочностными свойствами, в т. ч. с разной адгезионной активностью. Установлено, что адгезионная прочность клеевого

шва – относительная величина, которая несет в себе проявление синергетического эффекта, зависящего от ряда факторов: времени существования клеевого соединения; исходной эластичности материалов; различия в адгезионной активности соединяемых материалов.

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марченко, Е.М. Развитие текстильной и швейной промышленности как одно из направлений повышения энергоэффективности региональной экономики [Текст] / Е.М. Марченко, Т.Д. Белова // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. 2015. – № 4(358). – С. 22-27.
2. Стратегия развития лёгкой промышленности России на период до 2020 г. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/641284> - Загл. с экрана.
3. Федосов, С.В. Теоретические основы тепломассопереноса перспективных технологиях производства материалов текстильной и строительной отраслей промышленности [Текст] / С.В. Федосов, М.В. Акулова, С.А. Кокшаров, О.В. Метелева. // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. 2015. – № 6. – С. 157-161.
4. Чижик, М.А. Структурный подход к моделированию многокомпонентных систем материалов для изделий легкой промышленности [Текст] / М.А. Чижик М.Н. Рассказова, В.И.Стариков // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. 2014. – № 6(354). – С. 89-94.
5. Пат. 2403328 Российская Федерация, МПК D03D11/00. Материал, отражающий инфракрасное излучение [Текст] / Б.Л. Горберг, В.В. Веселов, И.Ю. Белова, Д.М. Васильев, С.В. Королёва; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО "Ивановская государственная текстильная академия" (ИГТА) - № 2009117931/12; заявл. 12.05.2009; опубл. 10.11.2010.
6. Пат. 2415622 Российская Федерация, МПК А41D31/02. Многослойный теплоизолирующий материал [Текст] / Б.Л. Горберг, И.Ю. Белова, В.В. Веселов, А.А. Иванов, О.В. Мамонтов, В.А. Стегнин; заявитель и патентообладатель Б.Л. Горберг, И.Ю. Белова, В.В. Веселов, А.А. Иванов, О.В. Мамонтов, В.А. Стегнин - № 2010119022/12; заявл. 11.05.2010; опубл. 10.04.2011.)
7. Пат. № 2541278 Российская Федерация МПК А41D31/00, А62В17/00. Композиционный материал, экранирующий инфракрасное излучение /И.Ю. Белова, Ф.Н. Ясинский, А.В. Мещерский; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО "Ивановский государственный политехнический университет" (ИВГПУ) – № 2013147361/12; заявл. 23.10.2013; опубл. 10.02.2015.
8. Метелева, О.В. Самоклеящийся материал как основа формирования непроницаемого соединения в одежде [Текст] / О.В. Метелева, Е.В. Дьконова, Л.И. Бондаренко // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 2014. – № 5(353). – С. 105-108.
9. Сурикова, М.В. Соединение защитных материалов при использовании самоклеющегося пленочного материала [Текст] / М.В. Сурикова, О.В. Метелева, Е.И. Коваленко // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 2013. – № 5(347). – С. 101-104.

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПАРТИИ ОДНОРОДНЫХ СНОВАЛЬНЫХ ВАЛОВ ДЛЯ ШЛИХТОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ НАМАТЫВАНИЯ**

### **THE PARTY FORMATION WARPING SHAFTS FOR CHLIEVANY BASED ON MONITORING OF WINDING PARAMETERS**

Н.А. Кулида, Н.А. Демидов  
N.A. Kulida, N.A. Demidov

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail: knatex@yandex.ru

Рассмотрено объединение однородных паковок партионного снования в партию для осуществления процесса шлихтования. Предложено однородность паковок определять на основе мониторинга параметров процесса их наматывания на партионной сновальной машине. В качестве параметра, определяющего напряженное состояние сновальной паковки, рассматривался коэффициент приращения длины нитей в слое. Идентификаторами напряженного состояния выбраны конечный радиус намотки, длина нитей на паковке, полное количество ее оборотов до заполнения и параметры аппроксимирующей линейной зависимости коэффициента приращения длины нитей от угла поворота сновального вала. Выявление однородных паковок осуществлено с помощью кластерного анализа.

**Ключевые слова:** формирование партии, однородные паковки, коэффициент приращения длины нитей, кластерный анализ.

Considered consolidating packages batch warping the party to implement the process of chlievany. The proposed uniformity of the packages to determine on the basis of monitoring parameters of the process of their winding for batch warping machine. As a parameter defining the stress state of warping of the packages that were considered the multiplication factor of the length of the filaments in the layer. IDs stress condition of the selected end radius of the winding, the length of the threads on the packing, total number of revolutions to fill and the parameters of the approximating linear dependence of the multiplication factor of the length of the threads on the angle of rotation of the shaft warping. Identifying homogeneous packages carried out using cluster analysis.

**Keywords:** party formation, homogeneous packing, the multiplication factor of the length of the filaments, cluster analysis.

Процесс подготовки основных нитей к ткачеству в большинстве случаев начинается со снования, заключающегося в асемблировании большого числа нитей в одну паковку – сновальный вал, затем проводится шлихтование, требующее объединения отдельных паковок в партию. Для того чтобы наматывание ткацких навоев на шлихтовальной машине проходило эффективно, необходимо выполнение ряда требований, к числу основных из которых относится однородность паковок включенных в партию, достигаемая различными путями. За рубежом однородности добиваются стабилизацией факторов, влияющих на напряженное состояние паковок. Например, швейцарская фирма Benninger для исключения влияния изменяющегося в процессе снования натяжения нитей впервые применила Multitens – систему автоматической стабилизации натяжения каждой отдельно взятой нити [1], она же использовала систему kick-back для стабилизации давления укатывающего вала [2]. Однако подобные системы, особенно первая из перечисленных, в значительной степени удорожают сновальное оборудование, делая в некоторых случаях производимую на нем продукцию неконкурентоспособной. В отечественной практике предпринимались попытки автоматического управления напряженным состоянием наматываемых паковок, однако, сложность получения информации об управляемых параметрах, ограниченное количество управляющих воздействий за время наматывания паковки не всегда обеспечивают достижение поставленной цели. Поэтому вопрос получения однородных по структурным и

геометрическим параметрам паковок остается в настоящее время актуальным.

Поскольку параметры напряженного состояния наматываемых текстильных паковок напрямую измерить достаточно трудно, давно делались попытки косвенных измерений [3], в частности, отслеживая закономерность изменения радиуса намотки, длины наматываемых нитей и ряда других параметров. Однако практического применения предложенная методика не нашла, видимо, в первую очередь, в связи с отсутствием необходимых аппаратных средств получения информации о процессе наматывания.

Для обоснования возможности косвенных измерений напряженного состояния наматываемой паковки осуществлялась оценка точности измерения межслойного давления в паковке [3], при этом использовалась известная зависимость давления  $q$  от радиуса намотки  $r$  [4]:

$$q(r) = C_{1,j}r^{z_1} + C_{2,j}r^{z_2} + \Phi, \quad (1)$$

где  $z_{1,2} = 0,5f - 1 \pm \sqrt{(0,5f - 1)^2 - m}$  – корни характеристического уравнения  $z^2 + (2 - f)z + m = 0$ ;  $m = 1 - f - \lambda_i \chi E_m$ ;  $\lambda_i$  – коэффициент податливости слоя в радиальном направлении;  $\chi$  – коэффициент заполнения слоя, равный отношению плотностей слоя и нити;  $E_m$  – релаксационный модуль упругости;  $C_{1,j}$ ,  $C_{2,j}$  – постоянные интегрирования;

$\Phi = \frac{\sigma_{nj}}{\lambda_j \chi E_m + f - 1}$  – постоянная, определяемая условиями наматывания и свойствами нитей;

$\sigma_{nj}$  – намоточное напряжение с учетом релаксации.

Погрешность косвенных измерений межслойного давления определялась разложением функции  $q(r)$  в ряд Тейлора для превалирующих влияющих факторов:

$$q(r + \Delta r, E_m + \Delta E_m, \sigma_n + \Delta \sigma_n) = q(r, E_m, \sigma_n) + \frac{1}{1!} \left[ \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial r} \Delta r + \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial E_m} \Delta E_m + \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial \sigma_m} \Delta \sigma_m \right] + R_2, \quad (2)$$

где  $R_2$  – остаточный член разложения, равный

$$R_2 = \frac{1}{2!} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \Delta r + \frac{\partial}{\partial E_m} \Delta E_m + \frac{\partial}{\partial \sigma_m} \Delta \sigma_m \right]^2 q(r + v_1 \Delta r, E_m + v_2 \Delta E_m, \sigma_n + v_3 \Delta \sigma_n),$$

где  $0 < v_{1,3} < 1$ .

Возможность оценивания погрешности разложением в ряд Тейлора осуществлялась сравнением линейного члена разложения с остаточным членом.

В результате сравнения установлено, что

$$R_2 < \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial r} \Delta r + \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial E_m} \Delta E_m + \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial \sigma_m} \Delta \sigma_m,$$

поэтому линеаризация возможна. Расчеты погрешности измерения давления показывают, что для практических случаев снования она не превышает значения 3,6%.

Для измерения параметров наматывания разработана микропроцессорная система [5], включающая инкрементальный энкодер длины наматываемых нитей, абсолютный энкодер радиуса (толщины) намотки, бесконтактный оптический выключатель для измерения количества оборотов сновального вала и микроконтроллер ATMEGA 16 с интерфейсом RS-485.

Экспериментальные результаты, полученные с помощью микропроцессорной системы, позволили сделать ряд важных выводов. Во-первых, разработанная микропроцессорная система мониторинга позволила в режиме реального времени отслеживать изменения

параметров наматывания. Во-вторых, из-за эксцентриситета или других отклонений формы намотки, при вращении паковки, которая в этом случае выступает как кулачок, возникают инерционные силы, вызывающие колебания штанги, с которой с одной стороны соединен энкодер толщины намотки, а с другой – колесо, взаимодействующее с паковкой, и в предельном случае происходит даже отрыв колеса от поверхности паковки. В результате радиус измеряется с большой погрешностью, из-за которой какую-либо закономерность изменения указанной зависимости установить невозможно (рис. 1).



Рис.1. Закономерность изменения коэффициента нарастания толщины слоя намотки

В связи с этим рассматривался другой параметр – коэффициент приращения длины нитей в слое и его зависимость от количества оборотов паковки (рис. 2), которая с достаточно высоким коэффициентом детерминации аппроксимируется линейной зависимостью. Для установления связи предложенного коэффициента с интегральным показателем напряженного состояния сновальной паковки – объемной плотностью намотки, рассмотрено выражение для длины нитей в  $i$ -ом слое [6]  $L_i = 2\pi n_i [r_{i-1} + 0,5c_i(n_i + 1) - A_i]$  где  $r_{i-1}$  – радиус предшествующего слоя намотки,  $c_i$  – коэффициент толщины слоя,  $A_i$  – перемещение слоя вследствие деформации,  $n_i$  – количество оборотов паковки при наматывании  $i$ -го слоя, откуда коэффициент приращения длины нитей

$$k_{L_i} = dL_i / dn_i = d[2\pi n_i r_{i-1} + \pi n_i c_i (n_i + 1) - 2\pi n_i A_i] / dn_i =$$

$$= 2\pi \left\{ r_{i-1} + n_i \left[ 0,5(n_i + 1) \frac{dc_i}{dn_i} + c_i - \frac{dA_i}{dn_i} \right] + 0,5c_i - A_i \right\}.$$

Если толщину слоя принять такой, что в ее пределах коэффициент  $c_i$  и перемещение  $A_i$  остаются постоянными, то

$$k_{L_i} = \pi [2r_{i-1} + c_i(2n_i + 1) - 2A_i], \quad (3)$$

откуда  $c_i = k_{L_i} [2\pi(n_i + 0,5)]^{-1} + (A_i - r_{i-1})(n_i + 0,5)^{-1}$  или

$$c_i = \alpha_i k_{L_i} + \beta_i, \quad (4)$$

где  $\alpha_i = [2\pi(n_i + 0,5)]^{-1}$  и  $\beta_i = (A_i - r_{i-1})(n_i + 0,5)^{-1} = 2\pi\alpha_i(A_i - r_{i-1})$ .

Далее, используя формулу для объемной плотности [6]



Рис. 2. Зависимость коэффициента приращения длины нитей в слое от количества оборотов паковки при аппроксимации экспериментальных данных полиномом первого порядка

$$\gamma_i = \frac{2mTn_i[r_{i-1} + 0,5c_i(n_i + 1) - A_i]}{10^6 \cdot H[(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2]}$$

и выражение (4), получим

$$\gamma_i = \frac{2mTn_i[r_{i-1} + 0,5(\alpha_i k_{L_i} + \beta_i)(n_i + 1) - A_i]}{10^6 \cdot H\{[r_{i-1} + (\alpha_i k_{L_i} + \beta_i)n_i - A_i]^2 - r_{i-1}^2\}} \quad (5)$$

Если обозначить  $d_1 = 10^6 \cdot H\gamma_i \alpha_i^2 n_i^2$ ;  $d_2 = 10^6 \cdot H\gamma_i [2\alpha_i n_i (r_{i-1} - A_i) + 2\alpha_i \beta_i n_i^2] - mTn_i \alpha_i (n_i + 1)$ ;  $d_3 = 10^6 \cdot H\gamma_i [A_i(A_i - 2r_{i-1}) + 2(r_{i-1} - A_i)\beta_i n_i + \beta^2 n_i^2] - 2mTn_i (r_{i-1} - A_i) - mTn_i \beta (n_i + 1)$ , из (5) можно получить уравнение  $d_1 k_{L_i}^2 + d_2 k_{L_i} + d_3 = 0$ , положительное значение корня которого определяет коэффициент приращения длины нитей. Из выражения корня может быть найдена зависимость  $k_{L_i}$  от количества оборотов паковки при постоянной плотности намотки. На рис. 3 представлены указанные зависимости для значений плотностей 320 и 680 кг/м<sup>3</sup> (соответственно кривые 1 и 2), из которых следует, что для достижения постоянной объемной плотности намотки коэффициент приращения длины нитей в слое должен расти по закону, близкому к линейному.

На рис. 3 показаны также экспериментальные кривые намотки хлопчатобумажной пряжи 18,5 текс на машине СП-140, полученные на Фурмановской прядильно-ткацкой фабрике №2 (г. Фурманов, Ивановская обл.). Рассмотрена намотка трех сновальных валов (кривые 3, 4 и 5), в результате установлено, что два вала намотаны с приблизительно одинаковым напряженным состоянием (кривые 3 и 4), а один – с параметрами, изменяющимися в процессе наматывания паковки (кривая 5). Аналогичные экспериментальные данные получены при наматывании еще 17 валов.

Полученные экспериментальные результаты по каждому валу после обработки объединялись в сводную таблицу, в которую включались данные о фактической длине нитей на валу  $L$ , количестве оборотов вала  $n$ , конечном радиусе намотки  $R_k$  и параметрах  $a$  и  $b$  аппроксимирующей линейной зависимости  $k_{L_i}(n_i) = an_i + b$ . Данные сводной таблицы после предварительной процедуры стандартизации использовались в кластерном анализе, выполненном в Statistica [7]. Количество кластеров выбиралось равным числу партий, для рассматриваемой технологии переработки пряжи в условиях Фурмановской прядильно-ткацкой фабрики №2 количество валов в партии равнялось 5, поэтому количество партий составило 4. Вначале 20 валов были распределены по 4 кластерам, однако после их анализа

было установлено, что их можно разделить на 2 кластера. Окончательные результаты распределения сновальных валов по кластерам представлены на рис. 4. В Cluster 2 вошли 17 валов, остальные 3 вала уложились в Cluster 1 (рис. 4).

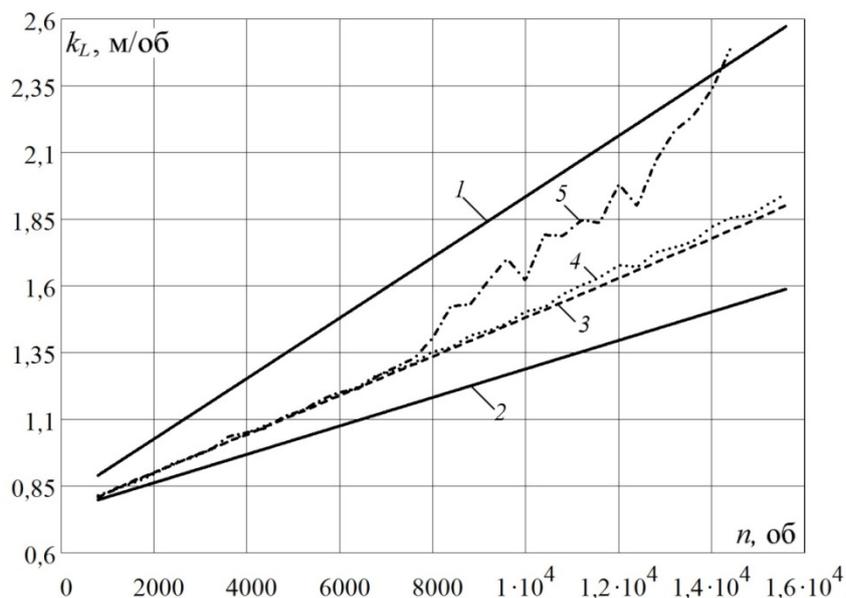


Рис. 3 Зависимость коэффициента приращения длины нитей в слое  $k_L$  от количества оборотов паковки

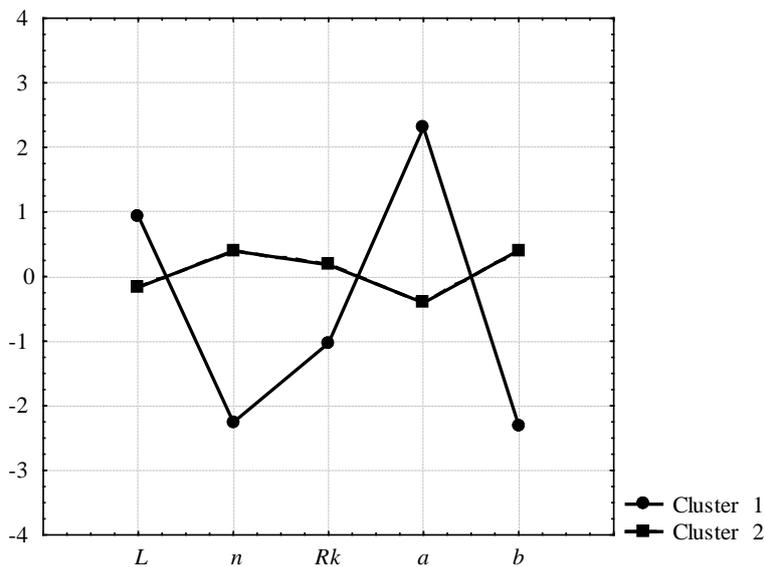


Рис. 4 Распределение сновальных валов по 2 кластерам

Поскольку производственная программа предприятия не была рассчитана на переработку большого количества пряжи, а сновальные паковки практически сразу же поступали в шлихтовальное производство, разбиение сновальных валов по двум кластерам позволяет, не дожидаясь наработки большого количества паковок, определять принадлежность очередного наработанного сновального вала к тому или иному кластеру. Если вал будет отнесен к кластеру с минимальными отклонениями параметров, его следует включать в одну из партий и сразу же пускать в переработку в шлихтовальное производство. В противном случае вал сразу в производство не направляется, после образования группы из нескольких таких валов производится новая кластеризация, и на ее основании формируются

партии с минимально различными параметрами.

После формирования партий отслеживался процесс разматывания наработанных сновальных валов на шлихтовальной машине ШБ-11-140. В первые три партии (партии 1, 2 и 3) включены 15 валов второго кластера, четвертая партия сформирована из 2 валов второго кластера и 3 валов первого кластера (партия 4) (табл.). Разматывание сновальных валов на стойке шлихтовальной машины осуществлялось в штатном режиме ее работы. Для сравнения контролировалось количество отходов при принятой на производстве штатной процедуре формирования партий (партии 5 – 9).

Взвешивание остатков пряжи на валах осуществлялось на электронных весах с разрешением 0,001 кг. Количество мягких отходов пряжи на сновальных валах по обоим вариантам составления партий представлено в табл. 1

Таблица 1

Количество мягких отходов пряжи на сновальных валах

Номер партии	Количество мягких отходов, кг						Среднее значение, кг	Дисперсия, кг <sup>2</sup>
	1 вал	2 вал	3 вал	4 вал	5 вал	Всего мягких отходов, кг		
1	–	0,173	0,195	0,151	0,189	0,708	1,04	0,115
2	0,232	–	0,3	0,362	0,491	1,385		
3	–	0,214	0,281	0,355	0,178	1,028		
4	0,66	–	0,234	0,761	0,922	2,577	3,018	1,173
5	–	0,032	0,251	1,522	1,265	3,070		
6	–	0,061	0,124	0,706	0,999	1,890		
7	0,051	–	0,242	2,093	2,586	4,972		
8	–	0,012	0,189	1,092	1,997	3,290		
9	–	0,028	0,155	0,704	1,423	2,310		

Для возможности использования критерия Стьюдента для оценки значимости различия количества мягких отходов в различных вариантах составления партий проводилась идентификация закона распределения массы отходов в партиях. Для этого использовалась программа Statistica [7]. Рассматривалась выборка из 36 значений массы мягких отходов при шлихтовании. В результате установлено, что распределение массы мягких отходов в шлихтовании подчиняется нормальному закону распределения. В соответствии с критерием Стьюдента различие средних в обоих вариантах шлихтования является значимым, снижение количества мягких отходов составило 65,5%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Multitens – The system for precise yarn tension control // [www.benningergroup.com](http://www.benningergroup.com).
2. Indirect pressing with active kick-back // [www.benningergroup.com](http://www.benningergroup.com).
3. Кулида, Н.А. Погрешность оценки напряженно-деформированного состояния сновальной паковки на основе кинематических параметров наматывания / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2011. – № 2. – С. 100 – 107.
4. Гордеев, В.А. Расчет паковок рулонного типа на основе кинематических параметров наматывания / В.А. Гордеев, И.И. Вайнер, Ю.В. Ерошкин // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1988. – № 1. – С. 29 – 32.
5. Демидов, Н.А. Микропроцессорная система контроля кинематических параметров партионного снования / Н.А. Демидов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2012. – № 4. – С. 159 – 161.

6. Кулида, Н.А. Определение плотности намотки сновальных валов на основе кинематических параметров процесса / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов, А.В. Круглов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2013. – № 2. – С. 77 – 81.

Халафян, А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных: учебник. – 3-е изд. – М.: Бином-Пресс, 2007. – 512 с.: ил.

УДК 677.024

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТКАНЕЙ БЕЛЬЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

### **OPTIMIZATION OF PROCESS FOR PRODUCING FABRICS LINEN SUPPLIES**

О.В. Кашеев, Н.А. Николаева  
O.V. Kascheev, N.A. Nikolaeva

Московский государственный университет дизайна и технологии  
Moscow State University of Design and Technology  
E-mail: ovk-job@rambler.ru, not\_1976@mail.ru

**В работе проведена оптимизация технологического процесса изготовления полульняной и хлопчатобумажной тканей. В качестве критериев оптимизации принимаются воздухопроницаемость, стойкость тканей к истиранию. В качестве варьируемых факторов выбраны заправочное натяжение основы, величина заступа и положение скала по вертикали. Определены свойства при оптимальных параметрах изготовления тканей.**

**Ключевые слова:** технология, оптимизация, льняная и хлопчатобумажная пряжа, параметры, основа, уток, свойства, структура ткани.

**In this work the optimization of the process of manufacturing floor linen and cotton fabrics. As optimization criteria adopted breathability, resistance to abrasion of fabrics. As variable factors selected filling warp tension, the value for stupa and position-vertical cliff. The properties of optimal parameters when manufacturing tissue.**

**Keywords:** technology, optimization, linen and cotton yarn, parameters, foundation, ducks, properties, fabric structure.

Внедрение в хлопчатобумажную отрасль промышленности бесчелночных ткацких станков, способствующих повышению производительности труда, должно сопровождаться изысканием оптимальных условий изготовления тканей на этих станках, что обеспечит эффективное их использование.

Критерий, или как его еще называют параметр оптимизации - это признак, с помощью которого мы хотим оптимизировать процесс. Прежде, чем перейти к его выбору, отметим требования, которым он должен удовлетворять. Параметр оптимизации должен быть эффективным с точки зрения достижения цели, универсальным, количественным и выражаться одним числом, статистически эффективным, имеющим физический смысл, простым и легко вычисляемым, существующим для всех различных состояний.

На практике чаще всего приходится учитывать несколько выходных параметров. Иногда их число довольно велико. Так при выработке тканей приходится учитывать физико-механические, технологические, экономические, художественно-эстетические и другие параметры [1,2].

Так как в данной работе исследуются ткани бельевого ассортимента, то в качестве критериев оптимизации принимаются воздухопроницаемость ( $Y_1$ )<sup>n</sup> стойкость тканей к истиранию ( $Y_2$ ). По данным ЦНИИЛКА [3,4] для бельевого ассортимента целесообразно

иметь эти показатели следующими: воздухопроницаемость - более 400-500  $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$ ; стойкость к истиранию - более 1200-1400 циклов.

Для оптимизации технологического процесса ткачества использованы планы Бокса ВЗ. В качестве варьируемых параметров приняты: заправочное натяжение основы  $X_1$ , величина заступа  $X_2$ , положение скала по вертикали  $X_3$ . Положение основонаблюдателя при этом устанавливалось таким образом, чтобы при заступе не было перегиба конструктивно заправочной линии ткацкого станка.

Следует отметить, что параметры оптимизации должны быть независимыми от значений других параметров и могут быть установлены на необходимом уровне. Принятые технологические параметры обеспечивают это условие.

В работе проведена оптимизация двух тканей - хлопчатобумажной и полульняной. В таблице 1 представлены уровни варьирования факторов в натуральных и кодированных величинах.

Уровни варьирования технологических параметров выбраны в ходе проведения предварительного эксперимента при условии возможности выработки тканей на ткацком станке.

Таблица 1

Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Размерность	Кодированное значение			Натуральное значение		
		-1	0	+1	-1	0	+1
полульняная ткань							
$X_1$	сН	-1	0	+1	40	50	60
$X_2$	мм	-1	0	+1	30	40	50
$X_3$	мм	-1	0	+1	0	10	20
хлопчатобумажная ткань							
$X_1$	сН	-1	0	+1	50	60	70
$X_2$	мм	-1	0	+1	30	40	50
$X_3$	мм	-1	0	+1	0	10	20

В результате расчетов на ПЭВМ по стандартной программе получены следующие регрессионные уравнения (в кодированных величинах):

для полульняной ткани -

влияния технологических параметров изготовления ткани ( $X_1$  - заправочного натяжения основы,  $X_2$  - величины заступа,  $X_3$  - положения скала по вертикали) на воздухопроницаемость тканей:

$$Y_1 = 586,3 + 25 X_1 + 18 X_2 + 19 X_3 + 7,5 X_1 X_2 + 7,5 X_1 X_3 + 7,5 X_2 X_3 - 51,3 X_1^2 - 66,3 X_2^2 - 61,2 X_3^2; \quad (1)$$

- влияния технологических параметров изготовления ткани ( $X_1$  - заправочного натяжения основы,  $X_2$  - величины заступа,  $X_3$  - положения скала по вертикали) на стойкость ткани к истиранию (количество циклов):

$$Y_2 = 1477,5 + 48 X_1 + 32 X_2 + 17 X_3 - 2,5 X_1 X_3 - 7,5 X_2 X_3 - 77,5 X_1^2 - 107,5 X_2^2 - 82,5 X_3^2; \quad (2)$$

для хлопчатобумажной ткани -

влияния технологических параметров изготовления ткани ( $X_1$  - заправочного натяжения основы,  $X_2$  - величины заступа,  $X_3$  - положения скала по вертикали) на воздухопроницаемость тканей:

$$Y_1 = 560,6 + 15 X_1 + 9 X_2 + 14 X_3 + 1,3 X_1 X_2 + 1,3 X_1 X_3 - 1,3 X_2 X_3 - 40,6 X_1^2 - 60,6 X_2^2 - 55,6 X_3^2; \quad (3)$$

- влияния технологических параметров изготовления ткани ( $X_1$  - заправочного натяжения основы,  $X_2$  - величины заступа,  $X_3$  - положения скала по вертикали) на стойкость ткани к истиранию (количество циклов):

$$Y_2 = 1556,8 + 44 X_1 + 9 X_2 + 45 X_3 + 3,8 X_1 X_2 - 3,8 X_1 X_3 + 18,8 X_2 X_3 - 91,9 X_1^2 - 106,9 X_2^2 - 76,9 X_3^2; \quad (4)$$

В работе решалась компромиссная задача (три параметра варьирования и два критерия оптимизации) на ЭВМ при использовании стандартной программы "Эврика".

В результате расчетов оптимальные параметры имеют следующие значения (таблица 2):

Таблица 2

Оптимальные параметры изготовления тканей

Фактор	Полульняная ткань		Хлопчатобумажная ткань	
	кодированные значения	натуральные значения	кодированные значения	натуральные значения
$X_1$	0,57	55,7 сН	0,09	60,9 сН
$X_2$	0,68	46,8 мм	0,33	43,3 мм
$X_3$	0,83	18,3 мм	0,74	17,4 мм
$Y_{1\text{опт}}$		549,4 $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$		573,7 $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$
$Y_{2\text{опт}}$		1510 циклов		1547 циклов

Установка оптимальных технологических параметров изготовления тканей на ткацком станке обеспечивает их выработку ткани с показателями, указанными в таблице 3.

Таблица 3

Свойства тканей при оптимальных технологических параметрах

Показатели	Полульняная ткань	Хлопчатобумажная ткань,
разрывная нагрузка полосы ткани, Н:		
в направлении основы	840	850
в направлении утка	560	580
разрывное удлинение полосы ткани, %:		
в направлении основы	9,85	9,90
в направлении утка	8,47	9,10
разрывная нагрузка нитей, вынутых из ткани, сН:		
основы	540	545
утка	530	550
разрывное удлинение нитей, вынутых из ткани, %:		
основы	6,97	7,01
утка	4,38	6,95
стойкость ткани на истирание, количество циклов	1520	1580
воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$	550	580

урработка нитей %: основы	6,8	8,22
утка	7,1	6,54
толщина ткани, мм	0,424	0,445
поверхностная плотность ткани, г/м <sup>2</sup>	194,8	209
порядок фазы строения ткани: на станке	5,52	5,73
суровой	5,60	5,65
готовой	5,76	5,70
Натяжение нитей, сН: заправочное	55	60,9
при прибое	84	89,0
при полном открытии зева	82	87,4
Обрывность нитей, обр/м: основы	0,13	0,111
утка	0,10	0,071

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. - Легкая индустрия, 1980.- Справочник по льноткачеству. Легкая индустрия, 1987.
2. Грищенко В.А. Сравнительные исследования строения и свойств тканей из льняной пряжи различных способов прядения в процессе опытной носки. Межвузовский научный сборник научных трудов молодых преподавателей. МТИ, М., 1984.
3. Грищенко В.А., Дуковская И.И. Бельевые ткани из пряжи пневмомеханического способа прядения. Ж.Текстильная промышленность, 1985, №8.

УДК 677.014.5/.6

### ВОПРОС ОБ ЭФФЕКТИВНОМ РАСПОЗНАВАНИИ СЫРЬЯ НАТУРАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

### THE ISSUE ABOUT AN EFFECTIVE METHOD OF IDENTIFICATION OF NATURAL RAW MATERIAL

Д.В. Сичевой<sup>1</sup>, К.Э. Разумеев<sup>1</sup>, Е.В. Денисова<sup>2</sup>, И.В. Лусинян<sup>2</sup>  
D.V. Sichevoy<sup>1</sup>, K.E. Razumeev<sup>1</sup>, E.V. Denisova<sup>2</sup>, I.V.Lusinian<sup>2</sup>

Московский государственный университет дизайна и технологии  
Инновационный научно-производственный центр текстильной и легкой промышленности  
Moscow State University of Design and Technology  
Innovation Center of Science and Production of Textile and Light Industry  
E-mail: dmitriy.sichevoy@gmail.com, k.razumeev@rambler.ru, blagushina@yandex.ru,  
lusinian@mail.ru

Представлено обоснование необходимости создания новых эффективных методов идентификации натуральных шерстяных волокон в смеси друг с другом и другим сырьем. Дано наглядное сравнение разных видов шерсти. Описан основной принцип исследования, базирующийся на применении секвенирования ДНК.

**Ключевые слова:** шерсть, натуральные волокна, распознавание, эффективный метод идентификации, секвенирование ДНК

The motivation of the importance of creating a new effective method of identification of natural wool fibers and its combinations is revealed. A side-by-side comparison of different types of wool is given. This article also contains the information about the main research principal based on application of DNA sequencing.

**Keywords: wool, natural fibers, determination, effective method of identification, DNA sequencing**

В настоящее время повышенный интерес вызывают вопросы не только создания новых материалов, но и эффективной работы с уже известными. Так, например, шерсть является наидревнейшим материалом, используемым человеком для изготовления одежды. Однако не всегда можно разобраться, шерсть какого животного содержится в том или ином материале. Часто бывает так, что используют смесь из нескольких видов шерсти. В этом случае идентификация состава затруднена.

В современных условиях рынка эффективная идентификация состава сырья крайне важна, поскольку потребитель (здесь подразумевается не столько конечный покупатель, сколько предприятия, занимающиеся закупками и перекупками сырья, полуфабрикатов и готовых изделий) должен быть уверен в надлежащем качестве покупаемого им товара. Говоря о шерсти, важно указать, что стоимость данного вида сырья зависит от происхождения. Для сравнения: шерсть яка приблизительно в восемь раз дороже овечьей шерсти и в два раза дороже шерсти альпаки. При таких соотношениях и масштаб обмана огромен [1].

В этой связи возникает необходимость разработки нового надежного и быстрого способа идентификации состава изделия. Особенно актуальным это представляется, когда потребитель имеет дело с многокомпонентными материалами (здесь речь идет в основном о смесовой пряже), где могут применяться волокна шерсти разного качества и разного происхождения.

До настоящего момента основным методом определения вида шерсти являлся органолептический. Однако такой метод вряд ли можно назвать объективным, поскольку шерсть разных видов животных может быть очень похожей по внешнему виду и наощупь. Кроме того, немаловажную роль играет человеческий фактор.

В начале исследований в лаборатории ООО «СЕРНИЯ» при помощи микроскопа FEI Inspect S при увеличении 1500-3000 были сделаны снимки волокон шерсти нескольких видов животных: мериноса, козы, яка, верблюда, альпаки. На рис. 1 и 2 наглядно показано, что отличить по внешним признакам, например, шерсть мериноса и яка затруднительно. Аналогичным образом обстоит дело и с другими видами шерсти.

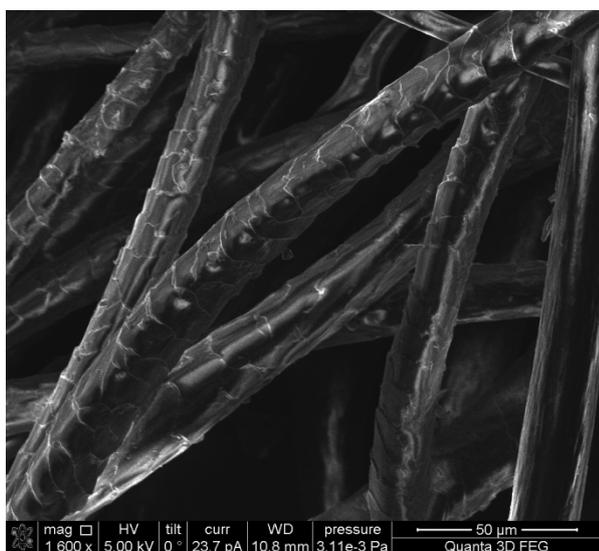


Рис. 1 Снимок шерсти мериноса под микроскопом при увеличении 1600

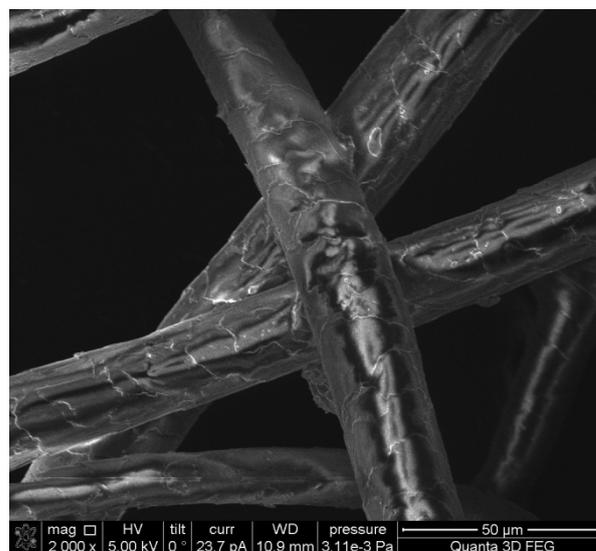


Рис. 2 Снимок шерсти яка под микроскопом при увеличении 2000

Традиционные методы определения состава текстильных материалов, основанные на световой микроскопии, электронно-лучевой микроскопии, методах растворения, не

позволяют в некоторых случаях точно определить, шерсть какого животного использовалась, и практически во всех случаях детерминировать конкретный вид и породу.

Важно отметить, что на каждом этапе переработки шерстяное волокно подвергается различным видам воздействий, в частности механическому, химическому, биологическому, при которых происходит как поверхностная деструкция волокна и его структуры, так и деградация на молекулярном уровне, что, в свою очередь, препятствует полноценной идентификации последовательности ДНК.

Таким образом, исследователям предлагается прогрессивный метод идентификации, основанный на секвенировании биоматериалов, индифферентный к технологическому виду продукции (волокно, топс, пряжа, ткани и т.д.), виду обработки (водо-, масло-, грязеотталкивающая, антисминаемая, огнезащитная и т.д.), воздействию красителя и т.д.

Цель указанного метода заключается в получении фрагмента около 500 п.о. с митохондриальной D-петли, используя более универсальный метод, чем описан в известных источниках [2-4]

Метод может быть полезен основным потребителям шерстяного волокна, а также конечному покупателю, так как исключает возможность фальсификации продукта, а кроме того позволяет провести правильную настройку технологических процессов, прогнозирование выходов, выбора текстильно-вспомогательных веществ для придания определенных свойств при заключительной отделке и необходимость этого выбора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Development of a DNA-analytical Method for the Identification of Animal Hair Fibers in Textiles / Kirsten Kerkhoff, Gabriel Cescutti, Lothar Kruse, Jörg Müssig // *Textile Research Journal*. – 2009. – Vol. 79. – № 1. – P. 69-75.
2. Characterising the potential of sheep wool for ancient DNA analyses / Luise Ørsted Brandt, Lena Diana Tranekjer, Ulla Mannering, Maj Ringgaard, Karin Margarita Frei, Eske Willerslev, Margarita Gleba, M. Thomas P. Gilbert // *Archaeol Anthropol Sci* – 2011. – № 3. – P. 209–221.
3. Wet degradation of keratin proteins: linking amino acid, elemental and isotopic composition / I.C.C. von Holstein, K.E.H. Penkman, E.E. Peacock, M.J. Collins // *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. – 2014. – № 28. – P. 2121–2133.
4. Sequence analysis of keratin associated protein (kap7) gene in indigenous breed of yak / Lakshya Veer Singh, S Jayakumar, Navneet Kaur, Namita Kumari, Anurodh Sharma, Meenu Chopra, Vikas Gupta, Kuldeep Kumar, Shubhra Shukla, Sanjeev Kumar Shukla, Sandeep Kumar, S C Gupta, N Gupta // *An Online International Journal* (<http://www.cibtech.org/cjb.htm>). – 2012. – Vol. 1. – № 2-3. – P.38-41.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВЫХ СТРУКТУР ТКАНЕЙ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ЧАСТОТЫ

### DEVELOPMENT OF NEW STRUCTURES OF FABRICS FOR SHIELDING ELECTROMAGNETIC RADIATION OF THE PRESCRIBED FREQUENCY

П.Е. Сафонов<sup>1</sup>, Н.М. Левакова<sup>1</sup>, С.С. Юхин<sup>2</sup>  
P. E. Safonov<sup>1</sup>, N. M. Levakova<sup>1</sup>, S. S. Yukhin<sup>2</sup>

ООО «ТЕКС-ЦЕНТР» (Москва)  
Московский государственный университет дизайна и технологии  
TEKS-CENTRE Ltd (Moscow)  
Moscow State University of design and technology  
E-mail: info@teks-centre.ru, yss@staff.msta.ac.ru

Представлены результаты разработки новых тканей, предназначенных для экранирования электромагнитного излучения (ЭМИ) радиочастотного диапазона. Спроектированные ткани превосходят известные аналоги по термо-, огне- и радиационной стойкости, обладают малой поверхностной плотностью и высокими значениями коэффициента отражения ЭМИ, что позволяет использовать их в качестве радиоотражающего материала в конструкциях космических антенн.

**Ключевые слова:** комбинированные термостойкие электропроводящие нити, полиимидные и параарамидные нити, радиоотражающие ткани.

**Results of the development of new fabrics, designed for shielding electromagnetic radiation (EMR) frequency range. Engineered fabric superior to known analogs on the thermal, flame and radiation resistance, have low surface densities and high values of the reflection coefficient EMR, the fabrics can be used as radiotracer material in the construction of space antennas.**

**Keywords:** combined heat-resistant electrically conductive thread, polyimide and para-aramid thread, radiotracer fabrics.

Актуальность исследования обусловлена тем, что в новых конструкциях трансформируемых космических антенн, разрабатываемых в АО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнева», для обеспечения жестких требований необходимо использовать радиоотражающие ткани, отличающиеся от существующих аналогов высокой термо- и радиационной стойкостью, минимальным весом и газовой выделением при высоком значении коэффициента отражения электромагнитных волн радиочастотного диапазона.

К новым радиоотражающим тканям, эксплуатируемым в условиях космического пространства, предъявляются следующие требования:

- стойкость к воздействию температур в широком диапазоне и ионизирующему излучению;
- отсутствие газовой выделения;
- поверхностная плотность не более 170 г/м<sup>2</sup>;
- ширина не менее 1 м;
- коэффициент отражения электромагнитного излучения не менее 95 % на частотах до 16 ГГц.

В конструкциях космических антенн в качестве радиоотражающего материала Заказчиком долгое время использовалась серийная ткань арт. 56041, которая изготавливается из мишурных нитей номинальной линейной плотности 45,4 текс, сердечник данной мишурной нити выполнен из полиамидной комплексной нити линейной плотности 15,6 текс, а оплетка из плющеной посеребренной медной проволоки.

Таким образом, основная цель работы заключалась в замене существующей радиоотражающей ткани, недостатками которой является низкая термо-, огне- и радиационная стойкость и высокая поверхностная плотность – до 180 г/м<sup>2</sup>.

Для замены серийной ткани арт. 56041 сотрудниками ООО «ТЕКС-ЦЕНТР» было предложено изготавливать новые радиоотражающие ткани из комбинированных термостойких электропроводящих нитей, полученных способом оплетения полимерной нити-сердечника металлической микропроволокой на крутильно-оплеточной машине.

В качестве сердечника комбинированных нитей предложено использовать комплексные термостойкие параарамидные или полиимидные нити малых линейных плотностей – до 14 текс, а в качестве оплетки медную посеребренную или стальную микропроволоку диаметром не более 0,050 мм [1]. Ткани, изготовленные из комбинированных электропроводящих нитей, имеют существенное преимущество по сравнению с металлизированными тканями, поскольку они сохраняют защитные свойства в течение всего срока эксплуатации [2...4].

Выбор материала сердечника комбинированной нити обусловлен тем, что параарамидные и полиимидные нити отличаются от полиамидных сверхвысокими значениями прочности и модуля упругости, высокими значениями термо-, огне- и радиационной стойкости и поэтому могут эксплуатироваться в широком диапазоне температур [5, 6]. При выборе материала металлической микропроволоки, используемой в оплетке, необходимо учитывать удельное электрическое сопротивление металла, его модуль упругости и удельный вес [7].

В табл. 1 представлены основные показатели свойств разработанных образцов комбинированных термостойких электропроводящих нитей, а на рис. 1 представлены фотографии некоторых из них.

Таблица 1

Показатели свойств комбинированных термостойких электропроводящих нитей

Наименование показателя свойств	Образцы нитей					
	Серийный	Опытные				
		1	2	3	4	5
Материал нити сердечника	Полиамид 15,6 текс	Армалон 4,1 текс	Армалон 6,7 текс	Армалон 8,0 текс	Руслан 6,3 текс	Аримид 11,1 текс
Материал проволоки оплетки	Медная плющенко	Сталь 0,035 мм	Медь 0,050 мм			
Содержание сердечника/оплетки, %	35 / 65	37 / 63	22 / 78	25 / 75	21 / 79	29 / 71
Результирующая линейная плотность нити, текс	44,05	11,13	30,26	32,46	29,78	38,90
Диаметр нити, мм	0,177	0,116	0,155	0,172	0,158	0,260
Разрывная нагрузка, сН	851,61	877,36	1285,08	1474,28	1739,94	534,91
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	5,96	6,88	4,10	9,13	5,31	15,41
Удлинение при разрыве, %	18,53	5,21	11,75	6,47	6,30	9,37
Коэффициент вариации по удлинению, %	17,56	7,18	3,05	5,86	4,03	11,48

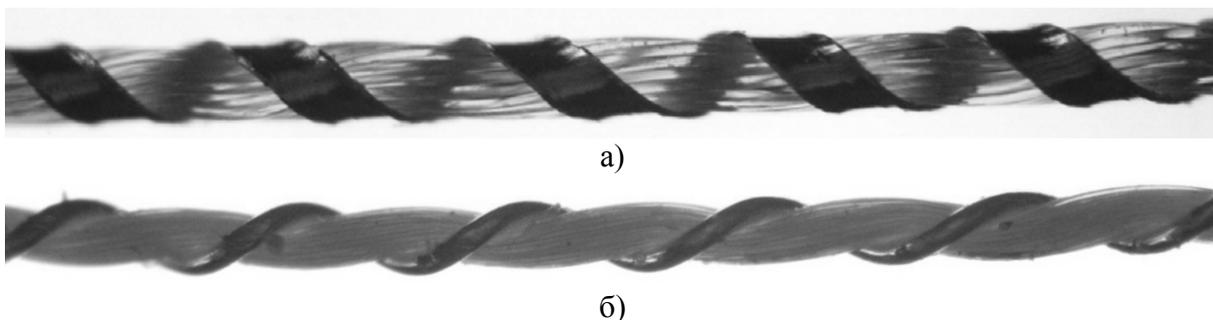


Рис. 1. Внешний вид комбинированных электропроводящих нитей, изготовленных на крутильно-оплеточной машине: а) серийная мишурная нить с полиамидным сердечником 15,6 текс и медной плющенкой в оплетке; б) опытная комбинированная нить с сердечником из нити Армалон 8,0 текс и медной оплеткой  $\varnothing 0,050$  мм

Таким образом, из данных табл. 1 следует, что содержание металлической оплетки в составе комбинированных нитей может находиться в пределах от 60 до 80 %, в зависимости от используемого вида металла, диаметра проволоки и линейной плотности полимерной нити-сердечника, а значит, управляя данным показателем можно управлять радиотехническими характеристиками ткани. Установлено, что результирующая линейная плотность новых комбинированных термостойких электропроводящих нитей находится в пределах от 11 до 39 текс, в зависимости от линейной плотности сердечника, материала и диаметра микропроволоки, это позволяет изготовить ткань с поверхностной плотностью от 50 до 130 г/м<sup>2</sup> без снижения ее радиотехнических характеристик.

В итоге можно отметить, что разработанные образцы комбинированных термостойких электропроводящих нитей отличаются от серийной мишурной нити меньшей линейной плотностью, меньшим удлинением и не уступают серийной нити в разрывной нагрузке.

В табл. 2 представлены основные показатели физико-механических свойств разработанных радиоотражающих термостойких тканей взамен серийной ткани арт. 56041. Установлено, что разработанные на базе комбинированных термостойких электропроводящих нитей образцы тканей отличаются от серийной ткани меньшей поверхностной плотностью и толщиной, при этом опытная ткань арт. 5477-15 не уступает по разрывной нагрузке серийной ткани. На рис. 2 представлена фотография разработанной радиоотражающей ткани арт. 5477-15.

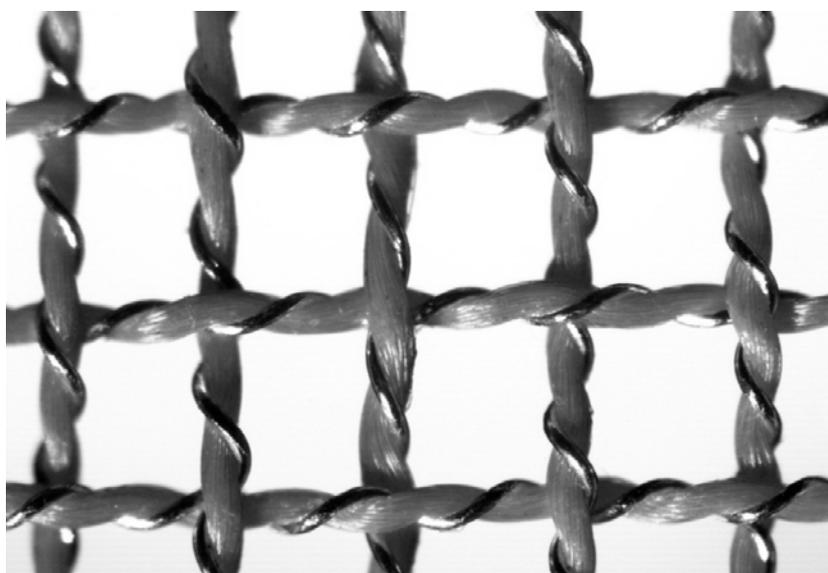


Рис. 2. Внешний вид разработанной радиоотражающей ткани арт. 5477-15

Таблица 2

## Показатели свойств радиоотражающих тканей

Наименование показателя свойств	Требование	Артикул ткани			
		56041	5477-15	5487-15	5478-15
Сырьевой состав	Термостойкие электропроводящие нити	Полиамид + медь	Арамид + медь	Арамид + сталь	Арамид + сталь
Линейная плотность нитей основы и утка, текс	-	45,4	32,5	23,7	11,1
Плотность ткани, нитей/10см	по основе	190	203	192	250
	по утку	180	193	198	234
Поверхностная плотность ткани, г/м <sup>2</sup>	Не более 170	180,3	128,6	100,4	52,8
Ширина ткани, см	Не менее 100	106,5	108,6	-	-
Толщина ткани, мкм	-	320	234	225	130
Размер ячейки между токопроводящими нитями, мм	-	0,48x0,52	0,52x0,53	0,46x0,43	0,39x0,39
Разрывная нагрузка, Н	по основе	Не менее 441	720,0	724,9	-
	по утку	Не менее 441	697,6	719,6	-
Удлинение при разрыве, %	по основе	-	27,1	7,7	-
	по утку	-	24,0	8,9	-
Разрывная нагрузка после термообработки при 300°С в теч. 30 мин., Н	по основе	-	41,6	411,0	-
	по утку	-	41,5	323,7	-
Удлинение при разрыве после термообработки при 300°С в теч. 30 мин., %	по основе	-	9,5	5,8	-
	по утку	-	7,7	7,3	-

Одним из основных требований, предъявляемых к новой радиоотражающей ткани, является требование о высокой термостойкости. Термостойкость образцов тканей определялась путем их испытаний на растяжение до и после выдерживания в термошкафу при температуре 300°С в течение 30 мин. В табл. 2 представлены значения разрывной нагрузки и удлинения полосок ткани по основе и утку до и после термообработки.

Установлено, что после термообработки серийной ткани происходит значительное снижение ее свойств при растяжении, разрывная нагрузка снижается на 94 %, а удлинение на 67 %. Разработанная ткань арт. 5477-15 отличается от серийной ткани большей термостойкостью, так как ее разрывная нагрузка и удлинение снижаются до 55 и 25 %, соответственно.

В табл. 3 представлены значения радиотехнических характеристик (РТХ) образцов экранирующих тканей, измерения РТХ на частоте 16 ГГц проводились в секции

прямоугольного волновода, при нормальном падении электромагнитной волны на образец, полностью заполняющий сечение тракта.

Таблица 3

Радиотехнические характеристики тканей при частоте излучения 16 ГГц

Артикул	Поляризация	$K_{отр}$	$K_{прох}$		$K_{погл}$
		мощн.,%	мощн.,%	дБ	мощн.,%
Арт. 5477-15		98,06	0,27	-25,7	1,67
	⊥	98,31	0,48	-23,2	1,21
Арт. 5478-15		91,88	0,37	-25,0	7,64
	⊥	88,60	0,39	-23,3	11,00
Арт. 5487-15		95,20	0,14	-28,5	4,66
	⊥	96,60	0,18	-27,4	3,20
Арт. 56041		94,15	0,26	-25,7	5,59
	⊥	94,92	0,28	-25,5	4,80

Наиболее высокие значения коэффициента отражения ЭМИ с частотой 16 ГГц достигнуты для разработанной ткани арт. 5477-15, в структуре которой использована медная посеребренная микропроволока. Образец ткани арт. 5477-15 обладает коэффициентом отражения ЭМИ частотой 16 ГГц порядка 98 %, при норме не менее 95 %.

Образец ткани арт. 5478-15, в структуре которого использована стальная микропроволока, показал наименьшие значения коэффициента отражения, что связано с большим удельным электрическим сопротивлением стали по сравнению с медью. Однако повысить коэффициент отражения данного образца возможно при использовании комбинированной нити, в которой сердечник оплетен стальной проволокой в двух противоположных направлениях, что и было реализовано в ткани арт. 5487-15.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что спроектированные на базе новых комбинированных термостойких электропроводящих нитей образцы радиоотражающих тканей отличаются от серийной ткани меньшей поверхностной плотностью – от 50 до 130 г/м<sup>2</sup>, при этом не уступают ей по разрывной нагрузке. Коэффициент отражения ЭМИ частотой до 16 ГГц находится в пределах от 90 до 98 % в зависимости от структуры ткани - размера ячейки между токопроводящими нитями основы и утка, и вида металлической микропроволоки, что полностью удовлетворяет требованиям Заказчика и позволяет начать серийный выпуск разработанных материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левакова Н. М., Сафонов П. Е. Разработка структуры ткани из термостойких электропроводящих нитей для отражающей поверхности антенн // Решетневские чтения : материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ 55-летию Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М. Ф. Решетнева (10–14 нояб. 2015, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2015. – Ч. 1. – С. 112–114.
2. Горберг Б. Л., Иванов А. А., Стегнин В. А., Титов В. А., Молоков В. Л., Мамонтов О. В. Способ получения электропроводящего текстильного материала / Пат. № 2505256 РФ, МПК А41D13/00, D03D15/00, C23C14/35, C23C14/20; заявка № 2011145585/02, заявл. 9.11.2011, опубл. 20.05.2013 Бюл. 14.
3. Левакова Н. М., Горынина Е. М., Горберг Б. Л., Стегнин В. А., Иванов А. А., Мамонтов О. В., Куликовский Э. И., Орлов В. В. Металлизированный материал "Нанотекс" / Пат. №

2338021 РФ, МПК D06M 11/83, D03D 15/12, D02G 3/38, C23C 14/35, B82B 3/00, A62B 17/00; заявка № 2006146782/04, заявл. 28.12.2006, опубл. 10.11.2008 Бюл. 31.

4. Немчинов А. И., Левакова Н. М. Экранирующие ткани для специальной одежды // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК - 2013): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. Часть 1. – Иваново: Текстильный институт ФГБОУ ВПО «ИВГПУ», 2013. – С.62-63.

5. Перепелкин К. Е., Маланьина О. Б., Пакшвер Э. А., Макарова Р. А. Сравнительная оценка термических характеристик ароматических нитей (полиоксазольных, полиимидных и полиарамидных) // Химические волокна. 2004. № 5, с. 45-48.

6. Бондаренко Г. Г., Гайдар А. И., Черник В. Н., Новиков Л. С., Смирнова Т. Н. Дegrаdация механических свойств материалов на основе полимеров под воздействием потоков кислородной плазмы // Труды XX Международного совещания «Радиационная физика твёрдого тела» (Севастополь, 5 июля-10 июля 2010 г.), под редакцией д.ф.-м.н., проф. Г.Г. Бондаренко. – М.: ГНУ «НИИ ПМТ», 2010. В 2-х томах; том 2, с. 774-784.

7. Беляев О. Ф., Заваруев В. А. Выбор материала микропроволоки для вязания отражающей поверхности крупногабаритных трансформируемых антенн // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2014): сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 1. – М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2014. – С. 56-58.

УДК 677.074

## РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ АРАМИДНОЙ ТКАНИ ПО ПАРАМЕТРАМ СТРОЕНИЯ

### 3D MODEL DEVELOPMENT OF ARAMID FABRICS BY PARAMETERS OF STRUCTURE

М.В. Киселев, Г.Г. Сокова, К.А. Зайков, П.А. Аксенов  
M.V. Kiselev, G.G. Sokolova, K.A. Zubkov, P.A. Aksenov

Костромской государственный технологический университет  
Kostroma State Technological University  
E-mail: kisselev50@mail.ru, sokoffg@mail.ru, info@kstu.edu.ru

В статье рассматривается актуальная проблема повышения предела баллистической стойкости бронежилетов на основе нитей «Русар». Отмечено, что оптимизация структуры и материала бронежилета является многовариантной задачей. Для ее решения предложено использовать методы математического моделирования, в частности, решение задачи механики разрушения в динамической постановке. Первым этапом решения задачи является построение геометрической модели текстильной ткани. По известным зависимостям параметров строения ткани в качестве разработано программное обеспечение построения 3D структуры ткани из арамидных нитей.

**Ключевые слова:** предел баллистической стойкости, параметры ткацких переплетений, математическое моделирование

**In the article the actual problem of increasing the limit of ballistic body armor based on “Rusar” threads. It is noted that the optimization of the structure and material of the vest is a multivariate problem. To solve it is proposed to use the methods of mathematical modeling, in particular, the solution of the problem of fracture mechanics in a dynamic setting. The first step in solving the problem is to construct a geometric model of a textile fabric. From the known dependence of the parameters of tissue structure in weaving developed software build 3D tissue structure according to aramid fibers.**

**Keywords:** ballistic limit, the structure of the tissue, mathematical modeling

Отечественные арамидные волокна «Русар» и его модификации нашли широкое применение в индивидуальных средствах защиты и, в частности, в бронежилетах. По своим

баллистическим характеристикам изделия из данного материала превосходят такие зарубежные аналоги как «Кевлар» и «Зайлон». Однако мировой тенденцией совершенствования средств индивидуальной защиты остается снижение веса изделия при увеличении или постоянстве предела его баллистической стойкости. Поэтому многие исследователи идут по пути повышения физико-механических свойств синтетических нитей, оптимизации строения ткани, рационального выбора структуры многослойного строения изделия и т. д. Повышение предела баллистической стойкости изделия является сложной многовариантной задачей, поэтому логично для ее решения использовать методы математического моделирования. С современных позиций численного моделирования представляется возможным описание процесса разрушения слоев ткани бронежилета, как решение задачи механики разрушения материалов в динамической постановке. Однако первым шагом для решения любой задачи является построение геометрической модели исследуемого объекта. В данном случае объектом моделирования является ткань из арамидного волокна, известного под торговым названием «Русар». Совершенно очевидно, что для повышения адекватности будущей модели необходимо строить ее геометрическую модель с учетом строения ткани. Правильность данного предположения подтверждается в исследовании [1], где экспериментально доказано, что различные виды ткацких переплетений имеют разную удельную разрывную нагрузку. Тот же вывод сделан о величине работы разрыва, как более интегральной характеристики разрушения материала. Зависимость удельной разрывной нагрузки от вида переплетения ткани представлена на рис. 1. [1].

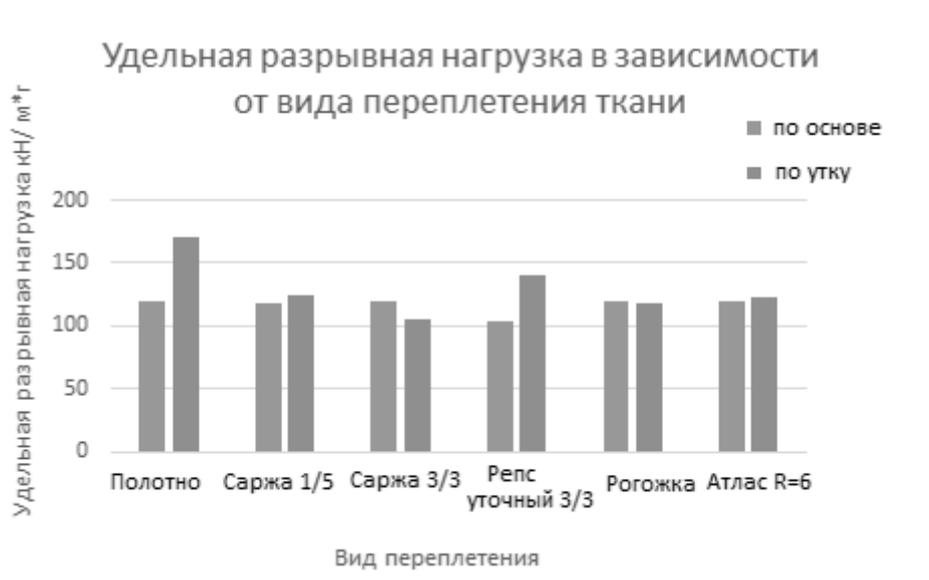


Рис. 1. Зависимость удельной разрывной нагрузки от вида переплетения ткани [1]

Таким образом, первоначальной задачей моделирования динамической задачи разрушения является создание геометрической модели структуры ткани. Для ее решения использовалась теория строения ткани [2, 3]. В качестве программного обеспечения для построения геометрической модели использовалась САД система SolidWorks. Выбор данной системы обоснован хорошей совместимостью файловой структуры с САЕ системой ANSYS, в которой предполагается окончательное решение данной задачи. Фрагмент построения поперечного сечения ткани полотняного переплетения с учетом параметров ее строения, приведен на рис. 2.

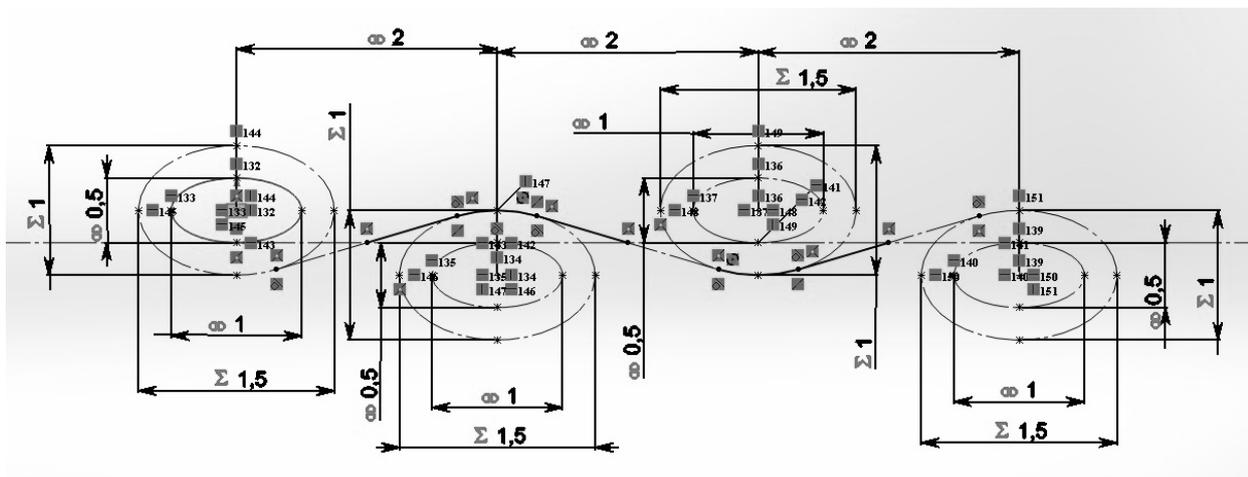


Рис. 2. Фрагмент поперечного сечения ткани полотняного переплетения построенный в CAD системеSolidWorks

Основой построения геометрической модели ткани является построение раппорта переплетения ткани, который в последствие, в зависимости от задаваемых пользователем параметров ткани, путем логического сложения образует 3D модель тканой структуры. Разработанное программное обеспечение позволит проектировать ткани различных переплетений, с учетом порядка фазы строения, размеров поперечников нитей и деформации нитей в процессе изготовления ткани на ткацком станке. Пример построения 3D модели полотняного переплетения ткани с помощью разработанного программного обеспечения приведен на рис. 3.

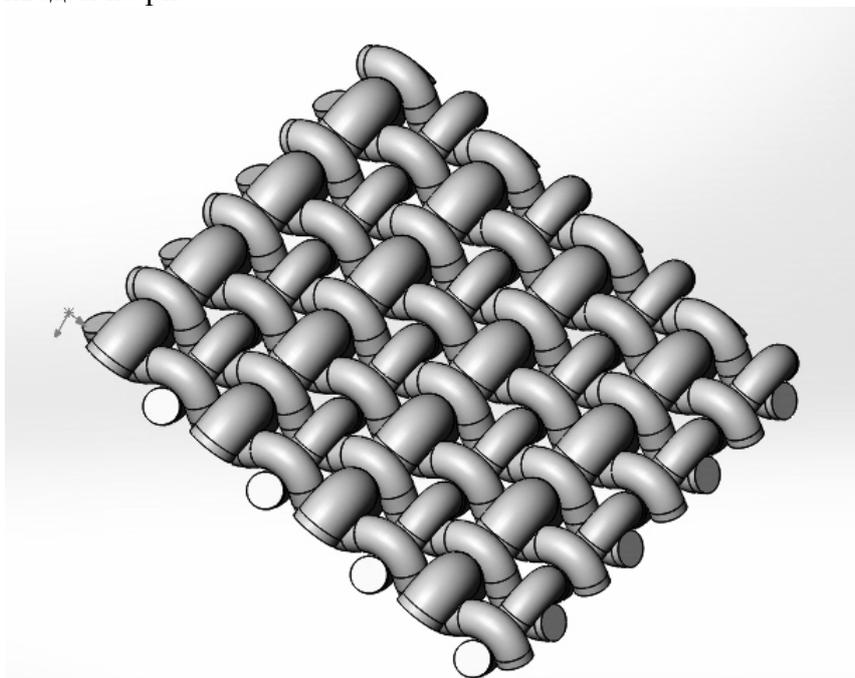


Рис. 3. Фрагмент 3D модели полотняного переплетения ткани, построенной с помощью разработанного программного обеспечения

Разработанное программное обеспечение является первым шагом при решении задачи повышения предела баллистической стойкости тканей на основе нитей «Русар». Следующей задачей будет являться задание физико-механических характеристик нитей в структуре ткани при соответствующей скорости деформации, формирование многослойного пакета бронезилета и загрузка полученных данных в расчетную систему ANSYS для выполнения динамического расчета разрушения материала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафонов П.Е. Разработка оптимальных технологических параметров изготовления арамидных тканей технического назначения. – Дисс... канд. Техн. Наук. – М., 2013. – 355 с.
2. Сокова Г.Г., Л.В. Чернышева “Практикум по информационным технологиям в проектировании и производстве текстильных изделий”, Кострома, 2007, 104 с.
3. Сокова Г.Г. Обзор современных методик автоматизированного проектирования ткацких переплетений/ Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 4.

УДК 677.017:534.212

### АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### ANALYSIS ACOUSTIC ABSORPTION CAPABILITY OF INNOVATIVE TEXTILE MATERIALS

А.П. Башков, Г.В. Башкова, А.В. Евдокимов  
A.P. Bashkov, G.V. Bashkova, A.V. Evdokimov

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail: apb303@yandex.ru, milena55@yandex.ru

Рассматривается расчетный способ определения акустических свойств звукопоглощающих панелей с использованием текстильных материалов, в частности, трикотажа из льносодержащей пряжи. Предлагаемая методика основана на волновых уравнениях Гельмгольца и применима при расчете плоских однородных звукопоглотителей, применяемых в любых помещениях, в том числе, в салонах транспортных средств. Полученные зависимости подтверждены экспериментальными данными, что позволяет судить об их пригодности для прогнозирования акустических свойств проектируемых полотен. Предлагаемая методика реализуется в математической системе *MatLab* и в прикладной программе *Шум*.

**Ключевые слова:** трикотаж, текстильные композиты, волновое сопротивление, акустический импеданс, коэффициент звукопоглощения.

The calculation method of flax knitted baffle blanket acoustical properties determining in the article is considered. The offered method is based on *Gelmholtz* wave equations and is used for a two-dimensional homogeneous sound absorber designing particularly for interior transport facility. Obtained analytic dependences are comparable with experimental data that is allowed to conclude about their availability for projectile knitted fabrics acoustical properties prediction. The proposed method is realized in a mathematical system *MatLab* and in application program *Noise*.

**Keywords:** knitted fabrics, anisotropy of structure, textile composites, acoustical properties, wave resistance, acoustic impedance, sound absorption coefficient.

Инновационным направлением в развитии технического текстиля является разработка текстильных композитов. Применение композитов с армирующей составляющей из текстильных материалов в качестве отделочных и конструкционных материалов транспортных средств, заставляет оценивать не только их прочностные характеристики, но и способность противостоять механическим колебаниям на звуковых частотах. Прогнозирование акустических свойств текстильных материалов и композитов на их основе на стадии проектирования позволит оценить звуко- и вибропоглощающие свойства изделия и оптимизировать его по этим параметрам. Кроме того, звуковая волна воздействует на ячеистую структуру, где распространяется вдоль, поперек и под углом к волокну или пряже, преодолевает воздушные промежутки в ячейках структуры. В этом случае образование

стоячих волн и резонансных явлений крайне затруднено, что совместно со сложной структурой материала обеспечивает высокое акустическое сопротивление текстильного материала.

Периодические волновые явления системы конечного объема описываются уравнением Гельмгольца [1]

$$\nabla^2 \phi + (\omega/c)^2 \cdot p = 0, \quad (1)$$

где  $\nabla^2$  – оператор Лапласа;  $\omega = 2\pi f$  – волновая частота;  $f$  и  $c$  – частота и скорость звука;  $p$  – изменение акустического давления при взаимодействии звуковой волны со средой,  $\phi$  – скалярная переменная, характеризующая потенциал скорости;

$$\phi = a \cos(\mu y) \cdot e^{-\gamma x}; \quad (2)$$

где  $a = i\omega$ ;  $i$  – мнимая единица;  $\gamma$  – величина, характеризующая частоту колебаний;  $\mu$  и  $\gamma$  – параметры, удовлетворяющие равенству

$$\mu^2 - \gamma^2 = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \equiv k^2, \quad (3)$$

$k = 2\pi/\lambda$  – волновое число,  $\lambda$  – длина волны,  $x$  и  $y$  координаты, причем направление распространения волны совпадает с осью  $Ox$ .

Звукопоглощающие свойства материала можно оценивать его волновым сопротивлением  $W$ , которое равно отношению звукового давления к колебательной скорости  $v$  частиц, т.е.  $W = p/v = \rho c$ , где  $\rho$  – плотность материала. Величина значений  $\gamma$  и  $W$  определяется структурой и физическими свойствами текстильного звукопоглощающего материала. Для волокнистых материалов основным характерным параметром служит удельное аэродинамическое сопротивление  $r$ , которое известно заранее. Поэтому  $\gamma$  и  $W$  при расчетах представляются как функция  $r$ .

Применительно к звукопоглощающей панели можно считать, что величина импеданса  $Z_m$  не зависит от волновой структуры акустического поля. Тогда параметр распространения будет  $\gamma = i(\omega/\dot{c})$ , где  $\dot{c}$  – комплексная скорость звука в материале,  $i = \sqrt{-1}$  – мнимая единица.

Частное решение уравнения (1) для отражения плоской волны от панели может быть записано в виде

$$p = -\gamma W \phi. \quad (4)$$

Импеданс, т.е. акустическое сопротивление материала толщиной  $B$  можно определить по формуле [1]

$$Z_m = W \operatorname{cth}(\gamma B). \quad (5)$$

где  $B$  – полутолщина панели,  $\operatorname{cth}(\gamma B)$  – мнимая часть импеданса.

В простых случаях без большой погрешности можно использовать эмпирические зависимости [2]

$$\frac{\gamma}{k} = 0,189 \left(\frac{\rho f}{r}\right)^{-0,595} + i \left[ 1 + 0,0978 \left(\frac{\rho f}{r}\right)^{-0,700} \right]; \quad (6)$$

$$\frac{W}{\rho c} = \left[ 1 + 0,0571 \left(\frac{\rho f}{r}\right)^{-0,754} \right] - i \cdot 0,087 \left(\frac{\rho f}{r}\right)^{-0,732}. \quad (7)$$

Эта модель приближенно соответствует сотовым звукопоглощающим панелям, причем звуковая волна распространяется перпендикулярно сечению сот. При этом характерный размер нормально ориентированной сотовой ячейки звукопоглощающей панели должен быть достаточно мал по сравнению с длиной волны. Этим требованиям отвечают композиты в виде ламинированных текстильных полотен. Трикотажное полотно в данном случае наиболее предпочтительно, поскольку ячейки-соты трикотажной структуры более рельефны, чем на ткани. Ориентация фрагментов ячейки (нитей в петлях) многоосна, что гасит стоячие волны в ячейке и препятствует резонансным явлениям. Кроме этого, льняное волокно,

входящее в состав текстильного каркаса, само по себе обладает более высоким коэффициентом звукопоглощения, чем полимерные или стеклянные волокна.

Расчеты по формулам (6) показали, что, начиная со значений  $\rho f/r > 0,02$ , величины  $\frac{W}{\rho c} = 1$  и  $\frac{\gamma}{k} = 1$  практически не зависят ни от частоты звука, ни от плотности материала.

Величина параметра  $r$  меняется для различных волокнистых материалов в широких пределах – от  $2 \times 10^3$  до  $2 \times 10^5$  Па·с/м [2], но, даже если брать максимальное значение  $r$ , то только в октавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц оно будет оказывать какое-нибудь значимое влияние на  $W$  и  $k$ . Тогда выражение (5) можно записать в следующем виде

$$Z_a = \rho c \operatorname{cth}(kB) = \rho c \operatorname{cth}\left(\frac{2\pi f B}{c}\right). \quad (8)$$

В этом случае задача сводится к корректному определению скорости звука в материале. Продольная скорость звука определяется по формуле [3]

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \sqrt{\frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}}, \quad (9)$$

где  $E$  – модуль Юнга (для льняной пряжи  $1,95 \times 10^6$  Па);  $\nu$  – коэффициент Пуассона (для льна 0,45);  $\rho$  – объемная плотность (у льняной пряжи  $\rho = 90$  кг/м<sup>3</sup>). При этих значениях  $c = 403$  м/с. При толщине материала 4 мм импеданс на частоте 1000 Гц составит  $583 \times 10^3$  Н/(м·с) (для воздуха  $4,2 \times 10^3$  Н/(м·с)) (рис. 1).

Коэффициент звукопоглощения  $\alpha$  связан со скоростью звука в материале следующим выражением, полученным из формулы Стокса-Кирхгофа

$$\alpha = \frac{2\omega^2 \eta}{3\rho c^3 \operatorname{cth}\left(\frac{2\pi f B}{c}\right)}, \quad (10)$$

где  $\eta$  – коэффициент сдвиговой вязкости, зависящий также от частоты колебаний.

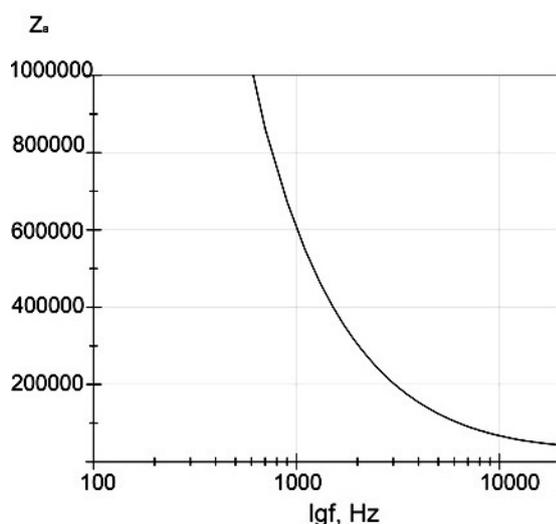


Рис. 1. Зависимость акустического импеданса от частоты звуковых колебаний

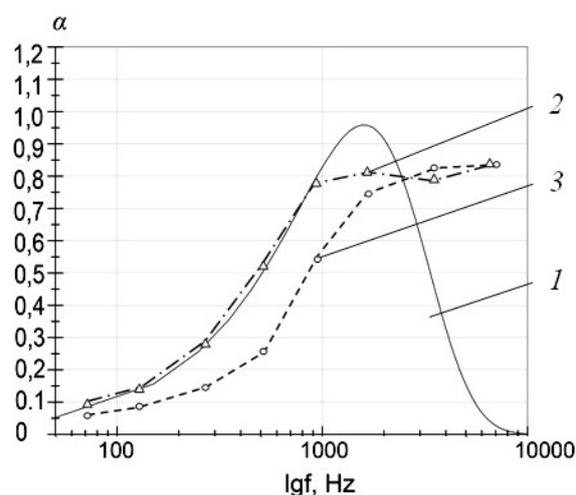


Рис. 2. Коэффициент звукопоглощения:  
1 – график функции (10);  
2 – экспериментальная зависимость для ячеистой структуры;  
3 – экспериментальная зависимость для сплошной структуры

Для лубяных волокон на частоте 1000 Гц  $\eta = 560$  Па·с, при этом значение  $\alpha = 0,98$  [5]. График функции (10) приведен на рис. 2. В реальности значение  $\eta$  также зависит от частоты,

поэтому экспериментальные зависимости  $\alpha$  от частоты несколько иные – кривые 2 и 3 (рис. 2).

С целью определения звукопоглощения льносодержащего трикотажа экспериментальные образцы были испытаны в малой реверберационной камере в соответствии с ГОСТ 26417-85. Определялось снижение уровня звукового давления за счет звукопоглощения двух слоев ткани из стеклонити (образец 1) поверхностной плотности  $180 \text{ г/м}^2$  (основа 68 текс, уток 140 текс) и трикотажа в два слоя из льняной пряжи 84 текс поверхностной плотности  $240 \text{ г/м}^2$  (образец 2). Звукопоглощающая облицовка составляла 46% площади внутренней поверхности камеры. Полученные звуковые спектры приведены в таблице 1.

Таблица 1

Измерение звукопоглощающей способности текстильных образцов

Вариант	Уровень звукового давления по предельному спектру, дБ в октавных полосах со среднегеометрической частотой, Гц								Эквивалентный уровень, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Без звукоизоляции	70	75	85	100	102	101	88	76	92
Со звукоизоляцией образец № 1	70	70	82	92	92	91	80	70	88
Со звукоизоляцией образец № 2	69	68	80	88	86	85	76	69	82

Анализ звукового поля в помещении производится с помощью прикладной программы Шум «ЭКО центр» (разработчик ООО «Экоцентр» г. Воронеж, Россия), в которой метод расчета соответствует ISO 9613-2:1996. На первом этапе во вкладке «Источник» выбираются акустические характеристики источника шума (рис. 3). Затем задается размер площадки и координаты источника шума. Снижение шума звукопоглощающей стенкой определяется в окне «Препятствие», где заполняется таблица значений коэффициентов звукопоглощения, определенных экспериментально или по формуле (10). Далее программа позволяет получить расчетное акустическое поле (рис. 4).

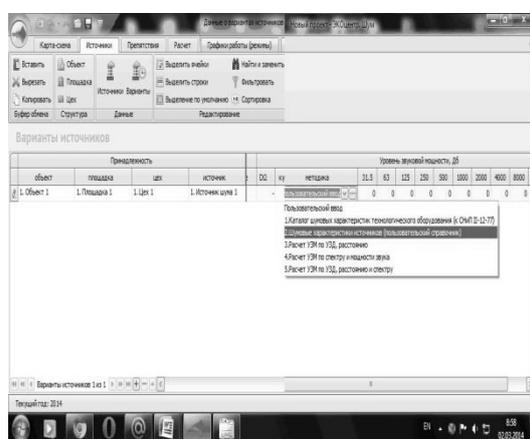


Рис. 3. Вкладка источник программы Шум

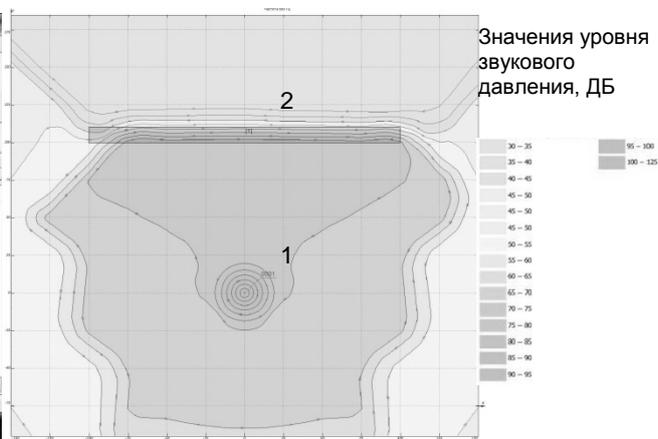


Рис. 4. Акустическое поле в октавной полосе 500 Гц: 1 – источник шума, 2 – звукопоглощающая преграда

### Выводы.

1. Снижение уровня звукового давления на основных октавах соответствует расчетным значениям акустического импеданса и коэффициентов звукопоглощения, что позволяет

судить о пригодности предложенного метода проектирования акустических свойств материала.

2. Трикотажный льносодержащий образец показал лучшую звукопоглощающую способность.

3. Использование прикладной программы Шум «Экоцентр» позволяет прогнозировать акустическую обстановку в проектируемых помещениях при использовании предлагаемых звукопоглощающих материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красильников, В.А. Введение в физическую акустику/ В.А. Красильников, В.В. Крылов. – М.: Наука, 1984. – 403 с.
2. Delany, M.E., Bazley, E.N. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. Applied Acoustics v.3, 1970, pp. 105-116.
3. Ржевкин, С.Н. Курс лекций по теории звука / С.Н. Ржевкин. – М.: Издательство московского университета, 1960. – 336 с.
4. Соловьянова, И.П. Теория волновых процессов: Акустические волны / И.П. Соловьянова, С.Н. Шабунин. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. –142 с.
5. A preliminary study of sound absorption using multi-layer coconut coir fibers [Электронный ресурс]/М.М. Nor, N. Jamaludin, F. M. Tamiri. //Technical Acoustics, 2004. – №3, <http://webcenter.ru>
6. Сачков, О.В. Исследование звукоизоляционных свойств новых дублированных материалов на основе нетканого полотна [Текст] / О.В. Сачков, Г.И. Чистобородов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. - 2010. - №5. - С. 66-71.
7. Башкова Г.В. Проектирование основных свойств трикотажных геополотен [Текст] /Г.В. Башкова, А.П. Башков, Д.А. Алешина, С.В. Соколова // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.- 2013.- №3.- С.159-162

УДК 677.112

## НОВЫЙ ПОДХОД К МОДИФИКАЦИИ ЛУБЯНЫХ ВОЛОКОН

### A NEW APPROACH TO MODIFICATION OF BAST FIBERS

И.Ю. Ларин<sup>1</sup>, Е.Р. Воронина<sup>1</sup>, В.Г. Стокозенко<sup>2</sup>, А.П. Морыганов<sup>2</sup>  
I.Yu. Larin<sup>1</sup>, E.R. Voronina<sup>1</sup>, V.G. Stokozenko<sup>2</sup>, A.P. Moryganov<sup>2</sup>

Ивановский государственный политехнический университет  
Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)

Ivanovo State Polytechnic University

G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences (Ivanovo)

E- mail: [larin\\_igor@inbox.ru](mailto:larin_igor@inbox.ru), [ver1001@rambler.ru](mailto:ver1001@rambler.ru), [vgs@isc-ras.ru](mailto:vgs@isc-ras.ru), [apm@isc-ras.ru](mailto:apm@isc-ras.ru)

Охарактеризованы новый метод и принципиальная схема аппаратного оформления модификации низкономерного льняного волокна, обеспечивающие практически полный его распад до элементарных волокон. При этом достигается высокая степень очистки их от примесей. Сравнительный анализ состава лигноуглеводного комплекса, гигроскопических и физико-механических свойств элементаризованного льноволокна показал, что по всем характеристикам новый вид волокна превосходит льноволокна, котонизированные по известным технологиям. Это открывает возможности получения нового вида волокнистого сырья – элементаризованного льноволокна, фракционированного для производства широкого спектра инновационных текстильных, технических и медицинских изделий.

Ключевые слова: льняной котонин, очистка, примеси, элементаризованные волокна, модификация льняного волокна, свойства

A new method and a conceptual scheme of instrumental design of modifying coarse flax fiber assuring its almost complete breakup to elementary fibers. Upon that a high level of removal of impurities is achieved. Comparative analysis of the composition of the lignin-carbohydrate complex and of hygroscopic and physical and mechanical properties of the elementarized fiber has shown that the new fiber outperform flax fibers cottonized using known technologies, by all parameters. This opens possibilities of obtaining a new type of fiber raw material, an elementarized flax fiber, fractionated for manufacturing a wide spectrum of textile, technical and medical products.

**Keywords:** flax kotonin, purification, impurities, elementarized fibers, flax fiber modification, properties

Учитывая особенности строения лубяных волокон [1], в [2] показаны существенные недостатки наиболее распространенных в настоящее время методов котонизации. Предложенное [3] нами новое направление подготовки лубяных волокон к промышленной переработке заключается в полном разделении лубяного волокнистого пучка на отдельные составляющие его элементарные волокна, очистке элементаризованных волокон от неразработанных волокон, частиц костры, пыли и разделении на фракции волокон по длине.

На рис.1 представлена принципиальная схема устройства элементаризации лубяных волокон.

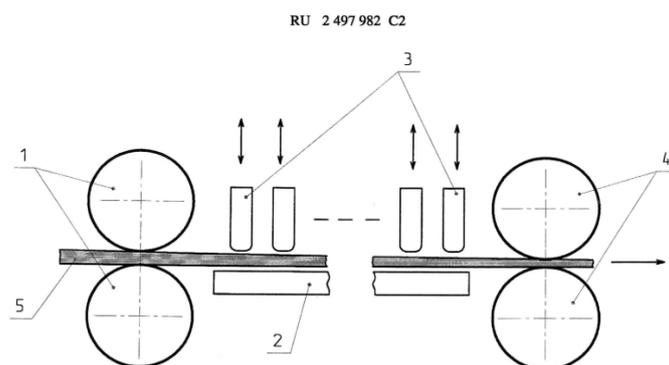


Рис.1. Принципиальная схема устройства элементаризации лубяных волокон (1- питающая пара, 2- неподвижная опора, 3- нажимные элементы, 4- выпускная пара, 5- обрабатываемое волокно)

Устройство состоит из двух пар: питающей 1 и выпускной 4 и устройства циклического деформирования, состоящего из неподвижной опоры 2 и нажимных элементов 3. Устройство работает следующим образом: обрабатываемое волокно 5 продвигается питающей 1 и выпускной 4 парами через устройство циклического деформирования. Нажимные элементы 3 периодически прижимают обрабатываемое волокно 5 к неподвижной опоре 2 с определенным усилием. Элементарные волокна и соединительные ткани комплексных лубяных волокон имеют разные механические свойства. Соединительные ткани имеют большую жесткость по сравнению с элементарными волокнами. В процессе циклического деформирования комплексных лубяных волокон элементарные волокна, как более мягкие и упругие, легче деформируются и оказывают меньшее сопротивление деформирующему усилию, чем более жесткие соединительные ткани. При снятии деформирующей нагрузки элементарные волокна стремятся восстановить свою первоначальную форму и создают, таким образом, усилия, действующие на соединительные ткани в обратном направлении. Эти усилия являются знакопеременными, и под их действием в соединительных тканях развиваются усталостные явления, которые приводят к их разрушению, а элементарные волокна остаются при этом не поврежденными. По предлагаемой технологии можно готовить к промышленной переработке разные виды лубяных волокон, так как все комплексные лубяные волокна имеют одинаковую «конструкцию» и одинаковый механизм разрушения соединительных тканей.

Лабораторные исследования механических свойств элементаризованных волокон, показывают, что предлагаемый способ позволяет вести бережную обработку волокон без их повреждения и нарушения структуры. Анализируя диаграмму распределения элементаризованных волокон по длине (рис. 2), можно отметить высокое содержание коротких волокон – в исследуемом образце волокна с длиной до 15 мм составляют 44.3%, что отрицательно сказывается на штапельной длине волокон и ограничивает область их применения.

Мы предлагаем на стадии производства элементаризованных волокон производить рассортировку волокон по длине на фракции: пуховую, «хлопковую», «шерстяную». В результате такой рассортировки штапельная длина «хлопковой» фракции увеличилась с 24,2 мм до 26,6 мм.

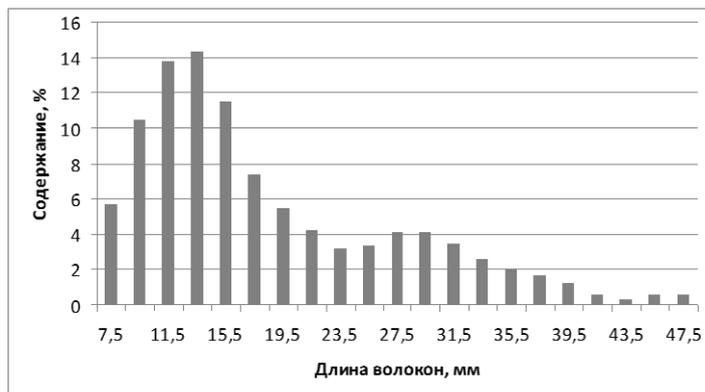


Рис. 2 Диаграмма распределения элементаризованных волокон по длине

В табл. 1 приведены результаты расчета прогнозируемой удельной разрывной нагрузки пряжи по формуле профессора А.Н. Соловьёва [4].

Таблица 1

Прогнозируемая прочность пряжи из «хлопковой» фракции элементаризованного льноволокна

Линейная плотность пряжи, текс	Количество волокон в поперечном сечении пряжи	Расчетное значение удельной разрывной нагрузки по формуле Соловьёва А.Н., сН/текс
25,0	117	18,2
21,3	100	17,6
20,0	94	18,5
17,0	80	17,8
14,0	66	16,8

Анализируя данные табл. 1 можно сделать вывод, что из «хлопковой» фракции элементаризованных волокон можно вырабатывать пряжу как по кардной (число волокон в сечении 100 и больше), так и по гребенной системе (число волокон в сечении меньше 100).

Характеристики свойств элементаризованного волокна, полученные нами в результате исследований трепаного льна и короткого льняного волокна отечественного производства, приведенные в табл. 2, показывают, что элементаризованное волокно ближе по свойствам к хлопку, чем волокно котонизированное. Характеристики котонизированного волокна взяты из работ ЦНИИЛКА [1].

Таблица 2

## Свойства элементаризованного, котонизированного и хлопкового волокон

Наименование показателя	Волокно		
	элементаризованное льняное	котонизированное льняное	хлопок селекции 108-Ф
Средняя литейная плотность, мтекс	213 - 287	1030 - 2520	179
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	27,3 - 50,8	21,2 - 29,5	25,0
Капиллярность, мм/10 мин	65	0	0
Водопоглощение, г/г волокна	16,6	2,0	5,5

В ходе исследований, результаты которых представлены в табл. 3, также было установлено, что разрушение соединительных тканей под действием циклических деформирующих нагрузок сопровождается эффективным удалением лигнина и пектиновых веществ: остаточное содержание их составляет соответственно 50 и 66 % от исходного количества с одновременным повышением доли целлюлозной составляющей до 80,1%.

Таблица 3

Содержание основных компонентов  
в исходном, элементаризованном и котонизированном льноволокнах

Компоненты волокна	Содержание в волокне, %		
	исходном	элементаризованном	котонизированном
Целлюлоза	64,4	80,1	76,2
Лигнин	5,1	2,6	4,8
Пектины	4,8	3,2	4,2
Гемицеллюлоза	10,5	9,8	10,2

Аналогичные показатели были получены ранее при осуществлении двухстадийного механохимического способа модификации льносырья. При котонизации по известным механическим способам такого результата добиться не удавалось.

Проведенный рентгеноструктурный анализ показал отсутствие деструктивных процессов в кристаллических областях целлюлозной составляющей льноволокна.

Высокая степень очистки элементаризованного волокна от примесей позволяет получить развитую капиллярно-пористую систему, придающую волокну гидрофильность уже на стадии механической обработки. Благодаря этому дальнейшие химические обработки волокна или изделий на его основе могут проводиться в значительно более мягких условиях, чем требуется при обработках известных видов льнопродукции.

Проведенные исследования свидетельствуют о целесообразности разработки экспериментального, а затем и опытно-промышленного образца оборудования для элементаризации льноволокна (а также и других лубяных волокон). Это открывает перспективу существенного расширения базы отечественного волокнистого сырья для текстильной и других отраслей промышленности России.

*Работа выполняется в 2015-2016 г.г. при финансовой поддержке гранта РФФИ (Проект № 15-48-03021 р\_центр\_а).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Живетин В. В., Гинзбург Л. Н., Ольшанская О. М. Лен и его комплексное использование. - М.: Информ-Знание. 2002. 394 с.

2. Теория и практика получения текстильных материалов на основе котонизированного льна: монография / Труевцев Н.Н., Легезина Г.И., Аснис Л.М., Гребенкин А.Н.. – СПб.: СПГУТД. 2006. 176 с.
3. Пат. РФ № 2497982 Способ обработки комплексных лубяных волокон и устройство для его реализации / Ларин И. Ю., Савинов Е. Р.; опубл. 10.11.13, Бюл. № 31 – 7 с. : ил.
4. Павлов Ю.В. и др. Теория процессов, технология и оборудование предпрядения хлопка: Учебник / Под общей ред. Павлова Ю. В. – Иваново: ИГТА. 2007. – 536 с.
5. Орлов А.В. Анализ углового смещения свободных участков прядей льна при их перемещении в поле трепания [Текст] /А.В. Орлов, С.В. Бойко, Е.Л. Пашин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.- 2014.- №2.- С.32-37

УДК 687.016:004

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ МЕТОДИКИ УЧЕТА СВОЙСТВ ТКАНЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИЛУЭТНЫХ ПРИБАВОК В ОДЕЖДЕ

### THE DATA BASE OF THE NEW METHOD INTRODUCTION OF FABRIC PROPERTIES IS INVESTIGATE TO DEFINE EASE ALLOWANCES IN CLOTHES

О.В. Сурикова, В.Е. Кузьмичев  
O.V. Surikova, V.E. Kuzmichev

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnical University  
E-mail: ola\_surikova@mail.ru

Для разработки информационной базы методики учета свойств тканей при проектировании силуэтных прибавок в одежде проведено исследование физико-механических свойств тканей на комплексе Kawabata и выявлены показатели, оказывающие наибольшее влияние на силуэт одежды. Исследования проведены для одежды разных размеров. Для всех размеров одежды установлена наибольшая корреляционная зависимость показателей силуэта фронтального контура одежды с показателями свойств тканей: сдвига по утку (G) и жесткости при изгибе по утку (B). Предложено уравнение для расчета величины силуэтной прибавки по линии талии в одежде с учетом свойств тканей, которое позволит обеспечить заданный силуэт в одежде из различных тканей.

**Ключевые слова:** полуприлегающий силуэт, прибавка, Kawabata, свойства материалов, женская одежда.

In article the data base of new method of fabric properties was investigated. For this the properties of fabrics were researched on the Kawabata complex. The properties which have more impact to clothes silhouette were defined. Researchers have done for different sizes of clothes. For all sizes defined that the greatest correlation dependence of silhouette properties with fabric properties: shear on a weft (G) and rigidity on a weft (In). The equation for calculation a silhouette allowance have determinate/ It will help to calculate the ease allowance to different fabric clothes.

**Keywords:** semi-fitted silhouette, ease allowance, Kawabata, properties of fabric, women's clothing.

Свойства материалов оказывают существенное влияние на форму одежды. Многими исследованиями [1...3] показано, что от таких свойств как драпируемость, жесткость на изгиб, поверхностная плотность, толщина, одевающая способность и др. будет зависеть силуэт и пластика формы одежды. При вербальной оценке внешней формы одежды, в первую очередь, воспринимается ее контурное очертание, силуэт. В одежде силуэт является информационной оболочкой, создающей основное впечатление о модели. За модные десятилетия выработано большое разнообразие силуэтных решений одежды, имеющих характерные силуэтные линии. Однако информационная база о силуэтах, влиянии свойств материалов на форму одежды представлена в основном вербальными характеристиками,

которые мало пригодны для условий автоматизированного проектирования одежды, где необходимо количественное детерминирование. Достаточно часто одну и ту же модель одежды изготавливают из разных тканей. Чтобы соблюсти заданный силуэт и пластику формы модели конструктор путем опытного изготовления и примерки определяет направления и величины изменения силуэтных прибавок в одежде. Это достаточно трудоемкий процесс, требующий от конструктора большого опыта и знаний. Исследование влияния свойств текстильных материалов на заданную форму одежды и разработка параметризированной информационной базы о величинах прибавок, определяющих силуэт в одежде из разных материалов позволит автоматизировать процесс разработки и адаптации конструкций одежды из различных материалов.

Цель настоящего исследования – установление закономерностей влияния физико-механических свойств материалов на силуэт одежды разных размеров.

Объекты исследований: ткани костюмного ассортимента с различными поверхностной плотностью и волокнистым составом; женская плечевая одежда различных размеров полуприлегающего силуэта.

Исследования включали:

испытание проб тканей на комплексе Kawabata;

исследование формы одежды полуприлегающего силуэта, изготовленной из разных тканей.

Схема измерений показателей физико-механических свойств материалов на приборах комплекса Kawabata (Япония) позволяет моделировать процессы, происходящие в тканях при изготовлении и эксплуатации одежды [4]. Результатами испытаний является широкая номенклатура единичных показателей растяжения, сжатия, изгиба и толщины тканей.

Исследованы десять тканей костюмного ассортимента. Номенклатура показателей и результаты исследований представлены в таблице 1. Проведен отбор показателей свойств тканей, оказывающих большее влияние на силуэт одежды. Всего исследовано 27 показателей свойств тканей по четырем группам показателей: сдвига, растяжения, чистого изгиба и толщины.

Таблица 1

Номенклатура исследуемых показателей свойств тканей и интервалы их изменений

Группа показателей	Наименование показателя	Направление нитей	Условное обозначение и единица измерения	Интервал изменения показателя	
				Мин	Max
Показатели чистого изгиба	Жесткость при изгибе	По основе	В, сН*см/см	0,04	0,28
		По утку		0,02	0,21
	Гистерезис момента изгиба	По основе	2НВ, сН*см/см	0,02	0,2
		По утку		0,02	0,11
Показатели растяжения	Коэффициент полноты диаграммы растяжения/релаксации	По основе	LT	0,61	0,76
		По утку		0,6	0,75
	Работа растяжения	По основе	WT, сН*см/с <sup>2</sup>	3,15	12,1
		По утку		6,02	37,7
	Доля восстановления упругой деформации	По основе	RT, %	52,24	70,98
		По утку		30,47	67,75
	Полная деформация удлинения	По основе	EMT, %	1,67	8,02
		По утку		3,56	21,7
	Площадь под кривой «усилие» растяжение – время	По основе	INT, V	0,63	2,46
		По утку		1,2	7,55
Площадь под кривой «усилие»	По основе	V <sub>1</sub>	0,45	1,4	

	внутри материала при его восстановлении– время	По утку		0,82	3,5
Показатели сдвига	Жесткость при сдвиге	По основе	G <sub>2</sub> сН*см/см	0,45	1,99
		По утку		0,43	1,8
	Гистерезис усилия сдвига при угле 0,5 град	По основе	2HG, сН/см	0,64	3,15
		По утку		0,67	2,2
Гистерезис усилия сдвига при угле 5 град		По основе	2HG5, сН/см	1,5	7,2
		По утку		1,7	7,5
Показатели толщины	Коэффициент полноты диаграммы «сжимаемость-нагрузка»		LC	0,33	0,5
	Доля упругой деформации		RC, %	40,5	81,8
	Толщина ткани под нагрузкой 0,5 сН/см <sup>2</sup>		ТО, мм	0,499	2,676
	Толщина ткани под нагрузкой 50 сН/см <sup>2</sup>		ТМ, мм	0,33	1,4
Поверхностная плотность			г/м <sup>2</sup>	182	344

На втором этапе из исследуемых тканей изготавливали макеты женских жакетов для размеров 164-96-102, 164-120-126, 164-136-140. Величины конструктивных прибавок по линии груди, талии и бедер для изделий исследуемых размеров, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Величины конструктивных прибавок в макетах разных размеров

Размер	Величина конструктивной прибавки, см		
	По линии груди	По линии талии	По линии бедер
164-96-102	5,6	9	2,5
164-120-126	5,6	7	2,5
164-136-140	5,6	5	2,5

Для сохранения полуприлегающего силуэта прибавку по линии талии в изделиях разных размеров задавали различной, согласно результатам исследований [5]. Выполнена инструментальная и визуальная оценка силуэта макетов одежды разных размеров из исследуемых тканей. Визуально оценивалось сохранение полуприлегающего силуэта фронтального контура одежды (рис. 1). За показатели силуэта одежды приняты следующие показатели:

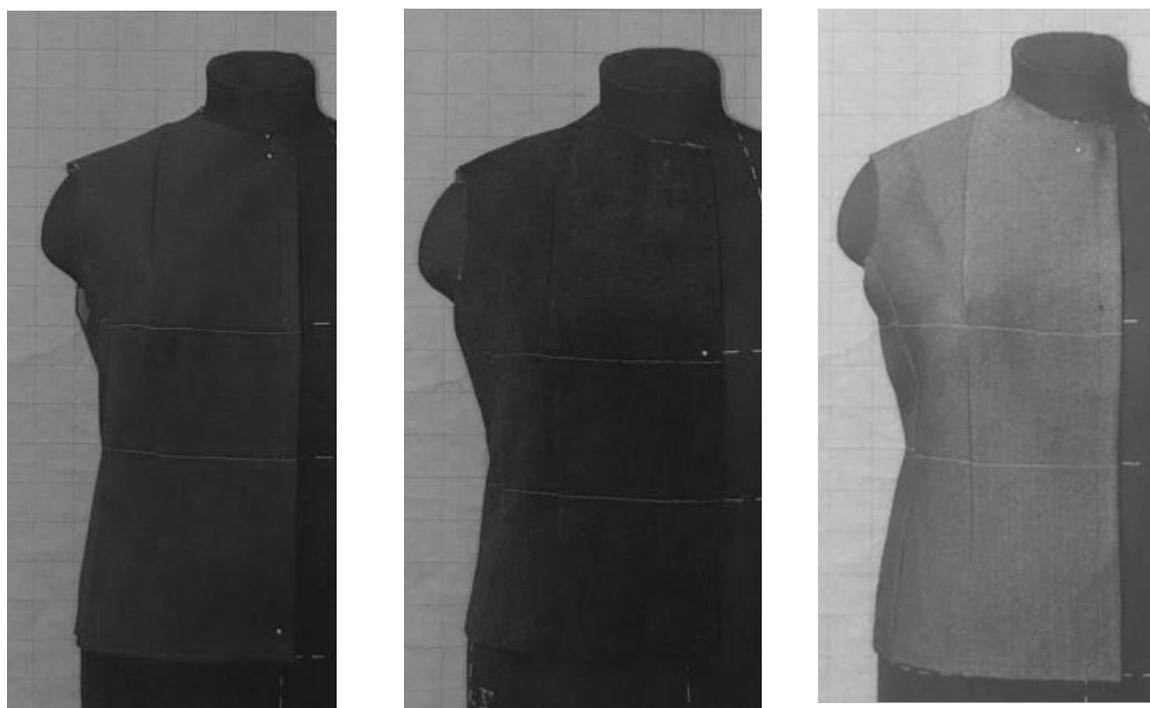
- углы наклона фронтального контура одежды выше и ниже линии талии  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  (рис.2);

- проекционные ширины изделия на уровнях груди, талии и бедер  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ .

Проекционные ширины изделия измеряли с использованием установки Л.П.Юдиной (рис.3), величины углов наклона фронтального контура рассчитывали.

Установлено, что макеты одежды с одинаковыми величинами силуэтных прибавок, изготовленные из разных тканей, имели отличия в форме фронтального контура одежды. На рис.1 видно, что изделие, изготовленное из ткани №3, имеет менее выраженную приталенность по сравнению с макетами изготовленными из тканей №6 и №5.

Выявлено, что при изготовлении изделий заданного силуэта с одинаковыми величинами силуэтных прибавок из тканей с различными физико-механическими свойствами форма фронтального контура одежды не остается неизменной.



а)

б)

в)

Рис. 1. Пример макетов изделий 120 размера из тканей а- №3, б - №6, в - №5

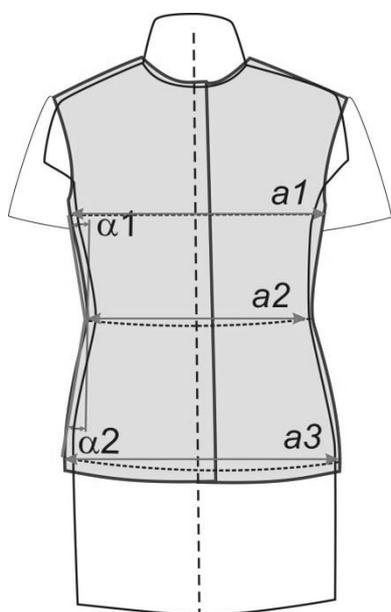


Рис. 2. Схема параметров силуэта фронтального контура



Рис. 3. Установка Л.П. Юдиной для измерения параметров силуэта фронтального контура одежды

Проведен совместный анализ показателей свойств тканей и параметров силуэта фронтального контура одежды. Методом корреляционного анализа проверено наличие устойчивых связей между показателями. Установлено, что наибольшие коэффициенты парной корреляции Пирсона, а, следовательно, большее влияние на параметры силуэта фронтального контура оказывают показатели сдвига по утку ( $G_y$ ) и жесткости при изгибе по утку ( $B_y$ ).

Предложено уравнение зависимости для расчета величины прибавки по линии талии с учетом свойств материалов

$$Pm_{кор.} = Pm_{жесл.} - 12 * Vu + 0,074 * Gu,$$

где  $Pm_{жесл.}$  - прибавка по линии талии по рекомендациям для выбранного силуэта;

$Vu$  – жесткость при изгибе по утку,

$Gu$  – сдвиг по утку.

Настоящая формула позволяет рассчитать величину конструктивной прибавки для изделий из различных видов тканей. Для этого необходимо по рекомендациям литературы или на основе собственного опыта выбрать величину прибавки по линии талии для одежды, которая должна обеспечить заданный силуэт, а затем рассчитать величину прибавки по линии талии для всех видов тканей, из которых это изделие будет изготавливаться.

Использование предложенной зависимости позволит обеспечить заданный силуэт по линии талии в одежде из разных материалов и ускорить процесс запуска моделей в производство.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнилова, Н.Л. К вопросу учета формовочных свойств материалов при проектировании одежды. / Н.Л. Корнилова, А.Е. Горелова //Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2007. №6. –С. 86-88.
2. Рогова, А.П. Изготовление одежды повышенной формоустойчивости/ А.П. Рогова, А.И. Табакова –М.: Легкая индустрия. 1979 –184с.
3. Савостицкий, А.В. Основные теоретические положения конструирования одежды из ткани. –Научные труды МТИЛП, 1962, №2 с.6-49
4. Pestre R. Objective evaluation of apparel fabric. Proceedings of the Second Australia-Japan Bilateral Science and Technology Symposium on Objective Evaluation of Apparel Fabrics, Parkville, Victoria, 24 October – 4November, 1983, p. 2-8.
5. Сурикова, О.В. Принципы проектирования визуально-идентичных силуэтов одежды для женских фигур разных размеров/ О.В. Сурикова, В.Е. Кузьмичев, Г.И. Сурикова// Технологии и материалы в производстве инновационных потребительских товаров: Сборник научных статей к 80–летию со дня рождения В.А. Фукина. Часть 1. – М.: МГУДТ, 2015. – С. 139-146.

УДК 519.22/.25:677.07

## РАСЧЕТ СУММАРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

## SUM CALCULATION OF AMBIGUOUS RESULT MEASUREMENTS AT TEXTILE MATERIALS TEST LABORATORIES

Н.В. Евсеева, Л.В. Дрягина  
N.V. Evseeva, L.V. Dryagina

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail fim@ivgpu.com

Рассмотрены вопросы, касающиеся достоверности результатов измерений свойств текстильных материалов в испытательных лабораториях. Выявлены критерии оценки результатов измерений с учетом суммарной неопределенности. Приведены примеры конкретных расчетов.

**Ключевые слова:** неопределенность, погрешность, суммарная неопределенность, испытательная лаборатория, свойства.

**Textile materials property measurements reliable results at test laboratories are considered. Criteria measurement assessment results are given regarding sum ambiguity. Calculation examples are given.**

**Key words:** ambiguity, error, sum ambiguity, test laboratories, properties.

Измерения присутствуют практически во всех видах человеческой деятельности, включая промышленность, торговлю, науку, здравоохранение и др.

Неопределенность измерения – это общее понятие, связанное с любым измерением, которое используют при необходимости принятия обоснованных решений в разных областях практической деятельности и теоретических исследованиях [1].

Неопределенность и связанные с ней величины (стандартная неопределенность, расширенная неопределенность и т.д.) приняты на международном уровне в качестве признанной меры доверия к результатам измерения и в последнее время широко используются при их представлении, особенно в европейских странах. То же происходит и в России – эти термины и соответствующие величины применяются все чаще.

В Российской Федерации требования к испытательным лабораториям относительно оценки прослеживаемости и неопределенности измерений при испытаниях определены в [2]. Результаты таких оценок должны учитываться при анализе компетентности лабораторий в ходе проведения испытаний и при обработке их результатов, что в полной мере соответствует международной практике [3].

*Неопределенность измерения* – параметр, относящийся к результату измерения и характеризующий разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

*Суммарная стандартная неопределенность* – стандартная неопределенность измерений, которую получают, исходя из индивидуальных стандартных неопределенностей измерений, связанных с входными величинами в модели измерений.

Различают два метода определения неопределенности:

- оценивание неопределенности по типу А – метод оценивания неопределенности путём статистического анализа ряда наблюдений;

- оценивание неопределенности по типу В – метод оценивания неопределенности способами, отличными от статистического анализа ряда наблюдений.

Цель классификации на тип А и тип В – представление двух различных способов оценки составляющих неопределенности. Оба способа являются общепринятыми и основаны на распределении вероятностей, поэтому выбор, того или иного, метода зависит от необходимой точности, которую требуется достичь

Общим результатом при оценке неопределенности, как правило, является определение расширенной неопределенности  $U$  (границ интервала неопределенности), которая находится по формуле:

$$U = k \cdot u_c, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент охвата;

$u_c$  – суммарная неопределенность.

Цель процедуры по оценке неопределенности, прежде всего, состоит в том, чтобы достичь более высокого уровня доверия потребителей к результатам измерений.

При оценке качества результатов измерений на основе концепции «неопределенности» вместо использования понятий «погрешность» и «истинное значение измеряемой величины» применяют понятия «неопределенность» и «измеренное значение измеряемой величины».

Алгоритм расчета неопределенности строится на основе общей схемы оценивания неопределенности, которая состоит из нескольких этапов, представленных на рис. 1.

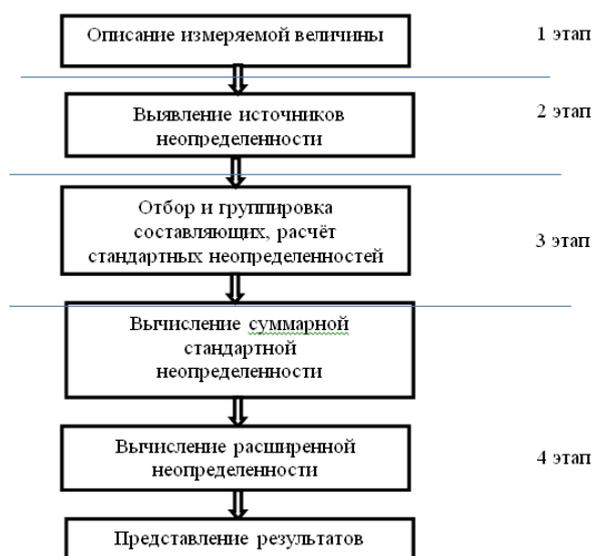


Рис. 1 Общая схема оценивания неопределенности измерения

Исходными данными для вычисления неопределенности типа А являются результаты многократных измерений входных величин уравнения измерения, полученные при проведении испытаний.

В качестве данных для вычисления неопределенности по типу В используют:

- информацию нормативных документов (ГОСТ и ТУ на изделие, данные о методах и средствах измерений и испытаний, условия проведения испытаний, внешние воздействующие факторы и т.д.);
- данные предшествовавших измерений величин, входящих в уравнение измерений;
- сведения о виде распределения вероятностей;
- данные, основанные на опыте исследователя или общих знаниях о поведении и свойствах приборов и образцов;
- неопределенности констант и справочных данных;
- данные поверки, калибровки, сведений изготовителя о приборе и другие аналогичные данные.

Если математическая модель, как основа для оценки неопределенности, отсутствует, то испытательные лаборатории могут для реализации общей оценки неопределенности использовать следующие процедуры:

- составить перечень тех величин и параметров, влияние которых ожидается существенным на общую неопределенность;
- использовать данные, относящиеся к повторяемости и воспроизводимости, которые могут быть получены на основе данных валидации, контроля качества или внутрилабораторных исследований;
- использовать данные или процедуры, описанные в соответствующих нормативных документах по методикам выполнения измерений и проведению испытаний;
- использовать комбинацию процедур, описанных выше.

Суммарная стандартная неопределенность рассчитывается по формуле:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \quad (2)$$

где  $u_A$  – неопределенность типа А;

$u_B$  – неопределенность типа В.

Неопределенность типа А вычисляется по формуле:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}, \quad (3)$$

где  $n_i$  – число измерений;

$x_{iq}$  – текущее значение  $i$ -ой величины;

$\bar{x}_i$  – среднее арифметическое измерение  $i$ -ой величины.

Для расчета неопределенности измерений были взяты результаты испытаний хлопчатобумажной ткани УНИВЕРСАЛ ФР 240 с огнезащитными и маслостойкими свойствами, с включениями антиэлектростатической нити, при определении разрывной нагрузки. Измерение разрывной нагрузки данной ткани осуществлялось по ГОСТ 3813-72 [4].

Первая группа погрешностей (для оценки неопределенности по типу А) – погрешности, связанные с технологическими разбросами при определении разрывной нагрузки ткани.

Было проведено 50 испытаний исследуемой ткани. Среднее значение разрывной нагрузки составило 1032,69 Н. Так как в стандарте указано одностороннее ограничение значений разрывной нагрузки ткани, то дальнейшие расчёты проводились, учитывая односторонний допуск.

Неопределенность типа А, вычисленная по формуле (3), составила:

$$u_A = \sqrt{\frac{49160,77}{50(50-1)}} = 4,48.$$

Вторая группа погрешностей (для оценки неопределенности по типу В):

– допустимая погрешность разрывной машины –  $\pm 1\%$  (данные из технического паспорта на РМИ-250);

– неоднородность пробоотбора –  $\pm 0,2\%$  (априорная информация);

– влияние оператора –  $\pm 0,5\%$  (априорная информация);

– влажность материала и окружающей среды –  $\pm 0,2\%$  (данные [4]);

– округление результатов –  $\pm 0,2\%$  (априорная информация).

Третья группа погрешностей (для оценки неопределенности по типу В) – методические погрешности метода испытаний: человеческий фактор (не рассматривается в силу незначительности его вклада в общую погрешность измерения).

На данном этапе вклад каждого выявленного источника неопределенности или измеряется напрямую, или оценивается с использованием результатов предшествующих экспериментов, или выводится, исходя из теоретических соображений.

Стандартная неопределенность для каждой влияющей на результат величины рассчитывалась по формуле (4), при условии одностороннего допуска:

$$u_B(x_i) = \frac{a_i}{2\sqrt{3}} \quad (4)$$

Стандартная неопределенность для:

– разрывной машины:  $u_B(x_1) = \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0,29$ ;

– неоднородности пробоотбора:  $u_B(x_2) = \frac{0,2}{2\sqrt{3}} = 0,06$ ;

– влияния оператора:  $u_B(x_3) = \frac{0,5}{2\sqrt{3}} = 0,14$ ;

– влажности материала и окружающей среды:

$$u_B(x_4) = \frac{0,2}{2\sqrt{3}} = 0,06$$

– округления результатов:

$$u_B(x_5) = \frac{0,2}{2\sqrt{3}} = 0,06.$$

Вычисленная стандартная неопределенность типа В –  $u_B(x_i)$  – составила:

$$u_B(x_i) = \sqrt{\frac{(0,29+0,06+0,14+0,06+0,06)^2}{3}} = 0,35.$$

Суммарная неопределенность  $u_c$ , рассчитанная по формуле (2), составила:

$$u_c = \sqrt{4,48^2 + 0,35^2} = 4,49.$$

В рассматриваемом практическом случае, при вычислении неопределенности результата измерения разрывной нагрузки ткани принимается нормальный закон распределения возможных значений измеряемой величины.

В этом случае коэффициент охвата  $k = 2$  при  $P = 0,95$  [5].

В соответствии с формулой (1) расширенная неопределенность для уровня доверия  $P = 0.95$  получится в виде:

$$U = k \cdot u_c = 2 \cdot 4,49 = \pm 8,98.$$

Результат измерения разрывной нагрузки ткани для нормального закона распределения может быть представлен в виде:

$$P = ( 1032,69 \pm 8,98 ) \text{ Н, } P = 0.95.$$

Окончательно, с учетом погрешности округления, получаем:

$$P = ( 1033 \pm 9 ) \text{ Н, } P = 0,95.$$

Таким образом, при обработке данных результатов испытаний разрывной нагрузки ткани была применена методика с учетом расчета неопределенности измерения, которая может быть использована при проектировании изделий, контроля их характеристик, и позволит избежать завышенных технологических требований при их производстве, а также повысить имидж испытательной лаборатории.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 54500.1-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009. Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределенности измерения.
2. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
3. Евсева, Н.В. О реализации требований к аккредитации испытательных лабораторий в области оценки неопределенности результатов измерений/ Н.В. Евсева, Т.В. Волкова: сборник материалов научно-технической конференции "Поиск-2015". - Иваново: ИВГПУ, 2015. - с.88-89.
4. ГОСТ 3813-72. Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении.
5. ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.

## **ВЛИЯНИЕ ФОРМОВОЧНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ВЫБОР ПРИЕМОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ**

### **SELECT THE METHOD OF CLOTHES FORMING USING CHARACTERISTICS OF THE FORMING PROPERTIES OF MATERIALS**

З.Р. Григорьева<sup>1</sup>, А.Е. Горелова<sup>2</sup>, Н.Л. Корнилова<sup>3</sup>  
Z.R. Grigorieva<sup>1</sup>, A.E. Gorelova<sup>2</sup>, N.L. Kornilova<sup>3</sup>

Уфимский государственный университет экономики и сервиса  
Ивановский государственный политехнический университет  
Инжиниринговый центр текстильной и легкой промышленности (Иваново)  
Ufa State University of Economics and Service  
Ivanovo State Polytechnic University  
Engineering center of textile and light industry (Ivanovo)  
E-mail: zarema\_grigoreva@inbox.ru, GorelovaAnn@mail.ru, nkorn@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на выбор характеристик текстильных материалов, необходимых для определения возможности их применения для получения объемной формы одежды в различных условиях формообразования. Представлена взаимосвязь выбранных характеристик с показателями развертки, получаемой в САПР BustCAD с использованием автоматического алгоритма развертывания.

**Ключевые слова:** одежда, формовочные свойства текстильных материалов, способы формообразования, трехмерное проектирование.

The article describes the results of experimental studies aimed at the selection of textile materials' properties, which are necessary to determine the possibility of their application for clothes form creation in various forming conditions. Selected characteristics are compared with indicators of flat patterns obtained in BustCAD with automatic deployment algorithm.

**Keywords:** clothes, molding properties of textile materials, the methods of forming, three-dimensional design.

Перед отечественной легкой промышленностью, занимающейся производством швейных изделий различного бытового и технического назначения, в настоящее время стоит задача комплексного развития производства на базе передовых информационных технологий с использованием современных методов исследования свойств материалов. Повышению конкурентоспособности продукции текстильной и легкой промышленности способствуют разработка новых технологий изучения и прогнозирования функционально-потребительских и эксплуатационных свойств текстильных материалов.

Проектирование и производство изделий из материалов текстильной и легкой промышленности сопряжено с проблемами, связанными с недостаточной информацией об их качественных характеристиках. Исходная информация о функциональных и эксплуатационных свойствах текстильных материалов, необходимая при проектировании и производстве швейных изделий, часто носит неконкретный, малодостоверный и разрозненный характер или отсутствует совсем. Выделяются две причины сложившейся ситуации: недостаточность методологических основ исследования; отсутствие простых, но объективных и точных методов исследований свойств материалов текстильной и легкой промышленности [1]. Это подтверждает актуальность проведения научных исследований, направленных на выявление критериев пригодности материалов для изготовления различных видов изделий легкой промышленности, в том числе характеризующих возможность получения требуемой объемной формы в различных условиях формообразования.

Целью работы являлось изучение взаимосвязи формовочных свойств материалов с показателями, характеризующими плоскую развертку различных участков изделия в трехмерной САПР одежды.

Объектом исследования явились: виртуальный шар диаметром 140 мм, построенный в программе трехмерного конструирования BustCAD, лекала развертки его сегментов и их характеристики, полученные при помощи автоматического алгоритма развертывания; а также реальный шар диаметром 140 мм и образцы костюмных тканей.

Для реализации поставленной цели проведена оценка механизма развертывания трехмерных деталей программой BustCAD (пример развертки внешней поверхности шарового сегмента представлен на рис. 1), определены коэффициенты деформации структуры по периметру и площади (табл.1) как соотношение данного показателя в трехмерной конструкции к двумерной (плоской) [2].

Затем определены свойства материалов (табл. 2) и изучен процесс одевания объемной поверхности выбранными образцами материалов на реальном шаре (табл.3). Проведение исследований на данном этапе включало определение:

- 1) формовочных характеристик материалов;
- 2) характеристик изменения развертки в процессе одевания на шар без принудительной деформации (аналогично одеванию изделий свободного покроя, а также поведению материалов на незамкнутых участках изделий полуприлегающего и прилегающего силуэтов) – I способ;
- 3) характеристик деформации материалов при одевании на шар с предварительным сутюживанием (аналогично приданию объемной формы в изделиях полуприлегающего силуэта, на условно-замкнутых зонах изделий прилегающего силуэта) – II способ;
- 4) характеристик деформации материалов при одевании на шар с сутюживанием и принудительным натяжением (аналогично изделиям прилегающего силуэта на опорных замкнутых зонах) – III способ.

На следующем этапе для каждого условия формообразования выявлена взаимосвязь между показателями разверток, полученными в программе, с характеристиками материалов. Зависимости коэффициентов деформаций от формовочных свойств материалов имеют вид:

$$k\partial_{PI} = 0,7142 + 0,2896 \cos \frac{(\alpha_o + \alpha_y)}{4} \quad k\partial_{SI} = 1,0249 - 0,035 \cos \frac{(\alpha_o + \alpha_y)}{4} \quad (1)$$

$$k\partial_{PII} = 0,1568C_{осн} + 0,0569C_{45zp} - 0,0124C_{ym} \quad (2)$$

$$k\partial_{SII} = 0,1628C_{осн} + 0,0717C_{45zp} - 0,0082C_{ym} \quad (3)$$

$$k\partial_{PIII} = 0,0019M_s - 1,4152t - 0,013EI_{осн} + 0,084EI_{ym} + 0,0015(C_{осн} + 2C_{45zp} + C_{ym}) - \quad (4)$$

$$- 0,00316\beta + 0,0156V + 0,0233\alpha_{од}$$

$$k\partial_{SIII} = 0,0009M_s - 0,8373t - 0,0034EI_{осн} + 0,132EI_{ym} - 0,0028(C_{осн} + 2C_{45zp} + C_{ym}) - \quad (5)$$

$$- 0,0051\beta + 0,0329V + 0,0253\alpha_{од}$$

В результате проведенных исследований установлено, что критерием качественной оценки развертки, полученной с использованием автоматического алгоритма развертывания, является сравнение программных и фактических значений коэффициентов деформации, рассчитанных по формулам для желаемого приема формообразования с учетом формообразующих факторов и свойств материалов. При выборе приемов формообразования следует определить свойства материалов, провести расчет коэффициентов деформации по приведенным формулам и сравнить их со значениями деформации развертки трехмерной детали, полученной в программе. В случае, если коэффициенты деформации детали выше расчетных, следует использовать данный способ формообразования.

Таблица 1

Сравнительный анализ программных и расчетных значений и коэффициенты деформации структуры по периметру и площади

Высота сечения, мм	Длина дуги основания шарового сегмента (периметр), Р, мм		Площадь внешней поверхности шарового сегмента, S, мм <sup>2</sup>			Коэффициент деформации		Отклонение программного и расчетного значений, %		
	трехмерной детали (3DK)		плоской детали (2DK)	трехмерной детали (3DK)		2DK	по периметру, $k_{DP}$	по площади, $k_{DS}$	по периметру	по площади
	расчетная	программная		расчетная	программная					
60,2	435,27	434,58	577,53	26340,3	26463,66	25772,3	1,33	0,98	0,59	0,16
50,4	422,02	421,2	528,8	22026,1	22155,84	21714,9	1,26	0,99	0,79	0,21
40,6	394,76	393,68	467,1	17096,6	17232,38	16980,7	1,19	0,99	0,93	0,32
30,8	358,09	356,96	403,57	12803,1	12923,11	12720,3	1,13	0,99	1,04	0,38
19,6	305,08	303,64	329,63	8527,24	8616,71	8561,35	1,09	1	1,78	0,45
9,8	224,32	222,56	231,27	4231,26	4307,95	4240,79	1,04	1	1,92	0,53

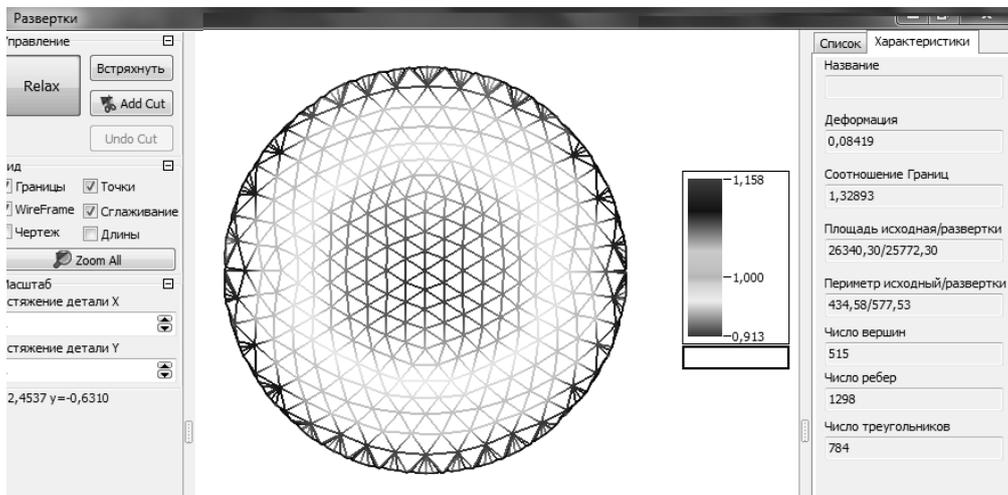


Рис. 1. Развертка внешней поверхности шарового сегмента с высотой 60,2 мм из BustCAD

Таблица 2

## Характеристика применяемых материалов

№ п/п	Толщина, t, мм	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Жесткость на изгиб, EI, нНсм <sup>2</sup>		Угол оде-вания, α, град.		Сутюжи-ваемость, С, %			Угол пере-коса, β, град.	Растяжимость, %		
			по осно-ве	по утку	по осно-ве	по утку	по осно-ве	под углом 45 <sup>0</sup>	по утку		по осно-ве	под углом 45 <sup>0</sup>	по утку
1	0,21	189,91	1,015	0,804	36	43	3	4	1	16	1,85	11,8	2,42
2	0,34	283,94	1,844	1,853	38	39	2	8	3	6	1,62	13,27	1,29
3	0,33	227,45	3,937	2,209	36	38,5	4	11	4	9	1,29	17,8	2,91
4	0,39	249,872	3,504	2,900	38	39	6	11	4	19	2,27	21,04	3,56
5	0,39	249,62	2,965	1,597	44,5	39	7	14	11	22	3,56	28,8	14,6
6	0,23	160,79	2,837	1,302	34	26,5	1	4	0	4	1,94	12,26	3,87
7	0,28	211,86	9,510	1,371	35,5	38	2,5	4	4	4	1,84	16,77	5,81
8	0,28	190,74	0,990	1,024	39	44	4	5	1	21	3,56	19,74	4,85

окончание таблицы 1

9	0,25	144,39	1,084	0,902	33	29	2	5	2	10	4,21	22,98	6,8
10	0,24	200,17	1,300	1,054	39	24	4	7	4	13	2,91	17,15	4,21
11	0,20	156,64	1,033	0,840	42,5	38,5	3	4	1	13	1,94	17,15	3,56
12	0,34	278,18	7,883	1,470	38	40,5	4	3	7	12	1,82	17,88	3,68
13	0,40	272,33	2,690	2,137	44	46,5	4	4	9	7	1,94	14,84	2,25
14	0,22	168,53	1,077	1,109	30	29	3	4	3	13	2,6	16,88	4,87
15	0,15	210,17	7,580	0,840	37	23,5	2,5	8	2,5	4	0,65	10,39	3,25
16	0,23	155,58	1,003	1,000	41	43	3,5	6	3	19	2,91	22,98	3,56
17	0,25	162,6	1,318	1,113	33	26,5	4	7	6	9	1,95	16,23	7,14
18	0,32	277,81	1,790	1,807	28	26,5	6	8	4	6	2,58	12,9	2,58
19	0,38	293,31	7,040	1,264	41	38,5	4	10	3	12	0,97	14,84	2,58
20	0,40	258,82	9,543	2,040	42	41,5	2	9	3	12	0,97	16,77	3,23

Таблица 3

## Характеристики деформации материалов при разных условиях одевания

№ п/п	Коэффициент деформации по периметру, $K_{\partial P}$			Коэффициент деформации по площади, $K_{\partial S}$		
	I способ	II способ	III способ	I способ	II способ	III способ
1	1,021	0,973	0,984	0,943	0,893	0,868
2	1,037	0,968	0,981	0,954	0,841	0,848
3	1,031	0,975	0,944	0,967	0,821	0,798
4	1,024	0,970	0,905	0,938	0,811	0,840
5	1,060	0,977	0,940	0,985	0,774	0,740
6	1,024	0,987	0,935	1,020	0,912	0,838
7	1,047	0,999	1,018	1,009	0,921	0,793
8	1,035	0,943	0,965	0,941	0,816	0,878
9	1,028	0,972	0,949	0,993	0,869	1,032
10	1,003	0,981	0,951	1,056	0,861	1,073
11	1,040	1,016	1,023	0,960	0,957	0,950
12	1,036	1,010	0,977	0,948	0,933	0,880
13	1,042	0,958	0,986	1,039	0,823	0,806
14	1,033	0,975	0,977	0,998	0,876	1,001
15	1,004	0,988	0,996	1,072	0,876	1,085
16	1,007	0,947	0,967	0,898	0,811	0,804
17	1,019	0,994	0,940	0,985	0,878	0,968
18	1,004	0,986	0,962	0,969	0,878	0,959
19	1,027	0,978	0,988	0,941	0,835	0,884
20	1,032	0,953	0,997	0,934	0,809	0,868

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Макаров, А.Г. Вариант моделирования деформационных и релаксационных свойств текстильных материалов сложного строения / А.Г. Макаров, Н.В. Переборова, В.И. Егорова, В.И. Вагнер // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 3 (351). – С. 110 – 115.
- Васильев, Д.А. Определение взаимосвязи характеристик деформации развёртки 3D изделия со свойствами материалов / Д.А.Васильев, А.Е.Горелова, Е.С.Давыдова, Н.Л. Корнилова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. - 2012. - №2. - С.56-60.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОМЕХАНИЧЕСКОЙ РАССОРТИРОВКИ  
РЕГЕНЕРИРОВАННЫХ ВОЛОКОН ИЗ ТЕКСТИЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ  
РАСШИРЕНИЯ АССОРТИМЕНТА**

**THE USE OF AEROMECHANICAL SORTING OF REGENERATED  
FIBRES FROM TEXTILE WASTE TO EXTEND THE RANGE**

И.В. Фролова, Н.С. Ишанова  
I.V. Frolova, N.S. Ischanova

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo state technical university  
E-mail: trik5218@yandex.ru, simpotyeshka@mail.ru

Рассмотрены технология и устройство рассортировки регенерированных волокон, полученных из текстильных отходов в виде лоскута, обрезков ткани. Показана и исследована аэромеханическая рассортировка регенерированных волокон по длинам и разрывной нагрузке (прочности), которые определяют ассортимент текстильных изделий.

**Ключевые слова:** Аэромеханическая рассортировка, регенерированные текстильные волокна, эффективность использования регенерированных волокон.

The technology and device for sorting of regenerated fibers derived from textile waste in the form of a flap, trimmings fabrics. Shown and studied aeromechanical sorting out reclaimed fibers length and breaking load (strength), which determine the range of textile products.

**Keywords:** Aeromechanical sorting out, of regenerated textile fibers, the effectiveness of using regenerated fibers.

Сейчас стоит задача создания более эффективных технологий по переработке текстильных отходов и вторичного сырья с получением регенерированных (восстановленных) волокон, так как решаются важнейшие проблемы современности: экономические и экологические. Ресурсосберегающие технологии позволяют сохранить дорогостоящее натуральное сырье, экологию и снизить себестоимость выпускаемой продукции. Другой, не менее важной, является задача грамотного и эффективного использования полученных регенерированных волокон по назначению, расширения ассортимента вырабатываемой текстильной продукции с улучшенными качественными показателями и потребительскими свойствами.

При переработке отходов в виде хлопчатобумажного лоскута (легкого, среднего и тяжелого) были получены регенерированные волокна [1].

Эффект регенерации и основные характеристики регенерированных волокон по длине представлены в табл.1. Анализ данных табл.1 показывает, что технология регенерации для тонкого лоскута требует доработки, так как выход чистого регенерированного волокна из него составил только 26,4 %, а полученные короткие волокна с длиной 9,9 мм пригодны для изготовления ваты и нетканых материалов. Высокий эффект регенерации волокон из среднего и тяжелого лоскутов, который составил соответственно 67,28 % и 70,6 %. По характеристикам длин регенерированные волокна образцов №1,2 соответствуют данным сертификата «Вата-прима» 1-2 сортов и могут быть использованы для изготовления марлевых изделий, бинтов и пряжи низких номеров. По результатам исследований физико-механических свойств одиночных регенерированных волокон и одиночных волокон хлопка I –VI сортов (табл.2) следует, что для регенерированных волокон, в связи с разнородностью длин и разрывных нагрузок, требуется рассортировка их по длинам, которая дает возможность более экономично использовать дорогое прядомое волокно по назначению, например, для производства пряжи (табл.3).

Таблица 1

Результаты испытаний по оценке характеристики длины регенерированных волокон и выхода чистого волокна

Наименование характеристики	Легкий лоскут образец № 1 (лоскут из тонкой гребенной пряжи № 65 и выше)	Средний лоскут образец № 2 (волокно из лоскута, тканей среднего веса 1 м <sup>2</sup> )	Тяжёлый лоскут образец № 3 (лоскут из тканей типа диагонали, для спецодежды)
1. Выход чистого волокна, %	26,4	67,28	70,6
2. Средняя длина волокна в распрямленном виде, мм	9,9	13,6	14,1
3. Коэффициент вариации по средней длине волокна, %	30,2	38	38,4
4. Доля волокна, мм, составляющего:			
50,0 %	9,4	12,3	13,3
25,0 %	11,6	16,9	17,9
2,5 %	16,9	25,3	25,4
1,0 %	18,0	27,0	26,6

Таблица 2

Физико-механические свойства регенерированных волокон из лоскута

Сорт хлопкового волокна	Разрывная нагрузка хлопкового волокна, сН	Количество регенерированных волокон с разрывной нагрузкой, соответствующей заданному сорту, %			Влажность, %
		образец № 1	образец № 2	образец № 3	
I	4,9	19,0	13,0	22,0	6,8
II	3,9	12,0	11,0	10,0	7,1
III	3,4	8,0	17,0	9,0	7,1
IV	3,0	14,0	12,0	13,0	7,0
V	2,5	28,0	27,0	26,0	7,0
VI	Менее 2,5	19,0	20,0	20,0	6,8

С этой целью в поточной линии дополнительно применяется аэромеханическая рассортировка регенерированных волокон по длинам рис.1[2]. В данном устройстве волокнисто-воздушная смесь переходит с зубьев вращающегося барабана 1 в открытое сопло 2 и распространяется в виде волокнисто-воздушной струи 3. Узел рассортировки имеет три секции ОА, АБ, БВ с разделительными плоскими стенками 5, 9, 10, на которых смонтированы аэродинамические сопла поддува 4, 8, 11 и сопло отсоса 12. В секцию ОА выпадают неразработанные комплексы из волокон и короткие волокна, которые используются для производства нетканых и композиционных материалов (табл.3); в секцию АБ – короткие волокна средней длины (менее 15 мм) и применяются как для нетканых материалов, так и для марлевых изделий краткосрочного пользования; в секцию БВ – длинные, прядомые волокна, предназначенные для изготовления пряжи. Осаждение и концентрация волокон, с определенными свойствами, по секциям, а также удержание волокнисто-воздушной струи 3, с параллельными вихревыми шнурами 6 в стабильном

положении, осуществляется плоскими стенками 5, 9, 10 с соплами поддува 4, 8, 11 (их положение регулируется поворотом данных стенок) и величиной давления струй 7 сопел.

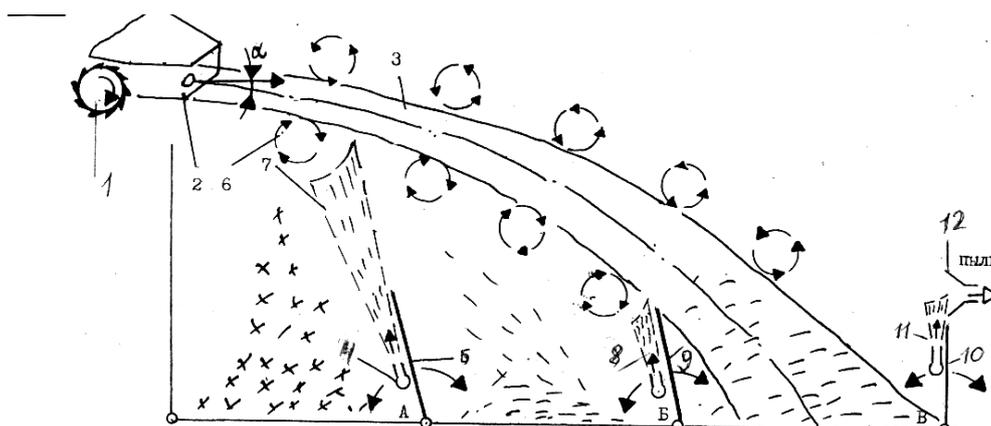


Рис. 1 Аэромеханическая рассортировка регенерированных волокон

Таблица 3

Рассортировка регенерированных волокон по длинам

1. Узел рассортировки регенерированных волокон поточной линии	Секция ОА	Секция АБ	Секция БВ
2. Рассортировка регенерированных волокон по длинам, %:	комплексы из волокон:	поврежденные, короткие, волокна < 15 мм:	прядомые волокна > 15мм:
- при переработке легкого лоскута	70	10,6	19,4
- при переработке среднего лоскута	32,72	21,18	46,1
- при переработке тяжелого лоскута	26,20	17,6	56,2

#### Выводы.

1. В технологическом процессе при переработке отходов в виде лоскута необходима рассортировка регенерированных волокон по их длине с целью использования данных волокон по назначению, как коротких, так и прядомых.

2. Использование регенерированных волокон после их рассортировки позволяет сохранить дорогостоящее натуральное сырье, снизить себестоимость выпускаемой продукции без ущерба ее качества и расширить ассортимент.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2223351 Российская Федерация, С1 7D01G 11/00. Поточная линия для регенерации отходов плоских текстильных материалов / Фролова И.В., Фролов В.Д., Башков А.П., Капустин С.Ю.; заявитель и патентообладатель Ивановская государственная текстильная академия - № 2003108998/12; заявл. 31.03.2003; опубл. 10.02.2004, Бюл. № 4.
2. Полезная модель № 14736 Российская Федерация, U1 D01H 7/92. Устройство для аэромеханической рассортировки волокон / Фролова И.В., Кахраманов Ф.Р., Максимовская Т.Ю., Чистобородова Н.Г.; заявитель и патентообладатель Ивановская государственная текстильная академия - № 2000102175; заявл. 26.01.2000; опубл. 20.08.2000, Бюл. № 23.
3. Тувин М.А. Математическое моделирование аэродинамической рассортировки волокон в устройстве для получения многослойных нетканых материалов [Текст] /М.А. Тувин, И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян/ Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.- 2015.- №6.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАКЕТОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛООБМЕНЕ В СИСТЕМЕ  
«ЧЕЛОВЕК – ОДЕЖДА – СРЕДА»**

**RESEARCH OF EFFICIENCY OF THE PACKAGES TEXTILE MATERIALS AT NON-  
STATIONARY HEAT EXCHANGE IN SYSTEM «PERSON – CLOTHES –  
ENVIRONMENT»**

А.В. Абрамов, М.В. Родичева, И. Дагал  
A.V. Abramov, M.V. Rodicheva I. Dagal

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

Предложен принцип исследования эффективности пакетов современной теплозащитной одежды как системы самоорганизующихся материалов. Для этого моделируется воздействие на пакет комплекса факторов окружающей среды и оценивается динамика плотности теплового потока. Рассмотрены результаты сравнительных исследований эффективности пакетов традиционных и самоорганизующихся текстильных материалов.

**Ключевые слова:** самоорганизующийся материал, пакет (система) материалов, процессы тепломассообмена, физическое моделирование, плотность теплового потока, распределение влаги по толщине пакета.

The principle of research of efficiency of packages of modern heat-shielding clothes as systems of the self-organized materials is offered. Impact on a package of a complex of factors of environment is for this purpose modelled and dynamics of density of a thermal stream is estimated. Results of comparative researches of efficiency of packages of the traditional and self-organized textile materials are considered.

**Keywords:** the self-organized material, a package (system) of materials, processes of a heatmass exchange, physical modeling, density of a thermal stream, distribution of moisture on package thickness.

Современные технологии создания текстильных материалов позволяют получать образцы, способные адаптироваться к внешним условиям за счет изменения функциональных свойств. А.К. Изгородин выделяет эти образцы в новый класс самоорганизующихся материалов, использование которых при проектировании теплозащитной одежды позволяет повысить безопасность человека при нестационарных климатических воздействиях окружающей среды [2]. Ограниченное использование самоорганизующихся материалов объясняется недостатками традиционных методов исследования теплофизических и гигроскопических свойств текстиля: упрощение физико-химических процессов и искусственное уменьшение числа учитываемых параметров [3].

Например, по ГОСТ 12.4.016-83 теплозащитные свойства защитной одежды от пониженных температур оцениваются по теплопроводности пакета ( $\lambda$ , Вт/(м·К)), которая в большинстве случаев определяется в стационарных условиях теплообмена. Анализ тепловых процессов в системе «человек – одежда – среда» связан с определением плотности теплового потока ( $q$ , Вт/м<sup>2</sup>) на поверхности тела человека и в пакете одежды. Оценка плотности тепловых потоков в системе самоорганизующихся материалов в условиях нестационарных климатических воздействий позволит исследовать влияние регулируемых теплофизических свойств на эксплуатационную эффективность теплозащитной одежды.

Рассмотрим возможность использования этого подхода на примере субнормальных температур, в которых резко нестационарный теплообмен человека со средой протекает в условиях колебаний температуры ( $t_{\text{окр}} = +5 \div -5$  °С), влажности ( $\varphi = 40 \div 100$  %) воздуха, скорости ветра ( $v = 0 \div 10$  м/с) и солнечного излучения ( $E = 0 \div 700$  Вт/м<sup>2</sup>). Пакет материалов в условиях субнормальных температур должен быстро и эффективно выводить из-под одежды продукты кожного дыхания и влагу, одновременно защищая пододежное пространство от

холодного воздуха и осадков извне. Указанное сочетание климатических факторов, особенно при накоплении влаги под одеждой, нарушает терморегуляцию организма и повышает риск простудных заболеваний. Комплектование пакета одежды самоорганизующимися материалами позволит решить проблему вывода избыточной влаги и продуктов кожного дыхания при защите пододежного пространства от холодного воздуха и влаги извне.

Для исследования эффективности пакетов материалов в этих условиях авторами предложен экспериментальный комплекс (рис. 1), в состав которого входит тепловая модель элемента тела человека (поз. 1). На ее рабочей поверхности послойно размещается исследуемый пакет. Измерение плотности теплового потока в его структуре проводится по авторской методике в стационарных условиях теплообмена, после чего моделируется воздействие на пакет эндогенной влаги, ветра, осадков, солнечного излучения, посредством соответствующих устройств (поз. 2 – 4, рис. 1). По результатам исследований строится кривая динамики плотности теплового потока в пакете материалов от времени. На полученной кривой выделяются несколько участков, каждый из которых соответствует определенному этапу эксперимента. Сопоставление кривых плотности теплового потока, полученных при различных вариантах комплектации позволяет обосновать оптимальную структуру пакета для рассмотренной совокупности условий окружающей среды.

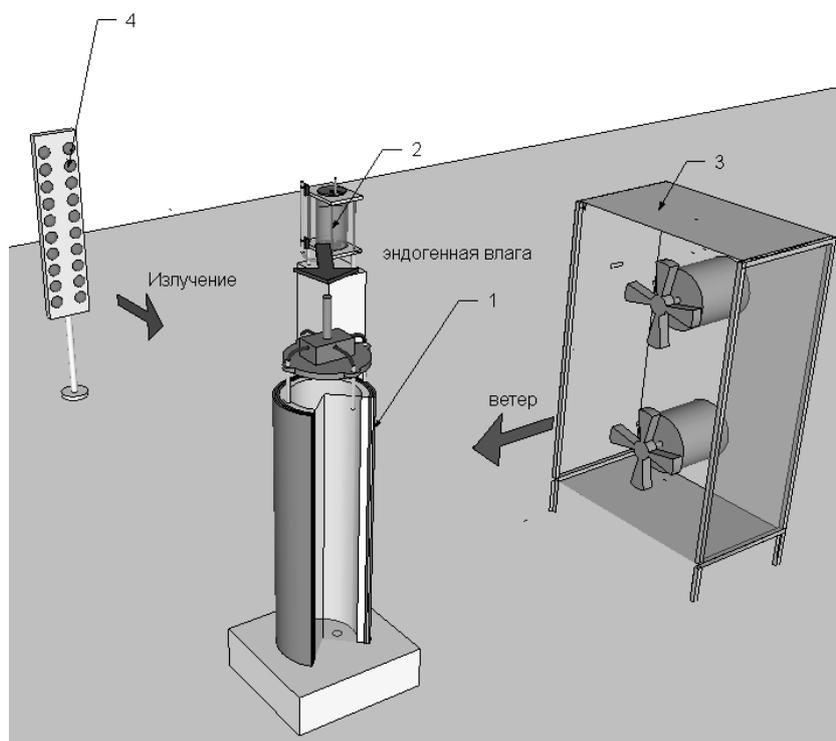


Рис. 1 Схема исследовательского комплекса: 1 – тепловая модель элемента тела человека; 2 – установка, моделирующая увлажнение пакета одежды эндогенной влагой; 3 – установка, моделирующая воздействие ветра на пакет материалов; 4 – установка, моделирующая воздействие солнечного излучения на пакет материалов

При воздействии эндогенной влаги (внутреннее увлажнение) на кривой динамики плотности теплового потока выделяют пять этапов. **Первый этап** (продолжительность до 60 мин.) теплообмена в пакете протекает в стационарном режиме. **На втором этапе** производится подача влаги на рабочую поверхность тепловой модели элемента тела человека. Увлажнение пакета материалов проявляется в повышении плотности теплового потока, динамика которого определяется структурой пакета, теплофизическими и гигроскопическими свойствами составляющих его материалов. На этом и последующих

этапах необходимо дополнительно исследовать динамику влагосодержания пакета по авторской методике [1].

**На третьем этапе** тепломассообмен протекает в стационарных условиях. Влагосодержание и плотность теплового потока в пакете не изменяются при продолжающейся подаче воды.

**На четвертом этапе** увлажняющее устройство выключается. Постепенное высыхание пакета приводит к снижению влагосодержания пакета и плотности теплового потока. Закон изменения этих величин и время их стабилизации также определяется свойствами материалов.

**На пятом этапе** теплообмен протекает в стационарных условиях. Влагосодержание слоев пакета приближается к нулевому значению, но плотность теплового потока немного выше, чем на первом этапе.

Результаты исследований, полученные на каждом из пяти этапов, позволяют рассчитывать теплофизические свойства пакета материалов и прогнозировать тепловое состояние человека в исследуемых условиях.

В качестве примера рассмотрим результаты, полученные при исследовании пакетов материалов нескольких комплектаций (табл. 1). Пакет № 1 скомплектован по нормам бесплатной выдачи спецодежды при работе на открытом воздухе в холодный период года. Пакет № 2 скомплектован из самоорганизующихся материалов согласно рекомендациям M. Rock таким образом, чтобы в его структуре была реализована функция направленного транспорта влаги из-под одежды в окружающую среду [4].

Таблица 1

Пакеты традиционных и высокотехнологичных материалов

№	Марка материала	Волокнистый состав	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Переплетение
Пакет №1					
1	Трикотаж бельевой	хлопчатобумажные, 100%	119	0,6	кулирная гладь
2	Трикотаж утепляющий	Пряжа гребенная шерсть, 80% Полиамидные 20%	280	2,4	кулирное рисунчатое
3	Ткань верха	Хлопчатобумажные, 60% Полиэфирные 40%	148	0,39	Саржа 1/2
Пакет №2					
1	Трикотаж Outlast	Полиэфирные, 100%	190	0,5	кулирная гладь
2	Трикотаж Polartech Power Dry	Полиэфирные, 100%	223	1,3	Рисунчатое
3	Ткань с гидрофобной пропиткой Softshell	Полиэфирные, 100%	128	0,3	Плотняное
4	Мембранная ткань Songtex	Полиэфирные, 100%	120	0,2	Плотняное

Для этого в структуру пакета включены (таблица 1): внутренний слой, представленный трикотажным полотном переплетения кулирная гладь, с микрокапсулами интегрированными в нити (трикотаж Outlast). При повышении физической активности человека капсулы

поглощают избыточное тепло, а при снижении – выделяют его, согревая тело. Промежуточные слои: трикотаж рисунчатого переплетения, на внутренней поверхности которого сформированы вертикальные и горизонтальные каналы (трикотаж Polartech Power Dry), ткань с гидрофобной пропиткой (SoftShell), которая повышает ветростойкость пакета. Мембранная ткань (Songtex) формирует защиту от ветра и влаги извне.

Исследования процессов тепломассообмена в структуре пакетов материалов проведены по авторскому методу [1]. Для этого моделировались условия теплообмена при температуре окружающей среды  $t_{окр} = +5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Интенсивность увлажнения пакета на втором и третьем этапах составляла  $J = 2 \text{ мл/сек}$ . Динамика плотности теплового потока в пакетах материалов представлена на рис. 2.

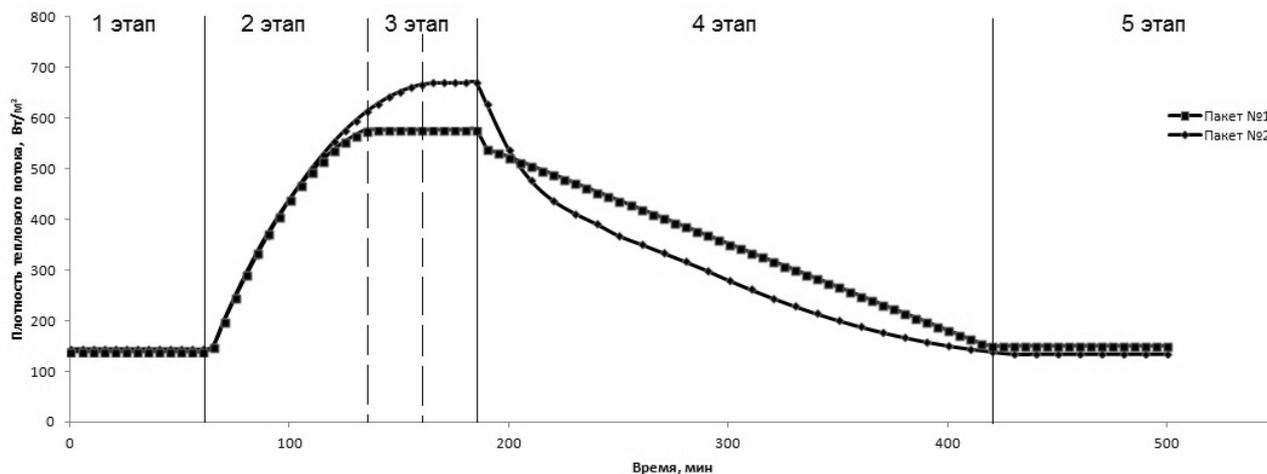


Рис. 2. Динамика плотности теплового потока в пакетах материалов

Зависимость среднего влагосодержания пакета от времени представлена на рис. 3, кривые распределения влаги по толщине пакетов материалов – на рис. 4.

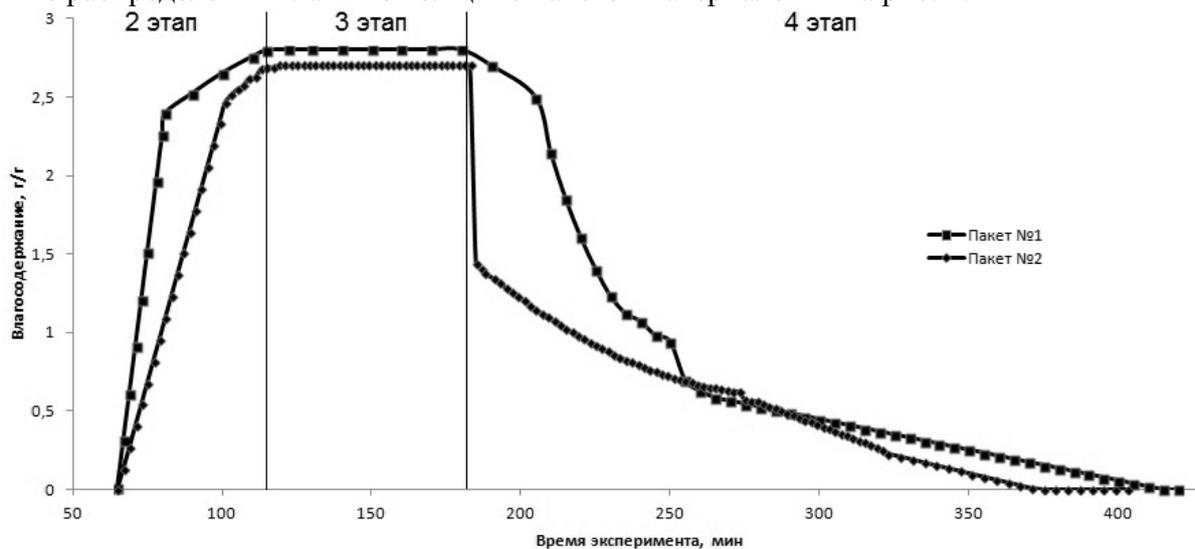


Рис. 3. Зависимость среднего влагосодержания пакетов от времени

На первом этапе эксперимента плотность теплового потока в пакетах составляла  $140 \text{ Вт/м}^2$  и  $145 \text{ Вт/м}^2$ . Поэтому в субнормальных температурах при незначительных влаговыделениях тела человека защитная эффективность пакетов будет одинакова, не смотря на меньшую суммарную толщину самоорганизующихся материалов.

Повышение плотности теплового потока в структуре пакета самоорганизующихся материалов после 103-ей минуты эксперимента более выражено, чем в пакете традиционных материалов, и к началу третьего этапа эксперимента разница между ними достигает 20 %.

Эти различия обусловлены более интенсивным выводом влаги из структуры пакета самоорганизующихся материалов, а также ее фазовыми превращениями на мембране. В пакете традиционных материалов влага может перемещаться в жидкой и паро - газовой фазах. В пакетах материалов с мембранными тканями перенос влаги через мембрану осуществляется в виде пара при испарении влаги в прилежащих к мембране слоях пакета. Влияние фазовых превращений выражается в виде повышения плотности теплового потока в структуре пакета самоорганизующихся материалов, а также накоплению влаги во влагоотводящем слое (рис. 4, б). Несмотря на это, эффект направленного перемещения влаги обеспечивает удаление влаги от нижнего слоя пакета самоорганизующихся материалов, в то время как в пакете традиционных материалов (рис. 4, а) влага скапливается в слое пакета, прилегающего непосредственно к телу человека.

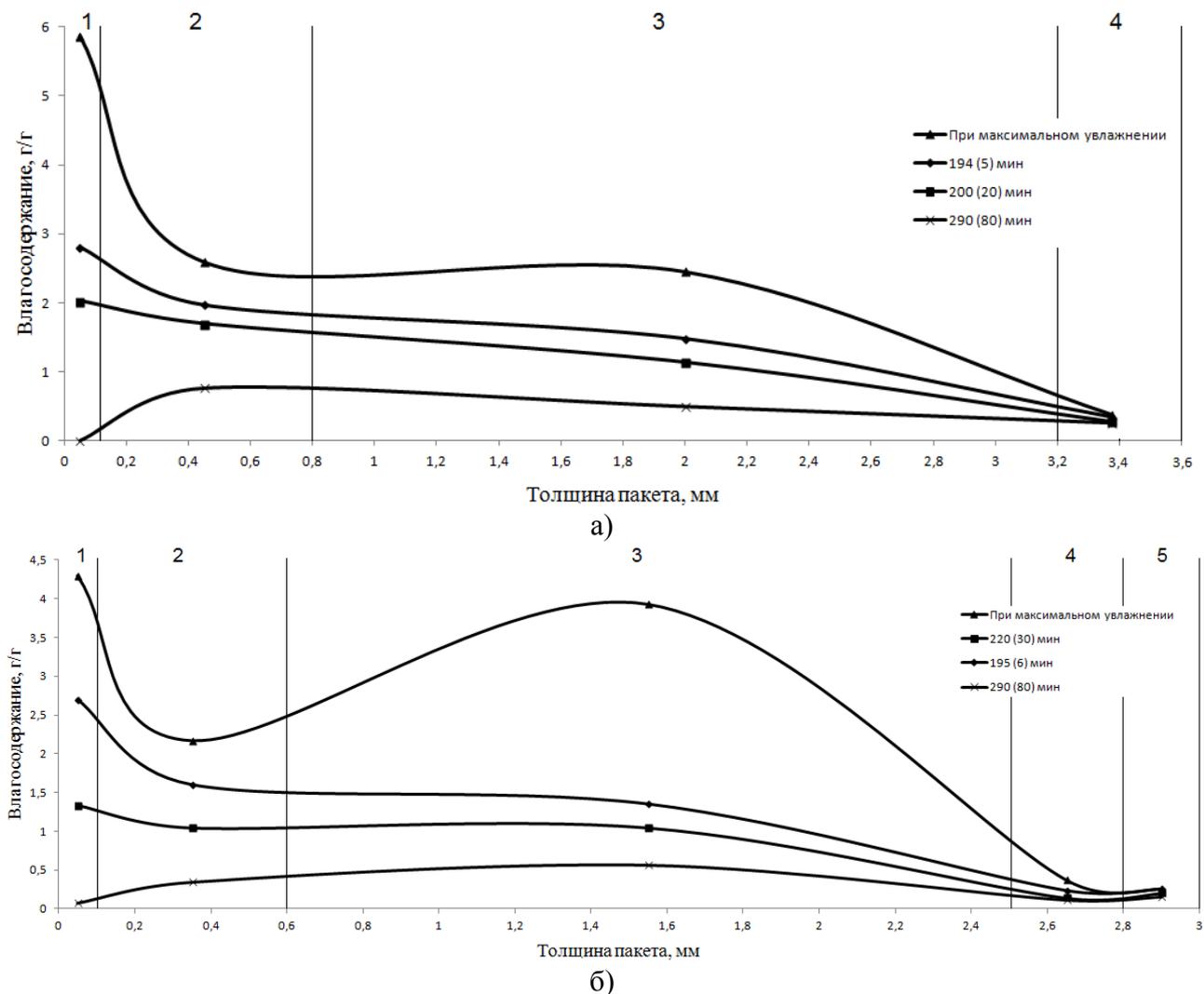


Рис. 4. Кривые распределения влаги по толщине пакетов материалов в разные моменты времени: а – в пакете №1: 1 – капиллярно-пористый элемент, 2 – бельевого слой, 3 – утепляющий слой, 4 – верхний слой; б – в пакете №2: 1 – капиллярно-пористый элемент, 2 – бельевого слой, 3,4 – промежуточные слои, 5 – мембранная ткань

Эффект направленного перемещения влаги выражается в резком снижении влагосодержания пакета самоорганизующихся материалов после прекращения подачи воды (начало четвертого этапа эксперимента). Поэтому различия в величинах плотности теплового потока в пакетах №1 и №2 достаточно быстро исчезают. Однако при влагосодержании пакета ниже 0,6 г/г интенсивность убыли влаги в обоих пакетах примерно одинакова. Поэтому функция направленного транспорта влаги из-под одежды в окружающую среду в

пакете самоорганизующихся материалов является более выраженной при высоких величинах влагосодержания.

Несмотря на это, в пакете традиционных материалов влага скапливается, в основном, в слоях пакета, прилегающих к телу человека, а в пакете самоорганизующихся материалов – во влагоотводящем слое. Это обусловлено влиянием мембраны на процесс вывода влаги. Известно, что через ее структуру влага перемещается в паро-газовой фазе. Поэтому процессы подвода влаги к промежуточному слою преобладают над процессами ее отведения через мембрану. Можно заключить, что мембранная ткань создает барьер для более интенсивного отведения влаги в окружающую среду. Повышение плотности теплового потока в структуре пакета самоорганизующихся материалов также объясняется затратами тепла на фазовые превращения влаги в структуре пакета при парообразовании перед мембраной.

Выводы.

1. Предложен принцип исследования эффективности пакетов самоорганизующихся материалов, который заключается в моделировании воздействия на пакет комплекса факторов окружающей среды и оценке динамика плотности теплового потока.

2. Полученные экспериментальные данные подтверждают формирование направленного транспорта влаги в пакете самоорганизующихся материалов. При величинах влагосодержания пакета выше 0,6 г/г этот эффект более выражен и способствует ускорению процесса высыхания пакета.

3. Выявлены причины повышения плотности теплового потока в пакете самоорганизующихся материалов во влажном состоянии. В их числе: более интенсивный вывод влаги из-под одежды в окружающую среду, затраты тепла на фазовые превращения влаги при ее испарении во внутренних слоях пакета.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование комплексных процессов тепломассопереноса в структуре материалов современной теплозащитной одежды / Родичева М.В., Абрамов А.В. // Раздел коллективной монографии «Моделирование эксплуатационных процессов в технических системах». Москва, «Спектр»: 2014, с. 173-204.
2. Роль текстильного края России в системе жизнеобеспечения / А.К. Изгородин, А.В. Петелин, Д.Ю. Трусов // Материалы XVIII Международной научно-практической конференции SMARTEX-2015. Иваново: 2015. с. 6-27.
3. Уваров А.В. // Улучшение условий и охраны труда работников АПК путем разработки и внедрения спецодежды для защиты от переохлаждения и перегрева. Дисс. ... канд. тех. наук. Орел: 2000. 184 с.
4. US20040132367 A1 Multi-layer garment system / Rock M. // Appl. 15.09.2003 №10/663,091 Pub. 08.07.2004. 13 P.

## МОДИФИКАЦИЯ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОГО ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА

### MODIFICATION OF COTTON KNITTED FABRIC

А.А. Азанова, Г.Н. Хуснутдинова, Р.Н. Мухаметшин  
A.A. Azanova, G.N. Khusnutdinova, R.N. Mukhametshin

Казанский национальный исследовательский технологический университет  
Kazan National Research Technological University  
E-mail: azanovlar@mail.ru

Рассмотрена модификация хлопчатобумажного трикотажного полотна с помощью низкотемпературной плазмы. Показано, что плазменная обработка, аналогично процессу отваривания, позволяет придавать суровому полотну способность смачиваться. Представлены результаты сканирующей электронной микроскопии. Показано, что в хлопчатобумажном трикотажном полотне, модифицированном плазмой, так же как и в отваренном, содержится, почти в 2 раза меньше воскообразных и парафинирующих веществ, чем в суровом.

**Ключевые слова:** модификация, трикотажное полотно, низкотемпературная плазма, хлопковое волокно.

**It is shown modification cotton knitted fabric of low-temperature plasma. Plasma treatment allows to give good wetting ability for it. It is shown the results of scanning electron microscopy. The plasma modified cotton knitted fabrics contains almost 2 times less waxy paraffins and substances.**

**Keywords:** modification, knitted fabric, the low temperature plasma, cotton fiber.

Процесс изготовления трикотажа состоит из нескольких этапов, которые включают вязание полотна, его отделку и изготовление из него трикотажных изделий. На каждом из этих этапов закладывается основа обеспечения качества и, следовательно, конкурентоспособности, готовой продукции [1, с.3]. Важным технологическим этапом отделки трикотажного полотна является подготовка к крашению.

Как известно, суровое трикотажное полотно плохо смачивается водой, так как его поверхность покрыта гидрофобными веществами, защищающими волокно от внешних воздействий. Они заполняют и перекрывают имеющиеся в волокне поры и капилляры, препятствуя проникновению рабочих растворов красителей и отделочных препаратов вглубь волокна. Суровое трикотажное полотно также содержит вещества парафинирующей композиции, которая наносится на пряжу перед вязанием. Традиционно при подготовке полотна к крашению проводится щелочное отваривание, целью которого является придание текстильному материалу устойчивой и высокой смачиваемости путем удаления сопутствующих веществ и, прежде всего, воскообразных [2, с.134]. Нами рассмотрена модификация хлопчатобумажного трикотажного полотна с помощью низкотемпературной плазмы (НТП), которая позволяет достигать высокой степени капиллярности без жидкофазной обработки полотна.

Плазменную обработку проводили на установке высокочастотного емкостного разряда при пониженном давлении (26 Па) в плазмообразующей среде воздуха [3, с.63-66]. Степень подготовки полотна оценивали по высоте подъема воды по капиллярам (капиллярности) стандартным методом [4]. Испытанию подвергали и образцы, подготовленные традиционными способами и их сочетанием с НТП обработкой (рис.1).

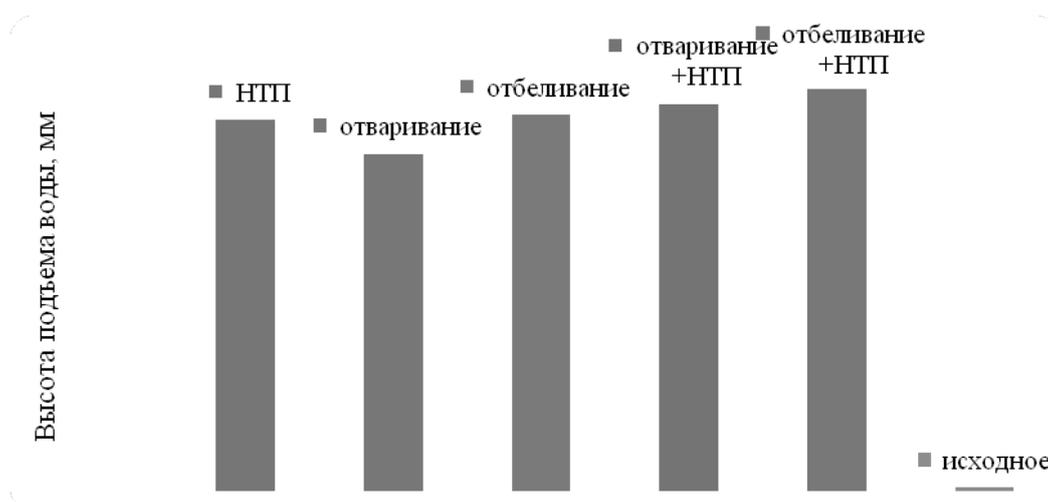


Рис. 1. Высота подъема воды в капиллярах трикотажного полотна, подготовленного разными способами

Наибольшая эффективность НТП обработки, достигается для неподготовленных суровых полотен [5, с. 38]. Плазменная обработка позволяет увеличить капиллярность суровых трикотажных полотен в той же мере, что и отваривание, а в некоторых режимах получить и более высокие значения данного показателя. При использовании совместной обработки: отваривания или отбеливания и НТП обработки, также наблюдается увеличение капиллярности, однако, в меньшей степени, чем для неподготовленного полотна.

Воздействие плазмы кислородсодержащего газа на хлопковое волокно представляет собой процесс травления, при котором возможно протекание процессов деструкции его поверхности. Изменение структуры поверхности волокна исследовали методом сканирующей электронной микроскопии с применением рабочей станции AURIGA Cross Beam в режиме детектирования вторичных электронов (Inlensdetector). Исследование проводили при ускоряющем напряжении 5 кВ и рабочем отрезке 2 - 5 мм, что позволяло получить оптимальную сохранность образца от воздействия электронов и наилучший контраст при данном режиме детектирования. Образцы предварительно помещали в камеру высоковакуумной установки для нанесения проводящего слоя 15 нм, затем - в камеру электронного микроскопа [6]. Результаты электронно-микроскопического исследования поверхности хлопковых волокон до и после НТП обработки представлены на рис.2.

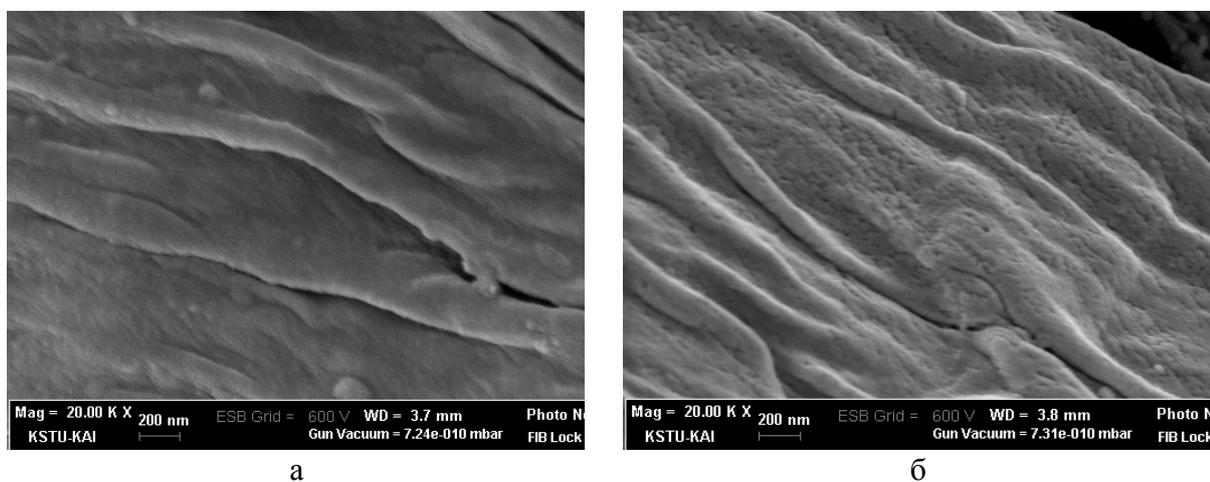


Рис. 2 Микрофотографии хлопковых волокон (X20000): а – исходного, б – после НТП обработки в среде воздуха в эффективном режиме

Поверхность исходного волокна имеет развитую складчатую структуру, на которой

просматриваются очертания отдельных фибрилл, расположенных спирально. После НТП обработки поверхность хлопкового волокна становится неоднородной, рыхлой. Наблюдается повреждение кутикулы, проявляются «вытравленные» участки межфибриллярного пространства, ширина таких участков составляет около 10-20 нм. Именно повреждение кутикулы хлопкового волокна, представляющей собой жировосковую слой, играет важную роль в гидрофилизации трикотажного полотна. О степени деструкции кутикулы волокна можно судить также по содержанию веществ, экстрагируемых органическими растворителями (табл. 1).

Таблица 1

Содержание в хлопчатобумажном трикотажном полотне веществ, экстрагируемых органическими растворителями

Подготовка	Содержание, %	
	воскообразных веществ (экстрагируемых изопропиловым спиртом)	веществ парафинирующей композиции (экстрагируемых диэтиловым эфиром)
-	0,74	0,65
НТП обработка	0,22	0,36
Отваривание	0,26	0,26

Полученные результаты показали, что во время НТП обработки, так же как и в процессе отваривания, удаляется больше половины воскообразных веществ, и почти половина веществ парафинирующего состава. Исходя из основной задачи технологической операции отваривания, есть основание полагать, что экологически чистая «сухая» плазменная технология в определенных случаях может стать альтернативой традиционной жидкофазной подготовке полотна к крашению. К тому же трикотаж содержит меньше кожицы от семенных коробочек, чем ткань, и для его изготовления чаще всего применяется хлопок гребенного прочеса и более высокого сорта [7, с.14].

Предварительная НТП обработка позволяет не только проводить крашение трикотажного полотна без предварительного отваривания, но интенсифицировать процесс крашения в среднем в 1,5 раза, снижать концентрацию красителя на 10-30%, получая равномерные интенсивные окраски, устойчивые к эксплуатационным воздействиям [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азанова А. А., Абдуллин И. Ш., Нуруллина Г.Н. Плазменные технологии в процессах отделки трикотажа: монография. Казань: КНИТУ, 2015.156 с.
2. Кричевский Г.Е., Корчагин М.В., Сенахов А.В. Химическая технология текстильных материалов М.: Легпромбытиздат, 1985. 640 с.
3. Гришанова И.А., Азанова А.А. Исследование свойств модифицированных полимерных текстильных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т.15. №13. С.63-66.
4. ГОСТ 3816-81 «Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств».
5. Акулова М.В., Мельников Б.Н., Федосов С.В., Шарнина Л.В. Применение тлеющего разряда в текстильной и строительной промышленности: монография. Иваново: ИГХТУ, 2008. 232 с.
6. Азанова А.А. Исследование поверхности хлопковых волокон, обработанных низкотемпературной плазмой, методом сканирующей электронной микроскопии // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.18. № 18. С.161-162.

7. Чешкова А. В. Химические технологии и оборудование трикотажного отделочного производства: учебное пособие. Иваново: ИГХТУ. 2008. 113 с.

УДК 677.024

## МЕТОДИКА РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТКАНЫХ АРМИРУЮЩИХ КАРКАСОВ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

## THE METHODS RATIONAL DESIGN OF TISSUE REINFORCING FRAME PRESSURE FIRE HOSE

А.Е. Арипбаева<sup>1</sup>, Ж.У. Мырхалыков<sup>1</sup>, С.Г. Степанов<sup>2</sup>  
А.Е. Arıpbayeva<sup>1</sup>, Zh.U. Mirkhalikov<sup>1</sup>, S.G. Stepanov<sup>2</sup>

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова (Казахстан)  
Ивановский государственный политехнический университет  
M. Auezov South Kazakhstan State University (Kazakhstan)  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail: step-sg@mail.ru

Предложена методика рационального проектирования тканых армирующих каркасов напорных пожарных рукавов. В основу разработанной методики положена формула, связывающая разрывное внутреннее гидравлическое давление в напорном пожарном рукаве с разрывной нагрузкой в уточной нити и рядом других параметров.

Ключевые слова: методика рационального проектирования, тканый армирующий каркас, напорный пожарный рукав.

The technique of the rational design of woven reinforcing carcasses of pressure fire hoses. The basis of the developed technique on a formula that relates the breaking internal hydraulic pressure in the pressure fire hoses with tenacity in the weft and a number of other parameters.

Key words: methods of rational design, woven reinforcing frame, pressure fire hose.

Для всех напорных пожарных рукавов, согласно ГОСТ Р 51049-97, вводятся минимальные значения по разрывным давлениям. В таблице 1 приведены данные по минимальным значениям разрывных давлений в латексированных напорных пожарных рукавах производства ПО «БЕРЕГ», рассчитанных на рабочее давление 1,6 МПа, и фактические экспериментальные разрывные давления в тех же рукавах по данным Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (ВНИИПО) Министерства чрезвычайных ситуаций Российской Федерации. Превышение экспериментальных значений над минимальными требованиями ГОСТа составляет от 8,3% для рукавов диаметром 150 мм до 48,6% для рукавов, имеющих диаметр 51 мм.

Таблица 1

Диаметр латексированного напорного пожарного рукава, мм	Разрывное давление в латексированных напорных пожарных рукавах производства ПО «БЕРЕГ», рассчитанных на рабочее давление 1,6 МПа, согласно ГОСТ Р 51049-97, МПа	Экспериментальные значения разрывных давлений (по данным ВНИИПО), МПа	Превышение экспериментальных разрывных давлений над минимальными требованиями ГОСТа, %
150	2,4	2,6	8,3
89	2,8	3,2	14,3
77	3,5	4,2	20,0
66	3,5	4,3	22,9
51	3,5	5,2	48,6

С одной стороны превышение экспериментальных значений разрывных давлений над минимальными требованиями ГОСТа обеспечивает дополнительный запас прочности напорного пожарного рукава при действии внутреннего гидравлического давления, что само по себе положительно, но с другой стороны, это требование (особенно для рукавов диаметром 77 мм, 66 мм, 51 мм, для которых это превышение наиболее существенно) ведет к перерасходу материала, из которого изготовлен тканый армирующий каркас, что сказывается на удорожании пожарного рукава и увеличении его веса. Для того, чтобы избежать перерасхода материалов, а, следовательно, и удорожания пожарного рукава, необходима разработка научно обоснованной и достоверной методики рационального проектирования армирующих тканых каркасов пожарных напорных рукавов, обеспечивающей минимальный расход материала для производства тканого каркаса при обязательном обеспечении запаса прочности пожарного рукава, согласно ГОСТ Р 51049-97.

Напорные пожарные рукава должны соответствовать требованиям ГОСТа Р 51049-97 по таким техническим параметрам как внутренний диаметр, длина рукава в скатке, рабочее, испытательное и разрывное давление, относительное удлинение рукава при рабочем давлении, температура хрупкости покрытия для умеренного и холодного климата, прочность связи внутреннего слоя покрытия с тканью каркаса при раздире (для рукавов с односторонним и двухсторонним покрытием), относительное увеличение диаметра рукава, толщина внутреннего слоя покрытия, стойкость к абразивному износу и контактному прожигу рукава, масса рукава длиной 1 м. К рукавам всех типов (кроме рукавов с перколяцией) ГОСТом Р 51049-97 выдвигаются требования по герметичности при рабочем и испытательном гидравлическом давлении. Несоблюдение любого из перечисленных выше обязательных требований недопустимо.

Изготовление напорных пожарных рукавов с односторонним и двусторонним покрытием и введение их в эксплуатацию представляет собой сложный процесс, включающий задачи, связанные с проектированием рукава, технологией его получения, проверкой параметров изготовленных рукавов на предмет их соответствия требованиям ГОСТа Р 51049-97 с дальнейшей их сертификацией.

Можно выделить следующие основные этапы изготовления и введения в эксплуатацию новых напорных пожарных рукавов:

- 1) техническое задание на проектируемый пожарный рукав, соответствующее обязательным требованиям ГОСТа Р 51049-97;
- 2) определение исходных данных для проектируемого тканого армирующего каркаса пожарного рукава;
- 3) расчет разрывного давления для пожарного рукава и проверка результата на соответствие требованиям ГОСТа Р 51049-97;
- 4) выбор параметров заправки круглоткацкого станка, обеспечивающих соответствие характеристик проектируемого тканого армирующего каркаса пожарного рукава его фактическим характеристикам при изготовлении;
- 5) выбор клея и значения давления сжатого воздуха для приклеивания внутренней резиновой оболочки к тканому армирующему каркасу пожарного рукава;
- 6) выбор температуры и давления пара для вулканизации внутренней резиновой оболочки пожарного рукава;
- 7) проверка внутреннего диаметра пожарного рукава на соответствие требованиям ГОСТа Р 51049-97;
- 8) экспериментальное подтверждение разрывного давления пожарного рукава на соответствие требованиям ГОСТа Р 51049-97;
- 9) экспериментальное подтверждение температуры хрупкости покрытия пожарных рукавов для умеренного и холодного климата на соответствие требованиям ГОСТа Р 51049-97;

- 10) экспериментальное подтверждение прочности связи внутреннего слоя покрытия с тканью каркаса при раздире (для рукавов с односторонним и двухсторонним покрытием) на соответствие требованиям ГОСТа Р 51049-97;
- 11) экспериментальное подтверждение соответствия относительного удлинения рукава и относительного увеличения диаметра рукава при рабочем давлении требованиям ГОСТа Р 51049-97;
- 12) экспериментальное подтверждение соответствия стойкости рукава к абразивному износу и стойкости к контактному прожигу требованиям ГОСТа Р 51049-97;
- 13) подтверждение массы погонного метра рукава и толщины внутреннего покрытия требованиям ГОСТа Р 51049-97;
- 14) получение сертификата на изготовленный пожарный рукав.

В данной статье мы не ставим перед собой цель охватить все представленные основные этапы изготовления и введения в эксплуатацию новых напорных пожарных рукавов. Наша цель заключается в предложении разработанной нами методики рационального проектирования тканых армирующих каркасов напорных пожарных рукавов.

Предлагаемая методика разработана на основе представленной в работе [1] формулы (1), связывающей разрывное внутреннее гидравлическое давление в пожарном рукаве с разрывной нагрузкой в уточной нити и рядом других параметров. Методика включает следующие этапы (рис. 1).

Данная методика позволяет выполнить важный этап создания новых напорных пожарных рукавов, а именно рассчитать и спроектировать тканый армирующий каркас рукава, отвечающий требованиям ГОСТ Р 51049-97 по разрывному давлению при минимальном расходе материала при производстве изделия.

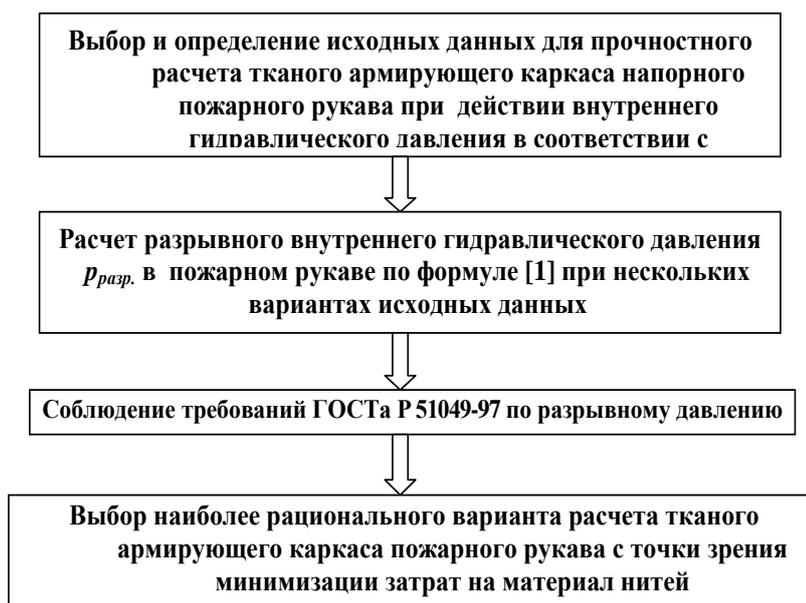


Рис. 1. Методика рационального проектирования тканых армирующих каркасов напорных пожарных рукавов

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арипбаева А.Е., Мырхалыков Ж.У., Степанов С.Г Исследование зависимости разрывного внутреннего гидравлического давления пожарных напорных рукавов от параметров их тканого армирующего каркаса // Сб. научных трудов МНПФ «SMARTEX». – Иваново

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАЗРЫВНОГО ВНУТРЕННЕГО  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВОВ ОТ  
ПАРАМЕТРОВ ИХ ТКАНОГО АРМИРУЮЩЕГО КАРКАСА**

**DEPENDENCE BURST FIRE HYDRAULIC PRESSURE HOSES ON THE PARAMETERS  
OF THEIR TISSUES REINFORCING FRAME**

А.Е. Арипбаева<sup>1</sup>, Ж.У. Мырхалыков<sup>1</sup>, С.Г. Степанов<sup>2</sup>  
А.Е. Aripbayeva<sup>1</sup>, Zh.U. Mirkhalikov<sup>1</sup>, S.G. Stepanov<sup>2</sup>

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова (Казахстан)  
Ивановский государственный политехнический университет  
M. Auezov South Kazakhstan State University (Kazakhstan)  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail: step-sg@mail.ru

**Предложена формула для расчета разрывного внутреннего гидравлического давления в пожарных напорных рукавах. На основе полученной формулы исследована зависимость разрывного давления в напорных пожарных рукавах от ряда параметров их тканого армирующего каркаса.**

**Ключевые слова:** напорный пожарный рукав, тканый армирующий каркас, разрывное давление.

**A formula for calculating the discontinuous internal water pressure in fire hoses. Based on this formula, the dependence of burst pressure in pressure fire hoses on a number of parameters of a woven reinforcing frame.**

**Keywords :** pressure fire hose, woven reinforcing frame, bursting pressure.

Напорные пожарные рукава представляют собой гибкие трубопроводы, применяемые для подачи воды и водных растворов пенообразователей с водородным показателем  $pH = 7 \div 10$  на расстояние под давлением. Они являются одним из основных видов пожарного оборудования. От исправного состояния напорных пожарных рукавов во многом зависит успешное тушение пожаров.

Согласно ГОСТ Р 51049-97 (Российская Федерация) напорные пожарные рукава изготавливают прорезиненными, покрытыми только внутри слоем резины, привулканизированной к ткани рукава, так и с двухсторонним покрытием, когда слоем резины пожарный рукав покрыт как снаружи, так и внутри, а также латексированными, покрытыми внутри и снаружи, слоем латекса. При пожаротушении используются также непрорезиненные напорные пожарные рукава, изготовленные по ГОСТ 472-75 из льняной и оческовой пряжи.

Основным несущим элементом пожарного напорного рукава является армирующий каркас, представляющий собой тканую несущую оболочку. Тканый армирующий каркас полностью воспринимает усилия, обусловленные наличием давления жидкости внутри пожарного рукава, если речь идет о непрорезиненных напорных пожарных рукавах, и в подавляющей степени, в случае прорезиненных, с двухсторонним покрытием и латексированных напорных пожарных рукавов.

Анализ структуры тканых армирующих каркасов напорных пожарных рукавов показал, что все они представляют собой однослойные ткани полотняного переплетения. При этом по длине пожарного рукава располагаются основные нити, которые взаимно переплетены с уточными нитями, проложенными по его окружности.

Расчет на прочность пожарных рукавов сводится в основном к расчету на прочность их тканого армирующего каркаса.

Важной характеристикой прочности напорных пожарных рукавов при действии внутреннего гидравлического давления находящейся в нем жидкости для пожаротушения является разрывное давление, при котором пожарный рукав разрушается. Величины

разрывных давлений на все виды напорных пожарных рукавов, выпускаемых в Российской Федерации, регламентируются ГОСТ Р 51049-97.

Нами получена новая формула для расчета разрывного внутреннего гидравлического давления в пожарных напорных рукавах. Формула имеет следующий вид:

$$P_{разр} = \frac{2N_{разр} L_o}{R \left\{ L_y (2L_o - \beta_o d_o) + L_o \left[ 2(L_y^2 + (d_o \eta_{OB} + d_y \eta_{yB})^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{0,212 \cdot L_y^2 (d_o \eta_{OB} + d_y \eta_{yB})^2}{(L_y^2 + (d_o \eta_{OB} + d_y \eta_{yB})^2)^{\frac{3}{2}}} - \beta_y d_y \right] \right\}} \quad (1)$$

где  $P_{разр}$  – разрывное внутреннее гидравлическое давление в пожарном рукаве;

$N_{разр}$  – натяжение в уточной нити при разрыве;

$R$  – радиус пожарного рукава;

$L_o, L_y$  – геометрические плотности соответственно по основе и утку тканого армирующего каркаса пожарного рукава;

$d_o, d_y, \eta_{OB}, \eta_{yB}$  – соответственно диаметры нитей основы и утка тканого армирующего каркаса пожарного рукава и коэффициенты их вертикального смятия;

$\beta_o, \beta_y$  – коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в тканом в долях диаметров нитей основы и утка.

В отличие от формулы для расчета разрывного давления в пожарных рукавах, представленной в публикациях [1], [2], [3], приведенная выше формула получена нами при учете важных особенностей взаимодействия нитей в тканой армирующем каркасе рукава, а именно таких факторов, как близкие к фактическим формы деформированных осей нитей, длины зон контакта между нитями, экспериментально найденные величины коэффициентов вертикального смятия нитей и др. Ниже показано, что эти факторы существенно влияют на прочность пожарного рукава и их учет необходим.

На основе полученной нами формулы (1) для расчета на прочность напорных пожарных рукавов при действии внутреннего гидравлического давления исследована зависимость разрывного давления в латексированных напорных пожарных рукавах разных диаметров производства ПО «БЕРЕГ» (Российская Федерация), рассчитанных на рабочее давление 1,6 МПа, от таких параметров, как геометрические плотности по основе и утку, разрывное усилие уточных нитей, радиус рукава, коэффициенты вертикального смятия нитей основы и утка, диаметры нитей основы и утка, коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка.

В результате исследования установлено следующее:

- 1) разрывное давление пожарного напорного рукава (то есть его прочность при гидравлическом воздействии) существенно зависит от геометрических плотностей по основе и утку ткани армирующего каркаса; при увеличении (уменьшении) геометрических плотностей расчетное разрывное давление пожарного рукава падает (возрастает);
- 2) разрывное давление пожарного рукава прямо пропорционально разрывному усилию уточных нитей и обратно пропорционально радиусу пожарного рукава при постоянстве всех других его параметров; зависимость разрывного давления от разрывного усилия уточных нитей и радиуса рукава существенна;
- 3) с увеличением вертикального смятия нитей ткани армирующего каркаса пожарного напорного рукава (при этом коэффициент вертикального смятия нитей будет уменьшаться) разрывное давление возрастает; однако влияние коэффициентов вертикального смятия нитей ткани армирующего каркаса пожарного рукава на величину разрывного давления менее существенное, чем влияние геометрических плотностей по основе и утку и усилия разрыва уточных нитей;

4) с увеличением диаметров нитей основы и утка ткани армирующего каркаса пожарного рукава разрывное давление возрастает; при этом возрастание величины разрывного давления с увеличением диаметра нити основы носит более интенсивный характер, чем в случае увеличения диаметра утка;

5) разрывное давление существенно возрастает с увеличением длин зон контакта между нитями в ткани армирующего каркаса напорного пожарного рукава, что указывает на необходимость учета этих параметров при прочностном расчете пожарных напорных рукавов при гидравлическом воздействии.

Представленные результаты исследования зависимости разрывного внутреннего гидравлического давления пожарных напорных рукавов от ряда параметров их тканого армирующего каркаса важно учитывать при проектировании новых видов этих текстильных изделий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моторин Л.В., Степанов О. С., Братолобова Е.В. Упрощенная математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №.1. С. 126...133.
2. Степанов О.С. Применение теории строения ткани для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии: Дис. ... кандидата техн. наук. – Иваново, ИГТА, 2012. – 141 с.
3. Мырхалыков Ж.У., Сатаев М.И., Степанов С.Г., Чистобородов Г.И. Теория формирования и строения ткани на основе нелинейной механики гибких нитей и ее приложение к решению практических задач. – Шымкент: ЮКГУ, ИВГПУ, 2014. - 500с.

УДК 677. 6/658.628

## ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАБОТКИ ПОЛИКОМПОНЕНТНОЙ СМЕШАННОЙ ПРЯЖИ ИЗ ШЕРСТИ И ДРУГИХ ВОЛОКОН

### TECHNOLOGY OF DEVELOPMENT OF THE POLYCOMPONENTAL YARN FROM THE WOOL AND MIXED OTHER FIBRES

Д.У. Арипджанова, Д.А. Хабибуллаев, М.М. Абдуллаев  
D.U. Aripdzhanova, D.A. Habibullayev, M.M. Abdullayev

Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон (Узбекистан)  
Uzbek research institute of natural fibers (Uzbekistan)  
sarafuz\_2008@mail.ru, margilon\_shoyi@yahoo.com

Рассмотрена технология выработки поликомпонентной пряжи из смешанного сырья: шерсти, шелкового волокна и полиэфира. Приводятся результаты экспериментальных исследований качественных показателей пряжи. Определена целесообразность массовой доли лавсанового волокна в составе поликомпонентной пряжи в пределах 10-40 %.

Ключевые слова: шерсть, полиэфир, волокно натурального шелка, поликомпонентная нить, смесь, технологическая схема, рациональный метод, разрывное удлинение, количество обрывов.

Present article is devoted to technology of development of a polycomponental yarn from the mixed raw materials: a wool, a polyether and fibre silks. Results of an experimental research are resulted in tables and in drawings where positive influence of property of raw materials on yarn quality indicators is visible. Determine whether the mass fraction lavesan fiber composed of multicomponent yarns in the range of 10-40%.

Key words: a wool, a polyether, natural silk, a polycomponent, a mix, technological system, rational a method, explosive lengthenings, quantity rupture.

Сырьевой кризис текстильной промышленности, связанный с ограниченными возможностями производства натуральных волокон и одновременным возрастанием потребности в увеличении объёмов выпуска текстильной продукции заставляет искать новые пути более рационального использования сырьевых ресурсов, в частности, отходов. Несомненно, что только комплексный подход к решению данного вопроса может позволить найти наиболее эффективные технологии и технические решения в этой области [1].

Исходя из практики мировых текстильных производителей можно отметить, что более эффективным решением этой проблемы является создание новых методов и совершенствование существующих технологий выработки продукции смесовых пряж натуральных и химических волокон и не только из добротных волокон, но и их волокнистых отходов.

В настоящее время с большим успехом ведутся работы по выработке тканей различного ассортимента из местного сырья: натурального шелка и хлопчатобумажной пряжи [2]. Эти ткани пользуются большим спросом и с каждым годом увеличивается их выпуск, тем самым увеличиваются отходы натуральных волокон.

Учеными Узбекского научно-исследовательского института натуральных волокон и Ташкентского института текстильной и легкой промышленности ведутся научные исследования по разработке и совершенствованию ресурсосберегающих технологий производства смесовых поликомпонентных пряж в составе камвольной шерсти, волокнистых отходов натурального шелка и лавсана, выработки ткани из них и крашения.

Изучены свойства семи различных отходов, процесс получения шелка-сырца путем размотки коконов. Выявлено, что в процессе шелкопрядения образуются тонкие волокнистые отходы шелка пригодные к смешиванию с камвольными шерстяными волокнами.

Показатели свойств волокон для получения поликомпонентной пряжи (шерсти, волокнистых отходов натурального шелка и лавсана) приведены в табл. 1 и показаны на рис. 1.

Таблица 1

Свойства волокон

Показатели	Волокна		
	Шерсть	Шелк	Лавсан
Линейная плотность, текс	0,33-0,38	0,11-0,25	0,22-0,27
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	9-12	17-19	29-33
Разрывное удлинение, %	22-25	15-17	30-45

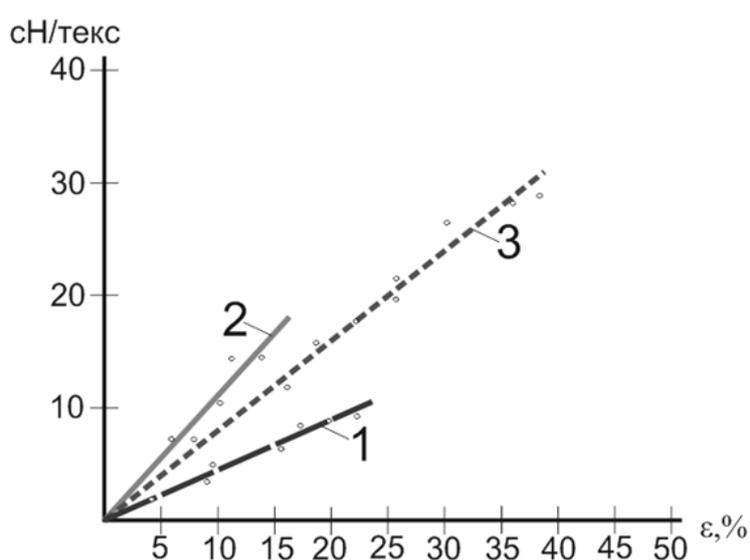


Рис. 1. Свойства волокон при разрыве, 1-шерсть; 2-шелк; 3-лавсан

Из табл. 1 и рис. 1 видно, что разрывное удлинение у камвольной шерсти на 46 % больше чем у натурального шелка, у лавсанового волокна на 234 % чем у натурального шелка. Разрывная нагрузка натурального шелка выше на 71 % и лавсанового волокна на 300 % чем камвольной шерсти. В процессе проведения эксперимента с определением рациональной массовой доли по линейной плотности и штапельной длины волокон получена качественная смесовая пряжа. На рис. 2 показано распределение по длине волокон в общей массе волокон.

Из рис. 2 видно, что штапельная длина камвольной шерсти и волокнистых отходов натурального шелка очень близки. Волокна лавсана в виде джугута, были разрезаны по штапельной длине камвольной шерсти.

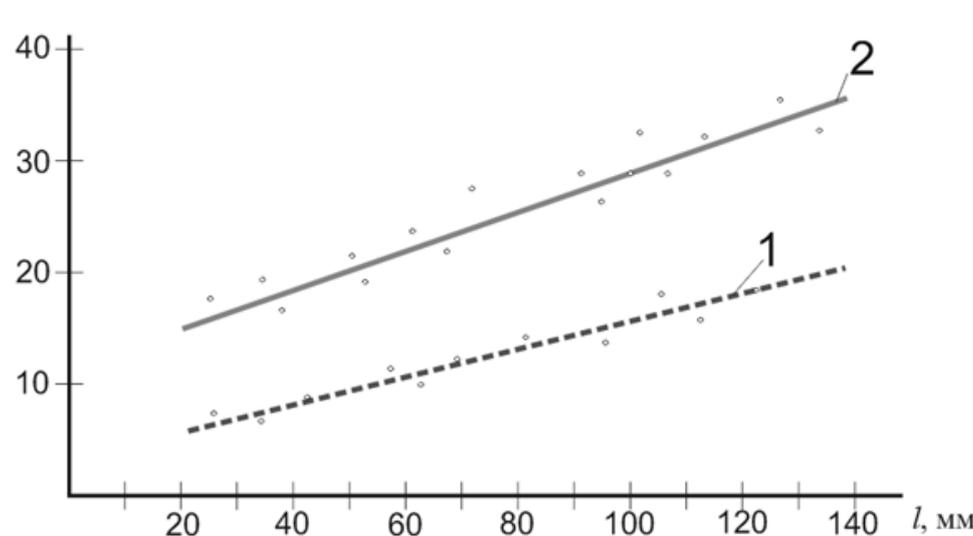


Рис. 2. Распределение по длине волокон в общей массе сырья.  
1-камвольная шерсть; 2-волокнистые отходы шелка

Одним из важных процессов в прядении смесовых пряж является подготовка самой смеси волокон. Для этого все компоненты пряжи были вложены в отдельные камеры для вылежки, где волокна хранились при кондиционной влажности в течении 48 часов. После вылежки подготавливается холст из смешанных волокон по схеме: камвольная шерсть, натуральный шелк и лавсан.

На ООО “Косонсой тукимачи” по существующей технологической цепочке прядения шерсти получен новый ассортимент поликомпонентной смесовой пряжи. На рис. 3 приведена технологическая цепочка прядения шерсти на ООО “Косонсой тукимачи”.

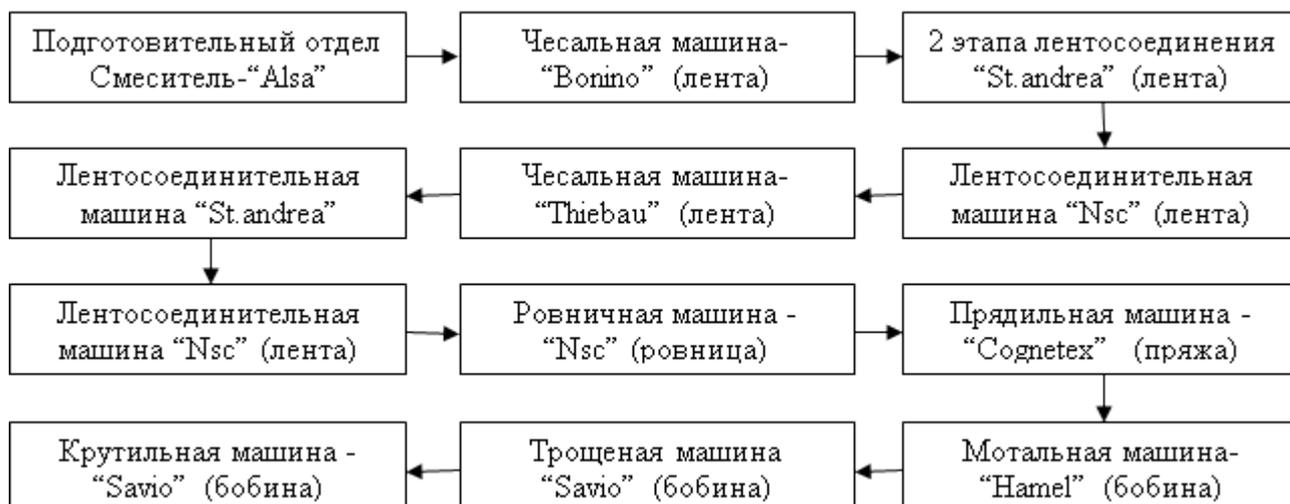


Рис. 3. Технологическая цепочка выработки поликомпонентной смесовой пряжи

В табл. 2 приведены показатели поликомпонентной пряжи различного состава и для сравнения двух образцов чистшерстяной пряжи.

Таблица 2

Показатели поликомпонентных пряж

Показатели	Пряжа			
	Шерсть (100%)	Шерсть (50 %) Шелк (25 %) Лавсан (25 %)	Шерсть (40 %) Шелк (35 %) Лавсан (25 %)	Шерсть (30 %) Шелк (40 %) Лавсан (30 %)
Линейная плотность, текс	20; 30	31,5	34,5	20
Коэффициент вариации по линейной плотности, %	3,8; 4,1	3,6	3,5	3,2
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	16,7; 17,2	27,1	29,6	25,9
Разрывное удлинение, %	26,2; 29	34,7	35,9	39,1
Крутка, кр/м	760; 770	630	650	760
Коэффициент вариации по крутке, %	1,7; 1,7	1,2	1,3	1,5
Обрывность в прядении, 1000 вер/с.	259; 237	160	157	140

Из анализа показателей табл. 2 видно, что у полученной поликомпонентной пряжи 31,5 текс., где массовая доля шелка и лавсана составляет 25 %, разрывная нагрузка выше на 57 %, разрывное удлинение на 19 % и обрывность ниже на 32 % по сравнению с пряжей из 100 % шерсти. Это объясняется увеличением тонких волокон в поперечном сечении пряжи, а также высокими значениями прочности волокон шелка и лавсана.

Определено, что при добавлении в смеску более 50 % лавсановых волокон воздухопроницаемость и влагопроницаемость пряжи и ткани ухудшается. Исходя из этого, определили целесообразным массовую долю лавсанового волокна в составе поликомпонентной пряжи установить в пределах 10-40 %.

Из результатов научных исследований можно сделать следующие выводы:

-экспериментально установлен и разработан новый состав поликомпонентной пряжи в составе шерсти, волокнистых отходов натурального шелка и полиэфирного волокна;

-с добавлением в шерстяное волокно волокнистых отходов натурального шелка и полиэфирного волокна получена более качественная поликомпонентная пряжа с улучшенными показателями;

-разрывная нагрузка новой поликомпонентной пряжи выше на 57 %, разрывное удлинение на 19 % и обрывность ниже на 32 % по сравнению с пряжей из 100 % шерсти;

-определена целесообразность массовой доли лавсанового волокна в составе поликомпонентной пряжи в пределах 10-40 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов В.Д., Сапрыкин Д.Н., Фролова И.В. Производство текстильных материалов на основе малоотходной технологии.// -М.:1995, с. 3.
2. Алимова Х.А., Арипджанова Д.У., Гуламов А.Э., Бастамкулова Х.Д., Юсупходжаева Г.А. Способ получения бикомпонентной пряжи из смешанных волокон.// Патент Республики Узбекистан № IAP 04949.-2014.- Бюл. № 9.

УДК 677.021.153.72.004.12

#### РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЗАПАРЕННОСТИ ОБОЛОЧКИ КОКОНОВ

#### DEVELOPMENT OF THE WAY OF THE STEAMING QUALITY ASSESSMENT OF COCOONS COVERS

У.О. Ахунбабаев<sup>1</sup>, Г.Г. Асраров<sup>2</sup>, А.В. Корабельников<sup>2</sup>, И.И. Туйчиев<sup>1</sup>  
U.O. Axunbabayev<sup>1</sup>, G. G. Asrarov<sup>2</sup>, A.V. Korabelnikov<sup>2</sup>, I.I. Tuychiyev<sup>1</sup>

Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон (Узбекистан)

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (Узбекистан)

Uzbek Research Institute of natural fibers (Uzbekistan)

Tashkent Institute of Textile and Light Industry (Uzbekistan)

E-mail: margilon\_shoyi@yahoo.com

Статья посвящена разработке метода оценки качества запаривания коконов путем исследования величины и характера изменения усилия схода нити с оболочки коконов. Методом тензометрии определили усилие схода нити с оболочки коконов. Установлено, что усилие сматывания нити с оболочки кокона является показателем качества его запаренности. Данный показатель и его статистические характеристики могут быть использованы для разработки методов оценки качества запаренности коконов в условиях промышленных предприятий.

Ключевые слова: коконы, коконные нити, запаривание, вакуумная запарка, паротепловая обработка, усилие схода нити, натяжение, скорость разматывания, одиночная размотка, впитываемость.

The article is devoted to development of a cocoons steaming quality assessment method by examining the magnitude and nature of the change efforts of gathering thread from cocoon shell. Using tensometry method thread gathering effort from cocoon shell was defined. It was found that the force of unwinding yarn from cocoon shell is an indicator of the steaming quality. This indicator and its statistical characteristics can be used to develop of cocoons steaming quality assessment methods in industrial environments.

Keywords: cocoons, cocoon thread, steaming, steam-vacuum welding processing, gathering force filament tension, unwinding speed, single unwinding, absorbency.

В настоящее время актуальными являются задачи повышения качества продукции, увеличения производства и расширения ассортимента конкурентоспособных высококачественных потребительских товаров, в том числе шелковых тканей и изделий из натурального шелка, совершенствования технологии переработки коконного сырья, увеличения объема выработки и повышения качества шелка-сырца. При этом большое значение имеет уровень совершенства технологии подготовки коконов к размотке и методов оценки качества их подготовки.

Известно [1], что у воздушно-сухих коконов серицин, обволакивающий шелковину, находится в твердом состоянии и прочно удерживает коконные нити на оболочке.

Чтобы размотать кокон и получить шелковые нити, необходимо ослабить силы связи нити с оболочкой. Это достигается путем обработки коконов паром и водой с перемежающейся температурой (запариванием).

Запаривание коконов является важной технологической операцией, от которой зависят качественные показатели вырабатываемого шелка-сырца и экономное расходование сырья.

Одинаковых условий для паротепловой обработки коконов достичь невозможно, т.к. коконы в кассетах и в запарочных котелках располагаются в несколько слоев, и в зависимости от месторасположения коконов в кассетах или запарочном котелке воздействие пара и воды на каждый кокон различное, что и приводит к неравномерности запаривания оболочки. Известно, что недопаренные коконы дают повышенную обрывность при разматывании, перепаренные – повышенный выход коконного сдира и увеличение числа различных пороков, засоряющих поверхность нитей и изменяющих их внешний вид [1].

Таким образом, для обеспечения эффективной размотки коконов и повышения качества получаемого шелкового волокна необходимо выбрать такой паротепловой режим обработки коконов, который обеспечивал бы равномерность пропарки коконов по всей толщине оболочки. Анализ проведенных исследований по этому направлению показывает, что лучшее размягчение оболочки происходит при запаривании коконов в вакууме или погружением [2].

В настоящее время отсутствуют какие-либо инструментальные методы определения качества запаренности оболочки кокона. На практике для этой цели пользуются косвенными признаками: выход коконов с зацепленными концами коконных нитей и кратность их обработки щеткой.

Выход коконов с зацепленными концами нитей объективной оценки качества запаренности оболочки не дает. Даже при 100-процентной вероятности выхода коконов с зацепленными концами в процессе размотки может наблюдаться высокая обрывность, обусловленная неравномерностью запарки по слоям оболочки.

Необходимо предложить критерии оценки степени запаренности коконов. В качестве такого критерия можно использовать усилие схода шелковой нити при размотке коконов. Можно предположить, что, определяя текущее значение усилия схода коконной нити с оболочки, можно судить о степени запаренности коконов.

Для проверки данного предположения была проведена размотка коконов, запаренных способом погружения, запаренных для размотки на станках КМС-10 и обработанных вакуумным способом. Величину динамического усилия схода нити с оболочки коконов определяли на экспериментальной установке, позволяющей проводить измерение натяжения нити. Известны устройства, разработанные для определения натяжения основных нитей на станках СТБ [3] и для исследования натяжения движущихся нитей [4]. Предлагаемая экспериментальная установка (рис. 1) представляет собой механизм разматывания коконной нити с оболочки коконов.

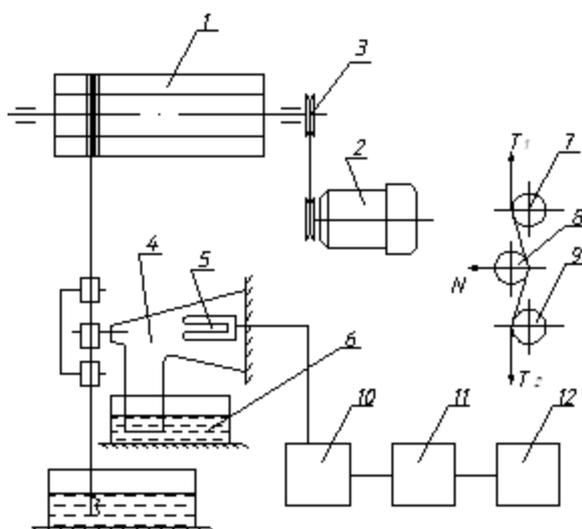


Рис. 1. Установка для определения величины динамического усилия схода нити с оболочки коконов

Установка состоит из шестигранного мотовила 1 периметром 0,5 м, приводимого во вращение от двигателя 2 через ременную передачу 3. Изменяя частоту вращения двигателя, можно подобрать необходимую скорость разматывания кокона. В данном эксперименте скорость разматывания равна 100 м/мин, что соответствует промышленным скоростям разматывания коконов. Измерение усилия натяжения коконной нити осуществляется тензометрическим способом, чувствительным элементом которого является пластина 4 с тензопреобразователем 5. Для преобразования сигнала от тензопреобразователя используется усилитель 10, аналого-цифровой преобразователь 11. Цифровой сигнал обрабатывается компьютером 12.

Для демпфирования колебаний пластины нижний элемент пластины погружен в масляную ванну 6.

Измерение натяжения нити производится следующим образом. Сматываемая с оболочки кокона нить проходит через направляющие ролики 7, 8 и 9 так, как показано на рис. 1. Движущаяся коконная нить действует на пластину с силой  $N$ , величина которой зависит от натяжений коконной нити  $T_1$  и  $T_2$ . Для уменьшения влияния силы трения в опорах направляющих роликов на натяжение нити ролики установлены на подшипниках качения.

Для тарировки образец нити заправляется в направляющие ролики 7, 8 и 9 (см. рис. 1). Один конец нити в точке ролика 7 закрепляется неподвижно, на второй конец нити подвешиваются грузы определенной массы. По полученным значениям показаний прибора и натяжения нити строится график зависимости показаний прибора от величины заданного натяжения.

Ранее проведенными исследованиями [2, 4] выявлено, что усилие схода нити меняется в зависимости от расположения нити в слоях оболочки кокона. В верхних слоях оболочки усилие сматывания наименьшее, затем оно постепенно повышается, а во внутренних слоях вновь падает. Поэтому для оценки качества запаривания коконов необходимо исследовать динамику изменения усилия схода нити при разматывании сердцевины оболочки кокона, например, после того, как будет смотаны первые 100 м нити. Поэтому при проведении экспериментальных исследований коконы, запаренные разными способами, в течение первой минуты разматывали на станке для одиночной размотки коконов, затем продолжали разматывать на экспериментальной установке. В результате нами получены численные значения усилия схода коконной нити (табл. 1) и графики, показывающие характер изменения усилий схода коконной нити с оболочки.

Усилие схода коконной нити с оболочки

Способ запаривания коконов	Впитываемость влаги, %	Натяжения нити (усилие схода), сН	
		Максимальное при разматывании со скоростью 100 м/мин	Максимальное при статическом измерении
Плавающий	72–75	2,55	0,44
Погруженный	95–97	0,72	0,06
Вакуумный	100	0,60	0,04

Установлено, что изменение усилий схода коконных нитей с оболочки наиболее равномерно у коконов, запаренных погруженным и вакуумным способами. У коконов, запаренных на станках КМС-10, усилие схода нити меняется с большей амплитудой, что свидетельствует о неравномерности пропарки оболочки коконов. Это еще раз подтверждает несовершенство методики подготовки коконов к разматыванию на станках КМС-10 и открывает перспективы для создания нового оборудования или приспособлений для запаривания коконов.

Анализ полученных результатов показал, что усилие сматывания нити с оболочки кокона является показателем качества его запаренности. Данный показатель и его статистические характеристики могут быть использованы для разработки методов оценки качества запаренности коконов в условиях промышленных предприятий. Дальнейшие исследования необходимо направить на изучение статистических характеристик процесса изменения натяжения при сматывании нити с кокона, что позволит предложить более точный метод для оценки качества запаривания коконов и проанализировать изменения усилия разматывания по толщине оболочки. Кроме того, необходимо раскрыть природу колебаний натяжения нитей при разматывании коконов, что позволит предложить методы уменьшения частоты и амплитуды этих колебаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубинов Э.Б., Усенко В.А., Ибрагимов С.С. Учение о шелке и кокономотание. – М.: Лег. индустрия, 1966. – 366 с.
2. Шелкосырье и кокономотание / Э.Б. Рубинов, М.М. Мухамедов, Л.Х. Осипова, И.З. Бурнашев. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 312 с.
3. Болотный А.П., Брут-Бруляко А.Б., Ерохова М.Н. Оценка натяжения основных нитей на ткацком станке СТБ // Вестник Костром. гос. технол. ун-та. – 2011. – № 1(26). – С. 21–23.
4. Поздняков Г.С., Аскаров Ю.Ш. Установка для исследования натяжения движущихся нитей // Шелк. – 1976. – № 2. – С. 29.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ  
ФОРМИРОВАНИЯ НОВОГО ЭЛЕМЕНТА ТКАНИ НА ТКАЦКИХ  
СТАНКАХ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ СКАЛОМ**

**MATHEMATICAL MODEL OF INTENSITY OF PROCESS  
FORMATION OF A NEW MEMBER OF FABRICS ON A WEAVING  
LOOMS WITH ADDITIONAL WARP GUIDE ROD**

О.А. Ахунбабаев  
O.A. Axunbabayev

Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон (Узбекистан)  
Uzbek scientific-research institute of natural fibers (Uzbekistan)  
E-mail: margilon\_shoyi@yahoo.com

Общее разрушающее воздействие на нити основы многократной деформации, характеризуя его суммарной работой вследствие процесса приобоя и принимая этот показатель за выходной параметр, получена математическая модель напряженности процесса формирования нового элемента ткани на ткацких станках с дополнительным скалом, которая позволяет оценить напряженность процесса, раскрывает его физическую сущность и дает количественную оценку влияния конструктивных и технологических параметров ткацкого станка на параметр оптимизации. Приняв суммарную работу деформации растяжения вследствие приобоя за критерий оптимизации, можно добиться минимального её значения соответствующим подбором конструктивных и заправочных параметров нити основы на ткацком станке.

**Ключевые слова:** технология ткани, ткацкий станок, математическая модель, скало, ткань, формирование ткани.

The general destroying influence on a string of a basis of repeated deformation characterizing their total work owing to process surf and accepting this parameter for target parameter the mathematical model of intensity of process formation of a new member of fabrics on a weaving looms with additional warp guide rod, which allows estimate intensity of process is received, opens his physical essence and it provides a quantitative assessment of the impact of structural and technological parameters of the loom on the parameter optimization. Having a total work of stretching deformation due to the surf for the optimization criteria, it can be achieved its minimum value on appropriate choice of design and settings of filling warp threads on the loom.

**Keywords:** fabric technology, loom, mathematical model, warp guide rod, fabric, tissue formation.

В теории, разработанной профессором В.А.Гордеевым отмечено, что общее разрушающее воздействие на нити основы многократной деформации можно характеризовать их суммарной работой вследствие процесса приобоя [1, с. 285].

Принимая этот показатель за выходной параметр, получим математическую модель напряженности процесса формирования нового элемента ткани на ткацких станках с дополнительным скалом [2, 3] при использовании ценовых прутков.

Суммарная работа деформации растяжения вследствие приобоя  $A_0$ , совершаемая при движении элемента нити с навоя до опушки ткани, будет:

$$A_0 = A_H + A_1 + A_{ДС} + A_{СС} + A_C + A_2 + A_{П2} + A_{ПП} + A_{П1} + A_3 + A_4, \quad (1)$$

где:  $A_H, A_1, A_{ДС}, A_{СС}, A_C, A_2, A_{П2}, A_{ПП}, A_{П1}, A_3, A_4$  – работы деформации нитей основы соответственно на навое, в зоне навой – дополнительное скало, на дополнительном скале, в зоне дополнительное скало – скало, на скале, в зоне скало – ценовый пруток, на заднем (2-ом) от опушки ткани ценовом прутке, в зоне между ценовыми прутками, на переднем (1-ом) от опушки ткани ценовом прутке, в зоне ценовый пруток – ремизки и в зоне ремизки – опушка ткани.

Используя элементы методики проф. В.А.Гордеева, проф. Е.Д.Ефремовым рассмотрены вопросы, касающиеся распределения деформации и натяжения нитей основы и ткани по зонам их заправки на ткацком станке [4].

Рассмотрим определение суммарной работы деформации нити основы, когда бердо движется с опушкой ткани в крайнее переднее положение в течение времени  $0 \leq t \leq t_1$ .

Если при этом натяжение нити основы в зеве увеличивается по закону  $K = K(t)$ , то приращение натяжения нити в зоне скало – ценовый пруток, на основе ранее проведенной нами работы [5], будет:

$$\Delta K_2 = \frac{C_0}{B} \sum_{i=1}^6 \Delta L_i, \quad (2)$$

где

$$B = \left[ L'_1 + \frac{\rho'}{f_H} (1 - e^{-f_H \gamma_H}) \right] e^{-(f_C \gamma_C + f_{DC} \gamma_{DC})} + \\ + \left[ L'_{CC} + \frac{r'_{DC}}{f_{DC}} (1 - e^{-f_{DC} \gamma_{DC}}) \right] e^{-f_C \gamma_C} + L'_2 + \frac{r'_C}{f_C} (1 - e^{-f_C \gamma_C}) + \\ + \left[ L'_{III} + \frac{r'_{II2}}{f_{II2}} (1 - e^{-f_{II2} \gamma_{II2}}) \right] e^{f_{II2} \gamma_{II2}} + \\ + \left[ L'_3 + \frac{r'_{II1}}{f_{II1}} (1 - e^{-f_{II1} \gamma_{II1}}) \right] e^{f_{II2} \gamma_{II2} + f_{II1} \gamma_{II1}} + L'_4 e^{f_{II2} \gamma_{II2} + f_{II1} \gamma_{II1} + f_P \gamma_P}.$$

$L'_1, L'_{CC}, L'_2, L'_{III}, L'_3, L'_4$  - безразмерные величины, равные соответствующим длинам нити основы в м в зонах навой – дополнительное скало, дополнительное скало - скало, скало – ценовый пруток, между ценовыми прутками, ценовый пруток - ремизки, ремизки - опушка ткани (рис.1);

$\rho', r'_{DC}, r'_C, r'_{II2}, r'_{II1}$  - безразмерные величины, равные соответствующим радиусам в м, радиус намотки основы на навое, радиус дополнительного скала, радиус скала, радиус заднего (2-го) и радиус переднего (1-го) от опушки ткани ценового прутка;

$C_0$  - коэффициент жесткости метрового отрезка нити основы;  $f_H, f_{DC}, f_C, f_{II2}, f_{II1}, f_P$  - коэффициенты трения нити по намотке навоя, по дополнительному скалу, по скалу, соответственно в заднем (2-ом) и переднем (1-ом) от опушки ткани ценовом прутке и в глазке галева ремизки;  $\gamma_H$  - центральный угол, соответствующий дуге  $C_0 C_H$  скольжения нити на намотке навоя;  $\gamma_{DC}$  - угол охвата нитью дополнительного скала;  $\gamma_C$  - угол охвата нитью скала;  $\gamma_{II2}$  - угол охвата нитью заднего (2-го) от опушки ткани ценового прутка;  $\gamma_{II1}$  - угол охвата нитью переднего (1-го) от опушки ткани ценового прутка;  $\gamma_P$  - угол перегиба нити в глазках галев ремизок.



$$A_H = \frac{5P_y}{C_0(1+0,01a_0)} \frac{(\rho')^2}{f_H^2} (1 - e^{-f_H \gamma_H})^2 (\Delta K_2)^2 e^{-2(f_C \gamma_C + f_{DC} \gamma_{DC})}. \quad (6)$$

Работа деформации нитей основы между навоем и дополнительным скалом:

$$A_1 = \frac{5P_y(L'_1)}{C_0(1+0,01a_0)} (\Delta K_2)^2 e^{-2(f_C \gamma_C + f_{DC} \gamma_{DC})}. \quad (7)$$

Работа деформации нитей основы на дополнительной скале:

$$A_{DC} = \frac{5P_y}{C_0(1+0,01a_0)} \frac{(r'_{DC})^2}{f_{DC}^2} (1 - e^{-f_{DC} \gamma_{DC}})^2 (\Delta K_2)^2 e^{-2(f_C \gamma_C + f_{DC} \gamma_{DC})}. \quad (8)$$

Работа деформации нитей основы между скалами:

$$A_{CC} = \frac{5P_y(L'_{CC})}{C_0(1+0,01a_0)} (\Delta K_2)^2 e^{-2f_C \gamma_C}. \quad (9)$$

Работа деформации нитей основы на скале:

$$A_C = \frac{5P_y}{C_0(1+0,01a_0)} \frac{(r'_C)^2}{f_C^2} (1 - e^{-f_C \gamma_C})^2 (\Delta K_2)^2. \quad (10)$$

Работа деформации нитей основы между скалом и ценовым прутком:

$$A_2 = \frac{5P_y(L'_2)^2}{C_0(1+0,01a_0)} (\Delta K_2)^2. \quad (11)$$

Работа деформации нитей основы на заднем (2-ом) от опушки ткани ценовом прутке:

$$A_{П2} = \frac{5P_y}{C_0(1+0,01a_0)} \cdot \frac{(r'_{П2})^2}{f_{П2}^2} (1 - e^{-f_{П2} \gamma_{П2}})^2 (\Delta K_2)^2 e^{2f_{П2} \gamma_{П2}}. \quad (12)$$

Работа деформации нитей основы между ценовыми прутками:

$$A_{ПП} = \frac{5P_y(L'_{ПП})^2}{C_0(1+0,01a_0)} (\Delta K_2)^2 e^{2f_{П2} \gamma_{П2}}. \quad (13)$$

Работа деформации нитей основы на переднем (1-ом) от опушки ткани ценовом прутке:

$$A_{П1} = \frac{5P_y}{C_0(1+0,01a_0)} \cdot \frac{(r'_{П1})^2}{f_{П1}^2} (1 - e^{-f_{П1}\gamma_{П1}})^2 (\Delta K_2)^2 e^{2(f_{П2}\gamma_{П2} + f_{П1}\gamma_{П1})}. \quad (14)$$

Работа деформации нитей основы между ценовым прутком и ремизом:

$$A_3 = \frac{5P_y(L'_3)^2}{C_0(1+0,01a_0)} (\Delta K_2)^2 e^{2(f_{П2}\gamma_{П2} + f_{П1}\gamma_{П1})}. \quad (15)$$

Работа деформации нитей основы между ремизом и опушкой ткани:

$$A_4 = \frac{5P_y(L'_4)^2}{C_0(1+0,01a_0)} (\Delta K_2)^2 e^{2(f_{П2}\gamma_{П2} + f_{П1}\gamma_{П1} + f_P\gamma_P)}. \quad (16)$$

Работа деформации нитей основы на ткацких станках типа СТБУ-ШН с дополнительным скалом при использовании ценовых прутков:

$$\begin{aligned} A_0 = & \frac{5P_y}{C_0(1+0,01a_0)} (\Delta K_2)^2 \left\{ \left[ \frac{(\rho')^2}{f_H^2} (1 - e^{f_H\gamma_H})^2 + (L'_1)^2 \right] e^{-2(f_C\gamma_C + f_{ДС}\gamma_{ДС})} + \right. \\ & + \frac{(r'_{ДС})^2}{f_{ДС}^2} (1 - e^{-f_{ДС}\gamma_{ДС}})^2 e^{-(2f_C\gamma_C + f_{ДС}\gamma_{ДС})} + (L'_{СС})^2 e^{-2f_C\gamma_C} + \\ & + \frac{(r'_C)^2}{f_C^2} (1 - e^{-f_C\gamma_C})^2 + (L'_2)^2 + \left[ \frac{(r'_{П2})^2}{f_{П2}^2} (1 - e^{f_{П2}\gamma_{П2}})^2 + (L'_{ПП})^2 \right] e^{2f_{П2}\gamma_{П2}} + \\ & \left. + \left[ \frac{(r'_{П1})^2}{f_{П1}^2} (1 - e^{-f_{П1}\gamma_{П1}})^2 + (L'_3)^2 \right] e^{2(f_{П2}\gamma_{П2} + f_{П1}\gamma_{П1})} + (L'_4)^2 e^{2(f_{П2}\gamma_{П2} + f_{П1}\gamma_{П1} + f_P\gamma_P)} \right\}. \quad (17) \end{aligned}$$

Формула (17) содержит приращение  $\Delta K_2$  натяжения нити основы при прибое в зоне скало – ценовый пруток, которое на ткацком станке замеряется методом тензометрии.

Суммарная работа деформации нити вследствие прибоя на ткацких станках с дополнительным скалом увеличивается при увеличении плотности ткани по утку, зависит от длин зон заправки, углов перегиба на дополнительном скале, скале, в заднем (2-ом) и переднем (1-ом) от опушки ткани ценовом прутке, в глазке галева ремизки и при прочих равных условиях прямо пропорциональна квадрату приращения натяжения в зоне скало – ценовый пруток и обратно пропорциональна коэффициенту жесткости метрового отрезка нити основы.

Таким образом, на основании проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Получено математическое описание напряженности процесса формирования нового элемента ткани на ткацких станках с дополнительным скалом при использовании ценовых прутков.

2. Математическое описание процесса формирования нового элемента ткани на ткацких станках с дополнительным скалом позволяет оценить напряженность процесса, раскрывает

физическую сущность процесса и дает количественную оценку влияния конструктивных и технологических параметров ткацкого станка на параметр оптимизации для обеспечения нормального протекания процесса.

3. Приняв суммарную работу деформации растяжения вследствие прибоа за критерий оптимизации, можно добиться минимального её значения соответствующим подбором конструктивных и заправочных параметров нити основы на ткацком станке.

4. Составляющие величины работы деформации основной нити вследствие прибоа в зонах заправки ткацких станков с дополнительным скалом при использовании ценовых прутков увеличиваются при увеличении плотности ткани по утку, зависят от длин зон заправки, углов перегиба на скалах, в ценовых прутках и в галеве ремизки.

5. Полученная уточненная формула суммарной работы деформации основы вследствие прибоа на ткацких станках с дополнительным скалом при использовании ценовых прутков содержит геометрические характеристики заправочной линии, приращение натяжения при прибое, что позволяет использовать эту характеристику упругой системы заправки в качестве критерия оптимизации при поиске оптимальных заправочных параметров ткацкого станка.

6. Суммарная работа деформации нити основы вследствие прибоа на ткацких станках с дополнительным скалом при использовании ценовых прутков прямо пропорциональна квадрату приращения натяжения в зоне скало-ценовый прутков и обратно пропорциональна коэффициенту жесткости метрового отрезка нити основы и биному уработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В.А., Волков П.В. Ткачество: Учебник для вузов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 488с.
2. Ахунбабаев О.А. Новые бесчелночные ткацкие станки типа СТБУ-ШН для выработки тканей из натурального шелка // Проблемы текстиля. – 2011. – № 1. – С. 38-43.
3. Ахунбабаев О.А., Валиев Г.Н. Бесчелночный ткацкий станок // Патент Республики Узбекистан № FAP 00431. – 2008. – Бюл. № 12.
4. Ефремов Е.Д. Деформация упругой системы заправки на ткацком станке: Учебное пособие. – Иваново: ИХТИ, 1979. – 73 с.
5. Ефремов Е.Д., Ахунбабаев О.А. Приращение натяжения основной нити вследствие прибоа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1985.– № 5. – С. 29 – 31.
6. Ефремов Е.Д., Ахунбабаев О.А., Шутова С.А., Врублёвский В.А. Перемещение нитей основы вследствие прибоа на ткацком станке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1985.– № 6. – С. 33 – 35.

## ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ ПРОЦЕССА ВЯЗАНИЯ НА КРУГЛОВЯЗАЛЬНОЙ МАШИНЕ SANTONI SM8-TOP2

### EVALUATION VIOLATIONS KNITTING PROCESS ON A CIRCULAR KNITTING MACHINE SANTONI SM8-TOP2

Н.В. Банакова, В.Р. Крутикова, А.Г. Безденежных  
N.V. Banakova, V.R. Krutikova, A.G. Bezdenezhnykh

Костромской государственной технологической университет  
Kostroma State Technological University

В работе проведена оценка экспериментальных тензограмм при переработке хлопчатобумажных и полиамидных нитей на кругловязальной машине Santoni SM8-TOP2 для различных условий протекания процесса вязания и установлены причины его нарушения.

**Ключевые слова:** спектральный анализ, показатель напряженности процесса, тензограмма нити, нарушение процесса вязания.

The paper evaluated the experimental tenzogramm the processing of cotton and nylon yarns to a circular knitting machine Santoni SM8-TOP2 for various flow conditions knitting process and established the reasons for his violation.

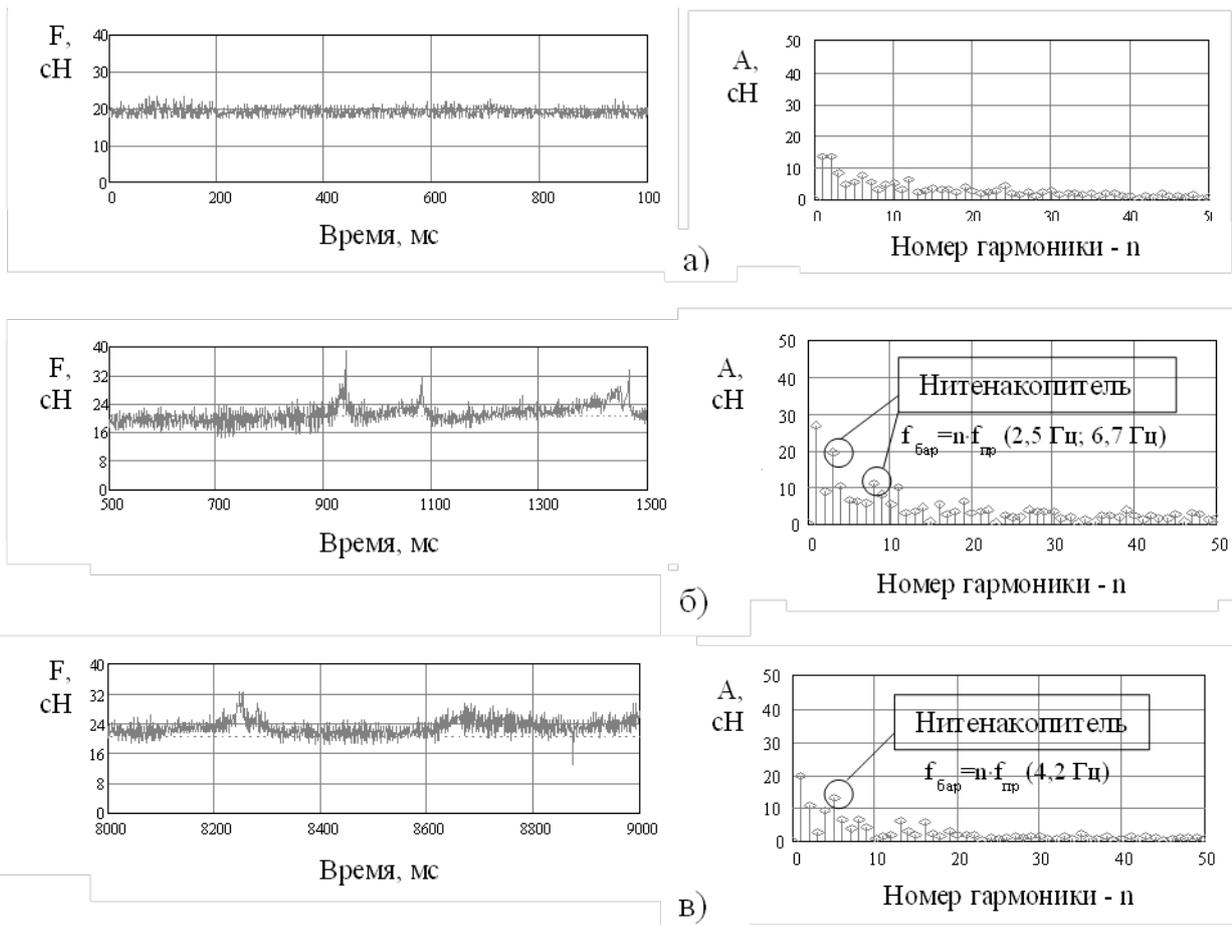
**Keywords:** spectral analysis, the rate of the process of tension, tenzogramma yarn knitting process violation.

Использование современного оборудования на текстильных предприятиях и частая смена ассортимента выпускаемой продукции приводят к необходимости разработки оперативных методов диагностики технологического процесса. Анализ выработки бельевого трикотажа на машине Santoni SM8-TOP2 показал наличие дефектов на полотне, связанных с затяжкой или пропуском нити, поперечной полосатостью трикотажного полотна. Можно предположить, что причинами указанных видов брака могут быть: поломка игл, несрабатывание датчиков обрыва нити, неровнота пряжи, сбой программы управления машиной, неправильный выбор заправочных параметров вязальной машины и отсутствие должного контроля за технологическим процессом.

Поскольку процесс вязания характеризуется наличием периодических операций при перемещении рабочих органов оборудования, то все периодические воздействия на нить, связанные с ее нагружением и деформацией, проявляются в виде колебаний натяжения и отражаются на тензограммах нитей [1]. Для оценки тензограмм нити можно использовать комплексный показатель напряженности технологического процесса [2] и методику выявления нарушений процесса вязания на основе спектрального анализа тензограмм нити [3].

Проведен анализ экспериментальных тензограмм нити на кругловязальной машине Santoni SM8-TOP2, полученных в производственных условиях ООО «Предприятие «ФЭСТ» (г. Кострома). Натяжение нити на машине Santoni SM8-TOP2 регистрировалось с помощью системы ПАК-3 [4].

На рис. 1 а, 2 а представлены тензограммы нити и спектры натяжения хлопчатобумажной нити линейной плотности 14,8 текс и полиамидной нити линейной плотности 2,2 текс для процесса вязания, протекающего без нарушений. Нарушения процесса вязания (рис.1 б, в; рис.2 б) отражаются в виде продолжительных пиков натяжения, которые свидетельствуют о неправильных условиях движения нити по зонам заправки машины. Такие скачки натяжения нити впоследствии приводят к обрыву нити и образованию брака на трикотажном полотне.



Частота процесса вязания  $f=0,8 \text{ Гц}$   
 Частота вращения барабаника в нитенакопителе  $f_{бар} = 2 - 7 \text{ Гц}$

Рис. 1. Тензограммы и спектры натяжения хлопчатобумажной нити

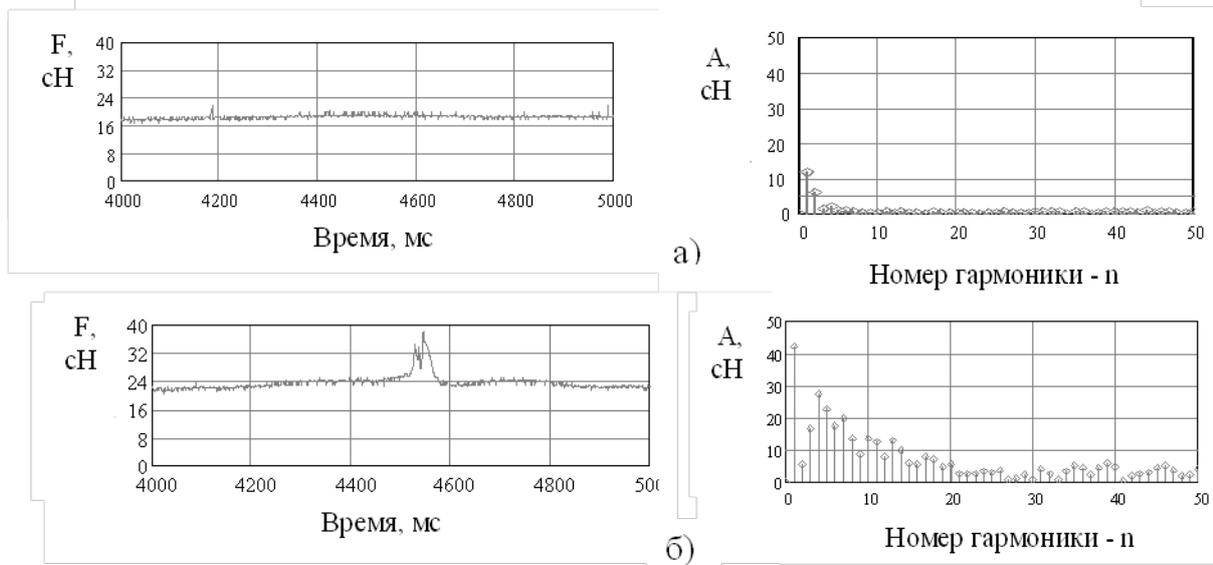


Рис. 2. Тензограммы и спектры натяжения полиамидной нити

Статистические характеристики и параметры, характеризующие распределение спектральной плотности, а также показатель напряженности представлены в табл.1, где F –

среднее натяжение в цикле вязания;  $\sigma^2$  – дисперсия натяжения; С – квадратическая неровнота; N – показатель напряженности процесса вязания; d – максимальный номер гармоники спектра разложения в ряд Фурье после отсеивания шума; k – число частотных составляющих после отсеивания шума; A – приведенная максимальная амплитуда спектра.

Таблица 1

Статистические характеристики натяжения нити и параметры частотного анализа

Тензограммы и спектры натяжения	F, сН	$\sigma^2$ , сН <sup>2</sup>	С, %	Параметры частотного анализа			
				N, сН/с	d	k	A, сН
Рис. 1 а	18,8	2,49	8,4	0,25	2	2	0,3
Рис. 1 б	19,7	4,47	10,7	0,74	11	5	0,4
Рис. 1 в	23,0	5,01	9,7	0,84	5	3	0,6
Рис. 2 а	18,5	0,31	3,0	0,17	2	2	0,2
Рис. 2 б	23,9	4,49	9,0	0,90	7	4	0,8

В результате анализа статистических характеристик натяжения исследуемых видов нитей, представленных в табл. 1, установлено, что уровень натяжения полиамидной нити, несмотря на малую ее линейную плотность, практически не отличается от хлопчатобумажной нити. Это связано с тем, что при переработке полиамидной нити в связи с ее растяжимостью устанавливают большее значение усилия пружины в натяжном устройстве. Статистические характеристики тензограмм хлопчатобумажной нити, соответствующие процессу вязания, протекающего как без нарушений, так и с нарушениями не отражают реальной картины происходящего, поскольку коэффициент вариации, даже на фоне увеличения уровня среднего натяжения, практически не изменяется.

Хорошо отслеживают нарушения процесса вязания параметры спектрального анализа. В данном случае (табл.1) условия протекания процесса вязания отразились на количестве частотных составляющих спектра после фильтрации. Появление каких-либо нарушений приводит к увеличению колебаний натяжения и росту параметра k (табл. 1). Показатель напряженности N достаточно точно отслеживает нарушения процесса вязания. Так, при возникновении нарушений процесса переработки хлопчатобумажной нити (рис.1 б, в) показатель напряженности возрастает в три раза, а для полиамидной нити (рис. 2 б) показатель напряженности возрастает в пять раз, что свидетельствует о грубом нарушении процесса вязания. Как показали эксперименты, такие напряженные условия переработки нити однозначно приводят к появлению брака на полотне.

Нарушения процесса вязания (рис. 1 б, в) хорошо отражаются на спектрах натяжения хлопчатобумажной нити и проявляются увеличением амплитуды третьей и восьмой гармоник. Данные гармоники соответствуют частоте работы барабанчика нитеподавателя. На данной вязальной машине используется нитенакопитель с периодическим вращением барабана, включение и выключение которого происходит по сигналу от датчика контроля числа витков. Поскольку потребление нити на кругловязальной машине происходит постоянно и сматывание нити с барабана не прекращается, то оно происходит в двух режимах: при подвижном и неподвижном накопителе. Следовательно, появляется дополнительное колебание натяжения на входе в зону вязания. Для устранения данного недостатка необходимо использовать накопители с неподвижным барабаном.

Нарушение процесса вязания полиамидной нити характеризуется продолжительным возрастанием ее натяжения и, как следствие, появлением группы гармоник с высокой амплитудой (рис.2 б), что связано с неправильной работой нитепроводящей системы и приводит к затяжке нити.

Для оценки нарушений процесса вязания использовались экспериментальные тензограммы, полученные по результатам проведения натуральных экспериментов по исследованию натяжения нити на вязальном оборудовании с помощью программно-

измерительного комплекса. При использовании данной методики осуществляется обработка экспериментальных данных в математическом пакете MatchCad с помощью быстрого преобразования Фурье. Проводится анализ тензограммы нити за несколько циклов вязания и графика спектральной плотности и, если в процессе вязания есть нарушение, то оно проявится на спектрограммах в виде увеличенных амплитуд частотных составляющих. Для того чтобы определить какой рабочий орган внес это нарушение, выполняется расчет частотных характеристик процесса вязания. Сопоставляя частотные характеристики и значения гармоник с высокой амплитудой, определяется какой рабочий орган внес это нарушение и соответственно изменяются параметры настройки данного рабочего органа.

Предлагаемая методика оценки нарушений с помощью спектрального анализа позволяет в оперативном режиме оценивать условия протекания процесса вязания на машине и выбирать рационально заправочные параметры, это экономит рабочее время, материальные ресурсы, а также повышает качество выпускаемой продукции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банакова Н.В., Крутикова В.Р. Оценка нарушений процесса вязания на основе спектрального анализа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №6. С 89.
2. Крутикова В.Р., Банакова Н.В. Оценка показателя напряженности вязания // Изв. вуз. Технология текстильной промышленности. – 2003, №6. С.72.
3. Крутикова В.Р., Банакова Н.В. Анализ тензограмм нити при выработке поперечновязаного трикотажа // Изв. вуз. Технология легкой промышленности. – 2009, №1. С.18.
4. Крутикова В.Р., Банакова Н.В., Сусоева И.В., Лапшин В.В., Куликов А.В. Измерение и анализ физико-механических характеристик нитей: учебное пособие. – Кострома: Изд-во Костром. Гос. Технолог. Ун-та, 2010. – 68 с.

УДК 677.023.233.371

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ КРЕСТОВОЙ НАМОТКИ НА ЕЁ ОСНОВАНИЕ ПО МЕРЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПАКОВКИ**

#### **THEORETICAL DEPENDENCE OF THE DISTRIBUTION OF PRESSURE CROSS REELING AT ITS INCEPTION AS THE FORMATION OF PACKAGES**

Г.Н. Валиев  
G.N. Valiyev

Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон (Узбекистан)  
Uzbek scientific-research institute of natural fibers (Uzbekistan)  
E-mail: gnvaliev@mail.ru

На основе ранее полученной нами аналитической зависимости распределения нормального давления крестовой намотки на её основание вдоль оси паковки, получена аналитическая зависимость распределения давления крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки и разработана методика её определения. При этом приняты следующие упрощения: натяжение витков нити во всех элементарных слоях намотки в пределах отдельного сектора намотки сохраняется постоянным, удельная плотность намотки во всех элементарных слоях намотки в пределах отдельного сектора намотки постоянна. Полученные теоретические зависимости могут быть применены для решения практических задач при анализе структуры намотки нити на паковках различной формы, оптимизации процесса формирования мотальной паковки, а также при разработке новых мотальных машин и механизмов наматывания нити.

**Ключевые слова:** перематывание нити, мотальная паковка, бобина, структура намотки, давление намотки, параметры намотки.

Effectiveness of modern textile machinery and machine tools is largely determined by the quality of used packages that depend on the quality of raw materials, process conditions and parameters of the package. On the basis of previously obtained by us the analytic dependence of the normal pressure distribution on the cross winding its base along the axis of the packing, the analytic dependence on the distribution of the pressure of cross-wound on its base as the formation of packages and the method of its determination. Moreover, the following simplifications: tension thread turns in winding all elementary layers within a single sector winding is kept constant, the specific density of the winding in the winding of the elementary layers within a single sector winding constant. The theoretical relationships can be applied to practical problems in the analysis of the structure of winding the packing various forms of optimization of the process of forming the winding package as well as the development of new machines and mechanisms for winding the winding yarn.

**Keywords:** rewinding thread, winding packaging, bobbin, structure winding, pressure winding, parameters winding.

В современный период интенсивных технологий переработки текстильных материалов в эффективности дальнейших технологических процессов производства большое значение имеет процесс перематывания. Эффективность применения современных текстильных машин и станков во многом определяется качеством применяемых паковок, которое зависит от качества сырья, условий технологического процесса и параметров паковки, особенно при переработке нитей натурального шелка.

Ранее нами были получены аналитические зависимости распределения нормального давления намотки на её основание в осевом направлении паковки для параллельной [1] и крестовой [2] намотки. Аналитическая зависимость распределения нормального давления крестовой намотки на её основание вдоль оси паковки [2] описывается сложным интегралом, нижняя граница которой задана функцией поверхности паковки, а верхняя граница – функцией поверхности намотки:

$$q_x = \frac{1000 \cdot F_x \cdot \gamma_x \cdot \cos^3 \alpha_x}{T} \int_{f_1(x)}^{f_2(x)} \frac{d\rho_x}{\rho_x}. \quad (1)$$

Получено также аналитическая зависимость распределения нормального давления крестовой намотки на её основание вдоль оси паковки [1], которую можно определить следующим образом:

$$q_x = \frac{1000 \cdot F_x \cdot \gamma_x \cdot \cos^3 \alpha_x}{T} \ln \frac{f_2(x)}{f_1(x)}; \quad (2)$$

где:  $f_1(x)$  - функция линии сечения основания намотки (поверхности паковки),  $f_2(x)$  - функция линии сечения поверхности намотки,  $\gamma_x$  - плотность намотки в некоторой точке  $x$ ,  $F_x$  - натяжение нити в точке  $x$ ,  $\alpha_x$  - угол подъема витка намотки в некоторой точке  $x$ ,  $T$  – линейная плотность нити.

Таким образом, удельное давление крестовой намотки нити на её основание вдоль оси паковки в некоторой точке  $x$  в условиях принятых допущений пропорционально натяжению нити в этой точке, с которой она наматывается на паковку, плотности намотки в этой точке, натуральному логарифму отношения значения функции поверхности намотки в некоторой точке  $x$  к значению функции основания в этой точке и обратно пропорционально линейной плотности нити.

На основе полученной нами аналитической зависимости распределения нормального давления крестовой намотки на её основание вдоль оси паковки, была получена аналитическая зависимость пространственного распределения давления некоторого отдельно взятого слоя крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки и разработана методика её определения [3].

Определим в первом приближении распределение нормального давления крестовой намотки на её основание по мере увеличения её толщины и формирования паковки в целом. Для этого давление намотки и другие параметры намотки следует выразить в зависимости от осевого, радиального и диаметрального (кругового) направления паковки. Принимая, что в диаметральном (круговом) направлении паковки для каждого конкретного диаметра намотки параметры намотки остаются постоянными, распределение давления намотки выразим в зависимости от осевого и радиального направления паковки.

Исходя из условия задачи, имеем, что по мере формирования паковки толщина намотки, давление которой следует определить, нарастает. Для определения распределения давления и других параметров намотки по мере формирования паковки каждый слой намотки разделим на несколько секторов, равных по высоте основания сектора намотки. Принимаем следующие упрощения: натяжение витков нити во всех элементарных слоях намотки в пределах отдельного сектора намотки сохраняется постоянным, удельная плотность намотки во всех элементарных слоях намотки в пределах отдельного сектора намотки постоянна, слои намотки под давлением верхних слоёв не деформируются.

На рис. 1 приведена схема послойного наматывания нити на коническую паковку при нечётном количестве секторов, где  $\Delta r_n$  - толщина слоя намотки в радиальном направлении паковки,  $d_0$  - начальный диаметр намотки,  $H_{0(j)}$  - высота основания слоя намотки,  $j$  - номер слоя намотки,  $\Delta H_{0(j)}$  - высота основания сектора намотки,  $\xi$  - половина угла конусности паковки.

Так как нить наматывается на коническую поверхность, для определения нормального давления намотки на её основание следует определить толщину намотки в нормальном, по отношению к поверхности наматывания, направлении. Из схемы послойного наматывания нити, толщина  $\Delta r'_n$  слоя намотки в нормальном направлении:

$$\Delta r'_n = \Delta r_n \cos \xi . \quad (3)$$

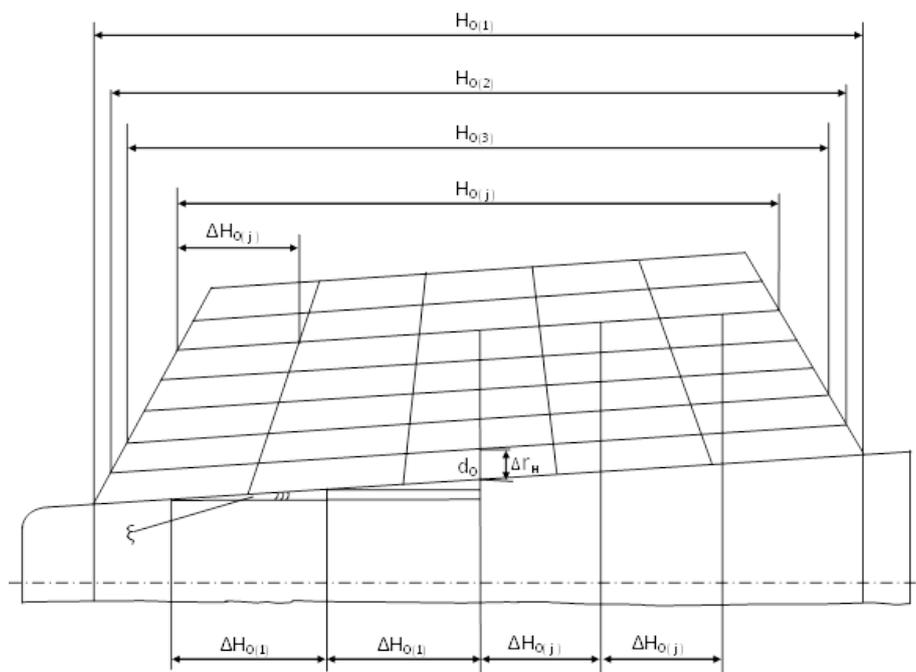


Рис.1. Схема послойного наматывания нити при нечетном количестве секторов в слое намотки

Так как угол  $\xi$  небольшой, для упрощения принимаем  $\text{Cos}\xi \approx 1$ . Тогда следует, что:

$$\Delta r'_n \approx \Delta r_n. \quad (4)$$

Из схемы послойного наматывания нити при нечётном количестве секторов (рис.1), на основе проведённого анализа, обобщения результатов и сделанных преобразований следует, что:

при  $W \leq \bar{W}$ , где  $W$  - номер сектора:

$$f_{1W(j)} = 0,5d_0 - (\bar{W} - W)\Delta H_{0(1)}\text{tg}\xi; \quad (5)$$

$$f_{2W(j)} = 0,5d_0 + j\Delta r_n - (\bar{W} - W)\Delta H_{0(j)}\text{tg}\xi; \quad (6)$$

при  $W > \bar{W}$ :

$$f_{1W(j)} = 0,5d_0 + (W - \bar{W})\Delta H_{0(1)}\text{tg}\xi; \quad (7)$$

$$f_{2W(j)} = 0,5d_0 + j\Delta r_n + (W - \bar{W})\Delta H_{0(j)}\text{tg}\xi. \quad (8)$$

Номер среднего сектора, соответствующий серединной части слоя намотки, то есть половине высоты намотки:

$$\bar{W} = (W_{\max} + 1) / 2; \quad (9)$$

$$\Delta H_{0(j)} = \frac{H_{0(j)}}{W_{\max}}. \quad (10)$$

Исследованием зависимости высоты намотки от наклона торца паковки, обобщая и преобразовывая промежуточные выражения, получили теоретическую зависимость (11) определения высоты основания слоя намотки при послойном наматывании на мотальную паковку с коническими торцами:

$$H_{0(j)} = H_0 - (j - 1)\Delta r_n (\text{tg}\beta + \text{tg}\gamma). \quad (11)$$

Подставляя (11) в (10), получим:

$$\Delta H_{0(j)} = [H_0 - (j - 1)\Delta r_n (\text{tg}\beta + \text{tg}\gamma)] / W_{\max}, \quad (12)$$

где:  $H_0$  - начальная высота намотки;  $\beta, \varphi$  - углы наклона торцов паковки, образованные между нормальными к оси паковки и прямыми, лежащими на соответствующих торцевых поверхностях намотки.

Подставляя промежуточные выражения в (2), после дальнейших преобразований в первом приближении получена теоретическая зависимость распределения нормального давления крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки.

При  $W \leq \bar{W}$ :

$$q_{W(j)} = \frac{1000 \cdot F_{W(j)} \cdot \gamma_{W(j)} \cdot \cos^3 \alpha_{W(j)}}{T} \cdot \ln \frac{0,5d_0 + j\Delta r_n - (\bar{W} - W)tg\xi \cdot [H_0 - (j-1)\Delta r_n (tg\beta + tg\varphi)] / W_{\max}}{0,5d_0 - (\bar{W} - W)tg\xi \cdot H_0 / W_{\max}}. \quad (13)$$

При  $W > \bar{W}$  :

$$q_{W(j)} = \frac{1000 \cdot F_{W(j)} \cdot \gamma_{W(j)} \cdot \cos^3 \alpha_{W(j)}}{T} \cdot \ln \frac{0,5d_0 + j\Delta r_n + (W - \bar{W})tg\xi \cdot [H_0 - (j-1)\Delta r_n (tg\beta + tg\varphi)] / W_{\max}}{0,5d_0 + (W - \bar{W})tg\xi \cdot H_0 / W_{\max}}. \quad (14)$$

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Получена теоретическая зависимость распределения давления крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки и разработана методика её определения.
2. Полученные теоретические зависимости могут быть применены для решения практических задач при анализе структуры намотки нити на паковках различной формы, оптимизации процесса формирования мотальной паковки, а также при разработке новых мотальных машин и механизмов наматывания нити.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валиев Г.Н. Аналитическая зависимость распределения давления намотки на её основание вдоль оси паковки и методика её определения // Проблемы текстиля. – 2011. – № 2. – С. 45-50.
2. Валиев Г.Н. Аналитическая зависимость распределения давления крестовой намотки на её основание вдоль оси паковки и методика её определения // Проблемы механики. – 2014. – № 3-4. – С. 93-98.
3. Валиев Г.Н. Аналитическая зависимость пространственного распределения давления слоя крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки и методика её определения // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы (SMARTEX – 2015): сборник материалов XVIII международного научно-практического форума (Иваново, 26-29 мая 2015 г.). – Иваново: ИВГПУ, 2015. – 320 с., с. 212-215.

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПУХОВОЙ ОДЕЖДЫ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

### MANUFACTURING OF DOWN CLOTHES WITH IMPROVED QUALITY CHARACTERISTICS

Е.В. Дьяконова

E.V. Dyakonova

Ивановский государственный политехнический университет

Ivanovo State Polytechnic University

E-mail: el\_dyakonova@mail.ru

Существенной проблемой при изготовлении пуховой одежды является миграция пуха через места проколов иглой материала при образовании ниточных соединений и при эксплуатации. Технология предполагает производство изделий на перо-пуховой смеси особым физико-химическим методом, позволяющим устранить данный недостаток. В технологии используются специальные материалы, полученные на основе полимерных латексов. Данный материал обеспечивает блокирование отверстий ниточных соединений и таким образом препятствует выходу перо-пуховой смеси на лицевую сторону изделия. Полученные непроницаемые для перо-пуховой смеси ниточно-клеевые швы обладают миграцией в 6-8 раз ниже, чем исходные ниточные соединения, сохраняя достигнутый эффект и после воздействия механических деформаций и деформаций ухода за изделием.

**Ключевые слова:** миграция, перо – пуховая смесь, технология блокирования, вспомогательный пленочный материал

A major problem in the production of down clothing is migration down through the needle puncture site material during the formation of thread connections and operation. The technique involves the production of goods for a feather and down mixture a special method eliminating this lack. The technology uses special materials, which received on the basis polymer latexes. This material blocks the stitch's holes and prevents the infiltration of the feather and down mixture to the front side of the product. Such thread - glued joints impermeable for feather - down mixture have migration 6-8 times lower than the original thread connections, and maintain the achieved effect even after exposure of mechanical deformations and product care strains. The results of experimental end-to-end migration evaluation using the new method and device properties for estimating FDM migration are given. As a result of the new technology end-to end migration coefficient is reduced.

**Keywords:** migration, feather – down mixture, blocking technology, auxiliary film material

Разработка технологий изготовления швейных изделий с применением физико-химических методов [1-4] в настоящее время приобретает всё большую актуальность и способствует повышению качества и сохранению его на всех стадиях жизненного цикла, расширению ассортимента новой продукции, эффективности процессов производства (снижение трудоёмкости операций, а, следовательно, и сокращение длительности производственного цикла, автоматизация и механизация процессов).

В настоящее время имеется широкий выбор объёмных утеплителей на базе синтетических материалов [5, с. 22-25]. Но наряду с синтетическими утеплителями продолжают использовать натуральный утеплитель – пух и перо водоплавающей птицы. В основном в качестве набивки пухового пакета утепленного изделия используются гусиный пух и перо, отличающиеся мягкостью, лёгкостью, теплопроводностью, упругостью, низкой гигроскопичностью, способностью быстро восстанавливать свой объем после деформационных нагрузок. Пакет имеет пористую структуру.

В структуру современного теплозащитного пакета утепленного пухового изделия входят материал верха, материал чехла пухового пакета, перо-пуховая смесь (ППС) различного количественного процентного и качественного ингредиентного составов,

подкладочная ткань. Установлено, что для современной пуховой одежды характерна в основном пятислойная структура, причём, наиболее часто встречаемый «композит» в одежде (3 группа по ГОСТу 30332-95 [6]) – пуховой наполнитель в «чехле», соединённый с основным материалом для стёгальных соединений, и удвоенный «композит» в области соединительного шва.

Материал верха представляет собой в основном мембранную ткань, либо ткань с пленочным покрытием, он сверхлегкий с очень плотным переплетением нитей. Ассортимент материалов, используемых в качестве ткани верха при изготовлении курток и демисезонных утепленных пальто, различается сырьевым составом. Материал имеет различные типы отделки: WR – водоотталкивающее покрытие и PU – полиуретановое покрытие, обеспечивающие ветрозащитные и водоотталкивающие свойства, CIRE – пуходержащее ветрозащитное покрытие, MILKY – полиуретановое покрытие, которое делает ткань менее прозрачной, придает дополнительную упругость; PA – полиамидное покрытие, обеспечивающее ветрозащитные и водоотталкивающие свойства, S (Silver) – полиуретановое покрытие с алюминиевым порошком, обеспечивающее водонепроницаемые свойства, защищающее от ультрафиолета, препятствующее миграции пуха, используемое как дополнение к PU и PA; PVC – поливинилхлоридное прорезиненное покрытие, обеспечивающее полную водонепроницаемость ткани и обладающее низкой тепло- и электропроводностью, высокой огнестойкостью.

Для изготовления утепленной одежды в настоящее время всё чаще используют готовые пуховые пакеты с ППС внутри. Используемые в качестве материала чехла пуходержащие ткани тонкие, но очень плотные и прочные, обладают высокой воздухопроницаемостью и водоупорностью, в качестве отделки используется двухстороннее каландрирование.

В настоящее время большинство предприятий для изготовления и быстрого и точного наполнения пухового пакета ППС используют специальное оборудование, но ручная набивка до сих пор присутствует на ряде предприятий. Для получения качественного наполнителя для изделия на ППУ необходимо проведение большого количества операций предварительной подготовки сырья. В этой области исследований проводится работа, результатом которой является качественный, гигиеничный, теплозащитный, легкий, безопасный, антимикробный утеплитель, состоящий из ППС различного ингредиентного состава. Отдельные элементы смеси должны быть сформированы в удобный готовый для использования в изделиях пуховой пакет, позволяющий применять различные технологии изготовления пуховых изделий.

Для качественного изготовления утепленных изделий необходимо учитывать ряд свойств натурального пуха, отличающих его от других видов наполнителей – строение пуха, хаотичное расположение его в пакете пухового утеплителя, способность к миграции на поверхность изделия через элементы ниточного соединения (шов, строчка). К настоящему моменту разработаны методики проектирования и изготовления изделий на ППУ, различные конструкции пуховых пакетов, способствующие получению качественного пухового изделия. В [7] пакеты принято разделять по количеству слоев ткани: двухслойный, двухслойный с переборками, трехслойный, четырехслойный. Эти пакеты имеют разную тепло- и ветрозащиту, для их заполнения требуется различное количество пуха. Пуховые пакеты имеют форму деталей изделий с припусками на обработку по всем срезам 1,2 см. При изготовлении изделий на ППУ формирование пухового пакета осуществляют несколькими известными на данный момент способами: стачивание деталей чехла с последующим заполнением пуховой смесью и соединением пакета стегальными строчками (или свариванием, склеиванием); либо стачивание деталей чехла с одновременным простёгиванием пакета, и последующим заполнением пуховым наполнителем. Причём, строчки простёгивания располагаются как в горизонтальном, так и в вертикальном положении. При вертикальном простёгивании возникает опускание ППС вниз пакета, что ухудшает его теплозащитные свойства. Также известны способы формирования

универсального теплоизоляционного пакета с переборками или П-образными карманами [8]. Достоинства данного способа: это самый «теплый» вариант - между пуховыми перегородками пух распределен равномерно, швов нет, везде одинаковая толщина пухового утепления. Вместе с тем, при использовании для производства изделий пуховых пакетов данной конструкции сокращается модельный ряд изделий, поскольку отсутствует возможность применения стегальных декоративных отделочных строчек.

В пуховых изделиях как неотъемлемый атрибут современной модной утепленной одежды присутствуют стёгальные строчки, являющиеся беспрепятственным элементом для миграции ППС.

Учитывая имеющийся опыт и достигнутый эффект обеспечения непроницаемости ниточных соединений в защитных изделиях специального назначения, решение поставленной проблемы может быть найдено в области поиска физико-химических способов обработки строчек. Для специалистов-швейников задача, состоящая в обеспечении непроницаемости швов, конкретизируется как разработка нового вспомогательного материала и технологии его применения. Решение поставленных задач актуально в связи с ориентацией развития российской науки в направлении импортозамещения материалов и технологий для развития отечественной промышленности [9, с. 22-27]. При этом необходимо обеспечить не только обеспечить минимальную трудоемкость изготовления изделий, но и энергоэффективность, экологическую безопасность и безвредность производства. Решение проблемы повышения непроницаемости ниточных соединений в одежде на ППУ, как показали проведенные исследования [10, с. 36-39], невозможно без разработки специального вспомогательного материала, способного обеспечить формирование ниточно-клеевых соединений, являющихся барьером для различных фракций ППУ. Учитывая сложность технологии изготовления утепленных изделий на ППУ, появляется необходимость обеспечения гармоничного встраивания в технологический процесс операций, позволяющих снизить проницаемость ниточных соединений для ППС. Возможны варианты осуществления способов получения соединений с помощью ВСПМ по нескольким схемам. На рис. 1 представлен процесс получения ниточно-клеевых соединений с пониженной проницаемостью для ППС.

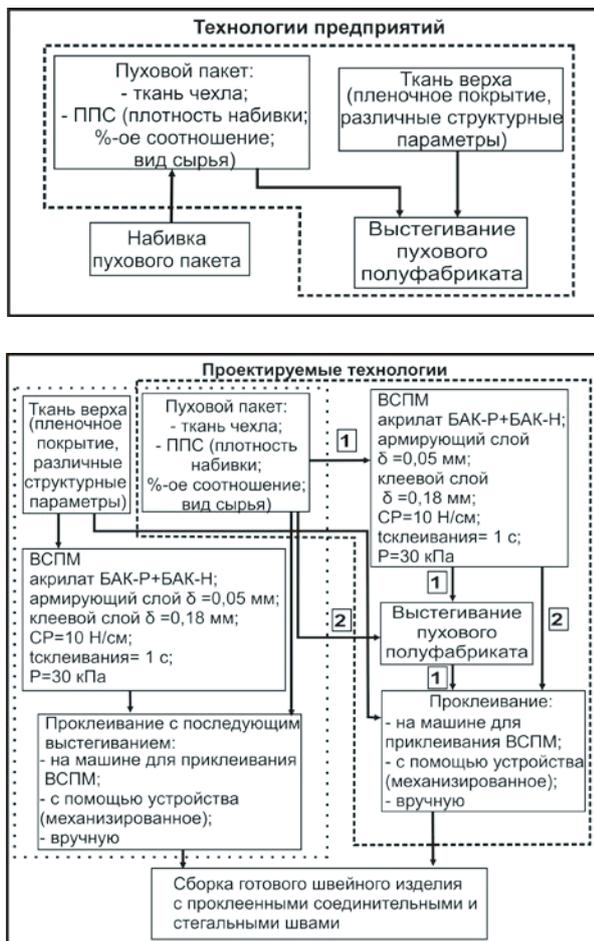


Рис. 1. Схема технологии получения ниточно-клеевых соединений с пониженной проницаемостью для ППС

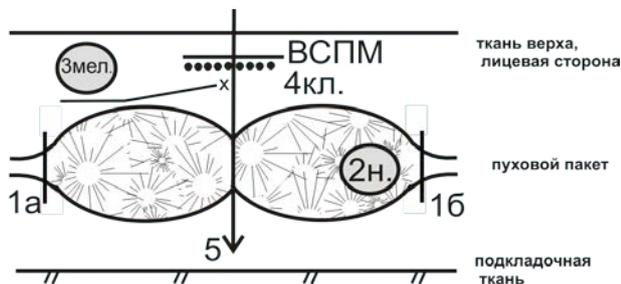


Рис. 2. Способ получения ниточно-клевого соединения с пониженной проницаемостью для ППС при проклеивании готового пухового пакета

Второй вариант получения ниточно-клевого соединения включает в себя те же операции, что и в первом случае, однако, приклеивание ВСПМ на ткань чехла по намеченным линиям, удаляя бумажный носитель, происходит до стадии набивки пухового пакета. Данный вариант предусмотрен для предприятий, на которых осуществляется ручной способ набивки пухового пакета, либо набивка осуществляется на самом предприятии. На рис. 3 представлены схемы получения ниточно-клевого способа соединения с пониженной проницаемостью для ППС при проклеивании ткани чехла до стадии формирования готового пухового пакета.

Нанесение ВСПМ необходимо на ткань чехла, либо ткань чехла и изнаночную сторону ткани верха для минимального изменения внешнего вида изделия. Пакет материалов для осуществления вариантов технологии приклеивания состоит последовательно из ткани верха, пухового пакета (готового, либо формируемого на заготовительной стадии процесса изготовления изделия), ВСПМ, подкладочной ткани. При первом способе получения пакета с пониженной проницаемостью для ППС учитывается традиционная технология изготовления утеплённых изделий на ППУ с применением сформированного готового пухового пакета.

Последовательность операций представлена на рис. 2. ВСПМ (клеевой слой с одной стороны) приклеиваем на ткань чехла (верхнюю деталь) по намеченным линиям, удаляя бумажный носитель, затем настрачиваем стегальную однолинейную строчку на сформированный пуховой пакет в пределах видимости границ ВСПМ. Технология адаптирована в технологическом процессе, является наиболее рациональной и эффективной, увеличение трудоёмкости изготовления изделия при данном способе составляет 6%.

Условные обозначения:

операция без буквенного обозначения (1,3,5) – стачивающая операция; кл. – клеевая операция; н. – операция по набивке пухового пакета перопуховой смесью; × – операция нанесения вспомогательной линии на ткань чехла

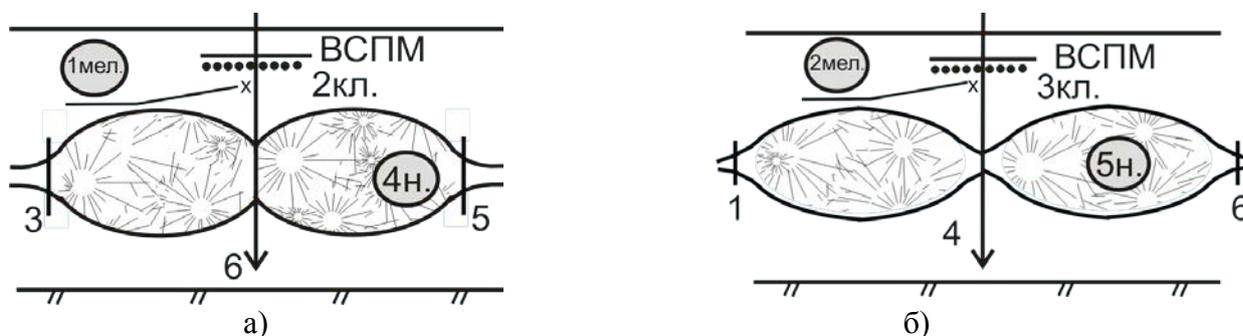


Рис. 3. Способ получения ниточно-клеевого соединения с пониженной проницаемостью для ППС при проклеивании ткани чехла до стадии формирования готового пухового пакета:  
 а) настрачивание стегальной строчки после набивки пухового пакета; б) настрачивание стегальной строчки на деталь верха основного материала (уложив его предварительно на ткань чехла) до операции набивки ППС пакета

Помимо ниточно-клеевых способов, исследованных ранее в работе, предложены также клеевые способы получения соединений без образования проколов пакета материалов. Данные методы целесообразно использовать в изготовлении утепленного изделия – клеевые соединения являются альтернативой ниточным стегальным операциям.

На рис. 4 представлены схемы получения клеевого способа соединения пухового полуфабриката с помощью ВСПМ с двухсторонним клеевым покрытием: в первом случае (рис. 4а) операция приклеивания ВСПМ на ткань чехла выполнена на стадии формирования пачек для пухового пакета, а на рис.4 б) приклеивание ВСПМ на готовый пуховой пакет.

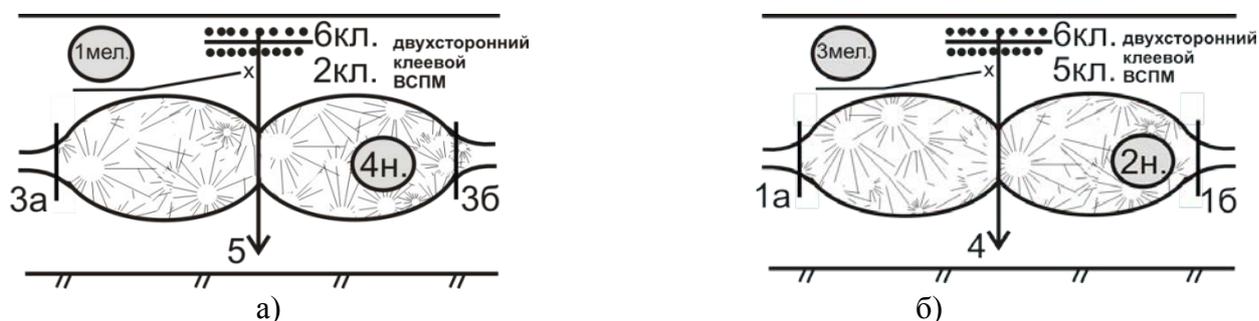


Рис. 4 Способ получения клеевого соединения с помощью двухстороннего клеевого ВСПМ (выстегивание пакета после набивки): а) приклеивание ВСПМ на ткань чехла до формирования пухового пакета; б) приклеивание ВСПМ на ткань чехла на стадии сформированного чехла пухового пакета

С помощью каждого из предложенных выше вариантов возможно снижение, а в последнем случае, исключение миграции ППС через ниточное соединение в одежде при перфорации пакета материалов. С учётом особенностей применения физико-химические методы должны быть внедрены в технологический процесс, без изменения условий осуществления операций и введения новых технологических приёмов.

Основными преимуществами разрабатываемого способа независимо от варианта осуществления технологии являются:

- снижение проницаемости ниточных соединений одежды для ППС, в том числе и в процессе ее эксплуатации, за счёт того, что ВСПМ в своей структуре имеет клеевой самоклеящейся слой, клеевые свойства которого максимально проявляются после образования ниточно-клеевого соединения путем релаксации отверстия прокола в ВСПМ и «затекании» этого отверстия. Это происходит за счёт того, что при нормальной температуре  $t = 20-25 \text{ }^\circ\text{C}$  клеевой слой находится в вязкотекучем состоянии, он способен «залечивать» отверстия, таким образом обеспечивая непроницаемость (блокирование) ниточных соединений для ППС, испытывающих деформационные нагрузки в носке и при уходе за изделием;

- отсутствие вредной нагрузки на окружающую среду и работающего вследствие того, что приклеивание ВСПМ осуществлялось за счет ее липкости и не требовало, кроме наличия минимального давления, создаваемого при прижиге стачиваемого пакета лапкой швейной машины порядка 20-30 кПа, никакого другого воздействия и необходимости применения других физических или химических агентов. Адгезионная прочность ниточно-клеявого соединения является основным свойством, от которого зависят долговечность и надежность соединения;

- универсальность применения ВСПМ в любом месте детали и изделия без изменения его внешнего вида, т.к. ВСПМ располагается всегда между слоями деталей верха и контактирующей с ней поверхностью чехла готового пухового пакета, как внутри площади детали в любом ее месте, так и по ее срезам, исключая при этом необходимость размещения ВСПМ на лицевой поверхности детали и изделия, что способствует полному сохранению неизменным внешнего вида изделия.

Таким образом, разработанная технология получения непроницаемых для ППС ниточно-клеявых соединений с помощью вспомогательного самоклеящегося пленочного материала не влияет на внешний вид швейных изделий на перо-пуховом утеплителе, не требует для реализации дорогостоящего оборудования и эффективна.

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

*Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Метелевой О.В.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белова, И.Ю. Технологические аспекты обработки изделий из композиционных материалов, содержащих специализированные нанослои металлов / И.Ю. Белова, Е.Е. Бабашова, В.В. Веселов // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 2013. – № 5. – С. 90-97.
2. Метелева, О.В. Самоклеящийся материал как основа формирования непроницаемого соединения в одежде / О.В. Метелева, Е.В. Дьяконова, Л.И. Бондаренко // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти, 2014. - № 5 (353). – С. 105-108
3. Сурикова, М.В. Соединение защитных материалов при использовании самоклеющегося пленочного материала / М.В. Сурикова, О.В. Метелева, Е.И. Коваленко // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 2013. – № 5(347). – С. 101-104.
4. Белова, И.Ю. Разработка технологии дифференцированного по свойствам ниточного соединения [Текст] / И.Ю. Белова, Т.С. Бубнова, В.В. Веселов // Известия вузов. Технология текстильной пром-сти. – 2011. – № 2. – С. 72-77.
5. Фомченкова, Л. Н. Современные нетканые объемные утеплители для верхней одежды [Текст] / Л. Н. Фомченкова // Швейная промышленность. 2014. N 6. С. 22-25
6. ГОСТ 30332-95/ ГОСТ Р 50576-93 «Изделия перо – пуховые. Общие технические условия»
7. Бринк, И.Ю. Ателье туриста [Текст] / И.Ю. Бринк, М.П. Бондарец, – М.: Физкультура и спорт, 1990. – 121 с.
8. Пат. 2112410 Российская Федерация, МПК А41D31/02, А47G9/02. Способ получения универсального теплоизоляционного пакета / Бескорвайный В.В., Бескорвайная Г.П., Пивоваров Ю.Н., Бут Э.В.; заявитель и патентообладатель Донская государственная академия сервиса. - №94013600/12; заявл. 18.04.1994; опубл. 10.06.1998, Бюл. № 3. – 1 с.: ил.
9. Марченко, Е.М. Развитие текстильной и швейной промышленности как одно из направлений повышения энергоэффективности региональной экономики / Е.М. Марченко, Т.Д. Белова // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. 2015. – № 4(358). – С. 22-27.

10. Матвеева, Е.В. Влияние параметров образования ниточной строчки на миграцию перопуховой смеси в швейных изделиях [Текст] Е.В. Матвеева, О.В. Метелева // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2011. - № 1. - С. 36 – 39.

УДК 628.511:004.942

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАШЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ВОЗДУШНЫХ СЕПАРАТОРАХ**

### **THE MATHEMATICAL MODELING OF CLEARING OF TURBULENCE IN AIR SEPARATORS**

Н.Е. Егорова<sup>1</sup>, С.А. Егоров<sup>2</sup>  
N.Ye. Yegorova<sup>1</sup>, S.A. Egorov<sup>2</sup>

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России  
Ивановский государственный политехнический университет  
FedeIvanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters  
Ivanovo State Polytechnics University

Рассматривается процесс снижения турбулентности воздушных потоков, подаваемых на сепарацию. Для гашения турбулентных пульсаций предлагается применять вязкоупругое покрытие. Физико-технологические показатели покрытия оказывают непосредственное влияние на поведение воздушных потоков. Чтобы подобрать подходящие характеристики покрытия и оценить степень гашения турбулентности, предлагается провести численный эксперимент. Эксперимент должен базироваться на математической модели предлагаемого гасителя турбулентности. В работе подробно рассматриваются этапы построения данной математической модели и предлагается алгоритм ее применения для оценки эффективности гасителя турбулентности.

**Ключевые слова:** очистка воздуха от пыли, воздушный сепаратор, турбулентность, гашение турбулентности, математическая модель, волновое уравнение, численный эксперимент

The process of reducing the turbulence discusses of air flow supplied to the separation. It is proposed to apply a viscoelastic coating for damping of the turbulent pulsations. Physico-technological characteristics of the coating have a direct impact on the behavior of air flow. It is proposed to conduct a numerical experiment to select suitable properties of the coating and to estimate the degree of damping of turbulence. The experiment should be based on a mathematical model of the proposed damper of turbulence. The stages of construction of this mathematical model and the algorithm of its application for assessment of the effectiveness of damping of turbulence is discussed in details in the paper

**Keywords:** Air cleaning from dust, air separator, turbulence, damping of turbulence, mathematical model, numerical experiment

В текстильной промышленности при выполнении технологических процессов сталкиваются с выделением пыли. В некоторых пылеочистителях используют сепараторы, в которых происходит пылесажение. На эффективность работы сепаратора влияет скорость воздушных потоков. Турбулентные воздушные потоки, возникающие в процессе очистки воздуха от пыли, отрицательно влияют на эффективность работы сепаратора. [1].

Для гашения турбулентности уменьшают скорость подачи запыленного воздуха в сепаратор, т. к. с возрастанием скорости ламинарное движение теряет свою устойчивость; при этом любые случайные малые возмущения, которые вначале вызывали лишь малые колебания вокруг устойчивого ламинарного движения, начинают быстро развиваться и приводят к турбулентному движению. Минусом такого способа гашения турбулентности является малая пропускная способность сепаратора, а значит большие потери во времени.

Малый уровень турбулентных пульсаций частично достигается предотвращением отрывов потока на поворотах и в расширениях проточной части азотрубы, а также путем создания схемы, работающей на свободное всасывание практически не возмущенного потока из очень большого помещения, объем которого значительно превосходит объем проточных частей установки [2].

Частичное гашение турбулентности также можно достичь при установке специальных детурбулизирующих устройств (сеток). Согласно [3], затухание турбулентности описывается выражением:

$$\langle u^2 \rangle = \langle u_0^2 \rangle \left( 1 + 0,58 \frac{\sqrt{\langle u_0^2 \rangle}}{U_{cp}} \frac{x - x_0}{L_0} \right), \quad (1)$$

где  $\langle u_0^2 \rangle$  и  $\langle u^2 \rangle$  – интенсивность турбулентных пульсаций соответственно в точках  $x_0$  и  $x$ ;  $L_0$  – интегральный масштаб турбулентности, пропорциональный размеру  $M$  ячеек детурбулизирующих сеток;  $U_{cp}$  – средняя скорость потока.

Анализируя выражение (1) можно сделать вывод, что чем мельче детурбулизирующие сетки, тем минимальнее возможный масштаб турбулентности после системы детурбулизации. Низкую степень турбулентности также обеспечивают большие расстояния  $x - x_0$  от детурбулизирующих сеток до рабочего участка; при этом средняя скорость  $U_{cp}$  на этом расстоянии должна быть минимальной, что достигается созданием достаточно длинных форкамер, имеющих большие поперечные сечения.

Для гашения турбулентных пульсаций воздуха предлагается обтягивать внутренние стенки центробежного сепаратора упругой вязкой оболочкой [4, 5]. Турбулентный вихрь, натываясь на твердую неупругую стенку, отражается от нее, но при этом теряет очень незначительное количество энергии, то есть гашения турбулентности не происходит. Напротив, сталкиваясь с упругой вязкой стенкой, вихрь отражается от нее с гораздо меньшей скоростью, то есть происходит гашение пульсаций воздуха. Для более эффективного гашения турбулентности необходимо правильно подобрать технологические параметры гасителя (модуль упругости, вязкость, масса и пр.).

Для моделирования турбулентности воздуха используем колебания конечной струны. Будем считать, что чем больше максимальное отклонение струны от положения равновесия, тем больше сила пульсаций воздуха, и наоборот, чем меньше максимальное отклонение струны, тем меньше энергия турбулентных пульсаций (рис. 1).

Уравнение колебания струны выглядит следующим образом:

$$\rho \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = T \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где  $U$  – отклонение струны от положения равновесия,  $\rho$  – погонная плотность струны,  $T$  – натяжение струны.

Обозначив через  $c^2 = \frac{T}{\rho}$  – квадрат скорости распространения волны, можно переписать уравнение (2) в виде:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}. \quad (3)$$

Пусть на границе  $\Gamma_1$  струна закреплена жестко, а на границе  $\Gamma_2$  расположен гаситель колебаний, а значит и пульсаций воздуха (рис. 1). Тогда граничные условия будут выглядеть следующим образом:

$$U|_{\Gamma_1} = 0, \quad U|_{\Gamma_2} \text{ – гаситель колебаний.}$$

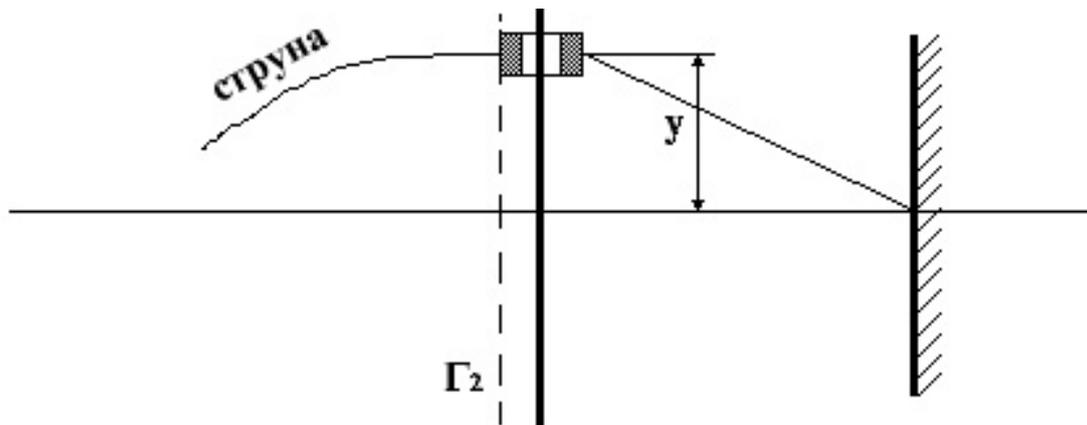


Рис. 1. Конструкция гасителя колебаний

Гасителем служит некоторое цилиндрическое тело массой  $m$ , к которому с одной стороны жестко прикреплена струна, а с другой стороны цилиндр упруго прикреплен к стенке. Из-за колебания струны цилиндр может передвигаться по вертикальному штырю. Так как гаситель обладает массой, вязкостью и упругостью, он препятствует колебаниям струны, и те постепенно затухают.

Уравнение, описывающее движение гасителя, предлагается использовать в следующем виде:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -c_1 y - \mu \frac{dy}{dt} - F, \quad (4)$$

где  $y$  – отклонение гасителя от положения равновесия,  $m$  – масса гасителя,  $c_1$  – упругость,  $\mu$  – коэффициент, пропорциональный вязкости,  $F$  – сила, действующая со стороны струны.

На рис. 2 показано, что на гаситель со стороны струны действует сила натяжения  $T$ . Но поскольку гаситель может двигаться только по вертикальному штырю, силу можно представить в виде произведения:  $F = T \cdot \sin \alpha$ .

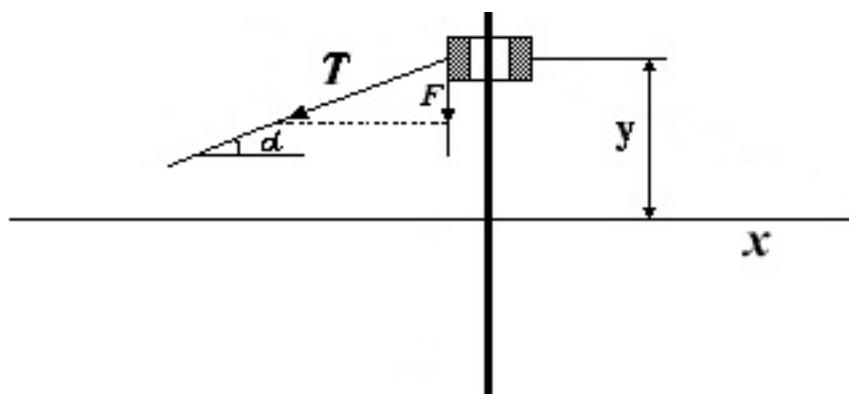


Рис. 2. Векторы сил, действующих на гаситель

При малых углах  $\alpha$  имеем, что  $\sin \alpha \approx \tan \alpha$ , поэтому выражение для силы можно переписать:  $F = T \cdot \tan \alpha$ . В свою очередь тангенс угла наклона касательной совпадает с

производной функции в точке касания, то есть  $\tan \alpha = \left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{\Gamma_2}$ , что позволяет окончательно

выразить силу, действующую со стороны струны:

$$F = T \frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{\Gamma_2} \quad (5)$$

Тогда граничное условие для уравнения (3) примет вид:  $U|_{\Gamma_2} = y$ .

Таким образом, для нахождения наиболее подходящих технологических параметров гасителя, требуется решить систему уравнений (3)-(5). Полученная система решается методом установления с применением явной разностной схемы.

Отрезок на оси  $x$  с границами  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  разбивается на  $n$  равных частей (рис. 3), при этом  $n=2m$ , где  $m \in \mathbb{Z}$ . Длину разбиения обозначается через  $h$ .

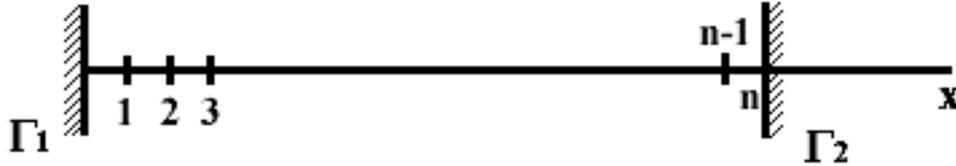


Рис. 3. Разбиение отрезка струны на интервалы

Тогда уравнения (3) – (5) в конечно-разностной схеме примут вид:

$$\frac{U_i^{k+1} - 2U_i^k + U_i^{k-1}}{\tau^2} = c^2 \frac{U_{i+1}^k - 2U_i^k + U_{i-1}^k}{h^2}, \quad \text{где } i = 1, \dots, n-1 \quad (6)$$

$$m \frac{y^{k+1} - 2y^k + y^{k-1}}{\tau^2} = -c_1 y^k - \mu \frac{y^{k+1} - y^k}{\tau} - F^k \quad (7)$$

$$t^{k+1} = t^k + \tau \quad (8)$$

$$F^k = T \frac{U_n^k - U_{n-1}^k}{h} - \text{силовое условие} \quad (9)$$

Преобразуем уравнения (6) и (7), перенеся в левую часть слагаемые, относящиеся к новому моменту времени. Получим:

$$U_i^{k+1} = 2U_i^k - U_i^{k-1} + \left(\frac{c\tau}{h}\right)^2 (U_{i+1}^k - 2U_i^k + U_{i-1}^k), \quad \text{где } i = 1, \dots, n-1 \quad (10)$$

$$y^{k+1} = \frac{\left(2 + \frac{\tau\mu}{m} - \frac{c_1\tau^2}{m}\right)y^k - y^{k-1} + \frac{\tau^2}{m}F}{1 + \frac{\tau\mu}{m}} \quad (11)$$

Из граничных условий к системе можно написать следующие дополнительные равенства:

$$U|_{\Gamma_1} = 0 \Rightarrow U_0 = 0, \quad (12)$$

$$U|_{\Gamma_2} = y \Rightarrow U_n = y.$$

Перед решением системы уравнений (8)-(12) задаются начальные условия. Если предположить, что в начальный момент времени струна находится в покое во всех точках разбиения, кроме одной, то

$$U_{i=\frac{n}{2}}^0 = 1, \quad U_i^0 = 0 \quad \text{при } i = 0, \dots, \frac{n}{2} - 1, \frac{n}{2} + 1, \dots, n.$$

Гаситель также пусть находится в покое:  $y^0 = 0$ .

Для выполнения первого шага вычислений и расчета  $y^i$  и  $U_i^1$ , при  $i = 1, \dots, n$ , положим, что  $y^{-1} = y^0$  и  $U_i^{-1} = U_i^0$ , где  $i = 1, \dots, n$ .

Таким образом, для начала вычислений все данные подготовлены. Теперь необходимо решить вопрос о завершении итерационного процесса. Логично прекратить вычисления, когда полная энергия системы будет близка к нулю, то есть струна и гаситель окажутся в состоянии покоя. Поэтому при каждой итерации необходимо вычислять максимальное отклонение струны от положения равновесия.

$$U_{\max}^k = \max_{i=1, \dots, n} |U_i^k|$$

Вычисления можно будет считать законченными, если максимальные отклонения  $U_{\max}^k < \varepsilon$  и  $U_{\max}^{k+1} < \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  – малая константа в условии прекращения вычислений. В программе вычисления прекращаются, когда максимальные отклонения в  $k$ -тый и  $k+1$ -ый моменты времени будут меньше  $3 \cdot 10^{-3}$ .

Численный эксперимент показал, что построенная модель гашения колебаний струны позволяет исследовать влияние турбулентности на эффективность пылеулавливания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сусоева И.В., Букалов Г.К. Оценка пожарной опасности технологического процесса получения хлопчатобумажной пряжи путём анализа дисперсности пыли // Технология текстильной промышленности. – 2015, № 5 (359). С. 206.
2. Репик Е.У. Управление уровнем турбулентности потока / Е.У. Репик, Ю.П. Соседко. – М: Физматлит, 2002. – 224 с.
3. Дербунович Г.И. Оптимальные условия управления интенсивностью турбулентности потока с помощью сеток / Г.И. Дербунович, А.С. Земская, Е.У. Репик, Ю.П. Соседко. – Сб.: Механика неоднородных турбулентных потоков. – М.: Наука, 1989. – 124 с.
4. Математическое моделирование рассеивания пыли в турбулентном воздушном потоке/ Ф.Н. Ясинский, Н.Е. Егорова// Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2002. – № 2. – С. 111-114.
5. Математическая модель гашения турбулентности при помощи вязкоупругих пленок/ Ф.Н. Ясинский, С.Г. Сидоров, Н.Е. Егорова// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003. – № 3. – С. 112-115.

## О ПРОЕКТИРОВАНИИ БИАКСИАЛЬНЫХ ОСНОВОВЯЗАНЫХ СТРУКТУР ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

### DESIGN OF BIAxIAL WARP KNITTING FABRIC FOR TECHNICAL USING

В.В. Капралов, Е.Н. Никифорова, Р.Р. Аллямов, Т.Ю. Никитина  
V.V. Kapralov, E.N. Nikiforova, R.R. Alyamov, T.Yu. Nikitina

ООО «УЛЬТРАСТАБ» (Тейково)  
Ивановский государственный политехнический университет  
ООО «ULTRASTAB» (Teukovo)  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail: kapralov@ultrastab.ru

**Важным вопросом в производстве биаксиальных полотен технического назначения является процесс выбора заправочных данных основовязального оборудования. Предлагается к широкому практическому использованию апробированный в производственных условиях метод проектирования биаксиальных основовязанных структур технического назначения.**

**Ключевые слова:** основовязальные машины, технический текстиль, биаксиальные полотна технического назначения.

**An important issue in the production of biaxially warp knitting fabric for technical using is a process of selecting filling parameters of warp knitting machine. In the work was developed and tested a adapted method for design a biaxial warp knitting fabric for technical using.**

**Keywords:** warp knitting machines, technical textile, biaxial warp knitting fabric for technical using.

В современном мире с каждым годом растет доля использования текстильных материалов технического назначения: для строительства дорог, зданий и сооружений, в машиностроении, производстве композитов. Такие материалы выполняют армирующую роль для усиления инженерных конструкций [1,2]. У современного человека понятие «текстиль – трикотаж» ассоциируется, в первую очередь, со спортивной одеждой, бельем, чулочно-носочными изделиями. Вместе с тем, значительная часть материалов, вырабатываемых на трикотажных машинах, предназначена для применения не в быту, а в технике. Необходимо отметить, что увеличение технического трикотажа в Европе составляет около 10% в год и превышает прирост производства тканей [3,4].

Важной задачей в проектировании свойств биаксиальных основовязанных полотен технического назначения из основных и уточных нитей, соединенных грунтовой нитью, является создание адаптированной для использования в производственном процессе методики прогнозирования физико-механических свойств таких полотен (поверхностной плотности, разрывных характеристик) [5,6]. В условиях производственного процесса, зачастую, нужную заправку машины под требуемый новый ассортимент продукции получают опытным путем, лишь затем создают заправочную карту оборудования под уже получившееся полотно. Таким образом, существует необходимость в разработке инженерного алгоритма (метода) проектирования биаксиальных армирующих структур технического назначения.

По итогам выполнения в 2015 году гранта немецкой службы академических обменов DAAD и Минобрнауки России на тему «Проектирования свойств биаксиальных армирующих структур для строительных конструкций» (грантополучатель – ФГБОУ ВО «ИВГПУ», руководитель проекта – к.т.н., доц. Капралов В.В.) в текстильном вузе Германии (ИТА, г. Аахен) специально для оперативного использования технологами в условиях реального производства разработан метод проектирования биаксиальных основовязанных армирующих полотен технического назначения. В расчете задействованы только базовые

технические параметры основовязальных машин и параметры основных и уточных нитей (класс машины, плотность петельной структуры по вертикали, размер ячейки, линейная плотность нити, удельная разрывная нагрузка нити).

Новый метод апробирован на основовязальных машинах Карл-Майер и Либа с функцией прокладывания утка и признан пригодным к использованию на производствах специалистами машиностроительного завода Карл-Майер-Малимо (г. Хемниц), а также получил письменное одобрение со стороны аахенского текстильного института. Методика является в достаточной степени достоверной и простой в использовании, может быть применена на любом типе основовязальных машин с прокладыванием уточных нитей, скрепленных нитями грунта значительно меньшей линейной плотности.

При проектировании биаксиальных основовязанных структур исходные данные (класс машины, линейную плотность нити) и промежуточные данные (раппорт заправки по основе и утку, плотность петель по вертикали или число петель на 1 см) можно варьировать, тем самым достигая параметры полотна с различными разрывными нагрузками и размером ячейки (если таковые имеются в полотне). Предлагаемый метод состоит из следующих шагов:

- задается класс машины, который показывает число игл на 1 дюйм игольницы;
- рассчитывается число игл на 1 метр игольницы (общее число основных нитей);
- задается размер ячейки (выбирается заправка:  $Ч_1$  – число заправленных нитей и  $Ч_2$  – число не заправленных нитей как по основе так и по утку, которые формируют размер ячейки с учетом расстояния между иглами. Например, для 6 класса основовязальных машин расстояние между иглами  $P_{и} \approx 4$  мм. В некоторых случаях, для полной заправки, ячейку вообще не проектируют;
- рассчитывается коэффициент заполнения  $K_3$  нитями полотна;
- вычисляется общая линейная плотность основных и уточных нитей на 1 метр полотна;
- вычисляется число заправленных нитей основы/утка на 1 метр полотна;
- вычисляется разрывная нагрузка полотна на 1 метр, основа/уток;
- вычисляется поверхностная плотность полотна (учитывая коэффициент, зависящий от типа переплетения грунтовой нити). Грунтовая нить не участвует в расчете разрывных нагрузок.

Вычисления, выполняемые в таблице Excel, по всем шагам взаимосвязаны между собой, что позволяет, изменив один из параметров (например, линейную плотность пряжи или число петель на 1 см), получить на выходе проектируемую разрывную нагрузку (рис. 1).

	A	B	C	D
1	Название образца	Сетка 1	Сетка 2	Сетка 3
2	Линейная плотность основной нити (общая), Текс	4400	2200	2200
3	Число игл в машине на 1 метр	236,2204724	236,2204724	236,2204724
4	Удельная разрывная нагрузка нити, Н/текс	0,7	0,7	0,7
5	Число заправленных нитей основы по раппорту	1	1	3
6	Число не заправленных нитей основы по раппорту	6	6	6
7	Число заправленных нитей основы в 1 метре	33,74578178	33,74578178	78,74015748
8	Класс машины	6	6	6
9	Абсолютная прочность основы, кН/метр	103,9370079	51,96850394	121,2598425
10	Линейная плотность уточной нити (общая), Текс	2200	2200	2200
11	Число заправленных нитей утка по раппорту	4	2	3
12	Число не заправленных нитей утка по раппорту	20	22	9
13	Плотность петель на 1 см по вертикали (для геотекстиля от	4	4	3,5
14	Общее число утка в 1 метре	100	200	116,6666667
15	Число заправленных нитей утка в 1 метре	66,66666667	33,33333333	87,5
16	Абсолютная прочность по утку, кН/метр	102,6666667	51,33333333	134,75
17	Коэффициент переплетения 3-4,5 (усредненно 4 для "цепочка")	4	4	4,5
18				
19	Линейная плотность провязочной нити, Текс	32	32	32
20	Поверхностная плотность полотна, г/м <sup>2</sup>	299,4675668	151,8935133	377,0669291
21				
22	Коэффициент заполнения нитью по утку	0,166666667	0,083333333	0,25
23	Коэффициент заполнения нитью по основе	0,142857143	0,142857143	0,333333333
24				
25	Перевод размера ячейки в заправку, Число не заправленных нитей основы формируют ширину ячейки, Чно	5,952380952	5,952380952	5,952380952
26	Игольный шаг машины 6 класса, мм	4,2	4,2	4,2
27	Проектируемая ширина ячейки- а (по основе, задаемся), мм	25	25	25
28	Высота ячейки - b, мм	50	55	25,71428571
29				

Рис. 1 Рабочее окно программы для проектирования биаксиальных основовязанных структур

На рис. 2 представлен образец изготовленного геосинтетического полотна с основными 1, уточными 2 и грунтовыми 3 нитями (с битумной пропиткой слева и без пропитки справа). Параметры а – высота ячейки (число пропущенных в заправке нитей по вертикали), b – ширина ячейки (число пропущенных в заправке нитей по основе или по горизонтали).

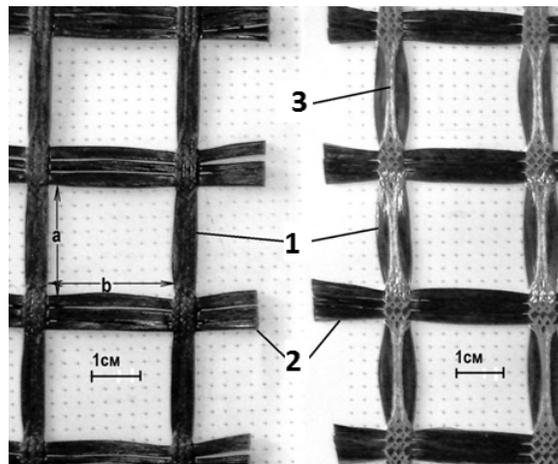


Рис. 2 Биаксиальный геосинтетический материал

Таким образом, предложен адаптированный для производителей метод проектирования биаксиальных армирующих структур на основе задания технико-технологических характеристик оборудования и физико-механических свойств сырья. Метод позволяет легко варьировать заправочными данными и получать требуемые поверхностную плотность и разрывные нагрузки полотна.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интернет ресурс <http://pandia.ru/text/77/415/82292.php> (доступ 11.04.2016).
2. Башкова, Г.В. Тенденции инновационного развития высокотехнологичного текстильного оборудования / Г.В. Башкова, Г.И. Чистобородов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008. – №4. – С. 115-117.
3. Интернет ресурс:  
[http://mgutm.ru/jurnal/tehnologii\\_21veka/eni\\_6\\_chat2/section\\_2/eni6\\_chast2\\_article\\_13.pdf](http://mgutm.ru/jurnal/tehnologii_21veka/eni_6_chat2/section_2/eni6_chast2_article_13.pdf)  
(доступ 15.09.2015).
4. Интернет ресурс <http://www.uncm.ru/files/uploaded/Karl%20Mayer.pdf> (доступ 11.04.2016).
5. Капралов В.В. Оптимизация технологических процессов трикотажного производства для выработки полотен технического назначения. – Иваново, изд-во МИК 2013. – 176 с. (ISBN 978-5-89222-124-5).
6. Бронз, Г.А. Особенности строения и проектирования основвязанных геотекстильных полотен / Бронз Г.А., Гусев К.А. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011. - № 4. – С. 96-101.

*Работа выполнена в рамках инициативного исследовательского проекта, поддержанного региональным конкурсом РФФИ на 2015-2016 гг. (проект 15-48-03188-р\_центр\_а).*

УДК 542.63:621.929

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИНТОВОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

#### MATHEMATICAL MODELING OF HELICAL FLOW OF FLUID IN A PIPE OF VARIABLE CROSS SECTION

С.О. Кожевников  
S.O. Kozhevnikov

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail: [kojevnikov\\_so@mail.ru](mailto:kojevnikov_so@mail.ru)

**В статье приведены результаты моделирования винтового движения жидкой среды в трубе переменного сечения. Для исследуемого процесса выполнен расчет однородного винтового потока в трубе переменного сечения.**

**Ключевые слова:** винтовое движение, труба переменного сечения, математическое моделирование.

**The article presents the simulation results of the helical motion of the fluid in the pipe with variable cross section. For the studied process the calculation of one-native helical flow in a pipe of variable cross section.**

**Keywords:** screw motion, the tube of variable cross section, mathematical modeling.

Одним из перспективных направлений развития химико-технологических процессов является получение материалов высокой дисперсности. Аппаратурное оформление получения материалов высокой дисперсности характеризуется наличием небольшого количества устройств. Анализ способов и конструкций аппаратов для получения материалов высокой дисперсности показал, что существующие методы энерго- и материалоемки и требуют дальнейшего совершенствования [1-2].

Одним из распространенных способов получения высокодисперсных материалов является гомогенизация. Существующие конструкции гомогенизаторов можно условно разделить на следующие типы: клапанный, сопловый и вихревой [2].

Наиболее перспективным является применение комбинированных гомогенизаторов, в которых жидкая среда проходит через различные типы конструкций, например, сопловый и вихревой. Такие устройства показали высокую степень гомогенизации продукта [3].

Гомогенизатор представляет собой цилиндрическую трубу, в которую по касательной вводится жидкая среда (рис. 1, а). В результате больших давлений и скоростей происходит интенсивная гомогенизация компонентов.

Данное конструктивное решение, на наш взгляд, имеет недостатки: высокая мощность подающих насосов и потеря скорости жидкости при движении вдоль цилиндрической трубки.

Альтернативой такому конструктивному решению является конструкция, приведенная на рис. 1, б.

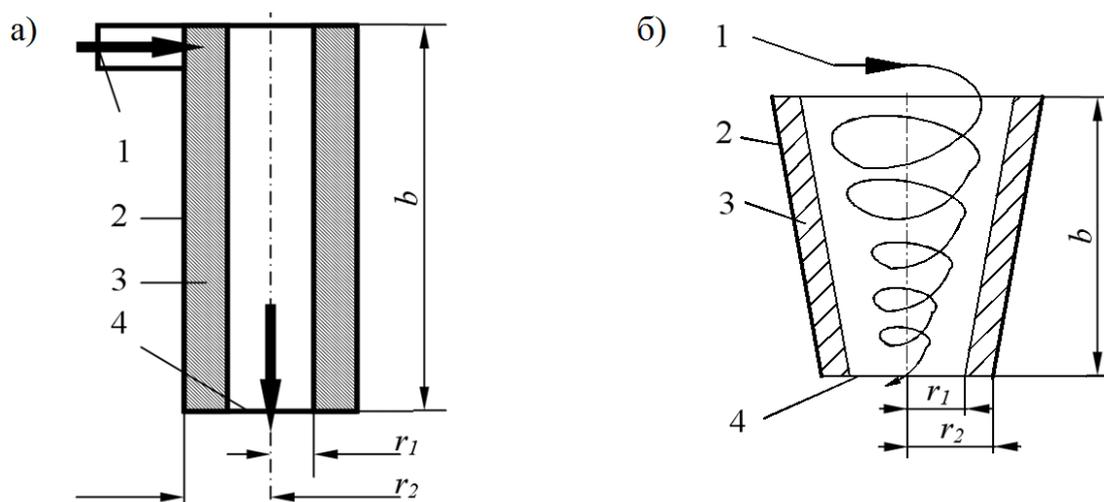


Рис. 1. Схемы винтового движения жидкостей:

- а) в трубе постоянного сечения; б) в трубе переменного сечения;  
 1 – тангенциальный ввод продукта; 2 – труба; 3 – профиль винтового потока; 4 – выходное отверстие

Жидкость, попадая в трубу переменного сечения, по касательной движется, постепенно набирая скорость, и на выходе скорость потока в несколько раз выше, чем на входе. Преимуществом такого решения по сравнению с цилиндрической трубой является то, что поток жидкости не теряет скорость, а наоборот ускоряется, что приводит к лучшему гомогенированию жидкой среды.

Особый интерес представляет математическое описание процесса винтового движения жидкости в трубе переменного сечения.

Представим движение жидкости в трубе переменного сечения в цилиндрической системе координат в виде двухпараметрического винтового потока, симметричного относительно оси  $z$  [4]

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + r \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + k^2 \psi = -D, \quad (1)$$

с граничными условиями:  $\psi(0,r) = \psi(b,r) = 0$ ;  $\psi(z,r_1) = \psi(z,r_2) = 0$ ,

где  $\psi$  – функция тока, м;  $r$  – текущий радиус, м;  $z$  – координата по высоте трубы, м;  $k$  – постоянная, равная удвоенному отношению модуля угловой скорости вращения частицы к модулю скорости ее перемещения.

Решение исходного уравнения, удовлетворяющее указанным граничным условиям можно представить в виде ряда Фурье. Для винтового потока, линеаризованного в первом приближении, получим:

$$\psi = \frac{4D}{\pi} \cdot \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n\omega_n^2} \Omega_n(r) \sin \frac{n\pi z}{b}; \quad (2)$$

$$v_r = D \left\{ \frac{1}{r} \left( \frac{b}{2} - z \right) - \frac{4b}{\pi^2 r_1} \sum_{n=1,3,\dots} \frac{1}{n^2} \frac{r_1}{r} [1 - \Omega_n(r)] \cos \omega_n z \right\}; \quad (3)$$

$$v_{\varphi r} = C + k\psi = C \left[ 1 + \frac{4k^2}{\pi} \sum_{n=1,3,\dots} \frac{1}{\pi\omega_n^2} \Omega_n(r) \sin \frac{n\pi z}{b} \right]; \quad (4)$$

$$v_z = \frac{4Db}{\pi^2 r_1} \sum_{n=1,3,\dots} \frac{1}{n^2} \Omega_n^*(r) \sin \omega_n z; \quad (5)$$

где  $v_r$  – радиальная составляющая скорости м/с;  $v_{\varphi}$  – окружная составляющая скорости м/с;  $v_z$  – осевая составляющая скорости м/с;  $D$  – постоянная;  $n$  – не чётное число,  $n=1,3,5,\dots$ ;  $\omega_n$  – пристенная продольная скорость, м/с;  $\Omega_n, \Omega_n^*$  – постоянные.

Пристенная продольная скорость

$$\omega_n = \frac{n \cdot \pi}{r_2 - r_1}. \quad (6)$$

Постоянные  $\Omega_n, \Omega_n^*$  определяются из уравнений

$$\Omega_n = 1 - \frac{r}{r_1} \frac{B_n I_1(\omega_n r) - C_n K_1(\omega_n r)}{A_n}; \quad (7)$$

$$\Omega_n^* = \frac{B_n I_0(\omega_n r) + C_n K_0(\omega_n r)}{A_n}, \quad (8)$$

где  $A_n, B_n, C_n$  – постоянные.

Значения постоянных  $A_n, B_n$  и  $C_n$  определяют из уравнений

$$A_n = I_1(\omega_n r_1) K_1(\omega_n r_2) - I_1(\omega_n r_2) K_1(\omega_n r_1); \quad (9)$$

$$B_n = K_1(\omega_n r_2) - \frac{r_1}{r_2} K_1(\omega_n r_1); \quad (10)$$

$$C_n = I_1(\omega_n r_2) - \frac{r_1}{r_2} I_1(\omega_n r_1), \quad (11)$$

где  $I_1(x); K_1(x); I_0(x); K_0(x)$  – функции Бесселя.

При практических расчетах значения аргумента бесселевых функций  $x=\omega_{пг}r$  оказываются обычно во втором и последующих членах ряда столь большими, что можно воспользоваться асимптотическими представлениями этой функции при  $x \rightarrow \infty$  [5]

$$I_n(x) \approx \frac{e^x}{\sqrt{2\pi x}}; K_n(x) \approx \sqrt{\frac{\pi}{2x}} \cdot e^{-x}, \quad (12)$$

По приведенным уравнениям был произведен расчет однородного винтового потока в трубке переменного сечения. Расчет потока произведен при следующих параметрах:  $r_1=0,01$  м,  $r_2=0,05$  м,  $b=0,08$  м. Распределение скоростей по ширине и длине потока в трубке переменного сечения приведено на рис. 2.

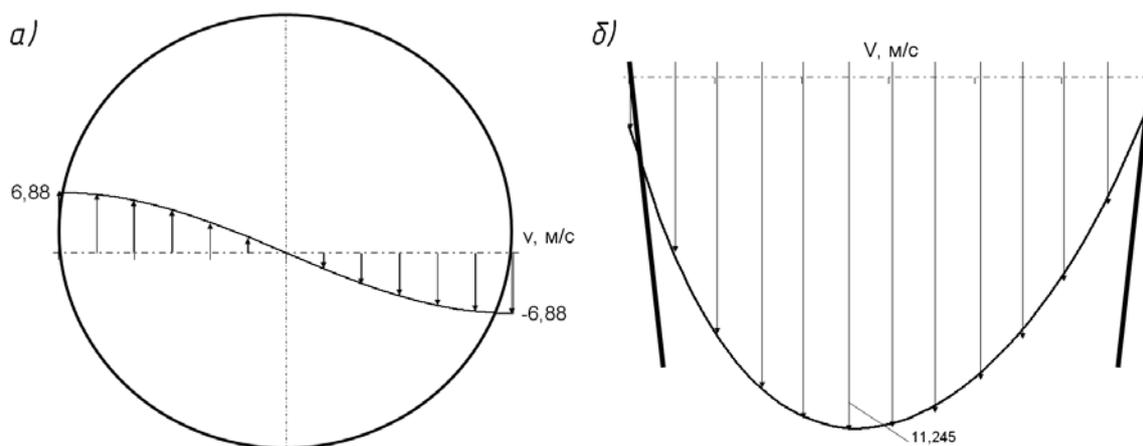


Рис. 2. Эпюры скоростей в трубке переменного сечения:  
а) осевая составляющая скорости; б) радиальная составляющая скорости

Полученные уравнения могут быть использованы при расчете скоростей потока в трубах переменного и постоянного сечения без учета физических свойств движущейся среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников С.О., Гуюмджян П.П. Методы диспергирования жидких сред Информационная среда вуза: Материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф./ Иван. гос. архит.-строит. акад. – Иваново, 2008. – С. 865-868.
2. Эмульсии. Под ред. Ф.Шермана. Пер. с англ. Под ред. А.А. Абрамзона. «Химия». Л.: 1972, 448 с.
3. Гуюмджян П.П., Кожевников С.О., Дельцова В.А. Движение жидкости в канале переменного сечения. Информационная среда вуза: Материалы X Междунар. науч.-техн. конф./ Иван. гос. архит.-строит. акад. – Иваново, 2003. с. 203-205.
4. Васильев О.Ф. Основы механики винтовых и циркуляционных потоков. М.-Л.: Госэнергоиздат. 1958. 144 с.

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАБОТКИ ОСНОВНЫХ НИТЕЙ ПО ЗАПРАВОЧНЫМ ПАРАМЕТРАМ ТКАНИ НА ТКАЦКОМ СТАНКЕ

### ANALYTICAL DETERMINATION OF OREBODY WARP TWIST TAKE-UP FOR THE ASSIGNED PARAMETERS OF THE FABRIC ON THE LOOM

Л.В. Кожевникова, С.О. Кожевников  
L.V. Kozhevnikova, S.O. Kozhevnikov

Ивановский государственный политехнический университет.  
Ivanovo state Polytechnic University  
E-mail: kojevnikova\_lv@mail.ru, kojevnikov\_so@mail.ru

Известная формула для определения величины уработки нитей в ткани содержит параметр величины волны изгиба, который затруднительно определить. Предложена методика определения уработки основных нитей в фоне ткани через заправочные параметры ткани, которая содержит легко определяемые члены выражения, такие как: плотности ткани, раппорт ткани, количество пересечек. Также представлена формула для расчета коэффициента наполнения ткани волокнистым материалом по основе.

**Ключевые слова:** уработка, коэффициент наполнения ткани волокнистым материалом, переплетение, ткань, нити основы.

Known formula to determine the value of orebody threads in the fabric contains parameter values of the wave bending, which is difficult to determine. The technique of the definition of orebody main thread to the background fabric through the filling parameters of fabric, which co-holds an easily identifiable members of the expressions, such as: fabric density, fabric pattern, number of peresechen. Also presents the formula for calculating the filling ratio fabric-loknistoy material basis.

**Keywords:** twist take-up, the coefficient filling fabric fiber material, weave, fabric, the warp threads.

Определением величины уработки основных нитей занимались многие отечественные и зарубежные ученые [1,2] по причине того, что уработка нитей оказывает существенное влияние на строение ткани и ее свойства. Существует множество различных методик определения уработки нитей, касающихся как вывода теоретических формул, так и эмпирических зависимостей для определения величины уработки в тканях с постоянными и переменными плотностями расположения нитей в ткани. Однако вопрос точного прогнозирования уработки основных нитей в ткани до настоящего времени является вопросом актуальным. Самое урабатываемое переплетение – полотняное, чем больше раппорт и чем меньше количество пересечек, тем меньше урабатывается нить в ткани.

Известно выражение [3] для определения уработки фоновых нитей:

$$a_0 = \frac{t_0(\sqrt{l_{y\phi}^2 + h_0^2} - l_{y\phi})}{t_0\sqrt{l_{y\phi}^2 + h_0^2} + (R_y - t_0)\frac{d_y}{K_{HY}}} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $t_0$  – среднее число пересечек, приходящихся на нить основы;  $l_{y\phi}$  – фактическая геометрическая плотность, мм;  $h_0$  – высота волны изгиба нити основы, мм;  $R_y$  – раппорт по утку переплетения фона ткани;  $K_{HY}$  – коэффициент наполнения ткани волокнистым материалом по утку.

Принимаем, что  $l_{y\phi} = \frac{100}{P_y}$  и  $\frac{dy}{K_{HY}} = \frac{100}{P_y}$ , тогда формула для определения уработки фоновых нитей примет следующий вид:

$$a_o = \frac{t_o \left( \sqrt{\left(\frac{100}{P_y}\right)^2 + h_o^2} - \frac{100}{P_y} \right)}{t_o \sqrt{\left(\frac{100}{P_y}\right)^2 + h_o^2} + (R_y - t_o) \frac{100}{P_y}} \cdot 100. \quad (2)$$

Классическая формула определения уработки основных нитей содержит параметр величины волны изгиба, который затруднительно определить, не зная порядок фазы строения ткани, поэтому найдем выражения для определения уработки основных нитей в ткани, которая имела бы легко определяемые члены выражения, такие как: плотности ткани, раппорт ткани, количество пересечек. Кроме этого, как известно, на уработку основных нитей влияют плотности обеих систем нитей, что не учитывается в формуле (2).

Выразим из выражения (2) высоту волны изгиба  $h_o$  :

$$h_o = \sqrt{\left( \frac{a_o \cdot (R_y - t_o) + 100t_o}{P_y \cdot t_o (1 - 0,01a_o)} \right)^2 - \left( \frac{100}{P_y} \right)^2}. \quad (3)$$

Как известно, и как видно из выражения (3) на величину уработки основы и, следовательно, на высоту волны ее изгиба влияет вид переплетения, а именно рапорт ткани по утку и среднее число пересечек по основе, чем больше среднее число пересечек по основе, тем больше уработка основных нитей. Таким образом, выбор вида переплетения кромки ткани является важным вопросом.

Известна формула для определения высоты волны изгиба основной нити [4]:

$$h_o = \sqrt{(d_o + d_y)^2 - l_o^2}, \quad (4)$$

$$\text{принимая } l_o = \frac{100K_{HO}}{P_o}, \quad (5)$$

где  $l_o$  – геометрическая плотность основной нити, мм;  $P_o$  – плотность ткани по основе, нит/дм;  $K_{HO}$  – коэффициент наполнения ткани волокнистым материалом по основе.

Приравняем выражения (2.23) и (2.24) и выразим уработку основных нитей  $a_o$  :

$$a_o = \frac{P_y \sqrt{(d_o + d_y)^2 - \left(\frac{100}{P_o} K_{HO}\right)^2} + \left(\frac{100}{P_y}\right)^2 - 100}{\frac{R_y}{t_o} + 0,01P_y \sqrt{(d_o + d_y)^2 - \left(\frac{100}{P_o} K_{HO}\right)^2} + \left(\frac{100}{P_y}\right)^2 - 1}. \quad (6)$$

Как видно из выражения (6), на уработку основных нитей оказывают влияние, наряду с линейными плотностями обеих систем нитей, переплетение, плотности ткани по основе и по утку, а также коэффициент наполнения ткани волокнистым материалом по основе.

Найдем выражение коэффициента наполнения ткани волокнистым материалом по

основе  $K_{HO}$  через технологические параметры заправки ткани на ткацком станке. Для этого рассмотрим геометрическую модель строения максимально уплотненной ткани, показанную на рис. 1, с целью уточнения выражения для определения коэффициента  $K_{HO}$ .

Ткани бытового назначения, как правило, формируются с порядком фазы строения ПФС от четвертого по шестой, при данных ПФС коэффициенты высот волн изгиба по основе равны:  $K_{ho4}=0,75$ ,  $K_{ho5}=1$ ,  $K_{ho6}=1,25$  [4].

Известна формула для расчета геометрической плотности ткани [4]:

$$l_O = d_{CP} \sqrt{4 - K_{ho}^2}, \quad (7)$$

$$d_{CP} = \frac{d_O + d_y}{2},$$

где  $d_{CP}$  – средний диаметр основных и уточных нитей, мм.

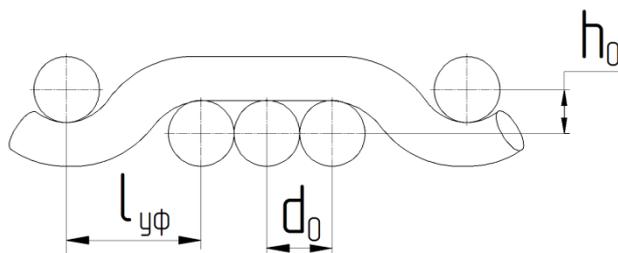


Рис. 1. Геометрическая модель ткани неплотняного переплетения

На рисунке 1 изображена геометрия строения ткани в разрезе вдоль уточной нити при максимальной плотности расположения нитей в ткани. Из данного рисунка можно представить геометрическую плотность ткани по основе следующим образом:

$$l_O = d_O + d_y \cdot \delta, \quad (8)$$

где  $\delta$  – коэффициент, определяющий изменение диаметра уточной нити в месте пересечки.

Приравняем выражения (7) и (8) и выразим коэффициент  $\delta$ :

$$\delta = \frac{d_{CP} \sqrt{4 - K_{ho}^2} - d_O}{d_y}. \quad (9)$$

Как видно из выражения (9), на коэффициент  $\delta$  в конечном счете оказывает влияние ПФС ткани через коэффициент высоты волны изгиба по основе.

Определим диапазон изменения коэффициент наполнения ткани волокнистым материалом по основе для тканей бытового назначения с ПФС ткани от четвертого по шестой. Известна формула для определения коэффициента  $K_{HO}$  [4]:

$$K_{HO} = \frac{P_O}{P_{Omax}} = \frac{P_O(l_O \cdot t_y + (R_O - t_y)d_O)}{100R_O}, \quad (10)$$

где  $l_0 = d_0 + d_y \cdot \delta$ .

Как известно, при определении величины коэффициента  $K_{HO}$  встает проблема нахождения геометрической плотности ткани, которая, как было отмечено ранее, зависит от порядка фазы строения ткани.

Определением порядка фазы строения ткани занимались многие ученые, широкое распространение получили формулы, выведенные В.А.Синицыным, Г.В. Степановым и Д.Е. Ефремовым. Формула Синицына по определению ПФС ткани учитывает плотности ткани, ее переплетение, а также уработку нитей в ткани. В нашем случае, когда требуется спрогнозировать величину уработки фоновых и кромочных нитей в ткани, использовать данную формулу было бы не корректно. В связи с чем для дальнейших исследований при определении ПФС ткани остановимся на формуле Г.В. Степанова.

Известны выражения для определения ПФС, предложенные проф. Г.В. Степановым [4]:

$$h_0' = \frac{P_0(d_0 + d_y)}{P_0 + P_y},$$

$$K_{ho} = \frac{h_0'}{d_{CP}}, \quad (11)$$

$$П_{\Phi} = 4K_{ho} + 1, \quad (12)$$

где  $П_{\Phi}$  – порядок фазы строения ткани.

Подставим выражение (11) в формулу (12):

$$П_{\Phi} = \frac{8P_0}{P_0 + P_y} + 1. \quad (13)$$

Найдем формулу для определения максимальной плотности ткани по основе  $P_{Omax}$  с учетом формулы Г.В. Степанова (13). Как известно коэффициент  $K_{ho}$  можно рассчитать по следующей формуле [4]:

$$K_{ho} = \frac{П_{\Phi} - 1}{4}. \quad (14)$$

Подставим в выражение (14) формулу (13) определения ПФС по Степанову, тогда:

$$\delta = \frac{(d_0 + d_y) \sqrt{4 - \left(\frac{2P_0}{P_0 + P_y}\right)^2} - 2d_0}{2d_y}. \quad (15)$$

Подставим в выражение (10) полученную формулу (15). Тогда формула для расчета коэффициента  $K_{HO}$  примет окончательный вид:

$$K_{HO} = \frac{P_0 \left( d_0 t_y + 0,5 t_y \left( (d_0 + d_y) \sqrt{4 - \left(\frac{2P_0}{P_0 + P_y}\right)^2} - 2d_0 \right) + (R_0 - t_y) d_0 \right)}{100R_0}. \quad (16)$$

Т.о., для определения уработки по формуле (6) коэффициент наполнения ткани по основе следует считать по формуле (16).

Как видно из выражений (6) и (16), для прогнозирования величины уработки основных нитей в фоне ткани достаточно знать плотности ткани по основе и по утку, линейные плотности основных и уточных нитей, рапорт переплетения и число пересечек.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевникова, Л.В., Авдусина, А.В., Карева, Т.Ю. Прогнозирование возможности формирования ткани с разноурabayaющимися нитями основы [Текст] / Л.В. Кожевникова, А.В. Авдусина, Т.Ю. Карева// Известия вузов, Технология текстильной промышленности №2. 2014. с. 56-59.
2. Авдусина, А.В., Кожевникова, Л.В., Грекова, Т.Е., Карева, Т.Ю. Прогнозирование возможности формирования ткани с разноурabayaющимися нитями основы [Текст] / А.В. Авдусина, Л.В. Кожевникова, Т.Е. Грекова, Т.Ю. Карева// Известия вузов, Технология текстильной промышленности №1. 2014. с. 16-21.
3. А.А. Мартынова, Г. Л. Слостина, Н.А. Власова. Строение и проектирование тканей. М., РИО МГТА, 1999. – 434 с.
4. Толубеева Г.И. Теория строения и проектирования тканей, основные положения и понятия: Учебник / Г.И. Толубеева, Т.И. Шейнова, Т.Ю. Карева, Р.И. Перов. – Иваново: ИГТА, 2012. – 228 с.

УДК 677.016.673.22

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДЕЖДЫ ИЗ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

#### CLOTHES DESIGN FROM IMPORT-SUBSTITUTING MATERIALS

А.В. Корнилович, Н.В. Доронина, О.Г. Ефимова  
A.V. Kornilovich, N.V. Doronina, O.G. Efimova

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnical University  
E-mail: ankorn-kshi@mail.ru, n\_doronina@mail.ru, olgaiivanovo@mail.ru

В статье приведены результаты исследований потребительских и технологических свойств основовязаного полотна с прокладкой в продольном направлении нитей шенилл. Выполнено обоснование эффективного применения импортозамещающих материалов «Air Soft» при изготовлении швейных изделий различного назначения. Рассмотрены особенности проектирования одежды из инновационных материалов. Предложено расширение функционального пространства новых материалов «Air Soft» с использованием принципов капсульного проектирования и приемов комбинаторики.

**Ключевые слова:** основовязаное ворсовое трикотажное полотно, полиэфирные нити и волокна, драпируемость, эластичность, деформация полотна, «двухсторонний эффект» эксплуатации изделий, приемы комбинаторики, плоский крой, коллекция моделей одежды.

The article presents the results of the research of consumer and technological properties of the warp-knitted fabric with a laying in the longitudinal direction of the chenille yarn. The rationale of effective application of import-substituting materials «Airsoft» in the manufacture of garments for different purposes was performed. The features of the clothing design from innovative materials were examined. Was proposed the extension of the functional space of new materials "AirSoft" using capsular design principles and methods of combinatorics.

**Keywords:** warp-knitted nappy fabric, polyester threads and fibers, drapability, elasticity, deformation of a fabric, «double-sided» effect of products exploitation, methods of combinatorics, flat cut, collection of clothes models

Стратегия развития современной экономики, ориентированная на увеличение доли отечественной продукции на российском розничном рынке до 50 % к 2020 году, ставит новые задачи перед специалистами, работающими в швейной индустрии. Одним из направлений реализации импортозамещения в легкой промышленности является проектирование многофункциональной одежды из новых материалов [1-3].

В данной работе реализован новый подход в проектировании одежды различного назначения из инновационных материалов «Air Soft», разработанных ООО «Протекс» (г.Иваново) при содействии Фонда развития промышленности и Министерства промышленности и торговли Российской Федерации в рамках проекта по импортозамещению. ООО «Протекс» станет первым производителем ворсовых трикотажных полотен из ПЭТФ в России (все производство полотна подобного качества находится за пределами России и новое производство станет уникальным для российской текстильной промышленности).

«Air Soft» представляет собой основовязаное полотно с прокладкой в продольном направлении нитей шенилл. На обеих сторонах полотна образован направленный ворс с различной длиной стрижки волокон. Полотно можно рассматривать как материал «dubl face», то есть двухлицевой. Выбор стороны полотна в качестве лицевой зависит от целей моделирования, конструирования и назначения проектируемого изделия.

В таблице 1 приведены результаты исследований потребительских и технологических свойств полотна «Air Soft».

Таблица 1

Результаты исследований потребительских и технологических свойств полотна "Air Soft"

Жесткость при изгибе, мкН см <sup>2</sup>		Драпируемость, %	Доли деформаций при одноцикловом растяжении					
			вдоль			поперек		
вдоль	поперек		быстрообратимая	медленнообратимая	Необратимая	быстрообратимая	медленнообратимая	Необратимая
7773	3816	60	0,90	0	0,10	0,25	0,01	0,74

В результате испытаний полотна было установлено следующее:

- жесткость при изгибе невысокая, причем вдоль полотна выше, чем поперек в 2 раза;
- драпируемость полотна достаточно высокая;
- общая деформация полотна в продольном направлении составляет 6 %, в поперечном – 28 %, то есть примерно в 5 раз выше;
- доля быстрообратимой (упругой) деформации в продольном направлении составляет 0,90 (90 %), тогда как в поперечном направлении – 0,25 (25 %);
- доля необратимой (пластической) деформации в продольном направлении 0,10 (10 %), тогда как в поперечном направлении - 0,74 (74 %);
- медленнообратимая (эластическая) доля деформация в обоих направлениях практически отсутствует.

Очевидно, что полотно обладает следующими потребительскими и технологическими свойствами: оно мягкое, гибкое, хорошо драпирующееся в продольном и поперечном

направлениях, легко растягивающееся в поперечном направлении, высоко упругое в продольном и высокопластифицирующееся в поперечном направлении.

Традиционное назначение данного материала - домашний текстиль (пледы, одеяла, чехлы для мягкой мебели). В ходе выполнения научных исследований проведено обоснование эффективного применения материалов при изготовлении швейных изделий, даны рекомендации по проектированию одежды из инновационных материалов:

1. Использование минимального количества швов (отсутствие боковых швов, капюшон, цельнокроеный с полочкой, спинка без среднего шва), цельнокроеного покроя рукава.

2. Увеличение диапазона прибавок в конструкции изделий. Например, в мужском халате (рис.1) прибавка к полуобхвату груди третьему (ПСг3) составляет 7,2 см, к ширине горловины (Пшгорл) - 1,5 см, к полуобхвату талии (ПСт) - 15 см, к ширине груди (Пшг) - 3,5 см, к ширине спины (Пшс) - 3 см. При этом прибавка к ширине проймы (Пшпр) - 1,2 см, что в три раза меньше, чем в базовой конструкции. Линия плеча понижена на 3,5 см. Посадка по окату рукава составляет 6 % (3,3 см), прибавка к обхвату плеча (Поп)=20 см.

3. Использование возможностей свойств полотна «Air Soft», в том числе пластичности, и драпируемости, для моделирования четких линий по краю борта и деталей с криволинейными линиями, например, карманов и воротников. При этом, в готовых изделиях отсутствуют перекосы и деформация по швам, что не маловажно при адресном проектировании одежды различного назначения [4,5].

В результате исследования получены диапазоны прибавок для двадцати изделий молодежного ассортимента увеличенных объемов и различным конструктивным решением.

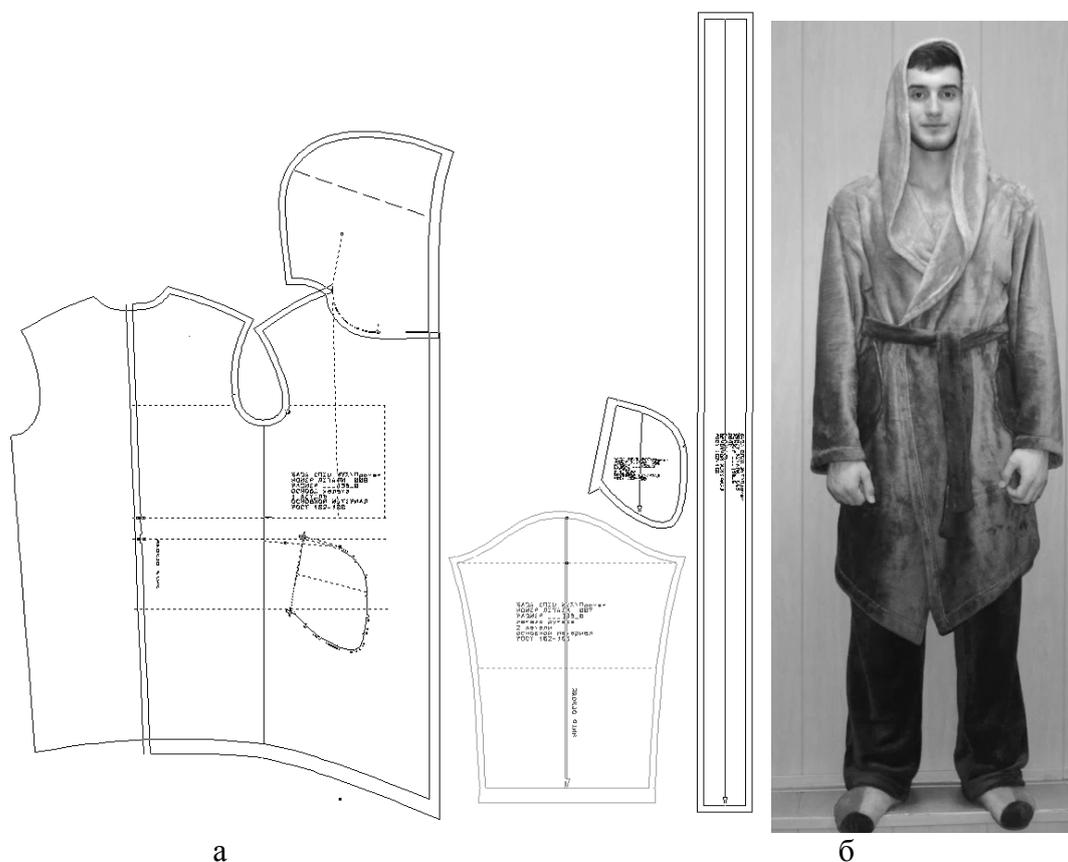


Рис.1 Халат мужской 182-100-88 из полотна «Air Soft»:  
а) лекала деталей халата, б) готовое изделие

Концепция дизайн-проекта коллекций молодежной домашней одежды – расширение функционального пространства новых материалов «Air Soft» с использованием принципов

капсульного проектирования и приемов комбинаторики [1]. Отправной точкой формирования идеи коллекции послужило традиционное назначение данных материалов и ощущения, которые они вызывают - комфортность, уютность, теплота. Результатом дизайнерской разработки являются коллекции молодежной домашней одежды, легко трансформируемые в мини-пледы, благодаря использованию оригинального конструктивно-технологического решения: сочетания «плоского кроя» и технологических методов обработки, обеспечивающих «двухсторонний эффект» эксплуатации изделий. Образно-эмоциональное решение коллекции, выполненное в соответствии с модными тенденциями 2017 года в русском стиле [1], усиливает актуальность и потребительскую привлекательность разработанных моделей одежды.

Безусловным положительным аспектом данной работы является ее научно-практическая и социальная значимость. Разработанные коллекции являются результатом творческого и научно-производственного сотрудничества кафедры конструирования швейных изделий Текстильного института ИВГПУ, ООО «Протекс» (г.Иваново), «Ивановского детского дома «Звездный». Совместный проект открывает новые возможности сотрудничества с текстильными предприятиями с целью расширения ассортимента и продвижения отечественных материалов.

Коллекции моделей домашней молодежной одежды из импортозамещающих материалов «В русских традициях» и «Руки в соке» были представлены на XXIII Международном "Текстильном салоне - 2015" "Иваново - город моды" (рис.2) и награждены золотой медалью «За новые инновационные разработки».



а



б

Рис.2 Коллекции моделей домашней молодежной одежды из импортозамещающих материалов: а) «В русских традициях», б) «Руки в соке»

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новикова К.М., Дмитриева В.С., Марычева А.А., Малинская А.Н., Доронина Н.В., Корнилович А.В. Разработка коллекции моделей молодежной одежды из инновационных материалов// Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК-2016): сборник материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. Часть 1. – Иваново: ИВГПУ, 2016. С.135-136.
2. Корнилова Н.Л., Чистобородов Г.И., Федосов С.В. Будущее отрасли – технический текстиль, функциональные материалы с новыми или улучшенными эксплуатационными свойствами\*// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. - №4 (352). - С.24 – 28.
3. Гусев Б.Н., Метелева О.В., Петрухин А.Б., Матрохин А.Ю., Карева Т.Ю. Стратегия научно-методического и технического обеспечения выпуска тканей и изделий из натуральных и синтетических волокон// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 6.
4. Го Мэна. Прогнозирование объема и комфортности систем "фигура-платье" из разных материалов/ Мэна Го, В.Е.Кузьмичев// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. - №1 (349). - С.129 – 136.

5. Доронина Н.В., Кайнова Е.А., Жукова И.В. Проектирование верхней плечевой одежды на мужские фигуры особо больших размеров//В мире научных открытий. -2015. № 4. 1 (64).- С. 607-617.

УДК 687

## **НОВЫЙ ПОДХОД К ПРИНЯТИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В РАМКАХ ИНТЕГРИРОВАННОЙ САПРО**

### **THE NEW APPROACH TO THE TECHNOLOGICAL DECISIONMAKING WITHIN THE FRAMEWORK OF AN INTEGRATED CAD**

Л.А. Королева, О.В. Панюшкина  
L.A. Koroleva, O.V. Panyushkina

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса  
Vladivostok State University of Economics and Service  
E-mail: ludmilakoroleva@rambler.ru, panushkina.olga@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы, связанные с разработкой методики выбора методов технологической обработки швейных изделий в автоматизированном режиме. Установлены основные критерии выбора методов технологической обработки швейных изделий в автоматизированном режиме. Определены основные процедуры данного процесса. Определены взаимосвязи структурных составляющих узлов швейного изделия. В работе описана модель процесса выбора методов технологической обработки узлов швейного изделия в автоматизированном режиме. Процесс выбора, в соответствии с принципами методики автоматизированного выбора методов технологической обработки, не зависит от ассортимента, вида и назначения верхней одежды, вида опорной поверхности изделия и применяемых материалов.

**Ключевые слова:** технология швейных изделий, метод технологической обработки, узел швейного изделия, основная деталь, задающий срез, дополнительная деталь, внутренний срез дополнительной детали, конструктивно-декоративная деталь.

The article addresses the issues related to the development of procedures for the selection of methods of garments processing in an automated mode. Basic criteria for selecting methods of processing garments in an automated mode were identified. Basic procedures of this process were defined. The interconnection of the structural components of garments was found. The article describes a model of technique for the method selection of the technological processing of garments in automated mode. The process of selecting, in accordance with the principles of methods of automated methods for selection processing does not depend on the variety and the type and purposes of outerwear, form the bearing surface of garment and the materials.

**Keywords:** technology of clothing, the method of technological processing, part of garment, main part, defining shear, additional part, inner shear of additional part, constructively decorative detail.

В настоящее время процесс выбора методов технологической обработки (МТО) и разработки нормативно-технической документации (НТД) не автоматизирован, не интеллектуализирован, реализуется в ручном режиме на основе знаний и опыта эксперта-технолога. На рис.1 представлена схема маршрутов принятия технологических решений в ручном и автоматизированном режимах. Независимо от режимов принятия искомого решения, на этапах проектирования должны быть решены две основные задачи: выбор МТО узлов швейного изделия (УШИ) и разработка НТД.

При реализации маршрута в ручном режиме эксперт-технолог осуществляет выбор МТО для проектируемого изделия, основываясь на собственных знаниях, практическом опыте, используя специальную литературу. Полученный результат зачастую субъективен и малоэффективен. Чтобы сократить сроки принятия технологических решений экспертом-

технологом, на кафедре Дизайна и технологий ВГУЭС созданы базы данных методов технологической обработки верхней (БД МТОВО) одежды поясной и плечевой групп [1, 2].

С целью исключения вышеперечисленных проблем, процесс принятия технологических решений предложено реализовать посредством функций экспертных систем (ЭС), например, ЭС «Технология» [3]. Экспертная система, как и эксперт-человек, в процессе своей работы оперирует знаниями. При этом знания предметной области формализованы и представлены в памяти ЭВМ в виде базы знаний, которая может изменяться и дополняться в процессе развития системы.

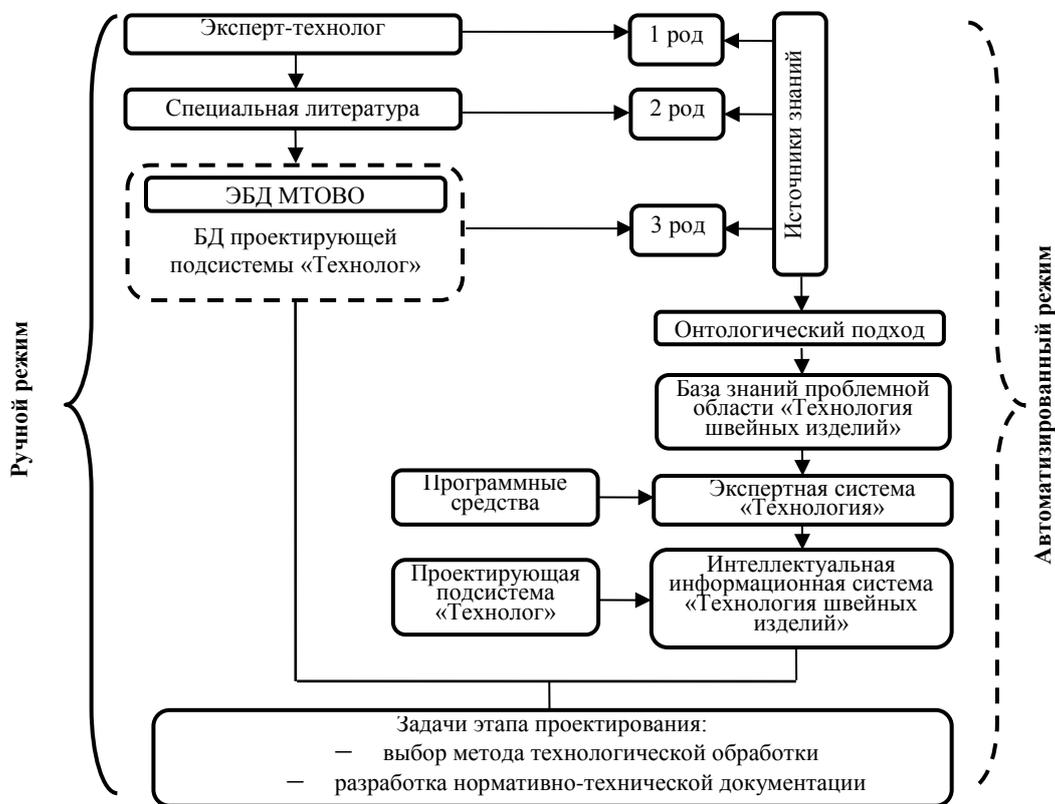


Рис. 1. Схема маршрутов принятия технологических решений в ручном и автоматизированном режимах

В автоматизированном режиме на основе использования источников знаний первого, второго, третьего рода и преимуществ онтологического подхода, формируется база знаний проблемной области «Технология швейных изделий» (ТШИ), которая в свою очередь является ядром экспертной системы «Технология». При взаимодействии с проектирующей подсистемой «Технолог» через программные средства экспертной системы «Технология» в информационной интеллектуальной системе «Технология швейных изделий» (ИИС ТШИ) [3] решаются задачи по выбору методов технологической обработки и разработке нормативно-технической документации. Очевидно, что автоматизированный режим принятия технологических решений имеет ряд преимуществ по: трудоемкости процесса разработки нормативно-технической документации; объективности результатов выбора; срокам принятия технологических решений; доступности многократного использования проектной документации; уменьшению влияния субъективных факторов, которые могут исказить представление о решаемой задаче и интерпретации результатов.

Следует отметить, что выбор МТО УШИ носит многоэтапный характер, основан на знании специалистом – экспертом классификации МТОВО и зависит от ассортимента, вида и назначения верхней одежды, вида опорной поверхности изделия, используемого пакета

материалов. Для логики автоматизированного выбора МТОВО традиционный подход к принятию технологических решений не приемлем без существенных инноваций.

Для реализации автоматизированного процесса принятия технологических решений разработана методика выбора методов обработки УШИ в автоматизированном режиме. Предлагаемая методика основана на том, что МТО узла швейного изделия формируется из методов обработки срезов деталей. Поиск обрабатываемых срезов может осуществляться в трех направлениях: выбор задающего среза; выбор наименования узла швейного изделия, в котором определены задающие срезы основной и дополнительной деталей; выбор детали швейного изделия, для которой также определены УШИ и задающие срезы.

Согласно предлагаемой методике, основные детали – это детали, образующие единую поверхность внешней формы одежды для покрытия различных частей тела (спинка, перед, рукав и их части, передняя и задняя части половин брюк, переднее и заднее полотнища юбок).

Дополнительная деталь – это деталь, участвующая в обработке срезов (или условных срезов) основных деталей. К ним относятся: подборт, обтачки, планки, бейки, цельновыкроенные припуски на обработку срезов (при этом линия сгиба припуска принимается за условный срез). Деталь подкладки, с помощью которой обрабатывают внутренний срез дополнительной детали, также относится к дополнительным деталям (при этом обрабатываемая дополнительная деталь становится основной для детали подкладки).

Таким образом, технологическая обработка швейных изделий в данной методике рассматривается как совокупность МТО узлов швейного изделия, образованных соединением деталей. Устройство узла, с позиции выбора МТО швейных изделий, зависит от категоричности выпускаемого швейного изделия, свойств основного материала и имеет следующие характеристики: количество слоев, составляющих структуру узла (одно- и многослойные узлы); количество деталей, образующих слои узла (это основные детали, дополнительные детали, конструктивно-декоративные детали и отделочные детали); пакет материалов; топография расположения деталей по слоям, задающий срез; способ закрепления; наличие отделочной строчки; вид шва.

На рис.2 обозначены основные понятия, принятые в данной методике на примере схемы МТО низа изделия.

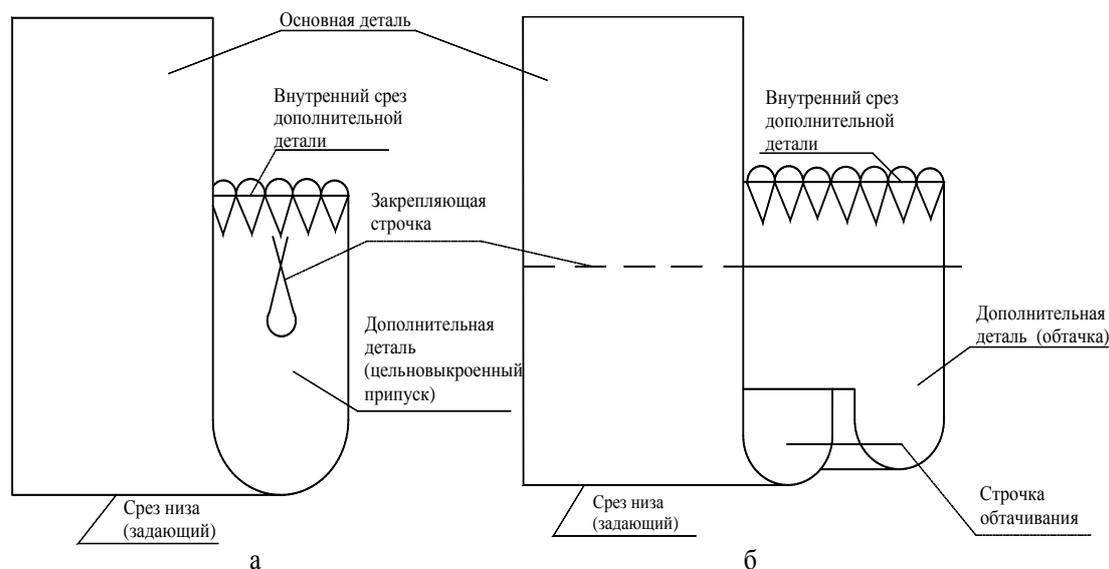


Рис. 2 Схемы методов технологической обработки узла швейного изделия – низ изделия: а – швом в подгибку с цельновыкроенным припуском на обработку; б – обтачным швом в кант

Задающий срез – это срез, принадлежащий детали, обрабатываемый в технологическом узле. Этот срез может быть условным в случае, если основная и дополнительная детали являются цельновыкроенными. Также за условный срез принимается линия соединения

конструктивно-декоративной детали и основной. Как отмечалось выше, каждый узел швейного изделия характеризуется определенным набором основных и дополнительных деталей, которые в свою очередь имеют определенные задающие срезы, характерные только для этого узла.

Конструктивно – декоративные детали выполняют эстетическую и утилитарную функцию и служат для создания единого художественного образа.[4] К ним относятся манжета, листочка, клапан, карман и т.д. Отделочные детали выполняют эстетическую функцию. Например, волан, рюш, оборка, кружево, кант, тесьма и т.д.

Для срезов дополнительной детали вводится понятие «внутренний срез дополнительной детали» – это срез, не участвующий в обработке задающего среза основной детали, но при этом являющийся «задающим срезом» для самой дополнительной детали. Такой подход позволяет представить обработку многослойного узла швейного изделия в соответствии с логикой автоматизированного проектирования.

В качестве примера рассмотрен МТО УШИ «низ изделия» швом в подгибку и обтачным швом в раскол (рис.2). Основной деталью в данном случае является деталь переда, дополнительной – припуск на обработку в первом случае, обтачка – во втором. Срез низа считается задающим для основной детали. Для дополнительной детали задающий срез – внутренний срез дополнительной детали, который обработан ниточным способом (обметан).

Таким образом, для выбора схемы МТО УШИ, как правило, необходимо рассмотреть обработку двух задающих срезов. Это задающий срез основной детали, принадлежащей данному швейному узлу, и внутренний срез дополнительной детали, участвующей в обработке выбранного среза. Если при обработке УШИ не применяется дополнительная деталь (срез не обработан, обметан и т.д.), то в формировании схемы МТО участвует только один задающий срез – это срез основной детали.

В обработке МТО УШИ могут участвовать и более двух задающих срезов. Примером могут служить прорезные карманы (рис. 3). В данном случае, чтобы выбрать схему МТО узла, необходимо рассмотреть обработку пяти задающих срезов: верхнего среза входа в карман; нижнего среза входа в карман (вход в карман расположен горизонтально или под углом); левого среза входа в карман; правого среза входа в карман (при вертикальном расположении входа в карман); двух срезов, ограничивающих вход в карман; срезов подкладки кармана.

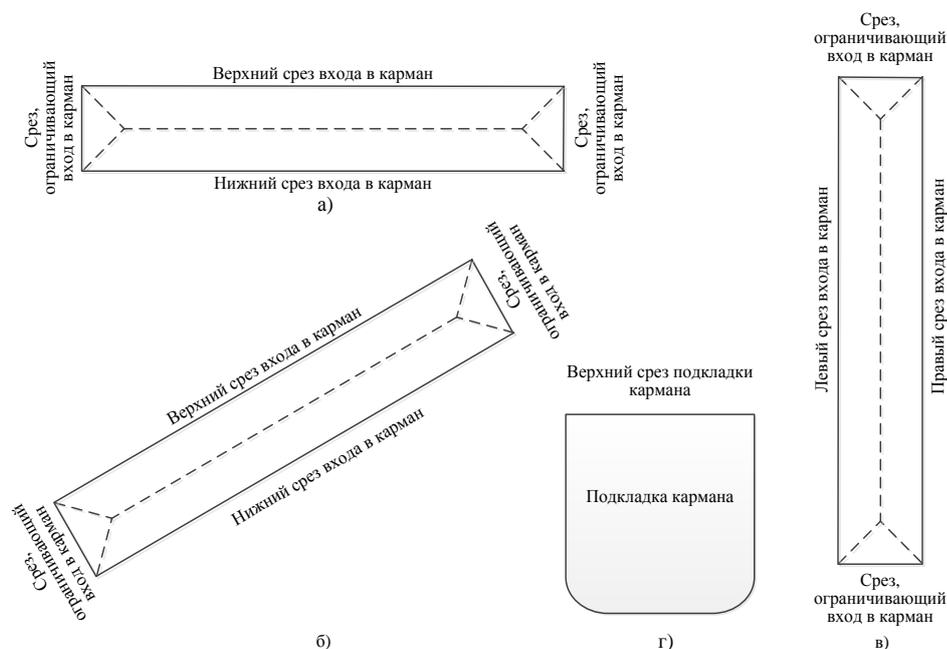


Рис. 3 Схемы расположения задающих срезов узла швейных изделий «Карманы»: а) вход в карман расположен горизонтально; б) вход в карман расположен под углом; в) вход в карман расположен вертикально; г) срезы подкладки кармана

Для конкретных задающих срезов определены соответствующие конструктивно – декоративные и отделочные детали, а так же виды швов. Так прорезные карманы могут обрабатываться только тремя видами швов: обтачные швы в простую и сложную рамки, обтачной шов в раскол или в кант. Верхнему срезу входа в карман принадлежат такие конструктивно-декоративные детали как листочка, клапан, отделочные детали – кант, застежка-молния и другие, дополнительные детали – обтачка. Нижнему срезу входа в карман соответствуют следующие дополнительные детали – обтачка, конструктивно-декоративные детали – листочка, клапан, отделочные детали – кант, застежка-молния и другие.

Для визуального представления процесса выбора МТО УШИ в автоматизированном режиме разработана демонстрационная модель (рис. 4). Выбор технологической схемы начинается с определения задающего среза. В данном случае – это срез низа. Далее одновременно определяется наличие дополнительной, конструктивно-декоративной и отделочной деталей и их вид.

Затем выбирается способ обработки, который связан с наличием дополнительной детали. Если дополнительной детали нет, то выбираются следующие способы обработки: «Срез не обработан», «Срез обработан ниточными строчками», «Срез окантован». При наличии дополнительной детали, помимо перечисленных способов, добавляются способы «Обтачать срез» или «Подогнуть срез». Далее происходит выбор наименования шва.

При наличии дополнительной детали реализуется переход к выбору метода обработки внутреннего среза дополнительной детали. Выбор способа обработки происходит таким же способом, как и выбор обработки «Среза низа». В результате определяется шов обработки внутреннего среза дополнительной детали.

На следующем этапе происходит выбор одного из способов закрепления внутреннего среза дополнительной детали – клеевой или ниточный. При клеевом способе происходит выбор вида клеевого материала, который зависит от свойств основного материала. Ниточный способ закрепления может быть машинным или ручным. Итог – способ закрепления внутреннего среза дополнительной детали.

На основе полученной информации о шве обработки среза низа, шве обработки внутреннего среза дополнительной детали, способе закрепления внутреннего среза дополнительной детали путем сопоставления описания графических объектов из базы данных МТОВО происходит выбор схемы МТО УШИ, а, именно, среза низа. Если соответствие не установлено, то есть, не найдена схема метода технологической обработки узла швейного изделия в базе данных методов технологической обработки верхней одежды, то создается и сохраняется новая схема МТО УШИ, используя известные графические редакторы.

Данный подход к выбору МТО позволяет унифицировать схемы технологической обработки срезов, входящих в различные технологические узлы, что оптимизирует объем базы данных ИИС ТШИ, исключить многооперационный поиск МТО в соответствии с классификационным «деревом», достичь более точного и объективного результата выбора. Процесс выбора, в соответствии с принципами методики выбора методов технологической обработки в автоматизированном режиме не зависит от ассортимента, вида и назначения верхней одежды, вида опорной поверхности изделия, применяемых материалов.

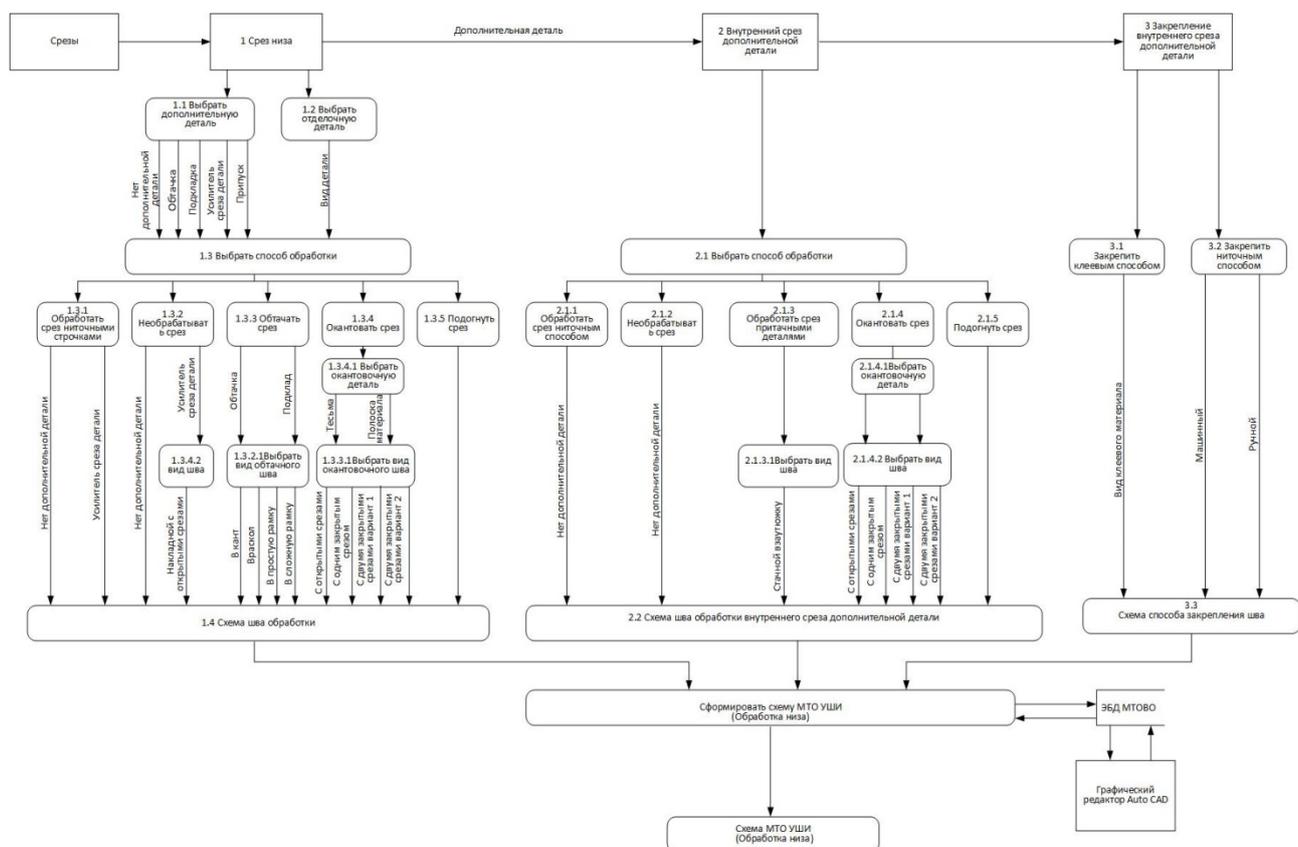


Рис. 4 Модель процесса выбора метода технологической обработки узла швейного изделия (на примере срез низа)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Королева Л.А. Свидетельство о регистрации базы данных №2013620833 «Электронная база данных методов технологической обработки верхней одежды плечевой группы» / Л.А. Королева, А.В. Подшивалова, О.В. Панюшкина. – Заявка №2013620549. – Дата государственной регистрации 16 июля 2013г.
- 2 Королева Л.А. Свидетельство о регистрации базы данных №2013620969 «Электронная база данных методов технологической обработки верхней одежды поясной группы» / Л.А. Королева, А.В. Подшивалова, О.В. Панюшкина. – Заявка №2013620756. – Дата государственной регистрации 21 августа 2013г.
- 3 Подшивалова А.В. Моделирование структурных составляющих интегрированной САПР одежды / Подшивалова А.В., Королева Л.А., Панюшкина О.В. – Фундаментальные исследования. – № 10 (часть 10). – 2013. – С. 2158-2161
- 4 Кузьмичев В.Е. Основы построения и анализа чертежей одежды: учебное пособие / В.Е. Кузьмичев, Н.И. Ахмедулова, Л.П. Юдина. – Иваново: ИГТА, 2011. – 280 с.

**О МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРОЦЕССОРОВ  
В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНОГО ОТДЕЛОЧНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

**THE MODELING OF TEMPERATURE IN THE CONTROL SYSTEMS OF TEXTILE  
FINISHING EQUIPMENT**

Е.Е. Корочкина, Е.Н. Калинин, В.Б. Кузнецов  
E.E. Korochkina, E.N. Kalinin, V.B. Kuznetsov

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail: fmkee@yandex.ru

Рассмотрены частные вопросы моделирования теплового режима в системах управления текстильного отделочного оборудования. Построены модели температурных полей процессоров, используемых в системах управления и влияющих друг на друга; получены соответствующие графические зависимости.

**Ключевые слова:** отделочное оборудование, отделка тканей, технологические параметры, процессор, численный эксперимент, температурное поле.

**Examined specific questions of modeling of textile finishing equipment. Built models of temperature fields of processors used in control systems and affect each other and obtained by appropriate graphics dependence.**

**Keywords:** finishing equipment, tissue fabrics, process parameters, CPU cycles, numerical simulation, temperature field.

На современном этапе технологического развития общества тенденции мировых производителей в плане совершенствования текстильного отделочного оборудования определяются следующими факторами:

- создание высокопроизводительного оборудования, требующего минимальных затрат энергетических и материальных ресурсов при выпуске качественной продукции;
- максимально возможное исключение влияния человеческого фактора на соблюдение технологических параметров процесса.

Первое объясняется с одной стороны снижением экологической нагрузки на окружающую среду, а с другой – сокращением затрат в составе себестоимости продукции и, соответственно, повышением ее конкурентоспособности.

Второе – сложность и многоступенчатостью стадий обработки текстильного материала.

Технологический процесс отделки тканей состоит из различных операций:

- беление, крашение, печатание, промывка, заключительная отделка для придания ткани товарного вида.

Каждая из этих стадий обработки текстильного материала включает значительное количество технологических параметров: скорость движения ткани; температура красильных, белящих, отделочных композиций и моющих растворов; концентрация в растворах и печатных красках красителей и текстильных вспомогательных веществ; давление в жале отжимных валов промывных и красильных ванн и отделочных каландров; температура сушки и термообработки материала. И это еще не полный перечень контролируемых показателей технологических переходов, сопровождаемых выделением теплоты и влаги в атмосферу цеха – рабочую зону оборудования.

Кроме того, для обслуживания сложных технологических операций требуется значительное количество персонала, что увеличивает вероятность нарушения технологии и, следовательно, снижения качества готовой продукции вследствие отрицательного влияния человеческого фактора.

Кардинальным решением существующей проблемы является компьютеризация отделочного оборудования и поддержания параметров его работы с минимальным участием человека.

В связи с этим существует два варианта размещения компьютерной техники в системах управления отделочным оборудованием в производственных условиях:

- непосредственно на оборудовании;
- в специально оборудованных помещениях, реализуя принцип работы с удаленным доступом.

Анализ статистических данных об отказах элементов электронной аппаратуры показывает, что нестабильность параметров её элементов из-за воздействия температуры составляет (60...70)%, а из-за совместного воздействия температуры и влажности до (95...98)% от общей нестабильности функционирования.

Если второй вариант в свете этого, не вызывает никаких сомнений в плане функционирования микропроцессорной техники, то первый требует рассмотрения влияния внешних факторов.

В связи с тем, что отделочные цеха предприятий отличаются повышенными уровнями влажности и температуры, представляется актуальным рассмотрение их влияния на температурный режим работы компьютерного оборудования с учетом собственного температурного поля процессоров системы управления [2].

На первом этапе работы было исследовано влияние внутреннего фактора – изменение температуры от пространственного расположения процессоров.

Для оценки этого фактора была создана тепловая модель двух элементов с внутренними источниками теплоты, влияющими друг на друга [3]. Выполнен расчет температурного поля каждого элемента и результирующего температурного поля двух объектов, расположенных на различных расстояниях друг от друга.

Численный эксперимент был осуществлен для процессоров электронных устройств - Intel Core i3, Intel Core i5, Intel Core i7, которые используются в компьютерных системах, установленных непосредственно на оборудовании.

Первоначально выполнено твердотельное моделирование объекта и смоделирована конструкция, состоящая из двух элементов - процессоров, расположенных в замкнутом объеме корпуса.

Твердотельное моделирование выполнено средствами в CAD/CAM системы Solid Works, которая позволяет осуществлять моделирование базовых конструктивных тел [2] и создать эскизное решение для получения результирующего базового тела на произвольной рабочей поверхности. Результаты численного моделирования представлены на рис. 1.

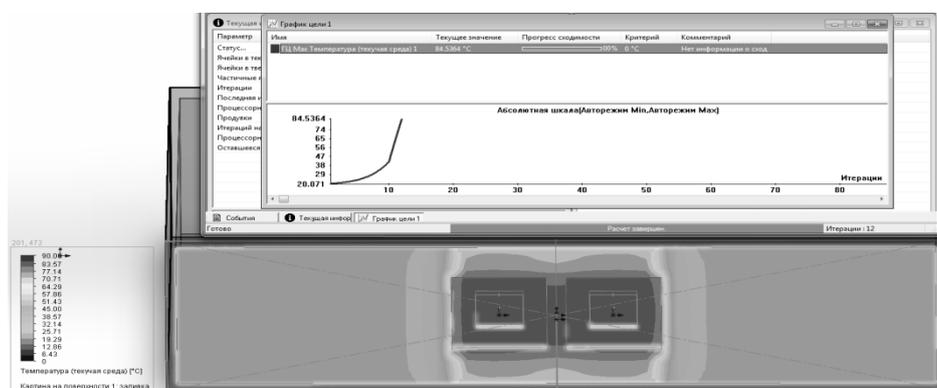


Рис.1. Температурное поле процессоров Intel Core i5 на расстоянии 10 мм

Расчет температурного поля модели реализован в среде Flow Simulation.

В качестве исходных данных были заданы следующие величины:

- граничные условия на внешних стенках;

- начальная температура объекта;
- коэффициент теплоотдачи в окружающую среду;
- удельная мощность поверхностного тепловыделения через единицу площади;
- мощность тепловыделения через всю внешнюю поверхность модели.

Так же задаются параметры, влияющие на расчетную сетку и критерии завершения расчета, а значит и на точность решения задачи.

Расчеты были проведены для процессоров, находящихся на расстоянии 10, 20, 30 и 40 мм друг от друга. На рис.2 представлена графическая зависимость изменения температурного поля между процессорами в зависимости от расстояния между ними.

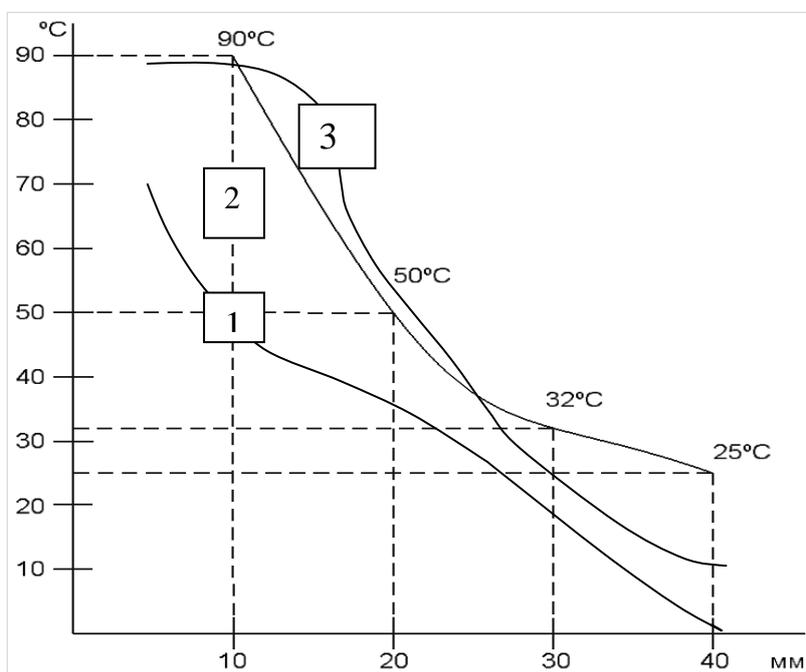


Рис. 2. График изменения температуры влияния процессоров, друг на друга в зависимости от расстояния между ними: 1 - Intel Core i3, 2 - Intel Core i5, 3- Intel Core i7

Для менее мощных процессоров (Intel Core i3) зависимость температуры от расстояния между ними носит S-образный характер, для процессоров средней мощности (Intel Core i5) – практически прямо пропорциональный, а для наиболее мощных (Intel Core i7) - зависимость имеет ярко выраженное плато на начальном участке кривой, свидетельствующее о том, что даже двукратное увеличение расстояния между процессорами не приводит к изменению температурного поля.

Предпочтительная рабочая температура внутри устройства не должна превышать 50°C. Представленные графические зависимости свидетельствуют о том, что для процессоров малой (кривая 1) и средней (кривая 2) мощности оптимальным будет одинаковое расстояние между ними - 20 мм.

Для наиболее мощных процессоров (кривая 3) минимально допустимым расстоянием будет диапазон (27...30) мм. В этом случае температурный режим не будет превышать критических рабочих значений.

Таким образом, полученные в результате вычислительного эксперимента графические зависимости изменения температур между процессорами позволяют определить наиболее оптимальный тип компоновки управляющей электронной аппаратуры, функционирующей в условиях повышенного температурного режима.

На следующем этапе исследований целесообразно определить влияние внешнего фактора – температуры окружающей среды на температурное поле между процессорами, что позволит в перспективе определить места расположения электронной аппаратуры при

проектировании тепловыделяющего отделочного оборудования, работающего в закрытых помещениях с повышенной температурой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корочкина Е.Е., Корнилов М.А. Моделирование тепловых режимов микропроцессорной аппаратуры тканепечатного агрегата. Известия Вузов, Технология текстильной промышленности, №2 2013. С.135-138.
2. Корнилов М.А., Зуев А.А., Корочкина Е.Е. Методика моделирования пассивных радиаторов систем охлаждения управляющих процессоров оборудования красильно-отделочного производства. – Вестник ИГЭУ, выпуск 3/2011- ИГЭУ, 2011 С.44-47.
3. Корочкина Е.Е., Соловьев С.Е., Константинов Е.С. Электронный лабораторный комплекс для определения качества жидкостной обработки волокнистых систем. Известия Вузов, Технология текстильной промышленности, №1, 2013. С.122-125.

УДК 687.157:677.027.65:687.023.001.5

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ НИТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### THE INCREASING DEFENSIVE CHARACTERISTICS TECHNOLOGY OF TEXTILE MATERIALS JOINING THREADS

О.В. Метелёва, Л.И. Бондаренко  
O.V. Meteleva, L.I. Bondarenko

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail: kaf-tshi@yandex.ru

Современные материалы, используемые при производстве одежды для отдыха и туризма, имеют высокие защитные свойства. Однако они не имеют защиты в области швов, либо обеспечение их защиты осуществляют с помощью дорогостоящих импортных материалов и оборудования. В работе представлена новая технология, основанная на приклеивании разработанных пленочных самоклеящихся материалов одновременно со стачиванием. Герметизация не требует необходимости активации материала, кроме воздействия давления. Установлены режимы герметизации и исследован механизм образования герметичного клеевого соединения.

**Ключевые слова:** герметизация, плёночный самоклеящийся материал.

Today's materials are used in tourist and activities clothes production have high protective characteristics. However they either have no protection in the stitch area or their protection is provided by expensive imported materials and equipment. The article gives a new technology based on glueing the elaborate film self-adhesive materials together with seaming. Sealing does not require the necessity of material activation except pressure impact. The authors set the sealing modes and studied the mechanism of tight glue joint formation.

**Key words:** sealing, film self-adhesive material.

В настоящее время популярность у городского населения приобрела спортивная одежда, одежда для оздоровительного отдыха и туризма. Главные задачи такой одежды – защита от внешних воздействий (дождя, ветра, снега, грязи), сохранение тепла и, конечно, свободы движения и комфорта. Она включает в себя, как правило, куртку и брюки или полукомбинезон. Для ее изготовления в качестве материала верха используют легкие и тонкие ткани с плёночным покрытием.

Совмещение водозащитных свойств со свойствами воздухопроницаемости осуществлено при разработке многофункциональных тканей – водозащитных дышащих ламинатов. Предотвращение взаимодействия молекул воды с гидрофильными группами волокнообразующих полимеров возможно за счет образования микропористого покрытия. Такое покрытие обеспечивает материалу паро- и воздухопроницаемость. В определенной степени решают эту проблему мембраны, которые не пропускают влагу внутрь, но выпускают ее наружу. Мембрана – это либо тончайшая плёнка, которая ламинирована (приварена или приклеена по особой технологии) к ткани, либо специальная пропитка, жестко нанесенная на ткань горячим способом. С внутренней стороны мембрана может быть защищена еще одним слоем ткани. С внешней стороны материал воздухопроницаем, но при разнице в парциальном давлении водяных паров под одеждой и снаружи испарения тела выводятся наружу. Таким образом, использование новых полимерных композиций и совершенствование составов покрытий привело к созданию материалов, обладающих не только высокими защитными, но и улучшенными эксплуатационными и гигиеническими свойствами, что способствует организации производства качественных и комфортных изделий для туризма и активного отдыха.

Повышение защитных свойств одежды для туризма, помимо применения специальных материалов, достигается за счет многослойности пакета одежды и использования большого количества защитных элементов. Это приводит к повышению трудоемкости изготовления, увеличению материалоемкости, оставляя при этом, как правило, незащищенными от воды и других погодных факторов места соединения деталей швейных изделий.

В процессе изготовления швейных изделий из воздухопроницаемых материалов обязательна герметизация швов. Герметичность швов – это не единственная, но существенная характеристика, определяющая условия и срок эксплуатации защитной одежды. Требования, предъявляемые к герметизированным швам, следующие:

- воздухопроницаемость не ниже воздухопроницаемости материала, из которого изготовлено изделие;

- эластичность и прочность, позволяющие им деформироваться без разрушения при эксплуатации;

- атмосферо-, тепло-, морозостойкость герметиков;

- сохранение герметичности после действия стирки или химчистки.

В настоящее время наиболее известна технология герметизации ниточных швов приклеиванием одно- или многослойной термопластичной клеевой ленты на поверхность изделия посредством расплавления ее клеевого слоя струей горячего воздуха и последующего соединения с помощью прижимных роликов. Для осуществления этой технологии фирмами «Пфафф» (Германия) [1] и «Kouuci Enterprise Co., LTD» (Китай) [2] созданы машины для герметизации уже выполненных швов и застежек-молний. Фирма «Kouuci Enterprise Co., LTD» производит десять видов специальной ленты для герметизации швов. Каждый вид ленты рассчитан на свои условия применения и эксплуатации. В рекламном проспекте фирмы отмечено, что качество герметизации зависит от стабильности параметров работы машины и системы их регулирования. При изменении, например, скорости подачи, надо изменять давление на ленту, температуру струи горячего воздуха. Достаточно небольшого колебания температуры в рабочей зоне, и результат уже будет некачественным. Варианты оборудования отличаются конфигурацией рабочего органа (рукава), областью применения, способом подачи ленты. Диапазон цены на машины фирмы «Kouuci Enterprise Co., LTD» изменяется в пределах 6000–12000 долларов США.

Обеспечение эффективности процесса герметизации является актуальной задачей промышленного изготовления изделий из материалов с плёночным мембранным покрытием. Ее значимость особенно повышается с учетом ориентации развития российской науки в направлении импортозамещения материалов и технологий для развития отечественной промышленности [3, 4]. Для специалистов она конкретизируется как разработка специального герметизирующего материала и способа его фиксации. При этом

необходимо не только повысить эффективность изготовления изделий, но и обеспечить экологическую безопасность и безвредность производства. Герметизирующие материалы должны полностью блокировать ниточную строчку – отверстия от проколов иглой и воздушные зазоры между соединяемыми материалами, – обеспечивая непроницаемость для воздействия воды и надежность швов в процессе эксплуатации.

Максимально удовлетворять технологическим и экономическим требованиям производства изделий из водонепроницаемых материалов может герметик в виде протяженной водонепроницаемой ленты фиксированной ширины, обладающей адгезионной способностью к широкому спектру субстратов (термореактивных и термопластичных) без необходимости теплового или химического активирования. Адгезионная способность без дополнительного активирования может быть обеспечена постоянной остаточной липкостью герметизирующего материала.

Сущность новой технологии герметизации [5-8] в этом случае заключается в установлении адгезии между клеевым герметизирующим материалом (адгезивом) и основой или полимерным покрытием водонепроницаемого материала (субстратом) в результате воздействия механического усилия перпендикулярно к склеиваемым материалам в течение промежутка времени, соизмеримого со скоростью образования ниточного соединения.

Герметизирующий пленочный материал, имеющий многослойную структуру [9], разработан в ИВГПУ совместно с ФГУП «ИвНИИПИК» ФСБ России и выпускается в настоящее время партиями по заказам на опытно-промышленном оборудовании отдела экспериментальных установок.

На основе предварительных экспериментальных исследований различных способов герметизации сделан вывод, что наиболее простой в исполнении и наиболее эффективной является поверхностная герметизация. Поскольку при изготовлении водозащитных изделий из материалов с полимерными покрытиями для соединения деталей в основном используются накладные и настрочные швы, внешняя или внутренняя поверхностная герметизация обеспечивает необходимый уровень качества изделия.

К параметрам технологии относятся параметры стачивания и параметры склеивания. Для поверхностной герметизации параметры стачивания не влияют на качество герметизированных швов, за исключением ширины швов, которые определяют ширину герметизирующего материала. При этом способе герметизации процесс образования клеевого соединения и качество герметизированных швов не зависят от количества отверстий от проколов иглой, их размеров, вида швейных ниток и конструкции соединения. Таким образом, независимо от условий герметизации количество стежков в строчке, вид и толщина иглы и ниток будут определяться только требованиями к ниточным соединениям и свойствами соединяемых материалов.

Адгезионная прочность герметичного клеевого соединения является основным свойством, от которого зависят его уровень водоупорности и долговечность. Получение клеевого соединения с высокими значениями адгезионной прочности обеспечит высокий уровень водонепроницаемости швов и их надежность.

Формирование площади контакта зависит от процессов заполнения клеем неровностей поверхности субстрата. Смачивание играет важную роль при формировании адгезионного соединения. С уменьшением краевого угла, т.е. с увеличением смачивания, увеличивается площадь фактического контакта между клеем и адгезивом. С увеличением смачиваемости адгезивом субстрата (по мере снижения краевого угла) происходит рост адгезионного взаимодействия.

Адгезия плёнок, прежде всего, зависит от того, насколько поверхность пленки копирует твердую поверхность. Клеевой слой герметизирующей пленки находится в высокоэластическом состоянии, но он обладает высокой вязкостью и в результате ограниченной способностью смачивания и заполнения шероховатостей водозащитного гидрофобного материала. Снижению сопротивления расслаиванию способствует также

загрязненность поверхности водозащитного материала. При наличии относительно гладкой поверхности достигается более полный контакт клеевого слоя с водозащитным материалом.

Условия транспортирования материалов при выполнении швов влияют на плотность контакта герметизирующей пленки с поверхностью материала и качество образуемого клеевого соединения. Режимы герметизации, обычно учитываемые при формировании клеевых соединений (механическое нормальное давление в зоне контакта герметика и основного материала или усилие сжатия соединяемых материалов, продолжительность воздействия давления), тесно связаны с режимами стачивания, поскольку процесс образования стежков и приклеивание пленки на шов осуществляются в одной концентрированной операции. Исходя из этого, ориентиром при выборе интервалов исследуемых параметров служили усилие и продолжительность контакта механизма продвижения с пакетом материалов при образовании стежка. Установлено, что достаточная начальная адгезионная прочность клеевого соединения порядка 0,6 Н/см достигается при контактном кратковременном механическом давлении порядка 20...30 кПа.

Кроме того, предварительные исследования показали, что на адгезионную прочность клеевых соединений оказывает влияние толщина клеевого слоя герметизирующего материала и ширина пленки. Для оценки возможности осуществления параллельной со стачиванием герметизации и зависимости адгезионной прочности от условий формирования соединения были проведены экспериментальные исследования клеевых соединений материала с пленочным полиуретановым покрытием и разработанной клеевой пленки. Максимальной прочностью при расслаивании обладают соединения, полученные с клеевой плёнкой толщиной 0,15...0,20 мм. Для поверхностной герметизации, вероятно, оптимальной является толщина клеевого слоя 0,1...0,125 мм. Эти предположения согласуются с результатами эксперимента по оценке влияния толщины клеевого слоя на прочность при отслаивании клеевого материала, чувствительного к давлению [9]. При толщине клеевого слоя менее 0,1 мм возможно появление дефектов плёнки при ее формировании. При этом увеличение толщины неклевого слоя нежелательно, т.к. приводит к большей длительности процесса сушки пленки при ее производстве и вероятности ее деформирования, а значит, появлению напряжений.

При малой толщине прочность клеевого слоя незначительна, что влияет на адгезионную прочность соединений. Уменьшение прочности соединения при толщине клеевого слоя более 0,125 мм объясняется большей степенью ориентации макромолекул в тонких клеевых слоях (поскольку интенсивность поверхностных сил обратно пропорциональна расстоянию от поверхности, и самая высокая ориентация макромолекул имеет место на поверхности раздела, а самая низкая – в середине шва), а также ограничением развития пластических деформаций в тонком слое. В тонкой клеевой прослойке возникают меньшие внутренние напряжения при испарении жидкой фазы из клеевого слоя и его усадке, чем в толстой.

Воздействие давления необходимо для деформирования слоя адгезива, находящегося в высокоэластическом состоянии, в результате чего обеспечивается сближение поверхностей адгезива и субстрата и достигается максимальная поверхность их соприкосновения. Следствием прикладывания внешнего давления является увеличение площади контакта между адгезивом и субстратом, что оказывает непосредственное влияние на адгезионную прочность. Формирование зоны контакта, т.е. заполнение неровностей субстрата эластичным адгезивом до установления равновесного состояния, происходит в течение определенного времени. Для исследованных клеевых соединений при увеличении давления в зоне контакта и времени контакта изменение значений адгезионной прочности находится в пределах доверительного интервала эксперимента.

Для качества герметизации немаловажное значение имеет ширина клеевого материала. Влияние этого фактора особенно проявляется при герметизации криволинейных швов. Для определения совместного влияния толщины и ширины на герметизацию криволинейных швов были проведены экспериментальные исследования, по результатам которых выбраны

оптимальные геометрические параметры: толщина и ширина герметизирующего материала, обеспечивающие необходимое качество дублирования криволинейных швов, выполненных практически на экспериментальной установке с использованием герметизирующих материалов различных геометрических параметров.

Анализируя результаты, полученные при оценке качества поверхностной внешней герметизации криволинейных настрочных швов, можно сделать следующие выводы. При толщине герметизирующей пленки 0,1 мм и ширине 10 мм происходит ее разрыв при подаче в зону герметизации. При толщине герметизирующей пленки 0,1 мм и ширине 15...25 мм при подаче происходит ее удлинение, приводящее к уменьшению толщины и ширины, в результате чего возникают напряжения, приводящие к деформациям пакета шва. При толщине пленки более 0,20 мм наблюдается ощутимое увеличение толщины и жесткости швов. Кроме этого, необоснованное увеличение толщины является причиной уменьшения адгезионной прочности.

Площадь клевого соединения при поверхностной герметизации оказывает влияние на начальный уровень водоупорности швов и их надежность. Ширина зоны герметизации должна быть такой, чтобы полностью обеспечить защиту мест соединений от проникновения воды. С учетом принятой ширины припусков швов (0,7–1,0 см) ширина пленки не может быть менее 15 мм. При недостаточной ширине герметизирующего материала произойдет быстрая потеря защитных свойств проклеенных швов при эксплуатации. При избыточной ширине пленки герметика возникают дефекты дублирования на криволинейных участках.

Оптимальные геометрические параметры герметизирующего материала выбраны в зависимости от радиуса кривизны соединяемых срезов. При радиусах кривизны соединяемых срезов от 4 до 13 см оптимальная ширина герметизирующего материала составляет 17 мм, при радиусах кривизны более 13 см...20 мм.

Для возникновения адгезии необходимо создание условий контакта полимеров, при которых начинают проявляться силы межмолекулярного взаимодействия. Величина адгезии зависит не только от наличия, но и от числа связей между контактирующими материалами. В свою очередь, число связей определяется количеством активных функциональных групп в макромолекулах полимеров адгезива и субстрата и площадью фактического контакта между поверхностями адгезива и субстрата. При этом немаловажное значение для установления адгезии имеет соответствие структурных параметров адгезива и поверхности субстрата, имеющей развитый микрорельеф. Со временем адгезионная прочность клеевых соединений увеличивается в 10 и более раз.

Способность адгезива к смачиванию поверхности субстрата на начальном этапе формирования адгезионного соединения оказывает определяющее влияние на качество последнего. Клеевой слой разработанного материала обладает способностью с течением времени растекаться по поверхности субстрата и заполнять микронеровности рельефа волокон и пленочного покрытия. Об этом свидетельствуют фотографии микросрезов и полученные результаты исследования с помощью атомно-силовой микроскопии микросрезов клеевых соединений материалов с пленочным покрытием при расположении герметизирующей пленки со стороны покрытия ткани (рисунок 1). Исследования проведены с использованием сканирующего зондового микроскопа SPM P4 MDT. Использован режим атомно-силовой микроскопии: scan – height; step – 12,53 nm; bias – 0,100 V.

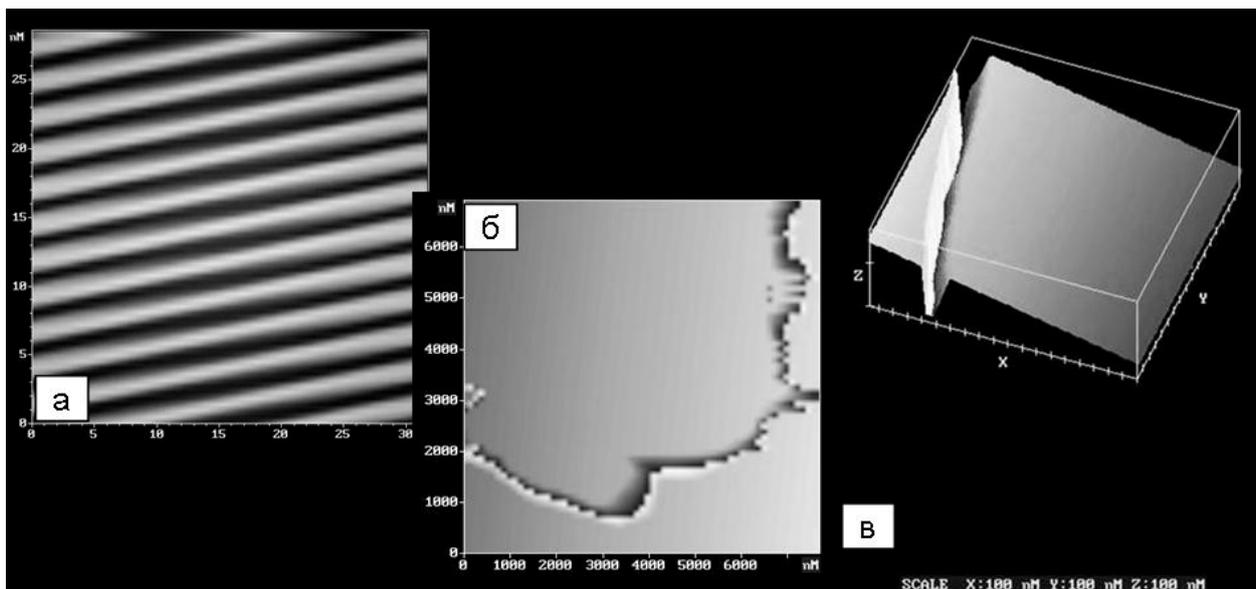


Рис. 1. Фотографии поверхности пленочного покрытия ткани Saviour (а) и микросреза клеевого соединения с клеевой пленкой (б, в)

Полученные результаты показывают, что давление прикатывающих роликов на соединяемые материалы и частота вращения главного вала машины, оснащенной устройством для последовательно-одновременной герметизации, обеспечивают достижение необходимой адгезионной прочности герметичных соединений.

При выполнении швов с последовательно-одновременной герметизацией отсутствует возможность выполнения закрепок в виде обратных строчек. Но герметизируемые строчки оказываются заклеенными по всей длине, что предотвращает их распускание. Поэтому необходимость в выполнении закрепки при герметизации отпадает.

Таким образом, эффективность герметизации швов изделий из материалов с полимерным покрытием клеевой пленкой с липким слоем последовательно-одновременным методом обеспечивается за счет исключения необходимости в дополнительных активирующих адгезив воздействиях и значительных энергозатрат. Методами атомно-силовой микроскопии установлено, что в результате контакта полимеров происходит заполнение клеем поверхности полимерного покрытия ткани.

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидов Сергей. PFAFF Industrie Maschinen AG. Сварка как шаг в будущее // Швейная промышленность. 2006. № 1, январь-февраль. С. 11.
2. Вигопод – инфо / Рекламно-информационный бюллетень ООО «СП ВИГОПОД». 2004. № 3 (ноябрь). 8 с.
3. Марченко, Е.М. Развитие текстильной и швейной промышленности как одно из направлений повышения энергоэффективности региональной экономики / Е.М. Марченко, Т.Д. Белова // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. 2015. – № 4(358). – С. 22-27.
4. Стратегия развития лёгкой промышленности России на период до 2020 г. <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/641284>
5. Метелева, О.В. Самоклеящийся материал как основа формирования непроницаемого соединения в одежде / О.В. Метелева, Е.В. Дьконова, Л.И. Бондаренко // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 2014. – № 5(353). – С. 105-108.

6. Сурикова, М.В. Соединение защитных материалов при использовании самоклеющегося пленочного материала / М.В. Сурикова, О.В. Метелева, Е.И. Коваленко // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 2013. – № 5(347). – С. 101-104.
7. Белова, И.Ю. Разработка технологии дифференцированного по свойствам ниточного соединения [Текст] / И.Ю. Белова, Т.С. Бубнова, В.В. Веселов // Известия вузов. Технология текстильной пром-сти. – 2011. – № 2. – С. 72-77.
8. Комарова, А.А. Использование современных химических препаратов для формоустойчивой обработки швейных изделий [Текст] / А.А. Комарова, В.В. Веселов // Известия вузов. Технология текстильной пром-сти. – 2009. – № . – С. 89-91.
9. Чижик, М.А. Структурный подход к моделированию многокомпонентных систем материалов для изделий легкой промышленности / М.А. Чижик М.Н. Рассказова, В.И. Стариков // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. 2014. – № 6(354). – С. 89-94.

УДК 677.37.08.002.001.5

## НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НАТУРАЛЬНОГО ШЁЛКА

### SOME WAYS IMPROVING THE EFFICIENCY OF MANUFACTURING NATURAL SILK

Ш.Х. Мухамадрасулов, О.А. Ахунбабаев  
Sh.H. Muxamadrasulov, O.A. Axunbabayev

Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон (Узбекистан)  
Uzbek Scientific-Research Institute of Natural Fibers (Uzbekistan)  
E-mail: margilon\_shoyi@yahoo.com

**В современный период рыночных отношений актуальной проблемой является повышение эффективности технологии производства натурального шёлка. Разработаны основы возделывания тутовой плантации, обеспечивающей повышение продуктивности листа шелковицы и урожайности коконов. По результатам исследований установлено повышение урожайности коконов – на 7,10 %. Объём заготовки воздушно-сухого кокона для переработки в шёлковой промышленности увеличивается на 7,36 %, масса шёлковой оболочки повышается на 10,45 %, а шёлконосность – на 2,98 %, выход шелка-сырца увеличивается на 4,92 %, разматываемость оболочки коконов повышается на 6,32 %, длина коконной нити при новой технологии увеличивается на 11,78 %, повышается качество производимого шелка-сырца и эффективность его производства.**

**Ключевые слова:** шёлк, кокон, плантация шелковицы, шелк-сырец, качество, технология.

**In the current period of market relations urgent problem is to increase the efficiency of the production technology of natural silk. The fundamentals mulberry plantations to increase productivity and yield of mulberry leaf cocoons. According to the research found an increase in the yield of cocoons - by 7.10%. The volume of the workpiece air-dry cocoon silk processing in industry increased by 7.36%, the mass of silk shell is increased by 10.45% and silk rate - 2.98%, the yield of raw silk increased by 4.92%, reelability shell cocoons increased by 6.32%, the length of cocoon thread with new technology increased by 11.78%, increases the quality of the produced raw silk and efficiency of its production.**

**Keywords:** silk, cocoons, plantations of mulberry, raw silk, quality, technology.

В современный период рыночных отношений приоритетным является производство продукции, конкурентоспособной на мировом рынке, которое во многом определяется качеством перерабатываемого сырья [1]. Одним из важнейших приоритетов развития технологий и экономики при переработке натурального шелка, повышения эффективности технологии производства натурального шёлка является дальнейшее реформирование шелководства и шелковой отрасли, модернизация и обновление структуры отрасли, её

техническое и технологическое обновление, расширение ассортимента и повышение объема конкурентоспособной на мировом рынке шелковой продукции, которое можно достичь путем увеличения объема заготовки шелковичных коконов и производства нитей шелка-сырца.

В шелкомотании рост производства натурального шелка можно будет достигнуть за счёт повышения производственных мощностей, совершенства технологии кокономотания, повышения качества и улучшения использования коконного сырья.

Качество коконов во многом зависит от количества и качества листа шелковицы. Разработаны основы посадки новых перспективных сортов шелковицы и возделывания тутовой плантации, обеспечивающей повышение продуктивности листа шелковицы и урожайности коконов. Новая плантация шелковицы включает высаженные по рядам насаждения шелковицы, состоящей из ствола длиной от 0,3 до 0,7 м от уровня земли. Длина скелетной ветви от её основания составляет 5-25 см, при этом расстояние между рядами шелковиц составляет 0,8-1,2 м, а расстояние между шелковицами в ряду – 0,5-1,0 м. [2, 3, с. 6-7].

Реализация разработок обеспечит внедрение новых высокопродуктивных перспективных сортов шелковицы, в хозяйствах будут созданы новые тутовые плантации с новой схемой размещения тутового дерева, обеспечивающей повышение продуктивности и урожайности листа шелковицы.

По результатам проведенных нами исследований степени сохранения влаги листьями шелковицы, при доверительной вероятности полученных результатов  $R_D = 95,4 \%$ , установлено, что в листьях с известной плантации шелковицы количество влаги через 6 часов после срезки уменьшилось на 22,74 %, а через 8 часов – на 28,25 %, или же общая влага через 6 часов составила 55,2 %, а через 8 часов – 51,3 % при начальной влажности в момент срезки – 71,5 %. В листьях с новой плантации шелковицы, не смотря на потери, влага больше сохранилась после срезки из-за изначального высокого её содержания – 77,8 %. При этом, общая влага через 6 часов составила 68,5 %, а через 8 часов – 66,0 %.

Как известно, хозяйственноценным свойством листьев шелковицы является их способность удерживать влагу после срезки, чем больше удерживается и медленнее испаряется влага, тем лучше сохраняются их питательность и кормовые качества [4, с. 32].

Как видно из результатов исследования, в листьях с новой плантации шелковицы с течением времени после срезки влага сохранилась больше из-за изначального высокого её содержания, что обеспечивает большее сохранение их питательности и кормовых качеств, способствует улучшению технологических свойств коконов и повышению их урожайности, повышению качества шёлка-сырца и эффективности его производства.

Провели технологические испытания экспериментальных образцов коконов тутового шелкопряда по результатам 3-х лет выкормки. Для получения более точных результатов исследования технологические испытания коконов проводили методом одиночной размотки на станке системы УзНИИШП [5, с. 65-66].

В таблицах 1-3 представлены результаты 3-х лет испытаний экспериментальных образцов воздушно-сухих коконов по их массе и шелконосности. Анализ показывает, что коконы по новой технологии выгодно отличаются повышенной массой и высокой шелконосностью. При этом масса живого кокона, а следовательно и урожайность кокона, увеличивается на 7,10 %. Объем заготовки воздушно-сухого кокона для переработки в шёлковой промышленности увеличивается на 7,36 %, масса шёлковой оболочки повышается на 10,45 %, а шёлконосность – на 2,98 %.

Как известно, экономическую ценность коконов выражает количество шелка-сырца, получаемого с единицы массы коконов, которую выражают выходом шелка-сырца от массы размотанных коконов или удельным расходом коконов. Выход шелка-сырца зависит от породы шелкопряда, массы, жесткости, размеров и толщины оболочки коконов [1]. При этом большое влияние на выход шелка-сырца оказывают режимы первичной обработки, хранения, сортировки, запарки и размотки коконов.

Важным технологическим признаком коконов является разматываемость коконов, который показывает способность коконов разматываться с наименьшим количеством отходов, наименьшей обрывностью коконной нити при высокой производительности труда и высоком качестве шелка-сырца [5].

В связи с этим особый интерес представляют результаты исследования выхода шелка-сырца и разматываемости оболочки образцов испытуемых коконов, которые представлены в таблице 4. Анализ выхода шелка-сырца и разматываемости оболочки коконов по результатам трехлетних испытаний показал, что коконы имеют высокие значения этого показателя, которые при новой технологии соответственно возросли на 4,92 и 6,32 %.

Длина коконной нити является важным технологическим признаком кокона, который оказывает влияние на качество шелка-сырца, производительность труда и оборудования. Зависит она от породы, шелконосности и размотки коконов, линейной плотности нити.

В связи с этим, большой интерес с точки зрения вопросов, рассматриваемых в рамках данного исследования представляют результаты исследования длины коконной нити, представленные в таблице 5.

Таблица 1

Масса экспериментальных образцов коконов

№	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя			
			Живой кокон		Воздушно-сухой кокон	
			Известная технология	Новая технология	Известная технология	Новая технология
1-ый год исследования						
1.	Средняя масса 1-го кокона	г	1,796	1,799	0,724	0,783
2.	Среднее квадратическое отклонение	г	0,253	0,315	0,102	0,099
3.	Коэффициент вариации	%	14,09	17,51	14,09	12,64
4.	Ошибка среднего: - абсолютная	г	0,081	0,101	0,033	0,032
	- относительная	%	4,51	5,60	4,51	4,04
2-ой год исследования						
1.	Средняя масса 1-го кокона	г	2,077	2,236	0,824	0,841
2.	Среднее квадратическое отклонение	г	0,212	0,207	0,080	0,074
3.	Коэффициент вариации	%	10,21	9,26	9,71	8,80
4.	Ошибка среднего: - абсолютная	г	0,099	0,097	0,037	0,035
	- относительная	%	4,78	4,33	4,45	4,12
3-ий год исследования						
1.	Средняя масса 1-го кокона	%	1,581	1,807	0,651	0,737
2.	Среднее квадратическое отклонение	%	0,262	0,327	0,071	0,126
3.	Коэффициент вариации	%	16,60	18,11	10,89	17,09
4.	Ошибка среднего: - абсолютная	%	0,084	0,105	0,023	0,040
	- относительная	%	5,31	5,79	3,48	5,47
	Среднее за 3 года	г.	1,818	1,947	0,733	0,787

## Масса оболочки экспериментальных образцов коконов

№	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя			
			Живой кокон		Воздушно-сухой кокон	
			Известная технология	Новая технология	Известная технология	Новая технология
1-ый год исследования						
1.	Средняя масса 1-ой оболочки кокона	г	0,406	0,474	0,370	0,408
2.	Среднее квадратическое отклонение	г	0,049	0,067	0,060	0,047
3.	Коэффициент вариации	%	12,07	14,14	16,22	11,52
4.	Ошибка среднего: - абсолютная - относительная	г	0,016	0,022	0,019	0,015
		%	3,86	4,52	5,19	3,68
2-ой год исследования						
1.	Средняя масса 1-ой оболочки кокона	г	0,442	0,501	0,421	0,440
2.	Среднее квадратическое отклонение	г	0,043	0,053	0,047	0,054
3.	Коэффициент вариации	%	9,73	10,58	11,16	12,27
4.	Ошибка среднего: - абсолютная - относительная	г	0,020	0,025	0,022	0,025
		%	4,55	4,95	5,22	5,74
3-ий год исследования						
1.	Средняя масса 1-ой оболочки кокона	%	0,331	0,400	0,329	0,389
2.	Среднее квадратическое отклонение	%	0,035	0,068	0,043	0,065
3.	Коэффициент вариации	%	10,74	17,07	13,07	16,54
4.	Ошибка среднего: - абсолютная - относительная	%	0,011	0,022	0,014	0,021
		%	3,44	5,46	4,18	5,32
	Среднее за 3 года	г.	0,393	0,458	0,373	0,412

Таблица 3

## Шелконосность экспериментальных образцов коконов

№	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя			
			Живой кокон		Воздушно-сухой кокон	
			Известная технология	Новая технология	Известная технология	Новая технология
1-ый год исследования						
1.	Средняя шелконосность кокона	г	22,80	26,57	51,07	52,23
2.	Среднее квадратическое отклонение	г	2,329	2,659	3,894	3,660
3.	Коэффициент вариации	%	10,22	10,01	7,62	7,01
4.	Ошибка среднего: - абсолютная - относительная	г	0,745	0,851	1,246	1,171
		%	3,27	3,20	2,44	2,24
2-ой год исследования						
1.	Средняя шелконосность кокона	г	21,38	22,49	51,09	52,20
2.	Среднее квадратическое отклонение	г	1,482	1,588	3,016	3,396
3.	Коэффициент вариации	%	6,93	7,06	5,89	6,51
4.	Ошибка среднего: - абсолютная - относительная	г	0,694	0,743	1,41	1,59
		%	3,24	3,30	2,76	3,05
3-ий год исследования						
1.	Средняя шелконосность кокона	%	21,29	22,30	50,59	52,88
2.	Среднее квадратическое отклонение	%	2,72	2,57	4,88	3,91
3.	Коэффициент вариации	%	12,78	11,54	9,65	7,40
4.	Ошибка среднего: - абсолютная - относительная	%	0,87	0,82	1,56	1,25
		%	4,09	3,69	3,09	2,37
	Среднее за 3 года	г.	21,82	23,79	50,92	52,44

Таблица 4

## Выход шелка - сырца и разматываемость оболочки экспериментальных образцов воздушно - сухих коконов

№	Наименование показателя	Ед. изм.	Известная технология	Новая технология	± %
1-ый год исследования					
1	Выход шёлка-сырца	%	32,79	35,15	+7,2
2	Разматываемость	%	78	84	+7,7
2-ой год исследования					
1	Выход шёлка-сырца	%	38,94	39,99	+2,7
2	Разматываемость	%	76	80	+5,3
3-ий год исследования					
1	Выход шёлка-сырца	%	42,40	44,60	+5,2
2	Разматываемость	%	82	86,5	+5,5
Среднее за 3 года					
1	Выход шёлка-сырца	%	38,04	39,91	+4,92
2	Разматываемость	%	79	84	+6,32

Таблица 5

## Длина коконной нити экспериментальных образцов воздушно-сухих коконов

№	Наименование показателя	Ед. изм	Известная технология	Новая технология	± %
1-ый год исследования					
1	Средняя длина нити 1-го кокона	м	1200	1318	+9,83
2	Среднее квадратическое отклонение	м	258,3	166,9	-
3	Коэффициент вариации	%	21,54	12,66	-
4	Ошибка среднего:				
	- абсолютная	м	164,2	106,0	-
	- относительная	%	13,69	8,04	-
2-ой год исследования					
1	Средняя длина нити 1-го кокона	м	1342	1528	+13,9
2	Среднее квадратическое отклонение	м	172	293	-
3	Коэффициент вариации	%	12,82	19,18	-
4	Ошибка среднего:				
	- абсолютная	м	109	146	-
	- относительная	%	8,15	9,54	-
3-ий год исследования					
1	Средняя длина нити 1-го кокона	м	1050	1167	+11,14
2	Среднее квадратическое отклонение	м	100	135	-
3	Коэффициент вариации	%	9,52	11,60	-
4	Ошибка среднего:				
	- абсолютная	м	64	86	-
	- относительная	%	6,05	7,37	-
	Среднее за 3 года	м	1197	1338	11,78

Как известно, показатель длины коконной нити также является одним из главных факторов, определяющих равномерность нитей шелка-сырца. Анализ приведенных данных показывает, что образцы коконов отличаются высокой степенью этого показателя, как видно из таблицы 5 длина коконной нити при новой технологии увеличилась на 11,78 %.

Из опытных партий коконов выработаны экспериментальные образцы шелка-сырца, установлено их соответствие требованиям нормативных документов. Для обеспечения высокого качества производимого шелка-сырца актуальным является также освоение современного комплекса кокономотального оборудования.

Таким образом, реализация полученных результатов обеспечивает повышение продуктивности листа шелковицы и расширение кормовой базы тутового шелкопряда, повышение урожайности коконов – на 7,10 %. Объём заготовки воздушно-сухого кокона для переработки в шёлковой промышленности увеличивается на 7,36 %, масса шёлковой оболочки повышается на 10,45 %, а шёлконосность – на 2,98 %, выход шелка-сырца увеличивается на 4,92 %, разматываемость оболочки коконов повышается на 6,32 %, длина коконной нити при новой технологии увеличивается на 11,78 %, повышается качество производимого шелка-сырца и эффективность его производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелкосырье и кокономотание / Рубинов Э.Б., Мухамедов М.М., Осипова Л.Х., Бурнашев И.З. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 312 с.
2. Ахунбабаев О.А., Валиев Г.Н., Ахунбабаев У.О., Мухаммадрасулов Ш.Х. Плантация шелковицы и способ её закладки. // Заявка № IAP 20100422. Бюл. №3 – 2012.

3. Ахунбабаев О.А., Валиев Г.Н., Ахунбабаев У.О., Мухаммадрасулов Ш.Х. Плантация шелковицы и способ её закладки. // Заявка № IAP 20100423. Бюл. №3 – 2012.
4. Гребинская М.И., Грахов Г.Н., Суханов А.А. и др. Шелководство. – Ташкент.: Госиздат УзССР, 1954.- 276 с.
5. Рубинов Э.Б. Технология шелка (кокономотание). – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 392 с.

УДК 519.213.1

## СПОСОБ ОЦЕНКИ КАПИЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ НЕТКАНЫХ ИГЛОПРОБИВНЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### THE METHOD OF ESTIMATE OF CAPILLARY STRUCTURE NONWOVEN INNERSOLE FABRICS

Ю.К. Островский, Л.М. Полухина, Н.В. Евсюкова  
Y.K. Ostrovsky, L.M. Poluhina, N.V. Evsyukova

Московский Государственный университет дизайна и технологий  
Moscow State University of design and technologies  
E-mail: ostrovsky\_j@bk.ru, artek39@mail.ru, ev.natali@mail.ru

Предложен способ оценки параметров распределения капилляров нетканых иглопробивных материалов на основе полиэфира по размерам их поперечных сечений, основанный на экспериментах по динамике линейного и объёмного впитывания жидкости. Предполагается, что структура нетканых волокнистых материалов хаотична и в процессе взаимодействия с жидкостью может быть представлена капиллярной системой, размерные характеристики которой описываются функцией логарифмически нормального распределения. Рассчитаны коэффициенты оптимизации, спектральные свойства систем капиллярных систем представлены в относительных единицах.

**Ключевые слова:** капиллярность, линейное впитывание, объёмное впитывание, плотность распределения, функция Крампа.

A needle-punched polyether-based fabric capillaries cross-section size distribution parameters assessment method is brought forward. It is based on such materials linear and volumetric absorption experiments. It is supposed that nonwoven fibrous materials structure is chaotic and during interaction with liquid may be represented as a capillary system, whose dimensional features are to be described by the means of lognormal distribution function.

**Key words:** capillary, linear absorption, volume absorption, density of distribution, Kramp function.

Важным фактором, определяющим сорбционные свойства нетканых иглопробивных материалов, является их капиллярно-пористая структура. Наиболее значимой характеристикой капиллярной структуры подобных материалов можно считать плотность распределения капилляров по их размерам.

В работе предложен способ определения параметров плотности распределения капилляров по размерам их поперечных сечений, основанный на экспериментах по динамике линейного и объёмного впитывания жидкости материалами.

Проведённые ранее исследования [1] показали, что динамика линейного и объёмного впитывания жидкости образцами нетканых иглопробивных полиэфирных материалов удачно описывалась формулами [2]:

$$L(t) = \frac{L_{\infty} t^2}{(\tau_l + t)^2} \quad \text{и} \quad V(t) = \frac{V_{\infty} t^2}{(\tau_v + t)^2}, \quad \text{где } t - \text{ время впитывания жидкости образцом.}$$

Учитывая, что дифференциал  $dV$  объёма жидкости, поглощённый  $n(l)$  капиллярами с радиусами  $R$  на длину  $l$ , есть  $dV = n(l)\pi R^2 dl$ , а также обратно пропорциональную связь размера поперечного сечения капилляра с высотой заполнения его жидкостью, найдём относительную долю капилляров, заполненных на длину  $l$  к моменту времени  $t$ :

$$\frac{n(l(t))}{n_\infty} = \frac{t^2(\tau_l + t)}{(\tau_v + t)^3} \quad (1)$$

Экспериментальную зависимость (1) аппроксимируем функцией логарифмически нормального распределения [3]:

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{Erf} \left( \frac{\ln x - a}{\sqrt{2b}} \right) \right], \quad (2)$$

где  $\operatorname{Erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp\{-t^2\} dt$  – функция Крампа,  $a, b$  – оптимизируемые параметры.

Оптимизацию можно проводить по критерию Колмогорова – Смирнова или по критерию  $\omega^2$ , суть первого из которых состоит в проверке гипотезы о совпадении значений функции распределения (1) со значениями функции логарифмически нормального распределения (2), как правило, в ограниченном числе точек, второго – при проверке такой же гипотезы при незначительных отклонениях значений функций в сравнительно большем числе точек.

Параметры  $a, b$  характеризуют логарифм математического ожидания случайной величины  $x$  и логарифм среднего квадратичного отклонения этой величины, функция распределения

которой есть  $x = L(t) = \frac{L_\infty t^2}{(\tau_l + t)^2}$ .

В первом приближении можно «подбирать» эти параметры методом Хука – Дживса, или минимизировать остаточную сумму квадратов разностей значений функций (1) и (2) в различные моменты времени методами нелинейного регрессионного анализа и использовать в этом случае критерии согласия.

Плотность распределения логарифмически нормального распределения равна производной функции (2) и имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot bx}} \exp \left\{ -\frac{(\ln x - a)^2}{2b} \right\} \quad (3)$$

Для перехода в формуле (3) к новой переменной – радиусам капилляров по функции распределения (2) найдём плотность распределения капилляров по радиусам:

$$f(R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi bR}} \exp \left\{ -\frac{\left( \ln \frac{2\sigma \cos \theta}{R\rho g} - a \right)^2}{2b^2} \right\}, \quad (4)$$

учитывая, что  $L = \frac{2\sigma \cos \theta}{R\rho g}$ .

Последний переход возможен потому, что в экспериментах с измерениями положения «горизонтальной границы» впитывания в различные моменты времени для плоских образцов, ориентированных вдоль вектора ускорения свободного падения, именно положение такой границы обусловлено заполнением капилляров со средним радиусом и «расположенных вертикально».

Переход в (4) к новой безразмерной переменной  $R/R_s$  даёт

$$f(R/R_s) = \frac{R_s}{\sqrt{2\pi bR}} \exp \left\{ - \frac{\left( \ln \frac{R_s}{R} - a \right)^2}{2b^2} \right\} \quad (5)$$

Зависимость (5) интересна тем, что содержит коэффициенты оптимизации  $a$  и  $b$ , определяемые по экспериментальным данным, и информацию о краевом угле смачивания в системе «капилляры – жидкость», которую можно получить используя, например, методики [2]. Для графического представления распределения (5) достаточно принять за единицу величину  $R_s = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g}$ . Математическое ожидание случайной величины, распределённой по закону (3), есть  $\exp\{a + b^2 / 2\}$ , дисперсия -  $\exp\{2a + b^2\}(\exp\{b^2 - 1\})$  [3].

На основании экспериментальных данных работы [1] были рассчитаны параметры  $a$  и  $b$ , математическое ожидание и дисперсия для капиллярных систем «ПЭФ+вода+бамбук» и «ПЭФ+вода». Значение величины  $R_s$  для данных систем изменялось незначительно и составило  $8,4 \cdot 10^{-7} \pm 2 \cdot 10^{-8}$  м. Сравнительный расчёт приведён в табл.1.

Таблица 1

Расчетные показатели для систем «ПЭФ+бамбук+вода» и «ПЭФ+вода»

Система	$a$	$b$	$M [x]$	$D [x]$
ПЭФ+бамбук+вода	- 0.08	0.57	1.09	0.42
ПЭФ+вода	- 0.1	0.73	1.18	1.18

На рис.1 представлена зависимость (5)  $f\left(\frac{R}{R_s}\right)$  для анализируемых систем.

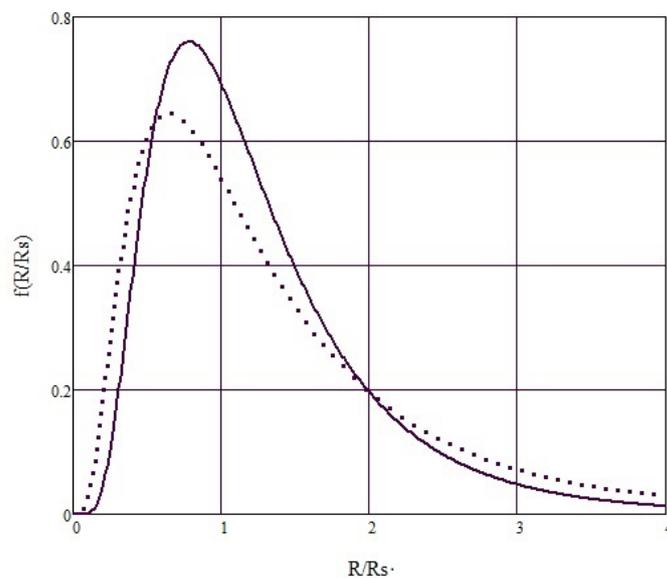


Рис.1 Плотности распределения капилляров для систем «ПЭФ+вода» (точечная кривая) и «ПЭФ+бамбук+вода» (сплошная кривая) по радиусам капилляров в относительных единицах

Как видно из представленных данных (табл. 1), если математические ожидания рассматриваемых систем отличаются незначительно, то дисперсии – более чем в 2 раза. Моменты распределений более высоких порядков позволяют учесть их асимметрию и т.д.

Сравнение плотностей распределений по радиусам капилляров для систем «ПЭФ+вода» и «ПЭФ+бамбук+вода», представленных на рис.1, показывает, что введение в нетканый материал бамбукового волокна приводит к незначительному увеличению размеров капилляров.

Таким образом, плотность распределения  $f\left(\frac{R}{R_s}\right)$  может характеризовать спектральные свойства системы «капилляры – жидкость».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Островский Ю.К., Полухина Л.М., Евсюкова Н.В. Капиллярность нетканых стелечных материалов // XVIII Международный научно-практический форум «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы» (SMARTEX-2015). Сборник материалов. 26-29 мая, 2015 г. Иваново, 2015.
2. Волков В.А., Щукина Е.А. Задачи расчёты по коллоидной химии.- М.: ООО «Совьянж Бево», 2006. 295 с.
3. Колмогоров А.Н. О логарифмически нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении // Докл. АН СССР, 1941. Т.31, №2, с.99.

УДК 687.053

#### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ АГРЕГИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

#### **DESIGN OF AGGREGATED WORKPLACES FOR STITCHING DETAILS OF THE GARMENTS ARE MADE FROM NEW MATERIALS**

О.В. Радченко, В.В. Козырев, М.Ю. Белялов  
O.V. Radchenko, V.V. Kozurev, M.Y. Belyalov

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail: radchenale@yandex.ru, kozirev@ yandex.ru, bmu262@mail.ru

Выпуск швейных изделий из новых материалов и переход на ресурсосберегающие технологии взаимосвязаны с изменением требований к парку технологического оборудования. С учетом инновационных направлений развития швейного оборудования предложена структура агрегированного рабочего места, которая позволяет гибко встроить узкоспециализированную, специальную или универсальную швейную машину в технологический поток предприятия определенного вида специализации за счет оснащения эффективными в этом процессе дополнительными узлами и агрегатами.

**Ключевые слова:** новые материалы, швейное производство, ресурсосберегающие технологии, швейные машины, агрегированное рабочее место

Production of apparel from new materials and the transition to resource-saving technologies are interconnected to changes in the requirements to the park of the process equipment. The article describes the structure of the aggregate workplace, designed based on trends in the development of innovative sewing machines. This structure allows to incorporate a highly specialized, special or universal sewing machine in the

**enterprise of any kind of specialization by equipping this machine with additional nodes and aggregates, which are effective in this process.**

**Key words: new materials, clothing manufacture, resource-saving technologies, sewing machines, aggregated workplace**

Актуальным направлением повышения производственного потенциала легкой промышленности в соответствии с государственной программой Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» [1] и со Стратегией развития легкой промышленности России [2] является техническое перевооружение и модернизация производства, внедрение прорывных технологий и создание новых высокопроизводительных производств, обеспечивающих активизацию инновационной деятельности предприятий.

На рынке текстильной продукции появляются материалы с новыми эксплуатационными свойствами (Hi-Tech): повышенного комфорта, с информационными и регулируемыми функциями, с комплексом защитных свойств и т.п. В последние годы значительная доля инноваций приходится на сегменты технического текстиля. Технический текстиль широко распространен в различных отраслях, таких как сельское хозяйство, швейная промышленность (прокладочные и вспомогательные материалы), строительство и машиностроение, медицина, спорт, защита окружающей среды, специальный защитный текстиль и др. [3,4]. Выпуск швейных изделий из таких материалов и переход на ресурсосберегающие технологии взаимосвязаны с изменением требований к парку технологического оборудования, обеспечивающего реализацию процесса изготовления [5].

В качестве предмета исследования выбраны рабочие места (РМ) для выполнения соединения деталей швейного изделия из новых материалов.

Цель работы заключалась в разработке структуры рациональных агрегированных рабочих мест с учетом современного состояния развития техники и технологии швейного производства, ориентированных на изменения в сырьевой базе швейной промышленности.

В настоящее время в швейном машиностроении появились комплекты средств для добавочного оснащения базовых конструкций швейных машин, которые позволяют при минимальных капитальных затратах на модернизацию оборудования повысить производительность труда за счет сокращения времени на вспомогательные приемы и улучшить качество обработки швейных изделий.

Одним из резервов по снижению затрат времени на обработку и сборку деталей в потоке является направление по созданию агрегированных рабочих мест.

Агрегированное рабочее место [6] представляет собой швейную машину неавтоматического действия, оснащенную дополнительными устройствами, которые позволяют механизировать и автоматизировать ручные приемы и рационализировать методы труда, благодаря чему удается повысить производительность труда.

Известные бренды Pfaff, Durkopp Adler создают интегрированные (агрегированные) РМ, ориентированные на выполнение конкретной операции, обработку унифицированного шва или узла швейного изделия, могут быть адаптированы к определенному ассортименту. Обработка разреза детали под застежку «поло», стачивание унифицированных срезов и вытачек мужских костюмов, обработка входа в прорезной карман, соединение накладных карманов и т.п. Турецкая компания ROBOTECH A.G собирает разнообразные типы интегрированных рабочих мест, используя модульный принцип. При этом в качестве базовых машин используется оборудование ведущих производителей, таких как Juki, Brother, Pegasus, приводы SIEMENS, EFKA, а разработки выполняются в сотрудничестве, в том числе, и с AMF REECE. На рис. 1 представлена модель автомата для обработки прорезного кармана с функцией вшивания молнии, включающая швейный аппарат Brother (1), контрольную панель SIEMENS/HITECH (2), мотор EFKA 550 W mini stop DC Servo (3), промышленный стол специальной конструкции (4), дополнительные подставки для размещения полуфабриката (5), средства для подачи деталей кроя в зону шитья и перемещения (6),

технологическая оснастка для дозированной подачи застежки-молнии (7), укладчик деталей в пачку (8). По аналогичному принципу компоновки РМ строит свой бизнес компания Newton. Для производства трикотажных изделий, таких как футболки, майки, нижнее мужское и женское бельё, швейцарская компания Schips предлагает автоматические агрегаты для обработки краев деталей и соединительных швов.

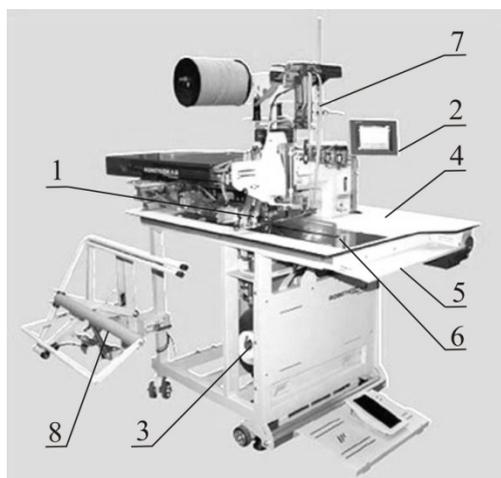


Рис. 1. Модель автомата FF 5000 ZP для обработки кармана с функцией вшивания молнии

Следует отметить, что интегрированные РМ работают на унифицированных срезах и деталях швейных изделий, эффективность использования достигается в потоках большой мощности. Количество видов такого оборудования ограничено, разрабатывается оно под однотипные методы обработки деталей и узлов.

Современные перспективные авторские коллекции моделей одежды демонстрируют сложные конструкторские разработки, разнообразие методов обработки, новые текстильные материалы с уникальными свойствами. Это требует введения мероприятий по реорганизации технического оснащения процесса шитья. Гибко перестроить технологический процесс пошива позволяет создание РМ на базе швейных машин, которые скомплектованы фирмами-производителями под конкретного заказчика оборудования с учетом специфических свойств пакетов материалов.

Авторами предложена структура организации рабочего места с разными уровнями специализации (рис. 2): универсальное, специализированное, узкоспециализированное и агрегированное.

Агрегированное рабочее место позволяет гибко встроить узкоспециализированную, специальную или универсальную швейную машину в технологический поток предприятия определенного вида специализации за счет оснащения эффективными в этом процессе дополнительными узлами и агрегатами.

Реализация собственных разработок РМ в условиях ремонтно-механических мастерских швейного предприятия возможна при правильной оценке ситуации на рынке швейного оборудования, наличии знаний об элементах дополнительной оснастки, способах их монтажа, о путях приобретения разных систем и деталей, включаемых в РМ. Ряд элементов технологической оснастки можно приобрести у отечественных производителей, однако эти фирмы широко не заявляют о своей продукции, что ведет к определенным сложностям, затрудняющим выбор. Кроме известных торговых марок, выпускающих средства малой механизации и организационно-технологическую оснастку, существует возможность заказать сменные детали и узлы к швейным машинам у ведущих производителей оборудования, обратившись к официальным представителям их в России. Недостатками являются высокая цена и длительные сроки поставки.

Основное условие функционирования агрегированного рабочего места – это согласование работы элементов автоматизации всех составных частей с базовой швейной

машиной. Некоторые фирмы-производители закрывают доступ к своему программному обеспечению оборудования.

Комплексный подход к формированию агрегированных рабочих мест для обработки новых материалов позволяет:

- повысить качество процесса стежкообразования за счет обеспечения требуемых условий подачи деталей в зону шитья и надежного их перемещения (беспосадочное соединение, с растяжением тесьмы, с заданной посадкой деталей и пр.);

- рационально организовать трудовой процесс оператора (размещение деталей с учетом их габаритных размеров, работа с рулонными материалами, осуществление соединения деталей по открытому контуру или по замкнутому контуру «в кольцо», удаление «обрези», укладывание обработанных полуфабрикатов в пачку и пр.).

Таким образом, выпуск швейных изделий из материалов с новыми эксплуатационными свойствами повышенного комфорта, с информационными и регулируемыми функциями, материалов с комплексом защитных свойств и переход на новые наукоемкие технологии взаимосвязаны с изменением парка швейных машин и организации рабочих мест в потоке. Инновационные разработки в области швейного оборудования учитывают изменения в сырьевой базе и дают возможность успешно создавать рациональные рабочие места для обработки материалов с новыми потребительскими свойствами.

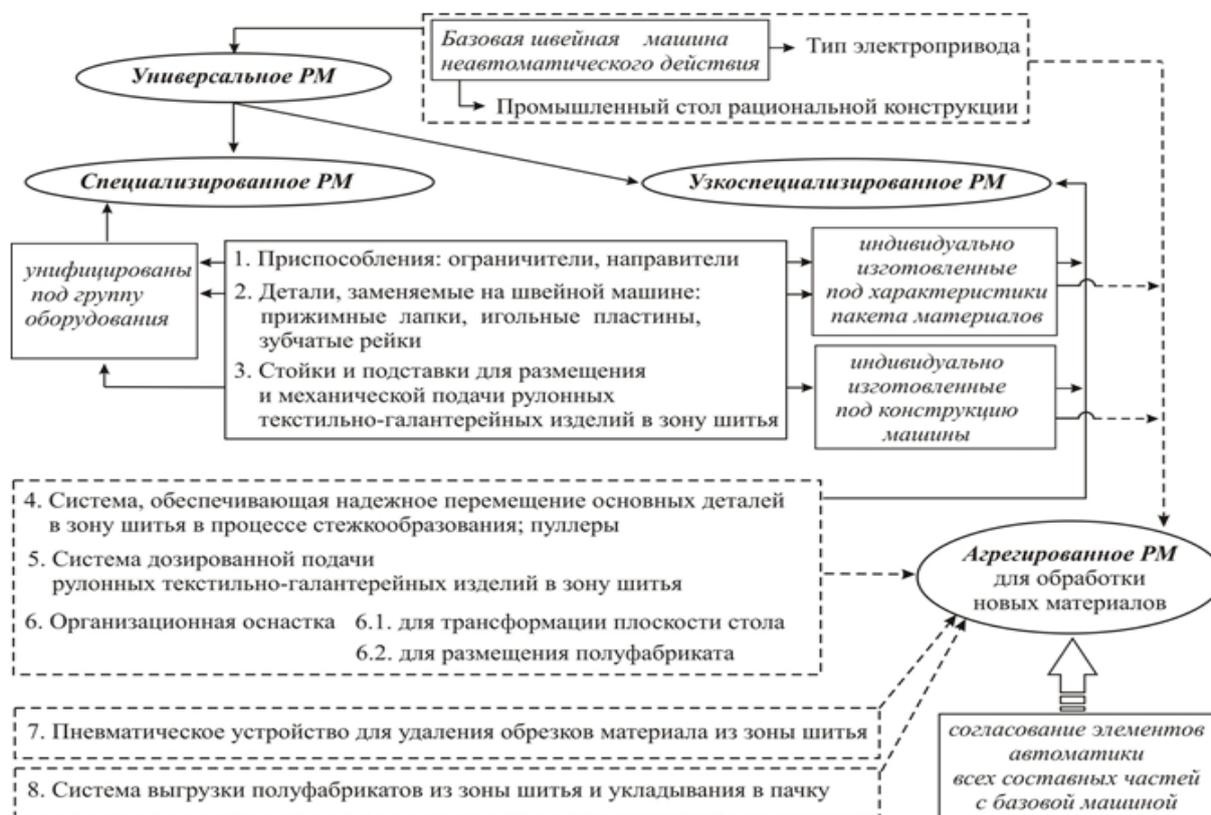


Рис. 2. Структура организации рабочего места

Статья подготовлена в рамках выполнения проектной части госзадания № 11.1898.2014/К

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 N 328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности»

2. Приказ Минпромторга РФ от 24.09.2009 N 853 «Об утверждении Стратегии развития легкой промышленности России на период до 2020 года и Плана мероприятий по ее реализации»
3. Корнилова Н.Л., Чистобородов Г.И., Федосов С.В. Будущее отрасли – технический текстиль, функциональные материалы с новыми или улучшенными эксплуатационными свойствами // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2014. – №4. – С.24-28.
4. Сурикова М.В., Метелева О.В., Коваленко Е.И. Соединение защитных материалов при использовании самоклеющегося пленочного материала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. – № 5 (347). – С. 101-104.
5. Радченко О.В., Козырев В.В., Политика Т.С. Направления совершенствования швейных машин для обработки новых материалов // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы докладов международной научно-технической конференции – Витебск: УО «ВГТУ», 2015. – С.248-249.
6. Франц В.Я. Оборудование швейного производства: Учеб. для сред. проф. образования / В.Я. Франц. – М.: Издательский центр «Академия», 2002. – 448с.

УДК 677.024

## **НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ТКАНЫХ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

### **NEW GENERATION OF MULTILAYER WOVEN SPECIAL PURPOSE PRODUCTS**

В.Т. Сергеев  
V.T. Sergeev

ЗАО «ТРИ-Д» (Зеленоград, Московская обл.)  
ZAO "TRI-D" (Zelenograd, Moscow reg.)  
E-mail: svt22@yandex.ru

**Показаны преимущества композиционных материалов на основе многослойных тканей. Дана характеристика выпускаемых тканей. Перечислены особенности технологического процесса изготовления многослойных тканей. Показана необходимость создания нового ткацкого оборудования. Перечислены конструктивные особенности нового ткацкого оборудования.**

**Ключевые слова:** многослойные ткани, композиты, углерод, стекло, волокна, нити, композиты, ткацкие станки

**The advantages of composite materials based on multi-layer fabrics. The characteristics of manufactured fabrics. Listed features of the process of manufac-laminated fabrics. The necessity of creating a new weaving equipment. Enumerable-Lena design features of the new weaving equipment.**

**Keywords:** multilayered fabrics, composites, carbon, glass, fibers, filaments, composites looms

Многослойные ткани и контурно-профильные тканые изделия используются как трехмерные пространственно-армирующие наполнители для высокоэффективных композитных материалов в таких областях промышленности РФ как аэрокосмическая, машиностроение, самолето- и судостроение, металлургия и атомная энергетика. Композиты, полученные на основе разработанных материалов, обеспечивают следующие преимущества [1]:

- исключение риска расслоения и локализации трещин в композите;
- высокую стойкость к торцевому удару;
- повышение стойкости материала к деформационным нагрузкам и высокотемпературным воздействиям, стойкость к абляции, радиопрозрачность;
- уменьшение стоимости и трудоемкости изготовления высокоэффективных композитов

Использование разработанных тканей многослойных структур позволяет получить композиты с многофункциональными свойствами, а применение их взамен асбестовых материалов обеспечивает экологическую безопасность промышленных объектов.

Многослойные ткани из кремнеземных нитей.

Многослойные кремнеземные ткани (МКТ) изготавливаются из кремнеземных нитей, которые выдерживают длительную многоцикловую тепловую нагрузку при температуре до 1100°C, а в условиях кратковременных тепловых нагрузок эти ткани работают до 1400°C. Многослойные ткани, полученные на их основе, обладают низкой теплопроводностью, высокой стойкостью к тепловому удару, превосходными диэлектрическими свойствами при высокой температуре и влажности, а также имеют повышенную кислото- и щелочестойкость.

Многослойные кремнеземные ткани вырабатывают из кремнеземных нитей безусадочных аппретированных (БА) и нитей, не подвергавшихся обработке, линейной плотности от 170 до 720 текс с малой степенью кручения. Для обеспечения высоких технических требований не только по теплозащитным, но и по прочностным характеристикам, при их проектировании использовались базовые переплетения главного класса и их производные с последовательным способом соединения слоев.

Представленная серия тканей МКТ характеризуется диапазоном толщин от 1.6 до 12.5 мм и массой от 1.4 до 11 кг при значительном заполнении ткани волокнистым материалом до 750-900 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 1

Многослойные кремнеземные ткани

Марка ткани	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Масса ед. площади, кг/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Ширина, мм	Техническая документация
МКТ-2,5	800	2,50	3,0	500-950	ТУ 6-19-293-85
МКТ-3,0	750	3,00	4,1	500-950	ТУ 6-19-293-85
МКТ-4,2	800	4,20	5,2	500-950	ТУ 6-19-293-85
МКТ-5,0	800	5,00	6,2	500-950	ТУ 6-19-293-85
МКТ-5,25	750	5,20	7,2	500-950	ТУ 6-19-293-85
МКТ-11	900	11,00	12,5	500-950	ТУ 6-48-05786904-94-91
МКТ-1,6 БА	750	1,40	1,6	500-1000	ТУ 5952-007-20524426-97
МКТ-3,0 БА	800	2,40	3,0	500-1000	ТУ 5952-007-20524426-97
МКТ-4,8 БА	750	4,80	6,4	500-1000	ТУ 6-19-376-87

Решение задачи по разработке облегченных многослойных тканей осуществлено серией тканей МКТО.

Многослойные кремнеземные облегченные ткани (МКТО) изготавливаются из текстурированных кремнеземных нитей БА и обладают всеми свойствами преимуществами обычных многослойных кремнеземных тканей.

Текстурирование кремнеземных нитей является уникальной технологией, осуществляемой методом раздува нити под незначительным давлением. Это позволяет увеличить поперечные размеры нитей, что способствует увеличению толщины многослойной ткани при снижении ее объемной плотности. Экспериментальные

исследования показали, что объемная плотность МКТО может быть снижена до 350-150 кг/м<sup>3</sup>. Этому способствует не только процесс текстурирования кремнеземных нитей, но и слоисто-каркасная структура многослойной ткани, разработанная для получения облегченных теплозащитных материалов.

Многослойные ткани из кварцевых нитей.

Многослойные кварцевые ткани (МКВТ) изготавливаются из кварцевых нитей и обладают превосходной комбинацией физических и химических свойств, которые присущи кварцевому стеклу. Данные ткани применяются как высокоэффективная и стойкая теплоизоляция и теплозащита в экстремальных условиях температурного воздействия, а также как пространственные наполнители для композитов с высокой прочностью и радиопрозрачностью.

Уникальные свойства тканей МКВТ обеспечены использованием кварцевых нитей, структурой многослойной ткани, а также внедрением рациональной технологии ткачества на отечественном оборудовании.

Текстурирование кремнеземных нитей является уникальной технологией, осуществляемой методом раздува нити под незначительным давлением. Это позволяет увеличить поперечные размеры нитей, что способствует увеличению толщины многослойной ткани при снижении ее объемной плотности. Экспериментальные исследования показали, что объемная плотность МКТО может быть снижена до 350-150 кг/м<sup>3</sup>. Этому способствует не только процесс текстурирования кремнеземных нитей, но и слоисто-каркасная структура многослойной ткани, разработанная для получения облегченных теплозащитных материалов

Таблица 2

Облегченные кремнеземные многослойные ткани

Марка ткани	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Масса ед. площади, кг/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Ширина, мм	Техническая документация
МКТО-1,6-300	300	0,50	1,6	500-950	ТУ 5952-009-20524426-99
МКТО-2-300	300	0,60	2,0	500-950	
МКТО-3-300	300	0,98	3,0	500-950	ТУ 5952-020-20524426-2009
МКТО-4-300	300	1,10	4,0	500-950	ТУ 5952-009-20524426-99
МКТО-5-300	300	1,29	5,0	500-950	ТУ 5952-020-20524426-2009
МКТО-6-300	300	1,80	6,0	500-950	ТУ 5952-020-20524426-2009
МКТО-10-300	300	3,07	10,0	500-950	ТУ 5952-019-20524426-2008
МКТО-12	350	4,20	12,0	500-950	ТУ 5952-018-20524426-2008
МКТО-15-150	150	2,25	15,0	500-950	
МКТО-20-150	150	3,00	20,0	500-950	
МКТО-25-150	150	3,75	25,0	500-950	
МКТО-30-150	150	4,50	30,0	500-950	
МКТО-40-150	150	6,00	40,0	500-950	

окончание таблицы 2

МКТО-50-150	150	7,50	50,0	500-950	
МКТТ-2,2	500	3,50	7,0	500-950	ТУ 6-19-062-75-87
МКТТ-3,5	300	0,50	1,6	500-950	ТУ 6-11-592-84

Таблица 3

Многослойные кварцевые ткани

Марка ткани	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Масса ед. площади, кг/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Ширина, мм	Техническая документация
МКВТ-2,0	750	2,00	2,7	1500	ТУ 5952-016-20524426-2006
МКВТ-2,7	750	2,70	3,6	950-1150	
МКВТ-5,1	750	5,10	6,8	950-1150	ТУ 5952-019-00204961-01

Многослойные ткани из бесщелочного алюмоборосиликатного стекла.

Многослойные ткани из бесщелочного алюмоборосиликатного стекла (МТБС) применяются для производства конструкционных стеклопластиков технического назначения, и том числе для решения народно-хозяйственных задач в области строительства.

Ткани обеспечивают высокие прочностные характеристики, а также долговечность стеклопластиков при низкой трудоемкости (стоимость в 10-20 раз меньше, чем у кварцевых тканей) их производства.

Таблица 4

Многослойные ткани из бесщелочного алюмоборосиликатного стекла

Марка ткани	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Масса ед. площади, кг/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Ширина, мм	Техническая документация
МТБС-1,6	850	1,20	1,4	950-1150	ТУ 5952-0021-20524426-2010
МТБС-2,1	800	2,10	2,6	950-1150	ТУ 6-19-376-87
МТБС-2,3	750	2,40	3,1	950-1150	ТУ 5952-014-20524426-2005
МТБС-4,35	900	4,35	4,9	950-1150	ТУ 6-19-376-87
МТБС-5,2	800	5,20	6,5	950-1150	ТУ 6-19-376-87

Многослойные ткани из комбинированных нитей.

Многослойные ткани марок МКХТ изготавливаются из комбинированных крученых кремнеземно-хлопковых нитей. Сочетание химических и натуральных нитей позволяет получить тканый материал с новыми свойствами. При сгорании хлопчатобумажной составляющей многослойная ткань МКХТ сохраняет теплозащитные свойства на уровне кремнеземных тканей и обеспечивает получение разреженных тканых структур, которые реализуются в композиционных материалах повышенной растяжимостью при нагружении.

Таблица 5

## Многослойные кремнеземно-хлопковые ткани

Марка ткани	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Масса ед. площади, кг/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Ширина, мм	Техническая документация
МКХТ-2/1	450	2,10	4,3	950-1150	ТУ 6-19-284-85
МКХТ-4/1	550	3,90	7,4	950-1150	ТУ 6-19-284-85
МКХТ-5/1	550	4,80	8,6	950-1150	ТУ 6-19-284-85

## Многослойные ленты.

Ленты флюсовые сварочные (ЛФС) изготавливаются из кремнеземных нитей и нитей из бесщелочного алюмоборосиликатного состава стекла (Е-стекла). Использование двух видов стеклянных нитей с различными температурами плавления способствует постепенному и надежному формированию шва при дуговой сварке. Структура многослойного переплетения и большая линейная плотность нитей способствуют увеличению толщины ленты до 4,5 мм.

Таблица 6

## Ленты флюсовые сварочные

Марка ткани	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Масса ед. площади, кг/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Ширина, мм	Техническая документация
ЛФС-3(35)	850	4,00	4,5	35	ТУ 5952-024-20524426-2012

В настоящее время при изготовлении многослойных тканей используется ткацкий станок КПТЗ-160-С. Технологическая схема КПТЗ-160С (рис. 1) дает представление о конструктивных особенностях и сложности заправки станка. Для распределения основных нитей после выхода со шпулярника используется система из 8-ми скал и скальное раздвижное бердо. Ремизные рамы с махом 600 мм открывают зев у 1-ой ремизки (по ходу технологического режима) на высоту до 260 мм с постепенным уменьшением до 135 мм у 24-й ремизки. Использование чистого зева закрытого типа снижает возможность «залипания» основных нитей. Склиз батана выполнен с выступающими пластинами и углублением по всей его ширине, что способствует уменьшению взаимодействия с нитями нижней ветви зева, а также перемещению опушки ткани в вертикальной плоскости по толщине многослойной ткани [2-6].

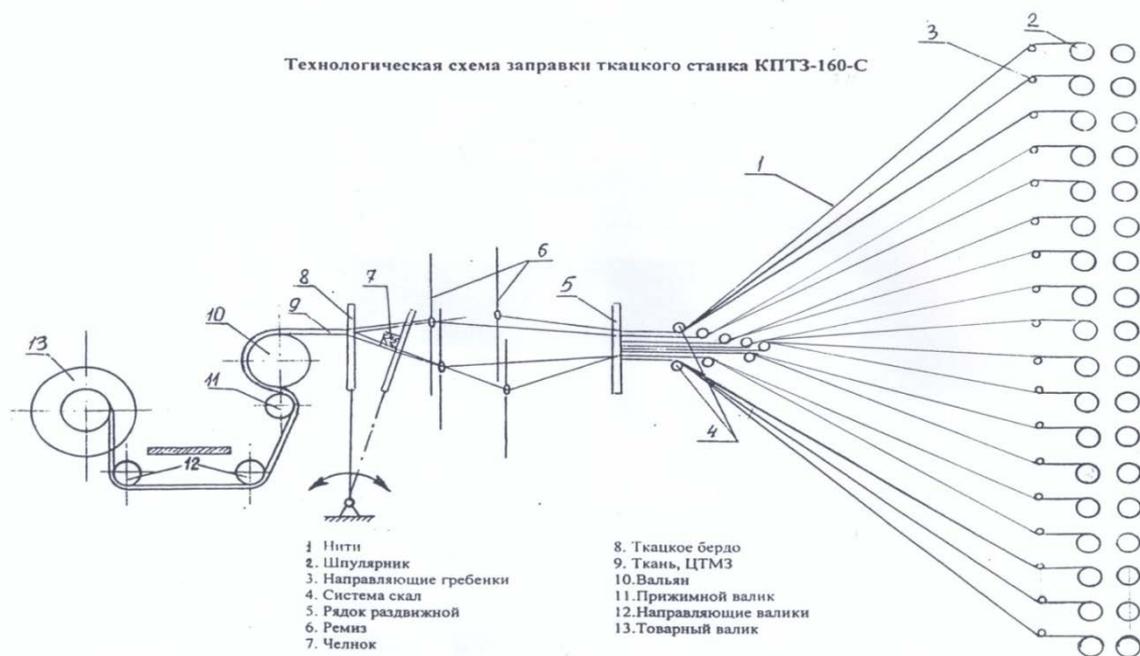


Рис 1. Технологическая схема заправки станка КПТЗ-160С

Нами разработаны исходные данные и технические задания для создания ткацких станков нового поколения. На них предусмотрены системы программного управления основными механизмами ткацкого станка через комплектные электродвигатели с электронным управлением; установка монитора для отображения текущих технологических параметров и пульта с возможностью их задания.

Создание нового ткацкого оборудования предусматривает:

- возможность переработки на ткацком станке кварцевых, кремнеземных, углеродных нитей линейной плотности от 200-1220 текс, получение ткани с плотностью по основе до 960 нит/дм, по утку – до 2100 нит/дм, толщиной до 50 мм; количество нитей в заправке до 15360; количество используемых нитей различного вида - 4

- использование жаккардовой машины с электронным управлением;

- размещение нитей основы на индивидуальных катушках и возможностью регулирования натяжения нитей;

- возможность дискретного отвода ткани.

Комплект станка должен включать механический челночный ткацкий станок, блок жаккардовой машины, систему программного управления станком, основонаблюдатель, механизм натяжения основы, секционный шпулярник.

Станок должен иметь автоматическое регулирование с микропроцессорным управлением. Станок должен иметь монитор для отображения текущих технологических параметров. Система программного управления должна обеспечивать синхронное управление комплектными электроприводами электронными устройствами [7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ от 24 июля 2013 г. № 1307-р О плане мероприятий ("дорожная карта") "Развитие отрасли производства композитных материалов".
2. Сергеев В.Т., Николаев С.Д., Сумарукова Р.И. Технология изготовления многослойной бикомпонентной ткани // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - Иваново: ИГТА, 2012. - №6.- с. 81-85
3. Сергеев В.Т., Николаев С.Д. Разработка технологии многослойных комбинированных тканей с заданными свойствами для армирования композиционных материалов //

Международная научно-техническая конференция «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ – 2012): тезисы докладов. – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2012.

4. Сергеев В.Т., Николаев С.Д. Особенности технологии изготовления многослойной бикомпонентной ткани // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности «ПРОГРЕСС-2013»: сборник материалов международной научно-технической конференции. Иваново: Текстильный институт ФГБОУ ПВО «ИВГПУ», 2013.

5. Сергеев В.Т. Технологические особенности изготовления многослойной бикомпонентной ткани. Сборник научных трудов аспирантов. Выпуск 18. - М., 2012г. - 5 с.

6. Павлихина И.Ю., Сумарукова Р.И. Технология облегченных многослойных тканей из кремнеземных нитей для стеклопластиков. Тезисы докладов международной научно-технической конференции «ТЕКСТИЛЬ-2009», М., 2009

7. Сергеев В.Т. Использование специального ткацкого оборудования для изготовления многослойных комбинированных тканей. // Материалы международной научно - технической конференции. «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности» - Витебск, 2011. -3 с.

УДК 677.017

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН И ДУБЛИРОВАННЫХ СИСТЕМ МАТЕРИАЛОВ**

### **REGULATION OF PROPERTIES OF TEXTILE MATERIALS AND DUPLICATE SYSTEMS**

М.В. Томилова, В.В. Замышляева, Н.А. Смирнова  
M.V. Tomilova, V.V. Zamyshlyeva, N.A. Smirnova

Костромской государственной технологической университет  
Kostroma State Technological University  
E-mail tmchp1@kstu.edu.ru

**В статье приведены результаты исследований влияния строения плетеных полотен и структуры термоклеевых прокладочных материалов дублированных систем на их формоустойчивость. Предложены варианты полотен и дублированных систем материалов с рациональной структурой.**

**Ключевые слова:** свойства, текстильные полотна, термоклеевой прокладочный материал, дублированные системы материалов.

**In the article the results of researches of influence on the dimensional stability of the woven structure of the fabric and structure of the fusible interlining materials duplicated systems. Proposed versions of the paintings and duplicated content system with rational structure.**

**Keywords:** properties, textile fabrics, fusible interlining material, dubbed system materials.

Возможность управления свойствами текстильных материалов позволяет осуществлять научно обоснованное конфекционирование, повышая качество изделий. Одним из основных свойств, определяющих качество текстильных полотен и швейных изделий, является формоустойчивость. Формоустойчивость полотен определялась по характеристикам сдвига [1], а формоустойчивость дублированных систем материалов – по характеристикам изгиба [2]. В качестве объектов исследований выбраны текстильные плетеные полотна и дублированные системы материалов.

Для регулирования свойств текстильных полотен выбраны характеристики их строения. Плетеные полотна изготовлены из льняной ровницы 980 текс ручным способом

двуаксиальными и триаксиальными переплетениями (табл. 1) прямого и косого типа. Полотна прямого типа с ортогональным расположением систем исходных элементов в плоскости плетения, а косого типа – с наклонным расположением, где правая (Z) система направлена слева вверх направо, левая (S) – справа вверх налево. Плетеные полотна триаксиального переплетения прямого типа изготовлены с разными углами расположения правой системы: 15°, 30°, 45°, 60° и 75°. Исследование характеристик формоустойчивости плетеных полотен проводилось по запатентованному методу [1, 3], реализуемому на разработанном в КГТУ автоматизированном устройстве [4]. Формоустойчивость плетеных полотен оценивалась по характеристикам сдвига (табл. 2) [5, 6]. Анализ результатов исследований (см. табл. 2) показал, что плетеные полотна триаксиальных переплетений обладают лучшей формоустойчивостью по сравнению с полотнами двуаксиальных переплетений.

За счет изменения угла расположения правой системы в полотнах триаксиального переплетения прямого типа можно регулировать их формоустойчивость: формоустойчивость плетеных полотен повышается при приближении формы ячеек полотна к равнобедренным треугольникам. Наиболее рациональной структурой обладает полотно триаксиального переплетения прямого типа с расположением правой системы под углом 45°, которому соответствуют наименьшее значение падения усилия при постоянной деформации сдвига и высокий коэффициент формоустойчивости.

Таблица 1

Характеристика строения и массы плетеных полотен

№ полотна	Переплетение плетеного полотна		Поверхностная плотность $M_s$ , г/м <sup>2</sup>	Геометрическая плотность $b_i$ , мм	
	Вид	Условное обозначение			
1	Двуаксиальное прямого типа	Г-В	452	$b_\Gamma$	4,6
				$b_B$	4,5
2	Двуаксиальное косого типа	Z-S	230	$b_Z$	4,3
				$b_S$	4,2
3	Триаксиальное прямого типа с правой третьей системой под углом 15°	Г-В-Z(15°)	640	$b_\Gamma$	4,8
				$b_B$	3,5
				$b_Z$	4,7
4	Триаксиальное прямого типа с правой третьей системой под углом 30°	Г-В-Z(30°)	745	$b_\Gamma$	4,6
				$b_B$	4,4
				$b_Z$	4,0
5	Триаксиальное прямого типа с правой третьей системой под углом 45°	Г-В-Z(45°)	775	$b_\Gamma$	4,2
				$b_B$	3,5
				$b_Z$	3,3
6	Триаксиальное прямого типа с правой третьей системой под углом 60°	Г-В-Z(60°)	685	$b_\Gamma$	4,1
				$b_B$	4,0
				$b_Z$	3,8
7	Триаксиальное прямого типа с правой третьей системой под углом 75°	Г-В-Z(75°)	685	$b_\Gamma$	4,2
				$b_B$	4,1
				$b_Z$	3,7
8	Триаксиальное косого типа с вертикальной третьей системой	Z-S-B	851	$b_Z$	4,1
				$b_S$	4,2
				$b_\Gamma$	3,7
9	Триаксиальное косого типа с горизонтальной третьей системой	Z-S-Г	740	$b_Z$	4,1
				$b_S$	4,1
				$b_B$	3,8

Примечание:  $b$  – расстояние между центрами ровницы одной системы исходных элементов, мм;  $b_B$  – плотность по вертикали,  $b_\Gamma$  – плотность по горизонтали,  $b_Z$  – плотность правой системы,  $b_S$  – плотность левой системы.

Характеристики формоустойчивости при сдвиге плетеных полотен

№ полотна	Усилие Рсдв <sub>1</sub> , сН	Усилие, Рсдв <sub>2</sub> ,сН	Падение усилия, $\Delta P = 100(R_{сдв1} - R_{сдв2}) / R_{сдв1}$ , %	Коэффициент формоустойчивос ти при сдвиге, $K_{фс} = A_{в}/A_{сдв}$
1	21,76	18,24	16,18	0,73
2	8,24	6,31	23,42	0,57
3	35,19	32,16	8,61	0,81
4	39,16	35,31	9,83	0,82
5	45,30	43,025	5,01	0,82
6	44,75	40,77	8,89	0,82
7	38,78	34,23	11,73	0,81
8	57,85	50,0	13,57	0,77
9	24,33	18,0	26,02	0,76

Выбор структуры плетеных полотен при проектировании изделий определяется свойствами изделий: рациональным видом переплетения для проектирования изделий с устойчивой к сдвигающим воздействиям структурой являются триаксиальные переплетения прямого типа с правой системой. Для изделий средней формоустойчивости целесообразно рекомендовать триаксиальное переплетение косого типа с вертикальной системой. При изготовлении изделий с подвижной структурой рекомендуется применять двааксиальные переплетения прямого типа и триаксиальные переплетения косого типа с горизонтальной системой.

Актуальность исследований возможностей регулирования свойств дублированных систем материалов определяется широким использованием клеевой технологии при изготовлении одежды. Дублирование термоклеевыми прокладочными материалами (ТКПМ) позволяет изменять свойства деталей и узлов и обеспечивать формоустойчивость одежды при эксплуатации [7-10].

Исследование формоустойчивости дублированных систем материалов проводилось по запатентованному методу определения релаксационных характеристик изгиба [2], реализуемому на автоматизированном устройстве [11].

Изыскание возможности регулирования формоустойчивости дублированных систем материалов за счет ТКПМ проводилась по разным направлениям. Анализ характеристик формоустойчивости дублированных систем льняной костюмной ткани с ТКПМ на тканой основе (арт. 7331) и на трикотажной основе основовязаного (арт. 3331) и поперечновязаного (арт. С50) переплетений показал, что различные по структуре ТКПМ по-разному влияют на их свойства (табл. 3). Сравнение формоустойчивости дублированных систем материалов с ТКПМ на трикотажных и тканых основах позволяет выявить рациональный вариант ТКПМ для обеспечения высокого качества изделия. Современные тенденции моды при изготовлении изделий костюмной группы для женщин определяют необходимость достижения при дублировании деталей одежды мягкого туше, упругости, средней или малой жесткости, что возможно при использовании ТКПМ на трикотажной основе поперечновязаного переплетения. Эти ТКПМ обеспечивают высокую формоустойчивость дублированных систем материалов при малой жесткости.

Таблица 3

Показатели формоустойчивости дублированных систем материалов с ТКПМ на разных видах основы

Артикул ТКПМ	Условная упругость, %	Условная жесткость, Р, сН	Работа изгиба $A_{и}$ , мкДж	Работа восстановления после изгиба $A_{ви}$ , мкДж	Коэффициент формоустойчивости, $K_{Фи} = A_{ви}/A_{и}$
7331	79	3,8	17,4	16,3	0,94
3331	62	3,1	13,5	11,7	0,87
C50	65	1,9	16,5	15,0	0,91

Выбор фирмы-производителя ТКПМ при конфекционировании материалов также играет важную роль. Сравнение формоустойчивости дублированных систем с аналогичными по структуре ТКПМ разных фирм-производителей показало, что дублированные системы камвольной костюмной ткани с ТКПМ китайского производства по свойствам не уступают дублированным системам с европейскими аналогами (табл. 4), что позволяет сделать выбор в пользу оптимального сочетания цены и качества. ТКПМ, выпускаемые западными компаниями, относятся к средней или высокой ценовой группе и доступны только для крупных швейных предприятий, работающих в сегменте «премиум». Производители одежды сегмента «масс-маркет» используют более дешевые материалы, к которым относятся термоклеевые прокладочные материалы, производимые в Китае. Выбор между аналогичными ТКПМ на тканой основе фирмы «Kufner» (Германия) и фирмы «Fuse» (Китай) является определяющим фактором не только в обеспечении качества готовых изделий, но и в ценовой политике предприятия.

Таблица 4

Показатели формоустойчивости дублированных систем материалов с ТКПМ разных производителей

Вид ТКПМ	Условная упругость, %	Условная жесткость, Р, сН	Работа изгиба $A_{и}$ , мкДж	Работа восстановления после изгиба $A_{ви}$ , мкДж	Коэффициент формоустойчивости, $K_{Фи} = A_{ви}/A_{и}$
арт. В131N77 (Kufner) $M_2 = 73 \text{ г/м}^2$	77	1,7	6,3	4,7	0,75
арт. Fw2072 (Fuse) $M_2 = 72 \text{ г/м}^2$	74	1,65	6,0	4,2	0,70

Регулировать формоустойчивость дублированных систем материалов за счет рационального направления раскроя ТКПМ позволяют сведения об анизотропии их свойств. Исследования характеристик формоустойчивости дублированных систем льняной костюмной ткани с ТКПМ фирмы «Kufner» на тканой (арт. В131N77) и трикотажной (арт. R161G57) основах свидетельствуют о влиянии направления раскроя ТКПМ на свойства дублированных систем материалов (табл. 5).

Анизотропия показателей формоустойчивости дублированных систем материалов

Артикул ТКПМ	Направление раскроя	Условная упругость, %	Условная жесткость, Р, сН	Работа изгиба $A_{и}$ , мкДж	Работа восстановления после изгиба $A_{ви}$ , мкДж	Коэффициент формоустойчивости, $K_{Фи} = A_{ви}/A_{и}$
B131N77	по основе	76	4,2	17,1	15,0	0,88
	по утку	78	3,2	15,4	12,6	0,82
	под углом 45°	71	2,6	12,9	10,1	0,78
R161G57	продольное	73	2,5	19,9	16,5	0,83
	поперечное	72	3,3	22,3	17,9	0,80
	под углом 45°	71	2,1	16,5	12,3	0,75

Проведенные исследования формоустойчивости текстильных плетеных полотен и дублированных систем костюмных камвольных и льняных тканей с современными ТКПМ позволили установить влияние структуры на формоустойчивость полотен и дублированных систем материалов для одежды. Выявлены рациональные структуры плетеных полотен. Определены способы регулирования свойств дублированных систем за счет направления раскроя ТКПМ и вида основы ТКПМ. Получены справочные сведения по формоустойчивости плетеных полотен и дублированных систем материалов с современными ТКПМ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томилова М.В. Оценка свойств плетеных полотен / М.В. Томилова, Н.А. Смирнова, В.В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 1. – С. 27–29.
2. Патент РФ № 2422822. Способ определения релаксационных свойств материалов при изгибе. / Замышляева В.В, Смирнова Н.А., Лапшин В.В., Козловский Д.А., Хохлова Е.Е. – 2011. Бюл. № 18.
3. Патент РФ № 2549497. Способ определения релаксационных свойств материалов при сдвиге / Лапшин В.В., Томилова М.В., Смирнова Н.А., Замышляева В.В, Добрынина Н.Н. – 2015. Бюл. № 12.
4. Патент РФ № 45189. Устройство для определения формовочных свойств тканей / Смирнова Н.А., Лапшин В.В., Морилова Л.В. [и др.] – 2006. Бюл. № 12.
5. Смирнова Н.А., Томилова М.В. Влияние строения плетеных полотен на релаксационные характеристики при сдвиге / Н.А. Смирнова, М.В. Томилова // Дизайн и технологии. – 2015. – № 47. – С. 63–68.
6. Томилова М.В. Исследование свойств плетеных полотен разного строения при сдвиге // Вестник КГТУ. – Кострома: «КГТУ», 2015 – № 2. – С. 29–31.
7. Замышляева В.В. Конфекционирование материалов для изделий костюмной группы с учетом свойств дублированных пакетов одежды / В.В. Замышляева, Н.А. Смирнова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. Иваново, 2015. – № 5. – С. 17–21.
8. Замышляева В.В. Влияние современных термоклеевых прокладочных материалов на деформационные свойства систем материалов при растяжении / В.В. Замышляева, Н.А. Смирнова, Л.М. Татарникова, И.А. Хромеева // Известия вузов. Технология легкой промышленности. Санкт-Петербург – 2015. – № 3. – С. 109–112.
9. Матросова Я.А. Исследование формоустойчивости костюмных тканей и дублированных пакетов с современными термоклеевыми прокладочными материалами / Я.С. Матросова,

Н.А. Смирнова, В.В. Замышляева / Материалы всерос. науч. студ. конференции «Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности» (ИНТЕКС-2015). – М.: «МГУДТ», 2015. – С. 111–113.

10. Смирнова Ю.С. Сравнительный анализ свойств дублированных пакетов костюмных тканей разной волокнистой структуры / Ю.С. Смирнова, Н.А. Смирнова, В.В. Замышляева / Материалы всерос. науч. студ. конференции «Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности» (ИНТЕКС-2015). – М.: «МГУДТ», 2015. – С. 117–119.

11. Лапшин В.В. Автоматизированное устройство для определения жесткости и упругости материалов и пакетов материалов / В.В. Лапшин, Н.А. Смирнова, Д.А. Козловский // Вестник КГТУ. – Кострома: «КГТУ» – 2004. – № 9. – С. 32–34.

УДК 677.37.08.002.001.5

## РЕЖИМЫ ОТВАРКИ НЕПРИГОДНЫХ К РАЗМОТКЕ ДЕФЕКТНЫХ КОКОНОВ

### MODES DECOCTION DEFECTIVE COCOONS UNSUITABLE FOR UNWINDING

И.И. Туйчиев<sup>1</sup>, Г.Н. Валиев<sup>1</sup>, У.О. Ахунбабаев<sup>1</sup>, И.А. Набиева<sup>2</sup>  
I.I. Tuychiyev<sup>1</sup>, G.N. Valiyev<sup>1</sup>, U.O. Axunbabayev<sup>1</sup>, I.A. Nabiyeva<sup>2</sup>

Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон (Узбекистан)

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (Узбекистан)

Uzbek scientific-research institute of natural fibers (Uzbekistan)

Tashkent institute of textile and light industry (Uzbekistan)

E-mail: margilon\_shoyi@yahoo.com

Разработана высокоэффективная ресурсосберегающая технология и режимы отварки непригодных к размотке дефектных коконов. Варку производили при температуре 95-100°C в течение 1,5-2 часов до степени вываривания серицина и разрушения оболочки кокона в волокнистую массу. Новая технология позволяет перерабатывать непригодные к размотке коконы в волокнистую массу шёлка улучшенного качества, сократить технологические процессы и оборудования, способствует повышению качества производимой в прядильном производстве пряжи, экономии сырьевых и энергетических ресурсов.

Ключевые слова: кокон, отходы, варка, промывка, волокнистая масса, шёлк, модернизация, технология.

Developed an innovative high-performance alternative technology and modes decoction defective cocoons unsuitable for unwinding. Cooking at temperature 95-100°S for 1.5-2 hours before the extent of digestion sericin and destruction cocoon shell into a pulp. The new technology allows processing unfit for unwinding cocoons in pulp silk improved quality, reduce manufacturing processes and equipment, improves the quality produced in spinning yarn production, saving raw materials and energy resources.

Keywords: cocoon, waste, cooking, washing, pulp, silk, modernization, technology.

В современный период в связи с увеличением спроса в мировом рынке на изделия из натуральных волокон, значительно возросли требования к качеству продукции из натурального шелка.

Одной из важных задач стоящих перед специалистами шелковой отрасли на сегодняшний день, является повышение эффективности переработки сырьевых ресурсов, увеличение объёма выработки и повышение качества продукции из натурального шелка на основе совершенствования технологии глубокой переработки коконного сырья.

В шелководстве и кокономотальном производстве образуется значительное количество отходов в виде неподдающихся размотке коконов, волокнистых отходов кокономотания и куколок. Утилизация этих отходов имеет большое экономическое значение, так как на

каждый килограмм выработанного шелка-сырца приходится около 1 кг различных отходов [1, с. 368]. Между тем оболочки дефектных коконов и волокнистые отходы кокономотания являются ценным сырьем для выработки шелковой пряжи.

Шелковые отходы содержат от 20 до 30 % серицина, который придаёт волокну жесткость и делает невозможным переработку его в пряжу в сыром виде. Кроме того, почти все виды шелковых отходов содержат некоторое количество жировых веществ. Зажиренное волокно становится липким и при производстве пряжи плохо разъединяется в процессах разрыхления, чесания и вытягивания [2, с. 43].

В процессе отварки шелковое волокно полностью или частично теряет содержащийся в нём серицин и обезжиривается. Оно становится мягким и гибким, приобретает способность легко разъединяться. Это способствует лучшему протеканию всех процессов дальнейшей механической обработки волокна и улучшает физико-механические показатели шелковой пряжи [2].

Нами была разработана новая технология получения шёлка из непригодных к размотке коконов (одонки, коконный неразмот, дырявые, двойниковые, уродливые, коконы карапачах, затверделые и другие, рис.1), при которой последовательно проводят отварку, промывку, отжим, сушку, отделение волокна от куколки, путем воздействия мелкой плавающей игольчатой гарнитурой, и уборку его на уборочное средство [3,4].



Рис.1. Коконь непригодные к размотке

Процесс варки осуществляют в обычном варочном котле, куда заливают воду, загружают коконы, подают тепло и производят варку. Варку производят при температуре 95-100°C в течение 1,5-2 часов.

Варку производят до степени вываривания серицина и разрушения оболочки кокона в волокнистую массу, при котором прочность связи элементов структуры оболочки (петель и пакетов) снижается до минимума.

Введение в новую технологию процесса варки коконов в указанных температурно-временных режимах при механическом воздействии на коконы приводит к вывариванию серицина, снижению прочности и разрыву связей между элементами структуры (между петлями и пакетами) оболочки кокона и полному разрушению оболочки кокона в волокнистую массу [3,4].

Как известно, основной задачей процесса отварки является удаление шелкового клея (серицина), жиров, природных и воскообразных веществ, пигментов и минеральных веществ, эффективность которого зависит от температуры, pH среды и концентрации реагентов, а также свойств перерабатываемого сырья и степени поврежденности оболочки дефектных коконов.

Обесклеивание и обезжиривание шелковых отходов следует производить в горячих слабощелочных растворах при pH = 9 ÷ 10,5 и температуре от 95 до 100°. Время

обесклеивания зависит от степени щелочности раствора и температуры обработки. По возможности, время отварки должно быть минимальным [2].

Наилучшим реактивом для отварки является мыло вследствие низкой щелочности, высокой обезжиривающей способности. Реактивы для отварки следует брать в концентрациях, обеспечивающих устойчивость рН отварочного раствора.

В зависимости от степени дефектности непригодные к размотке коконы объединили по группам.

Первая группа - непригодные к размотке коконы с легкой и средней степенью поврежденности оболочки. Это одонки, коконный неразмот, уродливые коконы, рубцовые длиной более 15 мм, атласные коконы с гладким блестящим участком длиной более 15 мм, недовитые, двойниковые, дырявые (гренажные) коконы и другие.

Вторая группа - непригодные к размотке коконы с высокой степенью поврежденности оболочки. Это коконы сильнозатверделые, пятнистые и другие.

Третья группа - непригодные к размотке коконы сильнозагрязненные с высокой степенью поврежденности оболочки. Это коконы карапачах, сильнопятнистые, сильнозагрязненные и другие.

Отварку непригодных к размотке коконов с легкой и средней степенью поврежденности оболочки проводили в обычной воде без добавления химических реагентов.

На основании вышеизложенного, отварку непригодных к размотке коконов с высокой степенью поврежденности оболочки, таких как сильно-затверделые, пятнистые коконы и др., проводили в мыльно-содовых растворах.

Отварку непригодных к размотке сильнозагрязненных с высокой степенью поврежденности оболочки коконов, таких как карапачах, сильнопятнистые, сильнозагрязненные и др., проводили однованным способом, т.е. совмещая процессы отварки и беления.

После отварки, для удаления с волокон варочного раствора, следует трехкратная промывка. Для предупреждения выпадания осадков кальциевых и магниевых мыл, загрязняющих волокно и трудноудаляемых при последующих обработках, промывка осуществляется в дистиллированной (умягченной) воде с добавлением нашатырного спирта или гексометафосфата натрия.

В зависимости от степени дефектности непригодных к размотке коконов испытания проводили по следующим режимам их отварки:

- режим № 1 – отварка непригодных к размотке коконов с легкой и средней степенью поврежденности оболочки – температура 95-100°C, время – 120 мин. (2 часа), 1-промывка – температура 60-70°C, время – 20 мин., 2-промывка – температура 20-25°C, время – 20 мин;

- режим № 2 – отварка непригодных к размотке коконов с высокой степенью поврежденности оболочки – температура 95-100°C, время – 90 мин. (1,5 часа), 1-промывка – температура 60-70°C, время – 20 мин., 2-промывка – температура 60-70°C, время – 20 мин., 3-промывка – температура 20-25°C, время – 20 мин;

- режим № 3 – отварка непригодных к размотке коконов сильнозагрязненных с высокой степенью поврежденности оболочки – температура 95-100°C, время – 90 мин. (1,5 часа), 1-промывка – температура 60-70°C, время – 20 мин., 2-промывка – температура 60-70°C, время – 20 мин., 3-промывка – температура 20-25°C, время – 20 мин.

Вышеприведенные режимы отварки непригодных к размотке коконов экспериментально исследованы в лабораторных условиях (рис. 2). Состав ванны – химические реагенты, их содержание в варочном растворе и результаты опытов приведены в таблице 1, где опыт № 1 – по режиму 1, опыты № 2 – 17 – по режиму 2, опыты № 18 – 20 – по режиму 3. В опытах № 18 – 20 кроме приведенных в таблице 1 химических реагентов использованы перекись водорода (2 % от массы волокна) и стабилизатор (5 г/л).

Таблица 1

## Результаты опытов

№ опытов	Операция	Состав ванны				рН раствора	Серицин, %	Фиброин, %	Степень белизны, %	Впитываемость
		Мыло олеиновое (40%-ное) г/л	Сода кальцинированная, г/л	Нашатырный спирт (25%-ный) г/л	Гексометафосфат натрия, г/л					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Отварка	-	-	-	-	5	5,4	94,6	78	55 мин
	Промывка 1	-	-	-	-	5				
	Промывка 2	-	-	-	-	5				
2	Отварка	15	3	-	-	12	51,4	48,6	80,5	7 мин. 40 сек.
	Промывка 1	-	-	2	-	11				
	Промывка 2	-	-	2	-	11				
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
3	Отварка	15	3	-	-	12	30	70	87	40 % за 5,5 час
	Промывка 1	-	-	-	1	4				
	Промывка 2	-	-	-	1	4				
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
4	Отварка	15	3	-	-	12	50	50	87	50 % за 5,5 час
	Промывка 1	-	-	2	-	11				
	Промывка 2	-	-	-	1	4				
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
5	Отварка	15	3	-	-	12	35	65	83	1 мин. 15 сек.
	Промывка 1	-	-	-	1	4				
	Промывка 2	-	-	2	-	11				
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
6	Отварка	7,5	1,5	-	-	10,5	45,5	54,5	85	40 сек.
	Промывка 1	-	-	2	-	11				
	Промывка 2	-	-	2	-	11				
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
7	Отварка	7,5	1,5	-	-	10,5	21	79	84	2 часа 5 мин.
	Промывка 1	-	-	-	1	4				
	Промывка 2	-	-	-	1	4				
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
8	Отварка	7,5	1,5	-	-	11	37	63	85	50 % за 5,5 час
	Промывка 1	-	-	2	-	11				
	Промывка 2	-	-	-	1	4				
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
9	Отварка	7,5	1,5	-	-	10,5	47	53	79	4 мин.
	Промывка 1	-	-	-	1	5				
	Промывка 2	-	-	2	-	11				
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
10	Отварка	15	1,5	-	-	10,5	41	59	82	17 сек.
	Промывка 1	-	-	2	-	11				
	Промывка 2	-	-	2	-	11				
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
11	Отварка	15	1,5	-	-	10,5	56,5	43,5	85	40 % за 5,5
	Промывка 1	-	-	-	1	4				
	Промывка 2	-	-	-	1	4				

	Промывка 3	-	-	-	-	5				час
Окончание таблицы 1										
12	Отварка	15	1,5	-	-	10,5				
	Промывка 1	-	-	2	-	11	33	67	89	1 мин.
	Промывка 2	-	-	-	1	4				45 сек
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
13	Отварка	15	1,5	-	-	10,5				
	Промывка 1	-	-	-	1	4	32	68	88	47 сек
	Промывка 2	-	-	2	-	11				
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
14	Отварка	7,5	3	-	-	11,5				
	Промывка 1	-	-	2	-	11	40	60	87	4 мин.
	Промывка 2	-	-	2	-	11				45 сек
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
15	Отварка	7,5	3	-	-	11,5				100 %
	Промывка 1	-	-	-	1	4	43	57	82	за
	Промывка 2	-	-	-	1	4				5,5
	Промывка 3	-	-	-	-	5				час
16	Отварка	7,5	3	-	-	11,5				
	Промывка 1	-	-	2	-	11	48	52	72	2 мин
	Промывка 2	-	-	-	1	4				49 сек
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
17	Отварка	7,5	3	-	-	11,5				
	Промывка 1	-	-	-	1	4	39	61	78	6 мин.
	Промывка 2	-	-	2	-	11				49 сек
	Промывка 3	-	-	-	-	5				
18	Отварка	7	0,5	-	-	9,5				
	Промывка 1	-	-	2	-	11	69	31	75	2
	Промывка 2	-	-	2	-	11				мин.
	Промывка 3	-	-	-	-	5				30
										сек.
19	Отварка	7	0,5	-	-	9,5				
	Промывка 1	-	-	-	1	4	61	39	74	10
	Промывка 2	-	-	-	1	4				мин.
	Промывка 3	-	-	-	-	5				20
										сек.
20	Отварка	(ПАВ) 2	0,3	-	-	7				
	Промывка 1	-	-	2	-	11	51	49	78	1 мин.
	Промывка 2	-	-	-	-	5				33 сек.

Анализ полученных результатов показывает, что растворимость серицина существенно зависит от реакции среды и резко возрастает в растворах кислот и особенно щелочей, что вытекает из амфотерности серицина как белкового тела. При рН в пределах 4,0-5,0 потеря в весе шелка, т.е. количество серицина, перешедшего в раствор, оказывается минимальной. По мере повышения щелочности и кислотности растворов потери в весе увеличиваются, и при рН выше 9,5 и ниже 5 волокно обесклеивается в большей степени.

Из приведенных данных наилучшим режимом для отварки непригодных к размотке коконов выбраны опыты № 12 и 13, где степень белизны и впитываемость исследуемых образцов имеют высшее значение. Кроме того выбранные условия отличаются наибольшим выходом обесклеинного шелка.



Рис.2. Образцы отваренных непригодных к размотке коконов

Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

- проведены исследования процесса отварки непригодных к размотке дефектных коконов по новой технологии получения шёлка из непригодных к размотке коконов;
- разработаны технологические режимы отварки непригодных к размотке дефектных коконов с учётом особенностей новой технологии получения шёлка;
- обесклеивание и обезжиривание непригодных к размотке дефектных коконов следует производить в горячих слабощелочных растворах при  $\text{pH} = 9 \div 10,5$  и температуре от 95 до 100°.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубинов Э.Б. Технология шёлка (кокономотание). – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 392 с.
2. Усенко В.А., Забелоцкий Л.М. Технология шёлка. Шелкопрядение. – М.: Ростехиздат, 1961. – 344 с.
3. Туйчиев И.И., Ахунбабаев У.О., Валиев Г.Н. Способ переработки непригодных к размотке коконов // Патент Республики Узбекистан № IAP 04621. 2012. Бюл. № 12.
4. Туйчиев И.И., Валиев Г.Н., Ахунбабаев У.О. Новая ресурсосберегающая технология получения шёлка из непригодных к размотке коконов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы (SMARTEX – 2015): сборник материалов XVIII международного научно-практического форума (Иваново, 26-29 мая 2015 г.). – Иваново: ИВГПУ, 2015. – 320 с., с. 232-235.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВОЙ СТРУКТУРЫ КРЕПОВОЙ ТКАНИ

### DESIGNING THE NEW STRUCTURE OF CREPE FABRIC

Б.К. Хасанов<sup>1</sup>, М.М. Мирзахонов<sup>2</sup>  
B.K. Xasanov<sup>1</sup>, M.M. Mirzaxonov<sup>2</sup>

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (Узбекистан)  
Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон (Узбекистан)  
Tashkent institute of textile and light industry (Uzbekistan)  
Uzbek scientific-research institute of natural fibers (Uzbekistan)  
E-mail: margilon\_shoyi@yahoo.com, mmirzaxonov@list.ru

В работе приводятся новые структуры креповых тканей типа креп-дешин. Рассматриваются проблемы проектирования новой структуры шелковой креповой ткани из нитей сложного кручения. Расчётным путём определены основные параметры строения разработанной ткани, которые определяют условия формирования и свойства.

**Ключевые слова;** шелк сырец, креповая ткань, структура ткани, фаза строения ткани

We present new structures crepe fabrics like crepe-deshin. IT is considered the problems of designing, new structure of silk crepe fabric from compound lisle threads. It is determined the main parameters of construction, designed fabric by calculating way, which defined conditions of forming and peculiarities of the fabric.

**Key words;** silk raw material, crepe fabric, the structure of fabric, the phase of structure

В современный период актуальными проблемами развития шелковой отрасли являются расширение ассортимента тканей из натурального шёлка, коренное улучшение и обогащение ассортимента и качества шелковых тканей путем разработки их новых структур, освоения нового высокопроизводительного оборудования с широкими ассортиментными возможностями.

Особую важность приобретает вопрос создания различного ассортимента шелковых тканей, исходя из требований внутреннего и внешнего рынка. В этом плане актуальны разработки новых структур креповых тканей из натурального шелка.

В ассортименте шелковых тканей основное место занимают креповые ткани классического ассортимента: креп-дешин, креп-шифон, креп-жоржет и др. Креповые ткани вырабатывают из креповой нити в утке, в основе – креповой или нитей полой крутки. Эти ткани имеют более или менее выраженный мелкозернистый креповый эффект.

Креповые ткани относятся к классическим тканям, их структура известна давно, их вырабатывают из креповых нитей, как правило, попарным чередованием направления крутки – попеременно по 2 раза прокидывая креповые нити правой и левой крутки [1] на многоуточных (многочелночных) ткацких станках, оснащенных специальным механизмом смены вида (цвета) утка [2].

С целью решения данной задачи нами спроектирована креповая ткань из натурального шёлка из нитей сложной крутки. Вследствии того, что нити сложной крутки выработаны из нитей различного направления крутки, они создают на поверхности ткани креповый эффект.

В качестве нитей основы использован шёлк-сырец линейной плотности 2,33 текса в восемь сложений, а в качестве утка шёлковые нити сложного кручения 2,33x8 текса.

При проектировании ткани принимаем V фазу строения ткани, которая является оптимальной. В этом случае высота волны изгиба нитей основы и утка равна [3]:

$$K_{ho} = K_{hy} = 1,0 \quad .$$

Диаметры нитей основы и утка на паковке:

$$d_{оп} = 0,0316C\sqrt{T_o} = 0,0316 \cdot 1,4 \cdot \sqrt{2,33 \times 8} = 0,192 \text{ мм} ,$$

$$d_{уп} = 0,0316C\sqrt{T_y} = 0,0316 \cdot 1,4 \cdot \sqrt{2,33 \times 8} = 0,192 \text{ мм} ,$$

где:  $T_o, T_y$  – соответственно линейная плотность нитей основы и утка;  $C$  – коэффициент, зависящий от вида волокна.

С учётом смятия нитей в ткани:

$$d_o = d_{оп} \cdot \eta_o = 0,192 \cdot 0,9 = 0,173 \text{ мм} ,$$

$$d_y = d_{уп} \cdot \eta_y = 0,192 \cdot 0,92 = 0,177 \text{ мм} ,$$

где:  $\eta_o, \eta_y$  – соответственно коэффициенты смятия нитей основы и утка в ткани.

Высота волны изгиба нитей:

$$h_o = d_o \cdot K_{ho} = 0,173 \cdot 1 = 0,173 \text{ мм} ,$$

$$h_y = d_y \cdot K_{hy} = 0,177 \cdot 1 = 0,177 \text{ мм} .$$

Геометрическая плотность ткани:

по основе:

$$l_o = \sqrt{(d_o + d_y)^2 - h_o^2} = \sqrt{(0,173 + 0,177)^2 - 0,173^2} = 0,304 ,$$

по утку:

$$l_y = \sqrt{(d_o + d_y)^2 - h_y^2} = \sqrt{(0,173 + 0,177)^2 - 0,177^2} = 0,302 .$$

Максимальная технологическая плотность

по основе:

$$P_{o \max} = \frac{100}{l_o} = \frac{100}{0,304} = 328,9 \text{ н / дм} ,$$

по утку:

$$P_{y \max} = \frac{100}{l_y} = \frac{100}{0,302} = 330 \text{ н / дм} .$$

Принимаем относительный коэффициент наполнения ткани нитями основы и утка соответственно  $K_{Ho} = 0,75$  и  $K_{Hy} = 0,65$  .

В этом случае фактическая плотность нитей в ткани

по основе:

$$P_o = P_{o \max} \cdot K_{Ho} = 328,9 \cdot 0,75 = 246 \text{ н / дм} ,$$

по утку:

$$P_y = P_{y \max} \cdot K_{Hy} = 330 \cdot 0,65 = 214 \text{ н / дм} .$$

Фактическая геометрическая плотность

по основе:

$$l_{o\Phi} = \frac{100}{P_o} = \frac{100}{246} = 0,407 \text{ мм} ,$$

по утку:

$$l_{y\phi} = \frac{100}{P_y} = \frac{100}{214} = 0,467 \text{ мм} .$$

Одним из основных показателей является уработка нитей основы и утка в ткани. Для ткани полотняного переплетения уработка определяется:

по основе:

$$a_o = \frac{t_{o\phi}(\sqrt{l_{y\phi}^2 + h_o^2} - l_{y\phi})}{t_o(\sqrt{l_{y\phi}^2 + h_o^2})} \cdot 100$$

$$a_o = \frac{2(\sqrt{0,467^2 + 0,173^2} - 0,467)}{2(\sqrt{0,467^2 + 0,173^2})} \cdot 100 = 6,2\% ,$$

по утку:

$$a_y = \frac{t_{y\phi}(\sqrt{l_{o\phi}^2 + h_y^2} - l_{o\phi})}{t_y(\sqrt{l_{o\phi}^2 + h_y^2})} \cdot 100 = 8,7\% ,$$

где:  $t_o, t_y$  – соответственно длинных настилов нитей основы и утка в пределах раппорта переплетения.

Поверхностная плотность проектируемой ткани

$$q_c = \frac{100 \cdot P_o \cdot T_o}{1000(1 - 0,01a_o)} + \frac{100 \cdot P_y \cdot T_y}{1000(1 - 0,01a_y)} =$$

$$= \frac{100 \cdot 24,6 \cdot 18,64}{1000(1 - 0,01 \cdot 6,2)} + \frac{100 \cdot 21,4 \cdot 18,64}{1000(1 - 0,01 \cdot 8,7)} = 92,62 / \text{м}^2 .$$

Известно, что параметры строения ткани влияют как на технологический процесс её выработки, так и на её свойства. Определим основные параметры строения спроектированной креповой ткани.

Коэффициент связанности ткани определяет степень напряжённости выработки ткани на станке и определяется по формуле:

$$C = \frac{P_T \cdot P_a \cdot T_{cp}}{F \cdot 1000} = \frac{24,6 \cdot 21,4 \cdot 18,64}{2 \cdot 1000} = 4,9 ,$$

где:  $F$  - коэффициент переплетения;  $T_{cp}$  – средняя линейная плотность нитей основы и утка.

Коэффициент наполнения ткани волокнистым материалом также влияет на условия формирования ткани.

По основе:

$$K_{Ho} = \frac{P_o(d_o \cdot R_o + d_y Z_y)}{R_o \cdot 10} = \frac{24,6(0,192 \cdot 2 + 0,192 \cdot 2)}{2 \cdot 10} = 0,945 ,$$

по утку:

$$K_{Hy} = \frac{P_y(d_y \cdot R_y + d_o Z_o)}{R_y \cdot 10} = \frac{21,4(0,192 \cdot 2 + 0,192 \cdot 2)}{2 \cdot 10} = 0,822 ,$$

где:  $Z_o, Z_y$  – число пересечений нитей основы и утка в пределах раппорта.

Коэффициент общего заполнения ткани:

$$K_T = K_{Ho} \cdot K_{Hy} = 0,945 \cdot 0,822 = 0,777 \text{ .}$$

Определим фазу строения ткани с учётом жёсткости нитей при изгибе.

Жёсткость нитей при изгибе определяется по формуле:

$$A_{o,y} = 0,01 \cdot Q_{o,y} \cdot d_{o,y}^2,$$

где:  $Q_o, Q_y$  - разрывная нагрузка нитей основы и утка, сН;  $d_o, d_y$  – диаметры нитей основы и утка, мм.

Разрывная нагрузка нитей определяется:

$$Q_{o,y} = 9 \cdot T_{o,y} = 9 \cdot 18,64 = 167,8 \text{ сН} = 1,68 \text{ Н} \text{ .}$$

Жёсткость нитей при изгибе:

$$A_{o,y} = 0,01 \cdot 1,68 \cdot 0,192^2 = 0,00062 \text{ Н} / \text{мм}^2 \text{ .}$$

Для определения фазы строения ткани  $K_\Phi$  с учётом жёсткости нитей при изгибе предварительно определим высоту волны изгиба нитей:

$$h_o = \frac{P_o^3 \cdot A_y \cdot (d_o + d_y)}{P_y^3 \cdot A_o + P_o^3 \cdot A_y} = \frac{24,6^3 \cdot 0,00062 \cdot (0,192 + 0,192)}{21,4^3 \cdot 0,00062 + 24,6^3 \cdot 0,00062} = 0,235,$$

$$h_y = \frac{P_y^3 \cdot A_o \cdot (d_o + d_y)}{P_y^3 \cdot A_o + P_o^3 \cdot A_y} = \frac{21,4^3 \cdot 0,00062 \cdot (0,192 + 0,192)}{21,4^3 \cdot 0,00062 + 24,6^3 \cdot 0,00062} = 0,15.$$

В этом случае:

$$K_\Phi = \frac{h_o}{h_y} = \frac{0,235}{0,150} = 1,56.$$

Фазу строения ткани с учётом жёсткости нитей можно также определить следующим образом:

$$K_\Phi = \frac{h_o}{h_y} = \frac{P_o^3 \cdot A_y}{P_y^3 \cdot A_o} = \frac{24,6^3 \cdot 0,00062}{21,4^3 \cdot 0,00062} = 1,59.$$

Сопоставляя значения коэффициента фазы строения с учётом жёсткости нитей при изгибе, полученные разными методами мы видим, что разница составляет 2%. То есть не превышает допустимую ошибку в 5%.

Таблица 1

Фазы строения ткани

Коэффициент фазы строения, $h_o / h_y$	Фазы строения ткани								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	0/8=0	1/7=0,143	1/3=0,333	3/5=0,6	1	5/3=1,666	3/1=3	7/1=7	8/0=∞

Сопоставляя полученные значения коэффициента фазы строения, с табличными (таблица 1) можно сделать вывод, что полученная структура ткани близка к VI фазе строения.

Высота волны изгиба нитей основы и утка в ткани без учёта жёсткости нитей при изгибе:

по основе:

$$h_o = \frac{P_o \cdot (d_o + d_y)}{P_o + P_y} = \frac{24,6 \cdot (0,192 + 0,192)}{24,6 + 21,4} = 0,205,$$

по утку:

$$h_y = \frac{P_y \cdot (d_o + d_y)}{P_o + P_y} = \frac{21,4 \cdot (0,192 + 0,192)}{24,6 + 21,4} = 0,177.$$

В этом случае:

$$K_\phi = \frac{h_o}{h_y} = \frac{0,205}{0,177} = 1,16.$$

В соответствии с таблицей 1 можно сделать вывод, что без учёта жёсткости нитей структура разработанной ткани соответствует V фазе строения ткани.

Натяжение нитей влияет на условия формирования и взаимное расположение нитей в ткани. Расчётное натяжение нитей в ткани:

$$F_o = \frac{4\pi^2 \cdot A_o \cdot P_y^2}{R_y^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,00062 \cdot 214^2}{2^2} = 28cH,$$

$$F_y = \frac{4\pi^2 \cdot A_y \cdot P_o^2}{R_o^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,00062 \cdot 246^2}{2^2} = 37cH.$$

Заключение.

1. Спроектирована новая структура креповой ткани из натурального шёлка сложной крутки.
2. Расчётным путём определены основные параметры строения спроектированной ткани.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усенко В.А. Шелкокручение.-М.: Легкая и пищевая промышленность,1983. – 248 с.
2. Гордеев В.А., Волков П.В. Ткачество. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 488 с.
3. Мартынова, А.А., Слостина Г.Л., Власова Н.А. Строение и проектирование тканей. – М. : РИО МГТА, 1999. – 434 с.

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА И ПРОЦЕССА КРАШЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО ШЕЛКА И НИТРОНА**

### **STUDYING OF THE MECHANISM AND PROCESS OF DYEING TEXTILE MATERIAL ON THE BASIS OF NATURAL SILK AND NITRON**

С.Б. Хожимуратова, С.Х. Хасанова, А.А. Рафигов  
S.B. Khojimuratova, S.H.Khasanova, A.A. Rafikov

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (Узбекистан)  
Tashkent institute of textile and light industry (Uzbekistan)

**Изучен процесс колорирования смесевой ткани на основе натурального шелка и полиакрилонитрильного волокна нитрон дисперсным красителем. Показано возможность повышения интенсивности окраски смесевой ткани в щелочной среде. Определены колористические и прочностные показатели окрашенной ткани. Изучена термодинамика и кинетика крашения смесевой ткани, определены величины сродства красителя к волокну, тепловые эффекты крашения.**

**Ключевые слова:** волокно, смесевая ткань, крашение, краситель, цветовые характеристики, прочностные показатели.

**The process of cloning a mixed fabric made of natural silk and polyacrylonitrile fiber nitron disperse dye. The possibility to increase the color intensity of mixtures of fabric in an alkaline environment. Defined coloristic and strength characteristics dyed fabric. Studied the thermodynamics and kinetics of mixtures of dyeing fabric, defined affinities dye to the fiber, dyeing, thermal effects.**

**Keywords:** fiber, the blending fabric, dyeing, dye, color characteristics, strength characteristics.

В настоящее время большое внимание уделяется повышению качества и расширению ассортимента текстильной продукции путём внедрения новых структур тканей и трикотажа, применения прочных и ярких красителей и тщательной отделки тканей [1]. За последнее время возрос интерес к смесовым тканям, так как в разных сферах деятельности человека необходимы ткани абсолютно разных областей применения, отличающиеся не только назначением, но и физико-механическими свойствами. Смесовые ткани производят в первую очередь для того, чтобы повысить уровень прочности и износостойкости, который сопровождается улучшением гигиенических свойств, воздухопроницаемости, стойкости к загрязнению, стойкости к повреждению микроорганизмами, эластичности, несминаемости, легкой стирки и глажке, быстрой сушке.

Так как традиционная технология подготовки и облагораживания текстильных материалов разработана для изделий из волокон одного вида и дифференцирована в соответствии с ассортиментом продукции, выпускаемой отдельными подотраслями текстильной промышленности, возникает проблема качественного колорирования смесевых тканей.

В последнее время совместно с кафедрами «Технология текстильных материалов» и «Прядения» проводятся исследования по разработке новых видов смесовых тканей на основе отечественно производимых волокон, таких как хлопок, натуральный шелк и ПАН-волокно. Одним из последних разработок является смесевая ткань на основе натурального шелка и ПАН-волокна соотношении 20:80 (шелк:нитрон), предназначенная для костюмных изделий.

Обычно облагораживание смесей волокон осуществляют двумя способами либо каждый компонент смеси волокон облагораживается по отдельности, затем подготовленные и окрашенные компоненты смешиваются, в результате чего получают меланжевые однотонные или разнотонные изделия; либо смешивание волокнистых компонентов в заданных сочетаниях и пропорциях производят до процессов облагораживания, после которого готовое изделие окрашивают или печатают. По сравнению с первым второй способ

более сложен, так как при подготовке и в процессе колорирования необходимо соблюдение всех условий в целях сохранения комплекса ценных свойств составляющих смесовой ткани.

В целях повышения смачивающей способности смесовую ткань подвергали отварке в щадящих условиях используя раствор ПАВ концентрации 1 г/л при температуре 96-98<sup>0</sup>С в течении 30 минут. В результате обработки капиллярность смесовой ткани была повышена более чем на 2 раза по сравнению с исходной тканью.

При выборе классов красителей для смесовой ткани необходимо учитывать химическое и физическое строение волокон, т.е. набор и природу потенциальных активных центров, их доступность для красителей. Как известно из литературных данных для крашения натурального шелка используется водорастворимые красители, в частности прямые, активные, основные и катионный, который также используется для колорирования ПАН-волокна. Для волокон гидрофобного характера (ПАН-волокна) рекомендуется окрашивание дисперсными красителями. Так как основной составляющая смесовой ткани является ПАН-волокно, была поставлена задача изучения возможности крашения ее дисперсным красителем. Одновременно изучалась выбираемость красителя отдельными нитями в различных ваннах, объемами нитями в одной ванне, а также смесовой тканью. По традиционной технологии крашения дисперсными красителями, где основными компонентами красильной ванны является краситель и ПАВ, интенсивность окраски нитей шелка и нитрона раздельно окрашенном случае имеют близкие значения ( $K/S=13$  и  $K/S=11$ ) по сравнению с результатами крашения нитей в одной ванне ( $K/S=17$  и  $K/S=6$ ) и смесовой тканью ( $K/S=6$  и  $K/S=4$ ), последнее при этом имела наименьшее значение интенсивности цвета. Высокая интенсивность окраски шелковой нити связана с содержанием большей аморфной зоны, чем у нитрона.

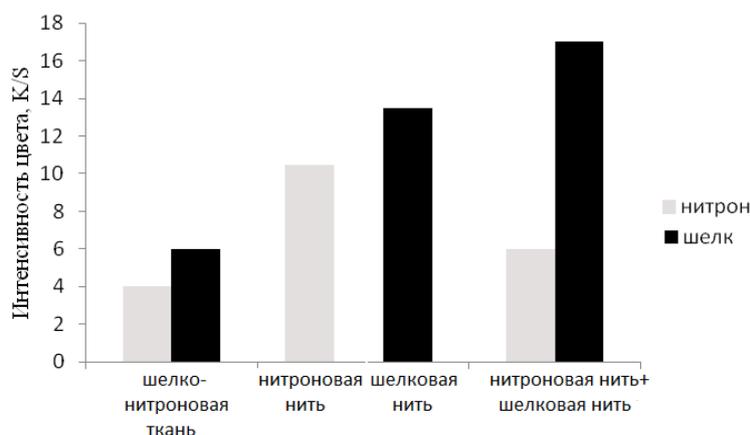


Рис. 1. Изучение накрашиваемости образцов дисперсным алым Ж

Учитывая проявление нитроном максимальной сорбционной способности в щелочной и в нейтральных средах, дополнительно изучено влияние кальцинированной соды на колористические показатели смесовой ткани. При введении кальцинированной соды в количестве 0,5 г/л было достигнуто равномерное окрашивание обеих составляющих ткани, равной  $K/S=12$ . На основе координат цветности определили такие цветовые характеристики образца, как цветовой тон, чистота цвета, неровнота окраски, яркость цвета, а также его прочностные показатели по отношению к мыльной обработке и к трению (табл. 1).

Таблица 1

## Качественные показатели окрашенной ткани

Краситель	Неров нота окраски, R	Цветовой тон, $\lambda_{\text{дом.}}$ , нм	Чистота цвета P, %	Яркость цвета, $\text{kd/m}^2$	Устойчивость окраски к мыльной обработке, баллы	Прочность окраски к трению, баллы	
						сухому	мокрому
Дисперсный алый Ж	0,4	645	35,6	4194,63	3/4/4	5/5	5/4

В процессе крашения происходит сорбция красителя на внешней и внутренней поверхности волокна. Сорбция красителя волокном сопряжена с образованием между волокном и красителем специфических связей, приводящих к определенной локализации (ориентации) молекул красителя в волокне, к потере их подвижности (уменьшение степени свободы). Так как смесовая ткань состоит из натурального шелка и ПАН-волокна коэффициент диффузии красителя в волокно отдельно рассчитывается каждому волокну, которое составляет  $28,1 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{сек}$  и  $35,8 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{сек}$  соответственно. На основе кинетических параметров произведены термодинамические расчеты процесса крашения (табл.2).

Таблица 2

## Результаты термодинамических расчетов

Краситель	Сродство красителя к волокну $\Delta\mu$ , кДж/моль	Тепловых эффектов крашения, $\Delta H$ , кДж/моль	Энергия активации E, кДж/моль	
			шелк	нитрон
Дисперсный алый Ж	9,155	16,356	3166,7	3086,1

Полученные результаты показывают, о возможности образования межмолекулярных связей, таких как водородная и Ван-дер-Ваальсовы силы между дисперсным красителем с обеими составляющими смесовой ткани.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л.И.Беленький, Ц.Я.Росинская, Н.Д.Олтаржевская «Крашение и печатание текстильных материалов из смесей природных и химических волокон», М.: Легпромбытиздат, 1987.– 208 с.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ШЕЛКА-СЫРЦА

### ASSESSMENT OF INFLUENCE OF TECHNOLOGY FACTORS ON THE MARGINAL EXPENSE OF THE ELECTRIC POWER IN RAW SILK PRODUCTION

Ф.А. Хошимов, Г.Г. Мавлянбердиева  
F.A. Khoshimov, G.G. Mavlyanberdiyeva

Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон (Узбекистан)  
Uzbek Research Institute of natural fibers (Uzbekistan)  
E-mail: margilon\_shoyi@yahoo.com

Рассмотрена зависимость воздействия технологических, энергетических и эксплуатационных факторов на величину абсолютного и удельного расхода электроэнергии при производстве шелка-сырца. На предприятиях по производству шелка-сырца на величину удельного расхода электроэнергии может оказывать существенное влияние значительное число факторов как случайных, так и эпизодически действующих. К таким факторам можно отнести: номер шелка-сырца, *м/г*; калибр кокона, *мм*; сортность кокона; режим запарки коконов; партия коконов; температура воздуха в цехе,  $^{\circ}\text{C}$ ; влажность воздуха в цехе, %; выход шелка-сырца, %; химический состав шелка; качество воды. Метод планирования эксперимента является доступным при оценке ряда факторов влияющих на величину удельного расхода электроэнергии, и может быть с успехом применен на практике.

**Ключевые слова:** мощность, удельный расход электроэнергии, факторы, энергоёмкость, эффективность, шелк-сырец.

The dependence of the impact of technological, energy and operational factors on the absolute and specific energy consumption in the production of raw silk was considered. On the raw production enterprises the value of the specific energy consumption can be impacted by a significant number of factors, both casual and occasional. These factors are the following: number of raw silk, *m/z*; gauge pod, *mm*; grade of cocoon; steaming quality of cocoons; caliber of cocoons; the air temperature in the workshop,  $^{\circ}\text{C}$ ; humidity in the shop, %; output of raw silk, %; chemical composition of silk; water quality. The method of planning of experiment is available in the evaluation of a number of factors affecting the value of the specific energy consumption and can be successfully applied in practice.

**Keywords:** power, specific energy consumption, factors energy consumption, efficiency, raw silk.

На предприятиях по производству шелка-сырца на величину удельного расхода электроэнергии может оказывать существенное влияние значительное число факторов как случайных, так и эпизодически действующих. К таким факторам можно отнести: номер шелка-сырца, *м/г*; калибр кокона, *мм*; сортность кокона; режим запарки коконов; партия коконов; температура воздуха в цехе,  $^{\circ}\text{C}$ ; влажность воздуха в цехе, %; выход шелка-сырца, %; химический состав шелка; качество воды.

Анализ указанных факторов выполнен методом ранжирования [1]. По экспертной оценке из общего числа факторов наиболее существенными названы три: калибр кокона ( $X_1$ ), номер ( $X_2$ ) и выход шелка-сырца ( $X_3$ ). По всем этим факторам на предприятии ведется систематический учет и контроль.

Уровни факторов и интервалы их варьирования представлены в таблице 1.

В дальнейшем для удобства расчетов используем не абсолютные значения факторов, а кодированные (+) и (-). Переход от некодированных (натуральных) значений переменной  $X_i$  к кодированным  $Z_i$  и обратно, производим по формулам:

$$Z_i = \frac{X_i - X_i^*}{\lambda_i} \quad (1)$$

$$X_i = X_i^* + Z_i \lambda_i \quad (2)$$

где  $Z_i$  – значение кодированных факторов;  $X_i$  – натуральные значения факторов;  $X_i^*$  – основной или нулевой уровень факторов;  $\lambda_i$  – интервал варьирования.

Таблица 1

Уровни факторов и интервалы их варьирования

Факторы	Уровни факторов			Интервал варьирования	Размерность
	нижний (-)	средний (0)	верхний (+)		
Калибр кокона ( $X_1$ )	12	16,5	21	4,5	мм
Номер шелка-сырца ( $X_2$ )	215	322	429	107	м/г
Выход шелка-сырца ( $X_3$ )	25	30	35	5	%

Для получения математической модели удельного расхода электроэнергии в зависимости от нормобразующих факторов был использован полный факторный эксперимент  $2^x$ . Количество опытов ( $N$ ) при полном факторном эксперименте определяется по формуле:

$$N = l^k \quad (3)$$

где  $l$  – количество уровней;  $k$  – количество факторов.

Так как варьирование факторов нами производится только на двух уровнях, то количество опытов  $N = 8$ .

По матрице планирования полного факторного эксперимента типа  $2^3$  определяем соответствующие значения удельного расхода электроэнергии по выполненной выборке. Выборка произведена на основе суточных данных производственного учета за несколько лет по указанным факторам.

В расчет взяты результаты тех данных, которые соответствовали планированию. Матрица планирования и результаты выборок, а также значения коэффициентов полинома представлены в таблице 2. В третьем, четвертом и пятом столбцах приведены значения независимых переменных  $Z_1, Z_2$  и  $Z_3$  (эти столбцы образуют собственно планирование); в шестом, седьмом, восьмом и девятом столбцах записаны произведения независимых переменных; десятый столбец не относится непосредственно к матрице планирования – это результаты эксперимента. Первая строка таблицы соответствует первому опыту, в котором три независимые переменные  $Z_1, Z_2$  и  $Z_3$  находятся на нижнем уровне. Во втором опыте первая независимая переменная  $Z_1$  находится на верхнем уровне, вторая  $Z_2$  и третья  $Z_3$  на нижнем, и т.д.

Коэффициенты уравнения регрессии определяются по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N Z_{iu} Y_u}{N} \quad (4)$$

где  $i = 0, 1, 2, \dots, N$ ;  $u$  – номер опыта.

Таким образом, в результате выборок получено следующее интерполяционное уравнение, позволяющее определить удельный расход электроэнергии с учетом влияния трех факторов:

$$\bar{Y} = 6100 - 21Z_1 + 130Z_2 - 710Z_3 + 1,25Z_1Z_2 + 1,25Z_1Z_3 - 10Z_2Z_3 - 1,25Z_1Z_2Z_3$$

Таблица 2

Матрица планирования и результаты выборок

i u	Z <sub>0</sub>	Планирование			Z <sub>1</sub> Z <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub> Z <sub>3</sub>	Z <sub>2</sub> Z <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub> Z <sub>2</sub> Z <sub>3</sub>	Y, кВт.ч/т
		Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>					
1	+	-	-	-	+	+	+	-	6720
2	+	+	-	-	-	-	+	+	6670
3	+	-	+	-	-	+	-	+	7000
4	+	+	+	-	+	-	-	-	6960
5	+	-	-	+	+	-	-	+	5240
6	+	+	-	+	-	+	-	-	5200
7	+	-	+	+	-	-	+	-	5480
8	+	+	+	+	+	+	+	+	5440
9	+	0	0	0	0	0	0	0	5900
10	+	0	0	0	0	0	0	0	6100
11	+	0	0	0	0	0	0	0	6300
12	+	0	0	0	0	0	0	0	6000
13	+	0	0	0	0	0	0	0	6100
v <sub>i</sub>	6100	-21	+130	-710	+1,25	+1,25	-10	-1,25	

Ошибка опыта  $\sigma_{\{\bar{y}\}} = 148$   $\sigma_{\{\epsilon_i\}} = 10,2$   $\nu = 4$

Оценка значимости коэффициентов регрессии произведена с помощью  $t$  – критерия и адекватности уравнения по  $F$ – критерию Фишера, для чего находим значения  $\bar{Y}$  из опытов, где все  $Z_i = 0$  (опыты 9-13) и определяем дисперсию опытов:

$$\sigma_{\{\bar{y}\}}^2 = \frac{\sum_{u=9}^{13} (y_u - \bar{Y})^2}{4} \quad (5)$$

Среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma_{\{\bar{y}\}} = \sqrt{\frac{\sum_{u=9}^{13} (y_u - \bar{Y})^2}{4}} \quad (6)$$

и значение  $t$  – критерия

$$T_i = \frac{\epsilon_i \sqrt{N}}{\sigma_{\{\bar{y}\}}} \quad (7)$$

При доверительной вероятности 0,95 с количеством степеней свободы  $\nu = 4$  [11].  $T_{табл} = 2,77$  при расчетных значениях  $T_1 = 1,13$ ,  $T_2 = 7$ ,  $T_3 = 38,3$ . Таким образом, незначимыми коэффициентами уравнения регрессии оказались коэффициент фактора  $Z_1$  и взаимосвязи.

Конечное уравнение с ранжировкой эффектов по степени значимости получит вид:

$$\bar{Y} = 6100 - 710Z_3 + 130Z_2 \quad (8)$$

$$\text{где } Z_3 = \frac{X_3 - 30}{5}; \quad Z_2 = \frac{X_2 - 322}{107} \quad (9)$$

а уравнение регрессии в натуральных величинах –

$$d' = 9970 - 142B + 1,21N, \quad \text{кВт.ч/т} \quad (10)$$

Проверка адекватности уравнения (10) произведена по  $t$ -критерию при числе степеней свободы  $f_1=5$  и  $f_2=4$  ( $T_{табл} = 6,26$  при доверительной вероятности 0,95).

$$F = \frac{\sigma_{ост}^2}{\sigma_{\{Y\}}^2} = \frac{36200}{22000} = 1,65 < F_{табл} \quad (11)$$

где  $\sigma_{ост}^2$  – остаточная дисперсия, характеризующая разброс, оставшийся после описания опытного материала данным уравнением.

Отсюда видно, что полученное уравнение адекватно и описывает результаты эксперимента.

По уравнению (10) может быть выполнен следующий анализ влияния факторов на удельный расход электроэнергии и, соответственно, на энергетическую характеристику:

1) Если факторы находятся на среднем уровне, т.е. при  $X_3 = 3$  и  $X_4 = 322$  удельный расход электроэнергии составляет 6150 *кВт.ч/т*.

2) Если фактор  $X_3 = 25$  (нижний уровень), а фактор  $X_2 = 429$  (верхний уровень), то такое положение факторов соответствует максимальному значению удельного расхода электроэнергии – 6940 *кВт.ч/т*, т.е. увеличение по сравнению со средним уровнем факторов составляет 13%.

3) Если фактор  $X_3 = 35$  (верхний уровень), а фактор  $X_2 = 215$  (нижний уровень), то такое положение факторов соответствует минимальному значению удельного расхода электроэнергии – 5260 *кВт.ч/т*, т.е. уменьшение по сравнению со средним уровнем факторов на 14,7%.

4) Если оба фактора находятся на нижнем или верхнем уровне, то удельный расход электроэнергии составляет, соответственно, 6688 *кВт.ч/т* и 5500 *кВт.ч/т*.

Указанные факторы должны быть приняты в расчет для планирования удельного электропотребления.

Таким образом, метод планирования эксперимента является доступным при оценке ряда факторов влияющих на величину удельного расхода электроэнергии и может быть с успехом применен на практике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красник В.В. Оптимизация режимов работы электроприводов прядильно-ткацкого оборудования. – М.: Легкая индустрия. – 1978. – 150 с.
2. Хошимов Ф.А.. Оптимизация использования энергоресурсов в текстильной промышленности. – Ташкент: ФАН. – 2005. – 250 с.
3. Аллаев К.Р., Хошимов Ф.А. Энергосбережение на промышленных предприятиях. – Ташкент: ФАН. – 2011. – 200 с.

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕКСТИЛЬ В КИТАЕ

### FUNCTIONAL TEXTILES IN CHINA

Шаньюонг Джан, Т.А. Меркулова  
Shangyong Zhang, T.A. Merkulova

Уханьский Текстильный Университет (Китай)  
Wuhan Textile University (China)  
E-mail: shangyong.zhang@wtu.edu.cn, merkta@mail.ru

**В статье приведены основные направления развития функционального текстиля в Китае. Авторы описывают некоторые вопросы производства и исследований в области создания пряжи, тканей и одежды со специальными свойствами. Применение композитных материалов, различных виды отделок позволяют получить текстиль с уникальными эффектами для использования в многочисленных сферах жизни и деятельности. Здесь даётся ссылка на некоторые текстильные материалы, производимые в Китае ведущими текстильными предприятиями, пользующиеся спросом и популярностью в России.**

**Ключевые слова:** антибактериальная, инфракрасная отделка, проводящая пряжа с серебром, водоотталкивающая ткань, защита от щелочи и кислоты, защита от статического электричества и радиации, термо и влагорегуляция.

**The article presents the main directions in the development of functional textiles in China. The authors describe some of the factors in the production and research to create yarn, fabrics and garments with special properties. The use of composite materials, different finishing allows manufacturing the textiles with unique effects for application in many spheres of life and activity. Some textile products, made in China by the leading textile mills, which meet demand and popularity in Russia, are observed in this article.**

**Keywords:** antibacterial, far infrared filament, silver and conductive yarn, water-repellent, alkali and acid repellent, flame retardant, dry fit function, antistatic, anti-radiation fabric.

China is aware that global competition intensifies. The system of the World Division of Labour is being changed and it is impossible to continue the old model of export orientation. The market of ordinary goods will be stopped because of the glut of supply. Therefore, the country is intensively being prepared for a new technological revolution. All professional researchers and analysts predict its advent.

Chinese government released a preliminary summary of its 13th Five-Year Plan. This is an important document for understanding where China is headed in the 2016-2020 period. It is said that this plan is based upon domestic consumption, services and strategic innovation, rather than the exports and state-led investment of the past.

Particular attention is paid in China to the development of robotics, genetic engineering, individually oriented medicine and public health, as well as to the production of functional smart textiles.

Functional textiles [1], owing to their structure, fiber composition, finishing procedures or their combination have special functional properties: antibacterial, waterproof, oil repellent, acid and alkali repellent, electromagnetic shielding, flame retardant, anti-static, mosquito repellent ... etc.

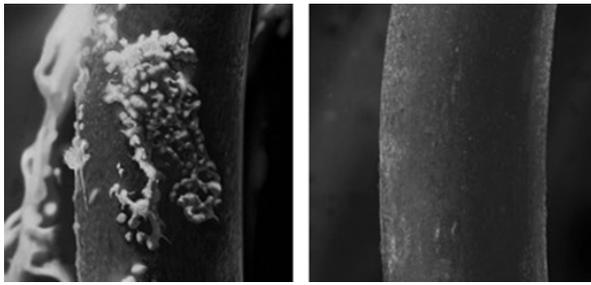


Fig.1. Thread after antimicrobial finish



Fig.2. Products with FIR finish

*Antibacterial, silver and conductive yarn*, conductive and antibacterial fabrics are produced by Huawei Functional textile Co., Ltd, founded in 2003 in Haidian District, Beijing. It produces different varieties of functional textile products, such as and conductive threads. Antimicrobials finishing consists of reliable combinations of agents with high bacteriostatic and fungi static action. They prevent the absorption nutrients from the environment by the microbes, and thus effectively prevent the development of bacteria and fungi (Fig. 1). Such fabrics protect from transferring bacteria and create a permanent antimicrobial effect. These materials reduce the risk of contact infection and prevent unpleasant odor caused by bacteria. Besides, they do not cause allergic reactions and resist to washing and sterilizing.

As electromagnetic and radio waves cannot pass through the fabric with silver fibers - this fabric also has antibacterial properties. It can be used as baby clothes, maternity clothes, office clothing, where people most commonly use computers, cell phones, etc. Some factories use special fiber properties with nano silver anti-bacterial treatment and special weaving patterns to gain perpetual moisture wicking in order to ensure health care protection. At movement of the body, this fabric reduces the skin's surface temperature for cool and comfortable feeling. Besides, anti-bacterial function of the fabric can cure wounds at sports activities.

*Far infrared (FIR) filament yarn* can emit electromagnetic wave of 4-14  $\mu\text{m}$ . The wave can permeate into the deepest skin and hypodermic tissue and enable the water molecules inside the body resonate. Ningbo Texroy Apparel Technology Co., Ltd [2] presents nylon negative ions, far infrared filament yarn. Tianjin-Luodakang Technology Co., Ltd produces tourmaline far-infrared Negative Ion Massage Silk Scarfs. Far infrared rays' healthy fabric may be used for pads, insoles and carpets. Far infrared rays also ensure healthy protection and comfort (Fig.2).Therefore, such fabric improves the blood circulation and strengthens the metabolism so that it vitalizes the tissue, quickens the nutrition absorption and expels the harmful cholesterol. It makes the body to acquire health and vitality and contributes to the increase of the immune system and health protection ability. Infrared ceramic fabric also may use far infrared ray (FIR) finish.



Fig.3. Fabrics with quick dry function

*Fabrics with dry fit function* are very popular nowadays. Dry Fit Fabrics [3] suggest the ability to absorb moisture, transfer perspiration through the changing structure of the fabric and different properties of fibers. The fibers with dry fit function can be mixed with other fibers. Kinds of new fibers, with different colors, different lines, and different fabric weight can be got through the different blending proportions. Special weaving ensures high moisture absorption and relieved perspiration with comfort quick-drying. The micro-grooves, which are on the surface of the fiber,

play an important role in the sweat removing. This structure transfers the moisture from surface of skin to the surface of the fabric, then it volatilizes quickly, keeping human's skin dry and comfortable. On the other hand, in wet state, fabric won't adhere to the skin, it is breathable. Usually these fabrics can be made of polyester and its blends (Fig.3). Jiangsu Huaye Textile Co., Ltd presents quick dry 65 polyester 35 cotton seersucker fabrics. Dongguan City Chuangwei Textile Co., Ltd produces shiny **quick dry** warp knitted 4 way stretch with UV resistance, while Changshu Jinyurun Knitting Textile Co., Ltd produces quickly dry 100% polyester mesh fabrics. Usually such materials have quick dry fit, anti-wrinkle, non-deforming and anti-pilling properties. They do not fade and are easy to care.

A lot of works in Wuhan Textile University [4] are devoted to the production of *water, oil and petrol repellent fabrics*. Special finishing for the active protection of fabrics from pollution allows manufacturing clean wear-resistant fabrics with oil repellent properties at operating in the oil and gas fields. Contaminations remaining on the surface of the fabrics are easily removed during washing or dry cleaning.

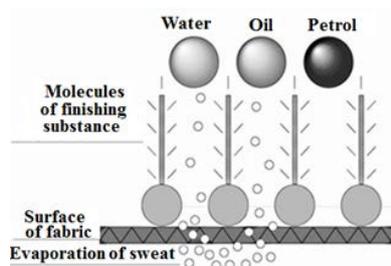


Fig.4. Principle of Water and Oil Repellency in fabrics



Fig.5. Water Repellent Fabric

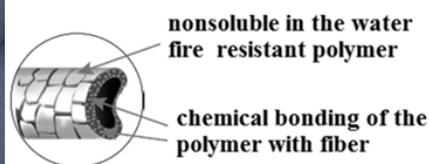


Fig.6. Fiber treatment for FR fabrics

Finishing solutions are created on a water basis and prevent interaction of fabric with other chemicals through the formation of molecular protection by fluorocarbon groups around the fabric fibers.

Concentration of fluorocarbon groups is definite. The distance between the groups is smaller than the size of the molecules in water, oil or petrol. That prevents the penetration of such liquids inside the fabric. Interaction of fluorocarbon groups with fibers diminishes the gravity force between the fabric and liquid molecules. Thus, the technology ensures maximum protection against water, oils and petroleum products. Such finishing may be effective towards dry impurities (non-toxic fine dust), liquid contaminants (aqueous solutions of organic compounds) and oily contaminants (petroleum fractions, vegetable, synthetic and mineral oils).

Henan Tianyu Garment Import & Export Co., Ltd is the professional manufacturer in China specializing in development, production and trade of woven fabrics and functional fabric. They produce for work wear and uniform such functional fabrics as water proof fabrics, anti-acid & anti-alkali fabrics and anti-UV fabrics, flame retardant, antistatic fabrics for any industry.

*Water-repellent fabrics* are produced by a lot of factories in China. Material can be manufactured out of 100% recycled PET and woven using Jacquard dobby. Such fabrics may have different coating for UV protection, TPE, TPU, EVA backing PU, ULY, silicone coating etc. Usually such fabrics are suitable for bag applications and upholstery, bag and case lining, shopping bags, garments, shoes, gloves, caps, hats and rain suits.

Waterproof fabric can be made of polyester and cotton in proportion 65/35 or 80/20, of pure cotton or nylon with special finishing. To impart hydrophobic properties to textile materials of natural and chemical fibers in the textile finishing enterprises many technologies are used. The concentrated emulsion for waterproof finishing may contain paraffin, modified lignite wax, grease based on petrolatum, mineral oil and ceresin, isopropyl alcohol, zirconium acetate, acetic acid, aluminum oxide dispersion and other different substances. Good waterproof performance can be also achieved in some fabrics through the highest density of carbon-hydrogen structure after self-grouping and crystallization of the grafted polymer and comb-like polymer. Chemical materials like

fluorine carbon reduce the harm on human body. Such fabrics can preserve color fastness up 5 times to washing, light, rubbing. Due to different substances fabrics can be non-toxic, AZO-free and can protect from cold and save from oil spots.

Water repellent fabrics for rain wear can be produced of 100 % polyester. It may consist of microfiber with mechanical stretch and laminated with thermoplastic urethane. This fabric is waterproof, breathable, windproof, provides high water repellency and good hand feel with a stretch. It is widely used for rainwear, skiing wear, snowboard wear, sportswear jackets and etc.

*Alkali and acid repellent fabric* are widely used for working clothes in chemical plants and laboratories. The fabric with acid-proof finishing has the property of acid repellency and protects the person from getting 50% (c-50) or 80% (c-80) of sulfuric acid solution on the skin. Acid drops roll off the surface of the fabric and if the fabric is in the horizontal position, drops of sulfuric acid do not penetrate through it during 6 hours. Drops of sulfuric acid solution retard on the surface of the fabric without penetrating inside of the fibers. The mechanism of acid-proof finishing is based on the molecular protection of fibers to prevent interaction of fabrics with solutions of sulfuric acid. Usually fabrics have polyester fibers in their structure, which have high chemical resistance themselves. This provides additional guarantees to protect human body from acids.

*Flame Retardant Fabrics* are widely used for fire-resistant outfit in most jobs with the potential danger of ignition. Such fabric serves as protection against sparks of fire, impacts of the elevated temperatures, against contact with molten metal and hot surfaces.

The flame retardant fabrics usually include different synthetic fibers such as nylon, polyester, acrylic and others, which are not easy to ignite. Though synthetics sound to be good flame retardant materials, however, they would melt when get fire. The melting creates very hot and sticky substance which may cause even more serious harm. Polyester & Nylon fabric with various coating and special finish make the fabric have special functions. Cotton fabric with various coating and special finish, such as antistatic, wear resistant, water proof, with PA, PU, silver, milky coating, PVC coating also ensures multifunctional usage. Teflon finishing provides fire retardant properties to the fabric.

S.Y. Liangs Enterprise Co. Ltd, Suzhou Shuobei Textile Co. Ltd, Ningbo Texroy [2] Apparel Technology Co. Ltd, Beijing Oubai Jiaye Trading Co. Ltd and many others [1, 6] are engaged in the manufacturing of different FR products.

Flame retardant fabric produced by company Xinke (in Xinxiang, Henan province) is finished by special technique. This Flame retardant fabric can not only prevent flame from spreading, but also keep its original performance. Flame retardant fabric is durable against normal washing, stand 50 times washing, non-poisonous, safe to human body, softy and comfortable to wear. It can be used for metallurgy, machinery, forestry, fire-fighting and other trades. It also can be used as decorative fabric.

In China fabrics, manufactured of glass yarn, permit working temperature up to 500°C, while fabrics of ceramic yarns combined with glass allow working temperature up to 700°C. Fabrics made of ceramic yarns combined with inconel are used for working temperatures up to 1100°C, when fabrics from glass yarns with special vulcanized surface can be exploited with short time resistance to 1600°.



Fig.7. Nanotechnology for Thermo-regulating fabric



Fig.8. Thermo-regulating garments



Fig.9. Antistatic fabric with Thermo-Control



Fig.10. Shielding fabric for RFID locks, electromagnetic fields and radiation

*Thermo-regulating fabrics* [7] and new technologies of their manufacturing are being developed in the Wuhan Textile University. A phase change material (PCM) is capable of storing and releasing large amounts of energy. Heat is absorbed or released when the material changes from solid to liquid and vice versa. Garments made of PCM fabrics are able to keep the wearers in a relatively stable micro-environment temperature. Our scientists suggest manufacturing thermo-regulating fabric by the microencapsulating process of phase change material, such as polyethyleneglycol-1000 with reference to thermal energy storage. Nano-enhanced fabric will be automatically adjusted to suit environs, keeping warmth when it is chilly and cool when the temperature rises. A lot of factories in China produce thermo-control bamboo fabric [8]. It is highly breathable in hot weather and significantly warmer in the cold period. Garments of such fabric are more comfortable in all temperatures and may be called air conditioned clothing.

*Antistatic fabrics* are being widely manufactured now in China by factories in Guangzhou, Suzhou, Shenzhen and others. Average human capacitance, relative to the Earth, is about 200 PF. At the same time, being on the carpet or rubbing the clothing, skin can obtain a charge up to 0.43 MJ, that may create potential relative to the Earth (about 500V). If there is a contact with some grounded metal conductor, there will be a runoff discharge current from the body's capacitance. That is very unpleasant to the body. Some factories for protection against static electricity produce fabrics with built-in anti electrostatic threads. Other fabrics are made of different blends with different finishing. Nowadays carbon is used in many blends. The garments may be widely used to prevent damage to electrical components. The fabric shields the electrostatic sensitive devices from harmful static charge emanating from silk, wool or synthetics. Sheets with earthing usually use silver nanoparticles and obtain antibacterial protection as well. Antistatic effect in fabrics is ideal for designing dress code or uniforms for the people working in clean rooms, electronic laboratories or gas and petrol operating rooms.

*Anti-radiation fabric* is produced by Jieke Advanced Fabrics in Suzhou, Jiangsu province [6], Hong Kong Wei Xing Technology Development Limited and other factories. They also manufacture fabrics for radio-frequency identity (RFID) and protection against electromagnetic radiation (EMR). They are widely used in auto industry, processing industry, manufacturing, construction, decoration and protection etc. Wallpapers are manufactured with laminated copper nickel plain weave conductive fabric on back.

Wuhan Textile University as well as others together with a wide range of factories and enterprises continues to conduct R&D works to create new kinds of functional textiles for house hold usage, security in different field of industry, agriculture, medical care systems and etc. A great variety of fibers from natural to synthetics, including microfibers and hollow fibers, shaped composite fibers and modified fibers with special form of finishing and technologies, with different woven and nonwoven patterns are being tested to be applied to get unique functions for fabrics and apparels.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.<http://www.TIANJIN-LUODAKANG>
- 2.<http://www.NINGBO-TEXROY>
- 3.<http://www.WEIXTECH.COM>
- 4.Сборник материалов 89-й Международной текстильной конференции. Ухань, 6-14 ноября 2014 г. Китайская Народная Республика. -Р. 1351
- 5.<http://www.SHINCOTEX.COM>
- 6.<http://www.JSHUAYE.EN.BYTRADE.COM>

7. Асфандияр Хан, М. Нахид Первез. Исследование возможности применения полиэленгликоля-1000 для создания ткани со свойствами терморегуляции. Международный журнал текстильной науки. Научные и академические издания, 2015. С.6.  
8. <http://www.HNTIANYU.EN.ASIAPRODUCT.NET>

УДК 677.494.745.32.001.73

## **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВОЛОКНА ИЗ СМЕСИ ПОЛИМЕРА БЕЛКА И СОПОЛИМЕРА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА**

### **STUDYING QUALITIES OF FIBRE IN BLEND OF PROTEIN POLYMER AND POLYACRYLONITRILE SOPOLYMER**

М.Б. Шамукимова, И.А. Набиева, А.А. Миратаев, Х.А. Эргашева  
M.B. Shamukimova, I.A. Nabiyeva, A.A. Miratayev, H.A. Ergasheva

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (Узбекистан)  
The Tashkent institute textile and light industry (Uzbekistan)  
E-mail: niroda@bk.ru, mshamukimova@mail.ru

**В условиях экономического кризиса особое место занимает вопрос разработки технологии рационального использования вторичных волокнистых ресурсов и создание нового ассортимента текстильных материалов на основе местного сырья. Эффективное использование природных волокнистых материалов предполагает возврат в производство отходов их текстильной переработки, а следовательно, и выпуск дополнительной продукции, и улучшение экологической обстановки в районе расположения предприятий. В данной статье приводятся результаты экспериментальных работ по использованию волокнистых отходов натурального шелка в производстве химического волокна - Нитрон. Обсуждены капиллярно-пористые и сорбционные свойства волокна нитрон сформованного в смеси с белком натурального шелка в виде порошка и раствора.**

**Ключевые слова:** белок, нитрон, формование, сорбция, отходы натурального шелка, оптическая плотность.

**In conditions of economical crisis the main role takes the question of elaborating technologies of natural exploitation of second fibrous resources and providing new assortments of textile material on the base of local resources. Effective usage of natural fibrous materials supports the return of recycled textile wastes to manufacture, as well as produce of additional products, improvement of ecological environment in manufacturing territories. This article includes in the results of experimental works on using fibrous wastes of natural silk in chemical fibre production - Nitron. There were discussed the issues of capillary-porous and sorption qualities of nitronfibre formed in blend of natural silk protein in form of powder or dissolution.**

**Key words:** protein, nitron, forming, sorption, natural silk wastes, optical density.

При производстве и переработке любого вида волокна образуются отходы, относительное количество которых зависит от многих факторов, в том числе совершенства технологии, состояния и технологического уровня оборудования, культуры производства [1].

Производство натурального шелка и его переработка – являются сложными технологическими процессами. Из-за высоких санитарно-гигиенических свойств, прочности, удобства при эксплуатации и красивого внешнего вида изделия из натурального шелка обладают высоким спросом в мире, а также являются одними из самых дорогих текстильных материалов. Но из-за отсутствия оптимальной технологии производства высококачественной шелковой пряжи из отходов шелка выход изделий из этого сырья составляет не более 50%. В республике отсутствуют эффективные технологии переработки шелковых отходов, такие как лось кокона, узелок, рвань, короткие волокна из автомата.

Химическая промышленность, в частности отрасль производства химических волокон, является эффективным потребителем этих отходов натурального шелка, которые не могут найти применение в других отраслях, так как в данном случае можно получить полезную продукцию путем их растворения.

На кафедре «Химическая технология» ТИТЛП в течение последних лет проводятся исследования по применению отходов шелка при получении искусственных волокон и модифицировании полиакрилонитрильных волокон. В результате проведенных исследований получены искусственные шелковые волокна: посредством смешивания растворов отходов шелка и сополимера полиакрилонитрила сформованы волокна нитрон с новыми свойствами; путем модификации отходов натурального шелка и гель-волокна нитрон получено волокно с высокими сорбционными свойствами. Но результаты этих исследований не внедрены в производство из-за возникших некоторых неудобств [2].

В предыдущих наших исследованиях были изучены и получены положительные результаты по формованию волокна из смеси белка и полимера полиакрилонитрила [3]. Следующие исследования посвящены изучению влияния соотношения полимеров на сорбционные свойства волокна, полученного из их смеси. Присутствие заместителей основного и кислотного характера в макромолекуле белка способствует улучшению сорбционных свойств полученных образцов с добавкой белков.

При добавлении в сополимер полиакрилонитрила белка различного вида, полученного из отходов натурального шелка, наблюдалось полное их смешивание (табл.1).

Таблица 1

Зависимость оптической плотности раствора полимера от вида белка

Вид белка	Оптическая плотность сополимера, D.
Без белка	0,028
В виде порошка	0,624
В виде раствора	0,862

Из таблицы 1 видно, что белок в разных видах полностью растворяется в растворе сополимера.

Известно, что поглощенная влажность полиакрилонитрилом – нитроном равна 1,0% при относительной влажности воздуха 65% и температуре 25<sup>0</sup>С, при этом прочность образца равна 20-60 сН/текс.

Сформованы волокна в нескольких вариантах путем добавления в сополимер полиакрилонитрила нескольких видов белка в трех различных пропорциях. Кинетика сорбции и сорбция паров воды в эти волокна, определены на установке Мак-Бена. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сорбция паров воды в волокна

Относительная влажность, %	Образцы						
	Исходное волокно	Волокно с порошком белка, %			Волокно с раствором белка, %		
		1,0	1,5	2,0	2,0	4,0	6,0
Сорбция, %							
10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,40	0,60	0,40
30	0,40	0,70	0,20	0,80	1,10	2,00	0,80
50	0,90	1,00	0,60	1,60	2,50	4,00	1,60
65	1,60	1,80	1,40	2,50	4,30	6,80	3,00
80	3,00	3,20	3,00	4,00	6,50	10,60	5,50
90	4,40	5,00	4,90	6,60	8,30	14,00	8,30
100	7,10	8,20	8,30	17,50	10,30	16,10	20,00

С увеличением относительной влажности повышается сорбция паров воды в волокна с добавкой белка. Сорбционные свойства волокон с добавкой белка в виде раствора имеют высокие значения относительно сорбционным свойств волокон с добавкой белка в виде порошка. Причину этого явления можно объяснить присутствием в составе белка его растворителей: хлорида кальция и глицерина, которые также оказывают положительное влияние. В предыдущих исследованиях модификация волокна отходами натурального шелка в концентрации 1-2% во время формирования волокна приводила к слипанию их между собой. В наших исследованиях при повышении концентрации белка даже до 6% слипание на поверхности волокон не наблюдалось. Это объясняется тем, что раствор природного волокна полностью и равномерно распределяется не только на поверхности волокна, но также во внешней и внутренней структуре волокна. Изменение сорбционных свойств волокон влияет и на их капиллярно-пористую структуру (табл. 3).

Таблица 3

Капиллярно-пористая структура волокон

Показатели волокна	Образцы						
	Исходное волокно	Волокно с порошком белка, %			Волокно с раствором белка, %		
		1,0	1,5	2,0	2,0	4,0	6,0
$S_{sol}, \text{м}^2/\text{г}$	59,05	24,09	26,11	49,80	45,00	63,18	94,43
$W_0, \text{см}^3/\text{г}$	0,140	0,145	0,161	0,250	0,162	0,185	0,280
$R_k, \text{А}^0$	47,41	68,06	71,7	93,0	55,77	68,96	83,73

Причиной увеличения сорбции паров воды является то, что увеличивается суммарный объем пор на полимере: если суммарный объем пор без добавления белка составляет  $0,140 \text{ см}^3/\text{г}$ , то после добавления белка объем увеличивается соответственно до  $0,250$  и  $0,280 \text{ см}^3/\text{г}$ .

Результаты исследования показывают возможность решения задач, поставленных нашим правительством, таких как полная и глубокая переработка сырья и глобализация видов продукции. Химически перерабатывая отходы натурального шелка показана возможность эффективного использования их при производстве волокна нитрон взамен импортных дорогих химических реагентов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелкосырье и кокономотание /Рубинов Э.Б., Мухаммедов М.М., Осипова Л.Х., Бурнашев И.З. 2е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1986. -312 с.
2. Набиева И.А. Модификация волокна нитрон отходами натурального шелка и разработка технологии отделки смесовых материалов на его основе: Дис. докт. техн. наук. – Т., 2010. - 264 с.

## ПЛЕТЕНОЕ ПОЛОТНО ИЗ ТКАНЫХ И НЕТКАНЫХ ЛЕНТ

## WOVEN FABRIC FROM WOVEN AND NON-WOVEN TAPES

Ю.А. Щепочкина  
Ju.A. Shchepochkina

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Politechnical University  
E-mail: julia2004ivanovo@yandex.ru

**Предложено и изготовлено плетеное полотно, формируемое из лент, соединённых краями между собой посредством нити. Формирование заготовок полотна выполнено ручным способом полотняным и саржевым переплетениями.**

**Ключевые слова:** ленты, плетеное полотно

**Proposed and manufactured woven fabric formed from tapes connected between each other by edges by means of fibers. Formation of the samples of fabric was done by hands by means of plain and twill interlacing.**

**Keywords:** tapes, woven fabric

В последние годы все больше возрастает интерес к плетеным текстильным полотнам. Такие полотна формируются из плоских лент [1] на основе из натуральных и/или химических (искусственных, синтетических) текстильных волокон.

Нами предложено плетеное полотно [2], сформированное из текстильного материала, представляющего собой расправленные ленты, соединённые краями между собой посредством нити. Ленты могут быть изготовлены из шёлка, шерсти, льна, хлопка, синтетических и других волокон. Формирование полотна из лент одного или разных волокнистых материалов возможно при соблюдении условия - одинаковой толщины всех лент. В качестве текстильного материала могут быть использованы тканые и нетканые, например, вязаные, ленты одинаковой, что предпочтительнее, или разной ширины, а также предварительно стачанные краями ленты. Ленты и соединяющая их нить могут иметь одинаковую или различную расцветку, что даёт возможность получения как одноцветных, так и многоцветных полотен.

Первые полотна, полученные нами, выработаны из лент различной расцветки (рис.1).



Рис.1. Многоцветные ленты для изготовления полотен

Материал лент – полиэстер, ширина – 0,03 м, длина ленты в бобине – 100 м. Формирование заготовок полотен выполнялось ручным способом полотняным и саржевым переплетениями, после чего края лент в заготовке соединялись нитью (рис.2).

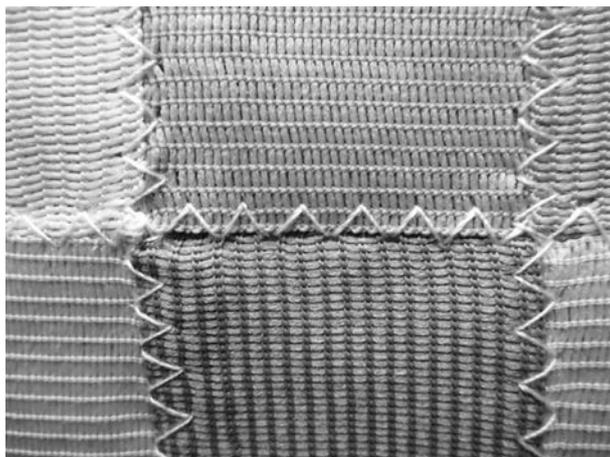
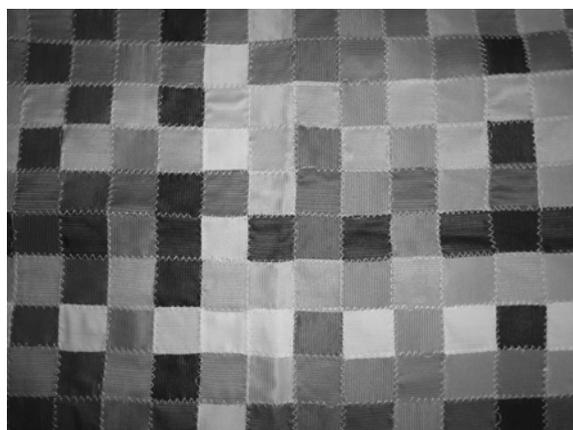
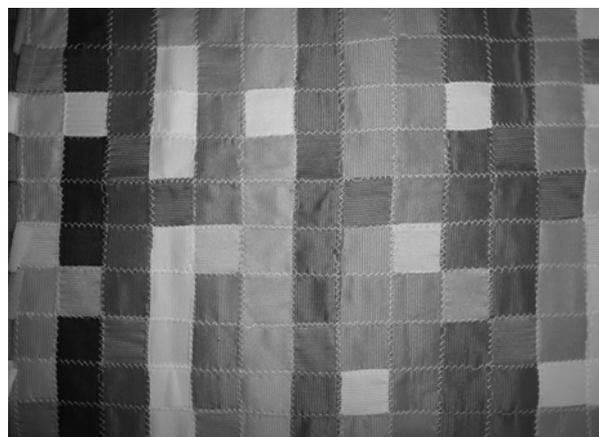


Рис.2. Соединение лент нитью

Общий вид многоцветных полотен (рис. 3), сформированных полотняным и саржевым переплетениями является доказательством возможности получения самых разнообразных по цвету, структуре и размеру подобных полотен.



а



б

Рис.3. Фрагмент готового многоцветного полотна: а) полотняное переплетение; б) саржевое переплетение

Традиционные виды переплетений отличаются между собой длиной продольных и поперечных перекрытий. При формировании полотен кроме полотняного и саржевого переплетений могут быть и другие перекрытия из лент.

Можно проектировать плетёные полотна разного объёмного веса. Структура сформированного из лент полотна будет определяться волокнистым составом, шириной и толщиной лент, видом переплетения, а также особенностями лицевой и изнаночной поверхности. Используя разные переплетения при формировании полотен из тканых и нетканых лент можно получать товарную продукцию в виде одеяльных и декоративных полотен, идущих для обивки мебели, изготовления портьер, занавесей, в том числе многометровой длины и ширины.

Необходимо отметить, что научное направление по изготовлению плетёных полотен из лент еще не получило должного развития, хотя попытки исследования свойств таких полотен проводились позднее в работах других авторов [3, 4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деханова, М.Г. Лентоткацкое и плетельное производства: Справочник / М.Г. Деханова, А.П. Мшвениерадзе. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 200 с.
2. Полотно; пат. № 2354765 Российская Федерация. № 2007143933; заявл. 26.11.2007; опубл. 10.05.2009, бюл. № 13. – 2 с.
3. Томилова, М.В. Оценка способности материалов к изготовлению плетеных изделий / М.В. Томилова, Н.А. Смирнова, В.В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 3. – С. 17-19.
4. Томилова, М.В. Оценка свойств плетеных полотен / М.В. Томилова, Н.А. Смирнова, В.В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 1. – С. 27-29.

УДК 667.076.4

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### PREDICTION OF INSULATION PROPERTIES NONWOVENS

А.В. Трещалина, Ю.М. Трещалин  
A.V. Treschalina, Yu.M. Treschalin

Институт государственного управления, права и инновационных технологий (Москва)  
Костромской государственной технологической университет  
Institute of state administration, law and innovative technologies (Moscow)  
Kostroma state technological University  
E-mail: anna468@yandex.ru, antropog@yandex.ru

**В статье изложены результаты исследований теплоизоляционных свойств нетканых материалов. На основании экспериментальных данных получены расчетные зависимости для определения эффективного коэффициента теплопроводности от пористости и плотности нетканых полотен.**

**Ключевые слова:** нетканое полотно, коэффициент теплопроводности, пористость, плотность, волокно, показатель нелинейности.

**In article results of researches of thermal insulation properties of nonwoven materials. Based on the experimental data obtained dependences for determination of effective coefficient of thermal conductivity from porosity and density of nonwoven materials.**

**Keywords:** non-woven fabric, thermal conductivity, porosity, density, fiber, the nonlinearity index.

Актуальность прогнозирования теплоизоляционных свойств нетканых полотен на стадии их изготовления обусловлена широким использованием таких материалов в качестве утеплителей. Принимая во внимание специфические особенности структуры исследуемых полотен, а также физическую природу процесса теплопроводности, в качестве определяющего параметра при оценке интенсивности распространения тепла, целесообразно использовать эффективный коэффициент теплопроводности.

В соответствии с определением, предложенным в [1], эффективный коэффициент теплопроводности  $\lambda_{эф}$  является комплексной характеристикой сплошных сред, имеющих капиллярно-пористое или пористое строение, учитывающей молекулярный теплоперенос в структурных элементах, молекулярный и конвективный теплообмен между частицами среды, находящейся в порах и долю тепловой энергии, передаваемой излучением.

Как известно, наилучшим теплоизолятором является воздух, коэффициент теплопроводности которого при атмосферном давлении  $P = 1,01 \cdot 10^5$  Па и температуре  $t = 0$

$^{\circ}\text{C}$  равен  $\lambda_{\text{воз}} = 0,02442 \text{ Вт / (м}\cdot\text{К)}$  [2]. Следовательно, чем выше пористость нетканого полотна, тем меньше значение  $\lambda_{\text{эф}}$ . Следует отметить, что данное утверждение справедливо для различных дисперсных материалов [2-4].

Применительно к рассматриваемому процессу зависимость эффективного коэффициента теплопроводности от пористости можно представить в виде:

$$\lambda_{\text{эф}}(\xi) = M \cdot \xi^N + Z \quad (1)$$

где:  $\lambda_{\text{эф}}(\xi)$  – эффективного коэффициента теплопроводности, Вт / (м·К);

$\xi$  – пористость нетканого полотна;

$M, Z$  – постоянные коэффициенты;

$N$  – показатель нелинейности функции.

Предельные значения  $\lambda_{\text{эф}}(\xi)$  определяются из граничных условий:

-  $\lambda_{\text{эф}}(\xi) = \lambda_{\text{В}}$  при  $\xi = 0$ ;

-  $\lambda_{\text{эф}}(\xi) = \lambda_{\text{воз}}$  при  $\xi = 1$ ,

где:  $\lambda_{\text{В}}$  – коэффициент теплопроводности полимера, из которого изготовлено волокно (мононить), Вт / (м·К);

$\lambda_{\text{воз}} = 0,02442$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт / (м·К);

С учетом принятых граничных условий, постоянные коэффициенты в уравнении (1) будут равны:

$$Z + M = \lambda_{\text{воз}} \text{ при } \xi = 1; Z = \lambda_{\text{В}} \text{ при } \xi = 0.$$

Тогда:  $\lambda_{\text{эф}}(\xi) = (\lambda_{\text{воз}} - \lambda_{\text{В}}) \cdot \xi^N + \lambda_{\text{В}}$  или  $\xi^N = \frac{\lambda_{\text{эф}}(\xi) - \lambda_{\text{В}}}{\lambda_{\text{воз}} - \lambda_{\text{В}}}$ . Отсюда:  $N = \frac{\ln\left(\frac{\lambda_{\text{эф}}(\xi) - \lambda_{\text{В}}}{\lambda_{\text{воз}} - \lambda_{\text{В}}}\right)}{\ln(\xi)}$

Вычисление значений показателя нелинейности  $N$  проводится на основании:

- опытных данных по определению эффективного коэффициента теплопроводности иглопробивных нетканых полотен, изготовленных на предприятиях ООО «Пинема», «Сибур-Геотекстиль», «Веротекс», изложенных в [1, 5];

- результатов испытаний нетканых полотен «Холлофайбер», проведенных в лаборатории теплофизических характеристик и долговечности строительных материалов и изделий НИИ Строительной Физики РААСН;

- технических характеристик термоскрепленного утеплителя «ШелтерЭкоСтрой» [6, 7];

- экспериментальных исследований теплового сопротивления различных нетканых материалов в лаборатории стандартизации, испытаний и сертификации нетканых материалов НИИ Нетканых Материалов.

Необходимые для проведения расчетов характеристики волокнистого состава приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики волокнистого состава

Вид химических волокон	Плотность $\rho_{\text{В}}$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{В}}$ , Вт/(м·К)
Силикон	956	0,133 ÷ 0,135
Полиэфирные	1380	0,147 ÷ 0,151
Полипропиленовые	910	0,167

Следует отметить, что значения  $\lambda_{\text{В}}$  в табл. 1 даны при температуре  $0 \div 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , давлении  $1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и относительной влажности  $60 \div 65 \%$ .

Значения экспериментальных данных и результаты расчета показателя  $N$  для нетканых полотен, изготовленных из полиэфирных и полипропиленовых волокон (мононитей) представлены соответственно, в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Исходные экспериментальные данные и результаты расчета показателя N для нетканых полотен, изготовленных из полиэфирных волокон (мононитей)

Наименование материала (волокнистый состав ПЭ - 100%)	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Толщина, мм.	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Эффективный коэффициент теплопроводности, Вт/ (м·К)	Пористость	N
Утеплитель производства ООО «Терморейл»	142	9,3	15,27	0,0261	0,993	5,53755
Утеплитель производства ООО «Терморейл»	184	11,4	16,14	0,0273	0,989	5,96900
ШЭС-Спорт, 150	176	7,3	24,11	0,02825	0,989	5,77166
ШЭС-Спорт, 200	218	8,8	24,77	0,0281	0,988	5,65848
ШЭС-акустик	1000	23	43,48	0,03700	0,968	3,27302
ШЭС-фасад	1500	44,8	33,48	0,03700	0,976	4,38194
Холлофайбер Строй 2500	2823	100,5	28,10	0,0371	0,955	2,33907
Холлофайбер Строй 3000	3498	100,3	34,88	0,0365	0,944	1,76985
Холлофайбер Строй 3500	3732	100,3	37,20	0,0365	0,94	1,64839
Полотно термоскрепленное объемное, (аэро)	160	6,7	23,88	0,0360	0,982	5,38132
Полотно нетканое термоскреп- ленное объемное	100	5,5	18,18	0,0332	0,986	5,21425
Полотно термоскрепленное объемное силиконизированное	150	7,4	20,27	0,0348	0,984	5,42844
Полотно термоскрепленное объемное силиконизированное	200	7,5	26,67	0,0363	0,981	5,21515
Полотно термоскрепленное объемное силиконизированное	300	12,5	24,01	0,0360	0,982	5,38083
Полотно термоскрепленное объемное силиконизированное	350	12,9	27,13	0,0368	0,98	5,19089
Аэрофайбер SuperWhite 100	100	6,4	15,63	0,0322	0,988	5,36982
Аэрофайбер SuperWhite 200	200	8,8	22,73	0,0345	0,984	5,23644
Полотно термоскрепленное объемное (ХоллоТек)	300	13,2	22,71	0,0339	0,985	5,21953
Полотно термоскрепленное объемное (ХоллоТек)	500	19,1	26,18	0,0359	0,982	5,30778

Таблица 3

Исходные экспериментальные данные и результаты расчета показателя N для нетканых полотен, изготовленных из полипропиленовых волокон (мононитей)

Наименование материала (волоконистый состав ПП - 100%)	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Толщина, мм.	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Эффективный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Пористость	N
Полотно иглопробивное, волокно штапельное	295	2,42	121,9	0,1321	0,866	9,68598
Полотно иглопробивное, волокно штапельное	458	5,44	84,2	0,1117	0,907	9,72498
«Геотекс» М 400, «Сибур- геотекстиль»	372,9	3,33	112	0,1277	0,877	9,62451
«Геотекс», «Сибур-геотекстиль»	400,2	3,16	126,6	0,1328	0,861	9,61174
«Геотекс» М 500, «Сибур- геотекстиль», спанбонд	508	5,92	85,81	0,1138	0,906	9,73654
«Геотекс» М 600, «Сибур- геотекстиль», спанбонд	610	7,85	77,71	0,1057	0,915	9,66518

Анализ экспериментальных данных указывает на наличие явно выраженных зависимостей  $\lambda_{эф}(\xi)$ ,  $N(\xi)$  и  $\lambda_{эф}(\rho)$ . Причем, если эффективный коэффициент теплопроводности с увеличением пористости снижается, то величины  $\lambda_{эф}(\rho)$  и  $N(\xi)$  существенно возрастают.

С целью определения математических выражений  $\lambda_{эф}(\xi)$ ,  $N(\xi)$  и  $\lambda_{эф}(\rho)$ , проведена аппроксимация данных табл. 2 и 3 при помощи программного комплекса Mathcad 15. В качестве граничных условий приняты следующие значения  $\lambda_{эф}(\xi)$ ,  $N(\xi)$  и  $\lambda_{эф}(\rho)$ :

- для полиэфирных волокон:

$$\lambda_{эф}(\xi) = 0,149 \text{ и } N(\xi) = 0,62824 \text{ при } \xi = 0;$$

$$\lambda_{эф}(\xi) = 0,02442 \text{ и } N(\xi) = 8,02725 \text{ при } \xi = 1.$$

- для полипропиленовых волокон:

$$\lambda_{эф}(\xi) = 0,169 \text{ и } N(\xi) = 0,830812 \text{ при } \xi = 0;$$

$$\lambda_{эф}(\xi) = 0,02442 \text{ и } N(\xi) = 10,013817 \text{ при } \xi = 1.$$

- независимо от вида волокон:  $\lambda_{эф}(\rho) = 0$  при  $\rho = 0$ .

Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов по определению зависимостей  $\lambda_{эф}(\xi)$ ,  $\lambda_{эф}(\rho)$  и  $N(\xi)$  нетканых полотен

Математическая зависимость	График зависимости	Значение коэффициента корреляции $K_k^2$	Величина относительной погрешности, %	
			min	max
<b>Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности от пористости нетканого полотна (ПЭ -100%)</b>				
$\lambda_{эф}(\xi) = -0,120295 \cdot \xi^{2,5} - 2,66946 \cdot 10^{-3} \cdot \xi^{0,5} + 0,149$		0,9775	- 4,144	5,332
<b>Зависимость показателя N от пористости нетканого полотна (ПЭ -100%)</b>				
$N(\xi) = 7.268794 \cdot \xi^{28,5} + 0,601726$		0,9949	- 4,557	5,112
<b>Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности от объемной плотности нетканого полотна (ПЭ -100%)</b>				
$\lambda_{эф}(\rho) = 0,014033 \cdot \rho^{0,35} - 8,287732 \cdot 10^{-4} \cdot \rho^{0,75}$		0,989	-5,471	5,576
<b>Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности от пористости нетканого полотна (ПП -100%)</b>				
$\lambda_{эф}(\xi) = -0,139048 \cdot \xi^{10} - 3,600934 \cdot 10^{-3} \cdot \xi^3 + 0,167$		0,999	- 0,455	0,371

Зависимость показателя N от пористости нетканого полотна (ПП -100%)				
$N(\xi) = 11,159271 \cdot \xi^2 + 0,420431$		0,999	-1,077	0,835
Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности от объемной плотности нетканого полотна (ПП -100%)				
$\lambda_{эф}(\rho) = -0,010495 \cdot \rho^{1,05} + 0,014425 \cdot \rho$		0,998	-1,471	1,576

Анализ проведенных расчетов позволяет утверждать, что эффективный коэффициент теплопроводности зависит от вида волокон, пористости и объемной плотности нетканых полотен. Причем, для материалов, изготовленных из полиэфирного сырья, вычисление  $\lambda_{эф}$  производится по формулам:  $\lambda_{эф}(\xi) = -0,120295 \cdot \xi^{2,5} - 2,66946 \cdot 10^{-3} \cdot \xi^{0,5} + 0,149$  и  $\lambda_{эф}(\rho) = 0,014033 \cdot \rho^{0,35} - 8,287732 \cdot 10^{-4} \cdot \rho^{0,75}$ , а при использовании полипропиленовых волокон -  $\lambda_{эф}(\xi) = -0,139048 \cdot \xi^{10} - 3,600934 \cdot 10^{-3} \cdot \xi^3 + 0,167$  и  $\lambda_{эф}(\rho) = -0,010495 \cdot \rho^{1,05} + 0,014425 \cdot \rho$ .

Можно, также отметить наличие функциональной взаимосвязи показателя степени N в уравнении  $\lambda_{эф}(\xi) = M \cdot \xi^N + Z$  и пористости, которая для нетканых полотен, выработанных из полиэфирных волокон, имеет вид:  $N(\xi) = 7,268794 \cdot \xi^{28,5} + 0,601726$  и полипропиленовых волокон -  $N(\xi) = 11,159271 \cdot \xi^2 + 0,420431$ .

Таким образом, на основании проведенного исследования можно сделать вывод о возможности применения полученных математических зависимостей для прогнозирования теплоизоляционных свойств нетканых полотен выработанных из полиэфирных и полипропиленовых волокон (мононитей) на стадии их изготовления. Относительная погрешность вычислений  $\lambda_{эф}(\xi)$ ,  $N(\xi)$  и  $\lambda_{эф}(\rho)$  не превышает 5,5% по сравнению с экспериментальными данными.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трещалина А. В. Совершенствование методов расчета и оценки свойств нетканых текстильных материалов теплоизоляционного назначения. Дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.01 / Костром. гос. технол. ун-т].- Кострома, 2009.- 197 с.
2. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов.- М.: Изд. физ.-мат. литературы, 1962. - 456 с.
3. Бузов Б.А., Никитин А.В. Исследования материалов спецодежды в условиях пониженных температур.- М.: Легпромбытиздат, 1985.- 221 с.
4. Колесников П.А. Теплозащитные свойства одежды.- М.: Легкая индустрия, 1965.- 346 с.

5. Трещалин М.Ю., Киселев М.В., Мухамеджанов Г.К., Трещалина А.В. Проектирование, производство и методы оценки качества нетканых материалов (монография). - Кострома: Изд-во Костром.гос. технол. ун-та, 2013. - 273 с.
6. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.wesmir.com/specifications>.
7. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://stroymat2000.ru/kategorii-tovarov/utepliteli-rulony-209/uteplitel-shes-akustik-1200h600h50mm-shelter-ekostroi-2828.html>.

УДК 677

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

### **FABRICATION OF EXPERIMENTAL SAMPLES NANOMODIFIED TEXTILE MATERIALS FOR CLOTHING SPECIAL PURPOSE**

В.В. Хамматова  
V.V. Khammatova

Казанский национальный исследовательский технологический университет  
Kazan National Research Technological University

В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой экспериментальных образцов наномодифицированных натуральных текстильных материалов с содержанием хлопковых волокон, с использованием потока неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления и коллоидного раствора наночастиц серебра для производства опытных образцов одежды специального назначения, которые обладают антибактериальными свойствами. Проведены экспериментальные исследования химического состава и структурных характеристик наномодифицированных текстильных материалов для анализа их качественных характеристик

**Ключевые слова:** плазма, наномодифицирование, экспериментальные образцы, специальная одежда, текстильный материал, хлопковые волокна

The article discusses issues related to the development of experimental samples of nanomodified natural textile materials containing cotton fibers, with the use of a stream of nonequilibrium low-temperature plasma of reduced pressure and the colloidal solution of silver nanoparticles for the production of prototypes of special-purpose clothing, which have antibacterial properties. Experimental study of the chemical composition and structural characteristics of nanomodified textile materials for analysis of their qualitative characteristics.

**Keywords:** plasma, nanomodification, experimental samples, special clothing, textiles, cotton fiber

Изготовление экспериментальных образцов наномодифицированных текстильных материалов осуществляется вследствие применения современных технологий обработки натуральных материалов легкой промышленности препаратами, используемыми для создания антимикробных и бактерицидных текстильных материалов. Среди значительного числа препаратов, использующихся (или рекомендованных к применению), в последнее время в качестве наиболее перспективных, рассматриваются металлы, а именно, серебро, медь, золото, платина, олово, свинец, ртуть в различных формах: растворы солей, комплексные соединения металлов с органическими лигандами, коллоидные растворы наноразмерных частиц металлов и др. В наноразмерном состоянии большинство веществ приобретают новые свойства и становятся крайне активными в биологическом отношении. Наиболее перспективны наноматериалы, отвечающие таким основным требованиям, как биосовместимость и программируют позитивное действие на биологический объект [1]. В числе наноматериалов, которые производятся в настоящее время промышленностью, особое внимание привлекают препараты наночастиц серебра, и других драгоценных металлов, обладающие антибактериальными свойствами [2].

По мнению ученых представивших свои исследования в работе [3], наибольшей эффективностью среди методов придания текстильным материалам антибактериальных свойств обладают химические методы, в процессе которых происходит образование химических связей (например, при введении антибактериальных препаратов в волокнообразующие расплавы и растворы). Разработаны способы придания антимикробных свойств текстильным материалам за счет введения нитрофурановых препаратов в прядильные расплавы с последующим закреплением их при формовании в тонкой структуре волокон по типу соединений включения. Установлено, что на стадии полимеризации при получении капрона добавляют антибактериальный препарат, представляющий собой оловоорганическое соединение (окись или гидроокись трибутиллолова), что обеспечивает сохранение антибактериального эффекта после многократных стирок.

С целью интенсификации ряда технологических процессов изготовления экспериментальных образцов наномодифицированных текстильных материалов применялся поток неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления.

Цель плазменной обработки заключалась в активации поверхности текстильных материалов, что в дальнейшем благоприятно повлияла на впитывающую способность ткани наночастицами серебра за счет улучшения гидрофильных свойств текстильных полотен.

Для придания антибактериальных свойств текстильным материалам проводится их модификация путем пропитки активированных материалов водным коллоидным раствором наночастиц серебра, с концентрацией по металлу  $\sim 10$  мг/мл. Для изготовления экспериментальных образцов применяются коллоидные растворы с концентрацией наночастиц серебра – 0,1 г/л; 0,2 г/л, 0,3 г/л. Раствор необходимой концентрации получается путем разбавления исходного коллоидного раствора наночастиц серебра, полученного ранее, дистиллированной водой (ГОСТ6709-72).

Пропитка текстильных материалов осуществляется посредством полного помещения каждой пробы в раствор антибактериального препарата. Время пропитывания варьируется в диапазоне 5- 15 минут, температура раствора поддерживается  $20-24^{\circ}\text{C}$ . После пропитки экспериментальные образцы материала извлекали из раствора серебра и просушивали до полного высыхания при температуре воздуха  $22 - 26^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке 1 представлена схема изготовления наномодифицированных текстильных материалов специального назначения.

После плазменной обработки и пропитывания текстильных материалов коллоидным раствором наночастиц серебра проводили экспериментальные исследования полученных свойств.

При оценке антибактериальных свойств текстильных материалов важно учитывать сохранность этого эффекта с течением времени. При химической модификации текстильных волокон препаратами коллоидного серебра недостатками метода являются его нестабильность и быстрая вымываемость серебра из ткани. В данной работе закрепление частиц серебра на поверхности ткани производится с помощью плазменной обработки.

Влияние этой обработки на прочность закрепления наночастиц серебра в поверхностном слое материалов, исследовалось путем определения количества содержащегося в образце серебра до и после 5 циклов промывки. Данная операция имитировала циклы стирки в обычных условиях эксплуатации изделия. Промывка образцов производилась в течение 20 минут в среде дистиллированной воды, водопроводной воды, а также водопроводной воды с добавлением ПАВ при температуре воды  $40^{\circ}\text{C}$ . Количество промывок составляло от 1 до 5. После каждого цикла промывки образцы высушивали при комнатных условиях, избегая прямого попадания солнечных лучей.

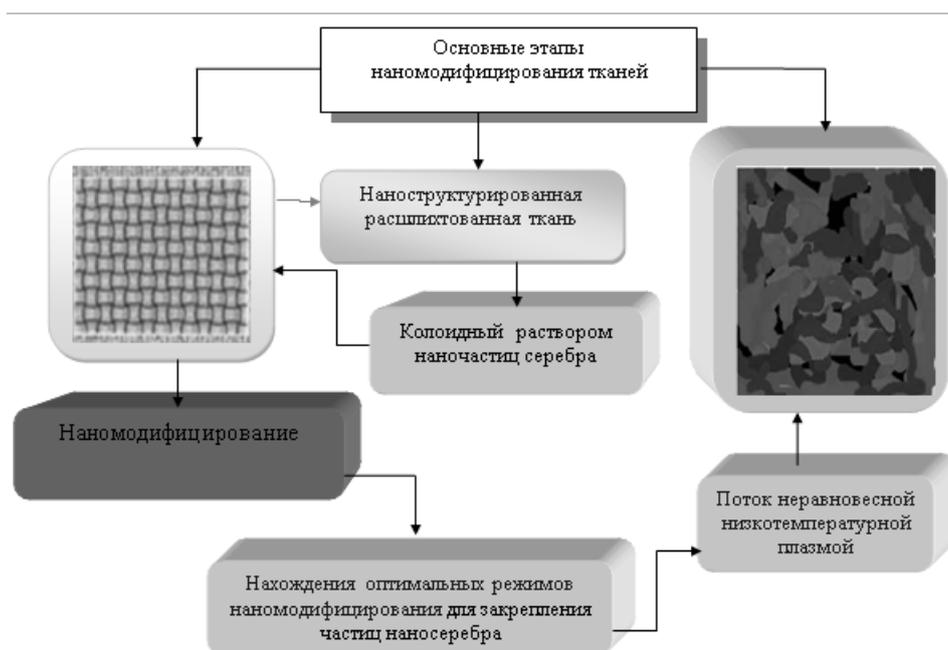


Рис. 1. Блок-схема изготовления экспериментальных образцов наномодифицированных текстильных материалов специального назначения

На основе применяемого метода наномодифицирования текстильных полотен, полученных методом их пропитки раствором, содержащим в качестве активного компонента стабилизированные наночастицы серебра, актуальной проблемой остается устойчивое закрепление нанесенных наночастиц серебра на поверхности материалов. Для текстильных материалов, используемых для производства одежды специального назначения, это связано с тем, что в процессе эксплуатации и неоднократных стирок изделий в течение их жизненного цикла происходит вымывание наночастиц серебра с поверхности материала и потеря материалом его антибактериальных свойств. Для исследования влияния плазменной модификации на эффективность закрепления наночастиц серебра в поверхностном слое трикотажных и нетканых материалов определяли количество элементного серебра на поверхности образцов до и после 5 циклов промывки, а также распределение наночастиц серебра на поверхности материалов. Анализ ранее проведенных исследований показал, что для закрепления наночастиц серебра в поверхностном слое текстильных волокон оптимальной плазмообразующей средой для плазменной модификации является смесь газов аргон пропан-бутан в соотношении 70:30, соответственно. Повторная обработка плазмой приводит как к дополнительному «вбиванию» наночастиц в поверхность материалов за счет ионной бомбардировки, что способствует физической адсорбции наночастиц серебра в приповерхностных слоях, так и к формированию поверхностной сетки, за счет присутствия пропан-бутана, способного в ионизированном состоянии взаимодействовать с образовавшимися за счет ионной бомбардировки свободными радикалами в поверхностном слое волокнообразующих полимеров. Поиск оптимальных параметров обработки трикотажных и нетканых волокнистых материалов потоком неравновесной плазмы пониженного давления осуществлялся варьированием мощности разряда и продолжительности обработки плазменной модификации.

Исследования, проведенные на модельных тест-культурах позволяют утверждать, что полученные текстильные материалы с содержанием хлопковых волокон и наномодифицированные частицами наносеребра, обладают антибактериальными свойствами по отношению к патогенной микрофлоре.

Химический состав и структурные характеристики наномодифицированных текстильных материалов оценивали с помощью методов инфракрасной (ИК) спектроскопии, а также микроскопических исследований поверхности образцов до и после модификации.

С целью исследования изменения химического состава текстильных материалов, наномодифицированных частицами наносеребра, использовался метод ИК Фурье спектроскопии. Этот метод анализа основан на записи инфракрасных спектров поглощения или отражения в инфракрасном диапазоне излучения вещества. Поглощение веществом в области инфракрасного излучения происходило за счёт колебаний атомов в молекулах. Спектры поглощения снимаются на инфракрасном Фурье-спектрометре ФСМ 1202 ООО «Инфраспек» с погрешностью определения волновых чисел  $\pm 0,1 \text{ см}^{-1}$ .

Спектры пропускания снимались с использованием приставки МНПВО с алмазным кристаллом в диапазоне  $650\text{-}4000 \text{ см}^{-1}$ , разрешение  $0,5 \text{ см}^{-1}$ , скорость сканирования 10 КГц. К числу основных преимуществ ИК - Фурье спектрометров можно отнести высокую чувствительность, которая позволяет регистрировать предельно низкие концентрации, а так же малые количества вещества. ИК спектры снимаются в режиме пропускания при температуре  $250^\circ\text{C}$ .

Предел допускаемого значения абсолютной погрешности измерений волновых чисел  $1,0 \text{ см}^{-1}$  (среднее по интервалу  $\pm 100 \text{ см}^{-1}$ ). Интерпретирование полученных результатов производится по справочным данным.

Для исследования структуры и поверхностных изменений текстильных материалов использовался конфокальный лазерный сканирующий микроскоп Olympus OLS LEXT 4000. Общий диапазон увеличений составлял от 50 до 17280 крат и зависел от используемых объективов. Разрешение по горизонтали до 120 нм, по вертикали до 10 нм. Уникальная сканирующая система (scanner - on - scanner) с технологией «двойная пиноль» позволяет измерять образцы с наклоном до  $85^\circ$ .

Заключение.

Нанотехнологии позволили изготовить наномодифицированные текстильные материалы с содержанием хлопковых волокон и наночастиц серебра, которые применяются для производства одежды специального назначения.

Электростатически заряженные частицы создают вокруг хлопковых волокон своеобразный защитный «экран», который препятствует доступу к нему бактерий, молекул воды, грязи и жира.

Таким образом, изготовление экспериментальные образцы наномодифицированных текстильных материалов для одежды специального назначения потоком неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления и коллоидного раствора наночастиц серебра является новым перспективным способом модифицирования материалов текстильной промышленности, что позволяет улучшить их бактерицидные свойства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрицкая, Е.Н. К вопросу о токсичности наночастиц серебра при пероральном введении коллоидного раствора / Е.Н. Петрицкая, Л.Ф. Абаева, Д.А. Рогаткин, К.С. Литвинова, М.А. Бобров // Альманах клинической медицины. – 2011. – № 25. – С. 9 –12.
2. Фатхутдинова, Л.М. Токсичность искусственных наночастиц /Л.М. Фатхутдинова, Т.О. Халиуллин, Р.Р. Залялов // Казанский медицинский журнал. – Т. 90, № 4. – С. 578 – 584.
3. Киселева, А.Ю. Бактерицидные текстильные материалы на основе биологически активных препаратов и наносеребра / А.Ю. Киселева, И.А. Шушина, О.В. Козлова, Ф.Ю. Телегин // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2011. – Т. 12, № 2. – С. 110-112.

*Проект выполняется в организации исполнителя (Получателя субсидии) при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в соответствии с требованием соглашения № 14.577.21.0019 о предоставлении субсидии на проведение прикладных научных исследований. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0019.*

**ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ СТОЙКОСТИ К  
ИСТИРАНИЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ  
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ  
В ОДЕЖДЕ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**CONDUCTING RESEARCH TESTS THE ABRASION RESISTANCE OF  
EXPERIMENTAL SAMPLES OF NANO-STRUCTURED TEXTILE MATERIALS USED  
IN CLOTHING SPECIAL PURPOSE**

Э.А. Хамматова  
E.A. Khammatova

Казанский национальный исследовательский технологический университет  
Kazan National Research Technological University

В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой экспериментальных образцов наноструктурированных натуральных текстильных материалов с содержанием хлопковых волокон, с использованием потока неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления для производства опытных образцов одежды специального назначения, которые подвергаются опытной носке рабочими строительного и энергетического комплекса. Проведены экспериментальные исследования стойкости к истиранию экспериментальных образцов наноструктурированных текстильных материалов применяемых в одежде специального назначения до и после эксплуатационной носки.

**Ключевые слова:** плазма, наноструктурирование, экспериментальные образцы, специальная одежда, опытная носка, текстильный материал, хлопковые волокна.

The article discusses issues related to the development of experimental samples of nano-structured natural textile materials containing cotton fibers, with the use of a stream of nonequilibrium low-temperature plasma of reduced pressure for the production of prototypes of special-purpose clothing that undergo wear experienced construction workers and energy sector. Experimental studies of wear resistance of experimental samples of nano-structured textile materials used in clothing special purpose before and after operational wear.

**Keywords:** plasma, nanostructuring, experimental samples, special clothing, experienced sock, textile material, cotton fiber.

Износ текстильных материалов всегда происходит в результате воздействия на материал целого комплекса факторов, состав которых зависит от вида изделия и условий их эксплуатации. В процессе изнашивания такие факторы могут действовать одновременно или циклически повторяться (например, светопогода, стирка, химическая чистка и т. п.). В частности, при эксплуатации одежды специального назначения параллельно и последовательно действуют механические факторы. Изнашивание происходит от многоциклового растяжения, изгиба, истирания и многократной стирки. Значимость факторов внутри группы различна, и среди них всегда можно выделить два-три, определяющих износ. При комплексном изнашивании в значительной степени сказывается влияние не только отдельных факторов, но и эффект их взаимодействия [1,2].

Поэтому провели исследовательские испытания стойкости к истиранию экспериментальных образцов наноструктурированных текстильных материалов применяемых в одежде специального назначения. Величина стойкости к истиранию на изгибах и поверхности измерялась в соответствии с ГОСТ 9913-90 «Материалы текстильные. Методы определения стойкости к истиранию» [3] с помощью прибора типа МТ191 на контрольном образце и образце наноструктурированном в плазме.

На основе проведенных исследований экспериментальных образцов наноструктурированных текстильных материалов, установлено, что после обработки неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления при расходе

плазмообразующего газа  $G = 0,04$  г/с; времени воздействия плазмы  $\tau=2$ м/мин; мощности разряда  $W_p$  от 2,0 до 4,5 кВт; давления в вакуумной камере от 18 до 24 Па, стойкость к истиранию экспериментальных образцов до эксплуатационной носки увеличивается в 1,5 - 2,0 раза для всех видов материалов содержащих натуральные хлопчатобумажные волокна ("Премьер Комфорт 250" - 80% хлопка + 20% полиэстера и "Премьер Cotton 300" - 100% хлопка), используемых в качестве объектов исследования. Результаты исследований экспериментальных образцов наноструктурированных текстильных материалов представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Изменение стойкости к истиранию экспериментальных образцов тканей "Премьер Комфорт 250" (80% хлопок + 20% полиэстер) от параметров наноструктурирования ННТП: ( $G = 0,04$  г/с;  $\tau=2$ м/мин;  $f = 13,56$  МГц)

Мощность разряда, $W_p$ , кВт	Стойкость к истиранию до опытной носки, циклы при давлении в вакуумной камере, $P_k$ (Па)			
	$P_k = 18$	$P_k = 20$	$P_k = 22$	$P_k = 24$
2,0	6 700	6 900	7 100	6 800
2,5	7 000	7 700	7 500	7 200
3,0	7 400	8 000	7 900	7 500
3,5	7 800	8 400	8 400	8 000
4,0	8 500	<b>9 000</b>	<b>9 000</b>	8 200
4,5	7 700	8 800	8 700	8 100
контрольный образец	6 000			

Таблица 2

Изменение стойкости к истиранию экспериментальных образцов тканей "Премьер Cotton 300" (100% хлопок) от параметров наноструктурирования ННТП: ( $G = 0,04$  г/с;  $\tau=2$ м/мин;  $f = 13,56$  МГц)

Мощность разряда, $W_p$ , кВт	Стойкость к истиранию до опытной носки, циклы при давлении в вакуумной камере, $P_k$ (Па)			
	$P_k = 18$	$P_k = 20$	$P_k = 22$	$P_k = 24$
2,0	6 000	7 000	6 700	6 100
2,5	6 500	7 700	7 700	7 000
3,0	7 000	8 500	8 000	7 500
3,5	7 500	<b>9 000</b>	<b>9 000</b>	8 000
4,0	7 300	7 500	7 700	7 200
4,5	6 500	7 000	7 800	7 100
контрольный образец	4 000			

Как показали исследования, процесс изнашивания текстильных материалов имеет сложный характер и является результатом одновременного и периодического действия многих факторов, степень влияния которых зависит от конкретных условия эксплуатации изделия. Наиболее приближенным к условиям эксплуатации комплексным методом определения износостойкости материалов является опытная носка одежды специального назначения. Сущность метода заключалась в том, что партия одежды специального назначения, изготовленная из наноструктурированных текстильных материалов, передается группе рабочих строительного и энергетического комплекса - носчиков с примерно одинаковым образом жизни и режимом трудовой деятельности.

С учетом цели опытной носки устанавливались условия, срок эксплуатации изделий и способы наблюдения за процессом изнашивания. При периодическом осмотре изделий определяются внешние признаки и топография износа, а также определяется стойкость к истиранию. Часть изделий изымали у носчиков, и из них отбирали пробы материала для проведения лабораторных испытаний.

Для оценки износостойкости в процессе опытной носки чаще всего используют кинетические критерии изменения свойств материала, позволяющие выявить характер изнашивания. По результатам опытной носки устанавливают срок службы материала по предельной изношенности. В наших экспериментах, продолжительность первой опытной носки 10 моделей одежды специального назначения составляла 3 месяца, остальные 40 моделей продолжают еще испытываться на рабочих строительного и энергетического комплекса.

Результаты сравнительной оценки износостойкости в процессе опытной носки экспериментальных образцов наноструктурированных текстильных материалов представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Изменение стойкости к истиранию экспериментальных образцов тканей "Премьер Комфорт 250" (80% хлопок + 20% полиэстер) от параметров наноструктурирования ННТП: ( $G = 0,04$  г/с;  $\tau=2$ м/мин;  $f = 13,56$  МГц)

Мощность разряда, $W_p$ , кВт	Стойкость к истиранию, циклы при давлении в вакуумной камере, $P_k$ (Па)			
	$P_k = 20$		$P_k = 22$	
	до опытной носки	после опытной носки	до опытной носки	после опытной носки
2,0	6 900	6 850	7 100	7 050
2,5	7 700	7 640	7 500	7 430
3,0	8 000	7 970	7 900	7 860
3,5	8 400	8 340	8 400	8 360
4,0	<b>9 000</b>	<b>8 980</b>	<b>9 000</b>	<b>8 970</b>
4,5	8 800	8 800	8 700	8 700
контрольный образец	6 000	4 350	6 000	5 650

Таблица 4

Изменение стойкости к истиранию экспериментальных образцов тканей "Премьер Cotton 300" (100% хлопок) от параметров наноструктурирования ННТП: ( $G = 0,04$  г/с;  $\tau=2$ м/мин;  $f = 13,56$  МГц)

Мощность разряда, $W_p$ , кВт	Стойкость к истиранию, циклы при давлении в вакуумной камере, $P_k$ (Па)			
	$P_k = 20$		$P_k = 22$	
	до опытной носки	после опытной носки	до опытной носки	после опытной носки
2,0	7 000	6 750	6 700	6 550
2,5	7 700	7 530	7 700	7 550
3,0	8 500	8 450	8 000	7 850
3,5	<b>9 000</b>	<b>8 900</b>	<b>9 000</b>	<b>8 650</b>
4,0	7 500	7 400	7 700	7 660
4,5	7 000	6 850	7 800	7 750
контрольный образец	3 200	2 850	3 200	2 900

Как видно из таблиц 3 и 4, после опытной носки также наблюдаются высокие показатели стойкости к истиранию экспериментальных образцов тканей "Премьер Комфорт 250" (80% хлопок + 20% полиэстер) и "Премьер Cotton 300" (100% хлопок). Наибольшие значения стойкости к истиранию экспериментальных образцов наблюдаются при  $P_k = 20$  Па;  $W_p = 4,0$  кВт для ткани "Премьер Комфорт 250" и  $W_p = 3,5$  кВт для ткани "Премьер Cotton 300".

Заключение.

Проведены исследовательские испытания стойкости к истиранию экспериментальных образцов наноструктурированных текстильных материалов "Премьер Комфорт 250" (80% хлопок + 20% полиэстер) и "Премьер Cotton 300" (100% хлопок) применяемых при изготовлении одежды, которые показали, что до и после опытной их носки также наблюдаются высокие показатели стойкости к истиранию экспериментальных образцов тканей.

Таким образом, изготовление экспериментальных образцов наноструктурированных текстильных материалов применяемых в одежде специального назначения за счет применения потока неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления является эффективным методом обработки материалов, что позволяет улучшить их износостойкость.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов, Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова; под.ред. Б.А. Бузова - М.: Издательский центр "Академия". – 2004. – 448с.
2. Абдуллин, И.Ш., Хамматова, В.В. Влияние потока низкотемпературной плазмы на свойства текстильных материалов. Монография. Казань: Изд – во Казанского университета, 2004. – 216с.
3. ГОСТ 9913-90 (СТ СЭВ 5784-86). Материалы текстильные. Методы определения стойкости к истиранию [Текст].- Введ. 01.05.1990. – М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 1991. – 12 с.

*Проект выполняется в организации исполнителя (Получателя субсидии) при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в соответствии с требованием соглашения № 14.577.21.0019 о предоставлении субсидии на проведение прикладных научных исследований. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0019.*

#### **ANTIMICROBIAL BIO-NONWOVEN FABRICS FOR EYES'S SWATH AND DIAPERS FOR INFANT'S INCUBATORS**

ElSayed A. ElNashar

Professor of Textiles& apparel, Faculty of Specific Education, Kafrelsheikh University (Egypt)

E-mail: smartex@kfs.edu.eg

**An infant incubator is a piece of equipment common to pediatric hospitals, birthing centers and neonatal intensive care units. While the unit may serve several specific functions, it is generally used to provide a safe and stable environment for newborn infants, often those who were born prematurely or with an illness or disability that makes them especially vulnerable for the first several months of life. The objective of this research was to gain a better understanding of New Approach for a Bio-Nonwoven fabrics and infant's incubator in terms of the specific materials as MaterBi/PCL® as Bioplastic and the elements of comfort, drivers associated with it and its waste biodegradation by different methods. Shortly after birth, the beginning in first hours of life babies with**

neonatal, a by-product of the red blood cells decomposition. Many convenient features to consider with tow basic disposable eyes` swathe and diapers on infant`s incubator options: cloth of basic disposable eyes` swathe and diapers, with their end use properties. The form design of eyes` swathe® and diapers® shapes, for infant`s incubator stage then consider convenience, cost, and environmental waste.

**Keywords:** Bio-Nonwoven, incubator, eye's swathe, diapers.

## **DESIGN ANALYSIS OF FUNCTIONAL TEXTILES FOR SMART AIRBAGS BY NANOTECHNOLOGY IN AUTOMOTIVE INDUSTRIAL**

ElSayed A. ElNashar

Professor of Textiles& apparel, Faculty of Specific Education, Kafrelsheikh University (Egypt)

E-mail: smartex@kfs.edu.eg

**Design analysis of functional smart airbags problems are usually more vaguely defined than analysis problems. For the safety and Ergonomic in automobile is become importance in the modern scenario. The textile product can be used in this purpose in the form of various safety devices of airbag, the different grade textile fibers as polyester, nylon, pvc, acrylic, viscose/cotton by nanotechnology, etc can be the potential option for the new emerging field name called automotive textile, to determine from the specified initial conditions.**

**Keywords:** Ergonomic, Automotive Textile, Smart Airbags, Functional Textiles, Design, Nanotechnology.

УДК 658.562.012.7

## **ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИИ УКЛАДКИ НЕТКАНЫХ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **FEATURES OF CONTROL OF TECHNOLOGY OF LAYING OF NONWOVEN GEOTEXTILE FABRICS IN ROAD CONSTRUCTION**

С.В. Федосов, Н.А. Грузинцева, Е.Г. Емельянов, Т.В. Москвитина, Б.Н. Гусев

S.V. Fedosov, N.A. Gruzintseva, E.G. Emelyanov, T.V. Moskvitina, B.N. Gusev

Ивановский государственный политехнический университет

Ivanovo State Polytechnical University

E-mail: fedosov-academic53@mail.ru, gruzincevan@mail.ru,

k\_ad@ivgpu.com, moskvitina\_tv@mail.ru, mtism@ ivgpu.com

**В статье рассмотрены особенности контроля технологии укладки нетканых геотекстильных материалов (ГТМ) в дорожном строительстве. В рамках контроля предлагается методика оценки технологии укладки нетканых геотекстильных материалов в земляное полотно. Предложена шкала порядка, которая позволяет оценить качество произведенных работ по укладке ГТМ как «высокое», «хорошее» и «низкое». Для автоматизации процесса оценки качества укладки ГТМ в земляное полотно предложена компьютерная программа, которая позволяет снизить трудоемкость, быстро получить результаты расчета и сделать соответствующие выводы.**

**Ключевые слова:** нормативные документы, геосинтетические материалы, геотекстильные материалы, автомобильные дороги, земляное полотно, качество укладки, дискретная весовая функция, обобщенный показатель

**In article features of control of technology of laying of nonwoven geotextile fabrics (GTM) in road construction are considered. Within control the technique of an assessment of technology of laying of nonwoven geotextile fabrics in a road bed is offered. The order scale which allows to estimate quality of the performed works on laying of GTM as "high", "good" and "low" is offered. For automation of process of an assessment of quality of laying of GTM in a road bed the computer program which allows to reduce labor input, to quickly receive results of calculation and to draw the corresponding conclusions is offered.**

**Keywords:** normative documents, geosynthetic materials, geotextile materials, highways, a road bed, quality of laying, discrete weight function, the generalized indicator

Нетканые геотекстильные материалы (ГТМ) – геосинтетический материал, полученный по технологии нетканых текстильных материалов [1]. Без использования ГТМ сегодня уже невозможно представить современную строительную индустрию. Из-за своих уникальных свойств они нашли широкое применение практически во всех его областях. Главными преимуществами ГТМ являются следующие факторы: улучшение технологических процессов; сокращение сроков строительства; повышение долговечности возводимых объектов; возможность строительства в сложных геологических условиях, в которых применение традиционных методов работы либо экономически нецелесообразно, либо физически невозможно. Область применения ГТМ с каждым годом расширяется. Например, использование их только в дорожной отрасли позволяет уменьшить расход традиционных строительных материалов и изделий из них (песка, щебня, гравия, бетона) икратно увеличить срок службы дорожной одежды [2].

Согласно данным, представленным Департаментом дорожного хозяйства и транспорта Ивановской области, в области геотекстильный материал используют при строительстве и ремонте дорог регионального и межмуниципального значения. Так, только в 2015 году ГТМ проложили на участках протяженностью 522,7 км, что составляет 15% от всех автомобильных дорог области.

Таким образом, использование современных технологий и материалов в строительстве автомобильных дорог позволяет повысить безопасность движения. При этом особое внимание необходимо уделять качеству работ при строительстве и ремонте дорог с применением ГТМ. В соответствии с техническими рекомендациями [4] укладка ГТМ осуществляется в несколько этапов: подготовка поверхности грунта; укладка ГТМ; разравнивание полотен ГТМ во избежание образования складок и волн; соединение полос ГТМ; засыпка и уплотнение ГТМ (см. рис. 1).



Рис 1. Процесс укладки геотекстильного материала в земляное полотно

Контроль качества на строительной площадке с применением ГТМ регламентируется рекомендациями [5], в которых представлены: технические требования к ГТМ и к технологии строительства дорог. Так как данный нормативный документ предусматривает контроль качества дорожно-строительных работ при применении ГТМ в целом, то целесообразно отдельно выделить оценку качества работ непосредственно по технологии укладки геотекстильного материала в земляное полотно. Для соответствующей оценки необходимо разработать методику, которая позволит оценить качество на всех этапах укладки ГТМ.

Объектом исследования является технология укладки ГТМ в земляное полотно. В свою очередь в качестве ГТМ использовалось полотно торговой марки «Геоманит» [6], которое чаще всего применяется в строительстве и ремонте участков автомобильных дорог в Ивановской области.

На первом этапе оценивалось качество ГТМ в соответствии с техническими условиями [6] по отдельной методике, ранее представленной в [7].

На следующем этапе формировали номенклатуру показателей для оценки качества работ при укладке ГТМ в земляное полотно.

В соответствии с техническими рекомендациями [4] в таблице 1 приведены наименования единичных показателей качества, их нормативные и фактические значения при укладке ГТМ в земляное полотно.

Таблица 1

Фактические и нормативные значения качества дорожно-строительных работ при укладке ГТМ

Показатели качества и единица измерения	Кодированное обозначение	Нормативное значение	Фактическое значение	Коэффициент весомости $\alpha_i$
1	2	3	4	5
Комплексный показатель качества ГТМ, отн. ед.	$X_1 = Q_{ГТМ}$	$Q_{max} = 1$ $Q_{min} = 0$	0,94	-
Поперечный уклон земляного полотна, баллы	$X_2$	$(X_2)_{max} = 5$ $(X_2)_{min} = 1$	4	0,1
Плотность готового земляного полотна, отн. ед.	$X_3$	не ниже 0,98 ... 1,0	1,5	0,2
Ровность корыта и плотность грунта в нем, м	$X_4$	по ширине не более 0,05	0,03	0,2
Ровность раскладки ГТМ, баллы	$X_5$	$(X_5)_{max} = 5$ $(X_5)_{min} = 1$	4	0,1
Ширина перекрытия смежных полотен, см	$X_6$	1) при скреплении скобами не менее 10; 2) при сшивании не менее 5	при скреплении скобами 9	0,1
Шаг и прочность соединения полотен скобами, баллы	$X_7$	$(X_7)_{max} = 5$ $(X_7)_{min} = 1$	4	0,2
Толщина и уровень уплотнения песчаного дренирующего слоя над ГТМ, см	$X_8$	не менее 10	8	0,1

При определении коэффициентов весомости использовали результаты опросов специалистов, работающих в области дорожного строительства, с проставлением и обработкой соответствующих рангов (R) экспертов по методике [8] с применением

выражения для коэффициента весомости  $\alpha_i = \frac{R_i^{-1}}{\sum_{i=1}^n R_i^{-1}}$ , при условии, что  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ ; (где

$i = 1, n$ , номер показателя качества). Результаты ранжирования также приведены в таблице.

На заключительном этапе формировали обобщенный показатель качества (ОПК) укладки ГТМ в земляное полотно с использованием арифметического способа в следующей модификации:

$$ОПК = \left( \sum_{i=2}^{n-1} (q_x)_i \cdot \alpha_i \right) \cdot Q_{ГТМ}^* \leq 1,$$

где  $(q_x)_i$  - относительная величина  $i$ -го единичного показателя качества;

$$(q_x)_i = \begin{cases} \frac{X_i}{\|X_i\|} < 1 \text{ при } X_i < \|X_i\|, \\ \frac{\|X_i\|}{X_i} > 1 \text{ при } X_i < \|X_i\|, \\ \frac{X_i}{\|X_i\|} = 1 \text{ при } X_i = \|X_i\|. \end{cases}$$

$\alpha_i$  - коэффициент весомости  $i$ -го единичного показателя качества;

$Q^*$  - дискретная функция, характеризующая уровень качества геотекстильного материала и принимающая следующие значения:

$$Q_{ГТМ}^* = 1 \text{ при } Q_{ГТМ} \geq 0,60 \dots 1,00;$$

$$Q_{ГТМ}^* = 0 \text{ при } Q_{ГТМ} > 0,01 \dots 0,60.$$

В качестве примера приведем расчет ОПК укладки геотекстильного материала в земляное полотно согласно данным, представленным в таблице:

$$\text{ОПК} = (4/5 \cdot 0,1 + (1,5/1,0)^{-1} \cdot 0,2 + 0,03/0,05 \cdot 0,2 + 4/5 \cdot 0,1 + 9/10 \cdot 0,1 + 4/5 \cdot 0,2 + 8/10 \cdot 0,1) \cdot 1 = 0,71.$$

При необходимости можно осуществить перевод полученного значения ОПК из абсолютной шкалы отношений в шкалу порядка в следующем варианте: 0,81...1,00 – высокое качество; 0,61...0,80 – хорошее качество; 0,01...0,60 – низкое качество.

Для автоматизации процесса расчета обобщенного показателя качества укладки, использовали компьютерную программу [9], составленную в оболочке Java 8 (рис. 2 и 3).

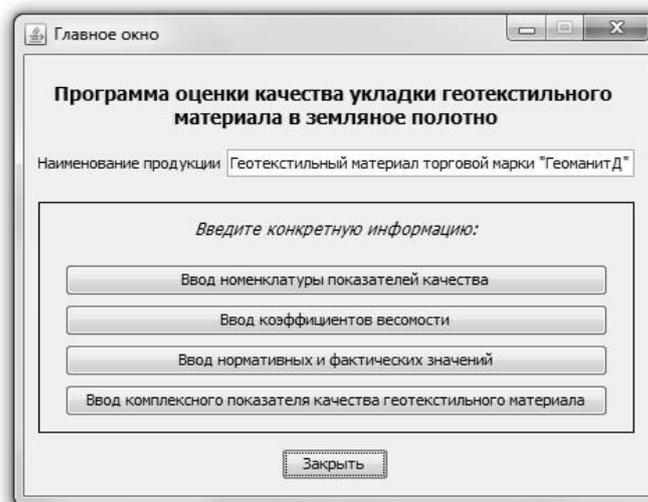


Рис. 2. Окно этапов вычисления обобщенного показателя качества укладки ГТМ в земляное полотно

Расчет обобщенного показателя качества укладки

Наименование продукции:

Количество показателей:

Значение комплексного показателя качества:

Показатель качества	Нормативное значение	Фактическое значение	Коэффициент весомости
Поперечный уклон земляного полотна, баллы	5	4	0,1
Плотность готового земляного полотна, отн. ед.	1,0	1,5	0,2
Ровность корыта и плотность грунта в нем, м	0,05	0,03	0,2
Ровность раскладки геотекстильного материала, балл	5	4	0,1
Ширина перекрытия снежных полотнищ, см	10	9	0,1
Шаг и прочность соединения полотен скобами, балл	5	4	0,2
Толщина и уровень уплотнения песчаного дренажного слоя над геотекстильным материалом, см	10	8	0,1

Значение обобщенного показателя качества укладки = 0,71 - хорошее качество

Рис. 3. Окно для расчета обобщенного показателя качества укладки ГТМ в земляное полотно

Таким образом, технические рекомендации [4] по технологии строительства дорог можно дополнить предлагаемой методикой, позволяющей комплексно оценить качество укладки геотекстильного материала в земляное полотно.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОДМ 218.5.005-2010. Отраслевой дорожный методический документ. Классификация, термины, определения геосинтетических материалов применительно к дорожному хозяйству.
2. Федосов, С.В. Проблемы оценки качества и стандартизации геосинтетических материалов в дорожном строительстве / С.В. Федосов, П.И. Поспелов, Т.О. Гойс, Н.А. Грузинцева, А.Ю. Матрохин, Б.Н. Гусев // Academia. Архитектура и строительство, 2016. №1. С. 101-106.
3. СП 34.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85.
4. ТР 128-01. Технические рекомендации по технологии строительства дорог с применением дорнита и других геотекстильных материалов и геосеток. – Москва, 2002.
5. ОДМ 218.2.046-2014. Рекомендации по выбору и контролю качества геосинтетических материалов, применяемых в дорожном строительстве, РОСАВТОДОР. – Москва, 2014.
6. СТО 63165618-002-2010. Полотна нетканые геотекстильные марок «Геоманит» для строительства. Технические условия. – Железногорск, 2010. – 17 с.
7. Грузинцева, Н.А. Обеспечение требуемого уровня качества геотекстильных материалов для дорожного строительства [Текст] / Н.А. Грузинцева, М.А. Лысова, Т.В. Москвитина, Б.Н. Гусев // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015. - №2. - С. 19-22.
8. Лысова, М.А. Математические методы в проектировании и оценивании качества текстильных материалов и изделий [Текст] / М.А. Лысова, И.А. Ломакина, С.В. Лунькова, Б.Н. Гусев. – Иваново: ИГТА, 2012. – 252 с.
9. Грузинцева, Н.А. Компьютерная программа оценки качества укладки геотекстильного материала в земляное полотно / Н.А. Грузинцева, Л.А. Пестерева, Д.А. Панов, Б.Н. Гусев, Е.Н. Никифорова // Свидетельство о регистрации электронного ресурса №21724 в Объединенном фонде электронных ресурсов «Наука и образование». Опубл. 22.03.2016.

## **СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ СЛОЕНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕТКАНЫХ И ПЛЕТЕННЫХ ПОЛОТЕН**

### **CREATION AND STUDY OF SAMPLES OF LAYERED COMPOSITE MATERIALS BASED ON NONWOVEN AND WOVEN WEBS**

Ю.М. Трещалин, М.Ю. Трещалин, М.В. Киселев, С.Е. Голубев  
Yu. M. Treschalin, M. Yu. Treschalin, M.V. Kisselev, S.E. Golubev

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Костромской государственный технологический университет  
Moscow state University named M.V. Lomonosov  
Kostroma state technological University

E-mail: antropog@yandex.ru, mtreschalin@mail.ru, kisselev50@mail.ru, golubev007@mail.ru

**В статье изложены результаты исследований многослойных композитов. Приводятся экспериментальные данные разрывной нагрузки и предела прочности, а также анализ механизма разрушения композиционных материалов на основе нетканых и плетеных полотен.**

**Ключевые слова:** композиционный материал, нетканое полотно, плетеная лента, нагрузка, деформация, разрушение.

**In article results of research of multilayer composites. Experimental data of the breaking load and tensile strength, as well as the analysis of the mechanism of destruction of composite materials based on nonwoven fabrics and woven.**

**Key words:** composite material, non-woven fabric, woven tape, load, deformation, destruction.

Существенным преимуществом композиционных материалов является возможность получения не только однослойных, но и многослойных композитов с различными свойствами слоев для обеспечения заданных потребительских свойств изделия. Различные комбинации соединения слоев композиционного материала позволят при одном и том же составе компонентов материала получать его различные физико-механические свойства. При этом появляется возможность получать композиционные материалы с комплексом заданных свойств- высокопрочные и электропроводные, термостойкие и экологически чистые и т.д.

Одним из областей применения слоистых композитов является создание ударопрочных композитов, предназначенных для механической защиты различных инженерных сооружений, включая магистральные трубопроводы, где целесообразно использовать комбинированную основу, состоящую из нетканых полотен и плетеных полотен, изготовленных из углеволокнистых и полиамидных нитей. Причем, учитывая неориентированное расположение мононитей, нетканое полотно помещается между плетеными структурами. В этом случае, особенно при вакуумной пропитке пакета разнородных текстильных материалов, происходит сжатие пакета и следует ожидать взаимное проникновение единичных мононитей в структуру плетеных изделий, способствуя улучшению взаимодействия отдельных слоев основы, что, в конечном итоге, позволит повысить сопротивление слоеного композита нагрузкам в процессе эксплуатации. В подобном композите несущую способность материала будет выполнять композитный слой из углеродных или полиамидных волокон, а теплоизоляционные свойства обеспечиваются применением нетканых материалов.

В процессе создания слоеных композитов использовались следующие составляющие основы и связующее:

1. Нетканые полотна под торговой маркой «Холлофайбер» различной поверхностной плотности, произведенные из полиэфирных мононитей (табл. 1);

Таблица 1

Характеристики образцов нетканых полотен «Холлофайбер» (среднее значение объемной плотности мононитир<sub>в</sub> = 622,08 кг/м<sup>3</sup>)

Обозначение образца	Марка образца	Толщина, при удельном давлении 2,0 кПа, мм.	Длина, мм	Ширина, мм	Масса, г	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пористость, ξ
1х	Холлофайберх ард	19,21	204,0	47,25	4,663	483,774	25,183	0,9595
1с	Холлофайберс офт	8,41	209,3	48,5	3,934	387,546	46,082	0,9259
3с	Холлофайберс офт	13,25	204,7	47,75	3,731	381,637	28,803	0,9537
1200х	Холлофайберх ард	60,74	209,8	59,10	15,745	1269,81	20,906	0,9664

2. Плетеное полотно в виде лент производилось из:

- полиамидных нитей, выработанных на предприятии ООО «Курскхимволокно», номинальной линейной плотностью 187 текс;
- углеволоконных нитей, марки Tenax®-E HTS45 E23 12K, номинальной линейной плотностью 800 текс.

Характеристики полотен даны в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики образцов плетеных полотен

Обозначение образца	Волокнистый состав нити	Угол плетения, град	Количество нитей (веретен)	Толщина, при удельном давлении 2,0 кПа, мм.	Длина, мм	Ширина, мм	Масса, г	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>
П1	Полиамид	50	48	1,64	132,33	33,1	4,643	1060,10	646,407
П2	Полиамид	50	60	2,475	143	78,5	15,594	1389,12	561,262
ПУ	Угле-волокно	30	168	1,725	134,38	132,7	20,012	1122,12	649,925

3. Связующее на базе полиэфирной смолы POLYLITE 516-M855, что обусловлено его высокой адгезионной способностью с полиамидными нитями, углеродными волокнами и полиэфирными мононитями.

Для оценки влияния каждого из компонентов были изготовлены, как многослойные композиционные материалы, так и композиты на основе отдельно взятых нетканых полотен, полиамидной и углеволоконной плетеных лент. При создании образцов применялся метод вакуумной пропитки.

При визуальном исследовании структуры полученных слоеных композитов было установлено:

- наблюдается эффект сжатия полиамидной и углеволоконной нитей, состоящих из отдельных, в большинстве своем, параллельно расположенных филаментов;

- полиамидная плетеная структура имеет четко различимые углы армирования, а также ориентацию отдельных монопнитей.

- всеслои полностью пропитаны связующим и выглядят сплошным композиционным материалом.

- трещины и изломы на границе раздела структурных элементов и связующего, как в нетканом так и в плетеном полотне, отсутствуют, что позволяет сделать заключение о хорошем взаимодействии отвержденной матрицы и волокон (полиэфирных, полиамидных и углеродных) составляющих основы.

Особенный интерес в структуре композита представляют границы раздела нетканое полотно – углеволокнистая лента, полиамидная лента – нетканое полотно.

Визуальные наблюдения показали, что границы раздела между прослойками не ровные, имеет место проникновение полиэфирных монопнитей нетканой прослойки в структуру плетеных лент. Трещины и воздушные включения в пограничном слое отсутствуют.

Необходимо отметить взаимное проникновение структурных элементов нетканой и плетеных прослоек, вследствие чего четкая граница между слоями отсутствует. Возможно, такой тесный контакт обусловлен сжатием пакета после создания вакуума до момента проникновения связующего в образец.

Анализ результатов экспериментальных исследований дает возможность произвести оценку и сопоставить значения максимальных усилий при испытаниях на растяжение образцов, как отдельных составляющих, так и многослойных композиционных материалов. Результаты испытаний отдельных слоев композитов при растяжении, согласно ГОСТ 32656-2014, приведены в табл.3.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов композиционных материалов на растяжение

Обозначение образца	Максимальное усилие, Н	Максимальное удлинение, мм	Предел прочности при растяжении, МПа
1 х	78,4	1,96	1,217
1 с	92,9	1,40	2,211
3 с	66,9	1,64	1,264
1200 х	160,4	2,81	1,313
П1	262,3	30,58	4,958
П2	427,9	29,65	6,349
ПУ	17900	5,02	487,1

Прежде всего, обращает на себя внимание различие в разрывной нагрузке и пределе прочности при разрыве, которые являются наиболее информативной характеристикой в связи с тем, что учитывают первоначальные геометрические размеры образцов композитов на основе нетканых полотен и полиамидной и углеволокнистой плетеных лент.

Если образцы композитов на нетканой основе имеют предельное напряжение при растяжении в диапазоне 1,2 – 2,2 МПа, то аналогичный показатель композиционных материалов на основе полиамидной ленты составляет 4,9-6,3 МПа, а на основе углеволокнистой ленты – более 485 МПа.

Столь значительная разница объясняется, в первую очередь, различием физико-механических свойств полиэфирных волокон (монопнитей), полиамидных и углеволокнистых нитей. Кроме того имеет существенное значение ориентация структурных элементов плетеных изделий в направлении приложения нагрузки.

Величины максимального удлинения композитов на основе полиамидных лент существенно превышают удлинение образцов на основе углеволокнистой ленты и нетканых полотен, имеющих наименьшие показатели. Такой эффект достигается за счет различия

прочностных показателей структурных элементов: при растяжении физико-механические характеристики единичной полиамидной нити превышают прочность полиэфирной нити.

Физико-механические свойства углеволокнистых нитей выше, чем у полиамидных. Однако за счет плетеной структуры у образцов композиционных материалов на основе полиамидных лент абсолютное удлинение достигает более 30 мм. Очевидно, это связано с вытягиванием полиамидных нитей вдоль оси нагружения без разрушения до полной одноосной ориентации. В данном случае при разрушении композита работает и строение армирующей основы, и ее структурные элементы.

Для углеродного образца механизм разрушения, как показал эксперимент, совершенно другой. В нем не происходит постепенная продольная ориентация углеродных нитей в процессе деформации, а практически вся нагрузка воспринимается нитями сразу, без изменения геометрии плетеного изделия. В этом случае структурная составляющая армирующей основы не влияет на прочность композита, а существенна лишь прочность самой нити.

Таким образом, проведенный анализ механизмов разрушения рассмотренных образцов позволят прогнозировать прочностные характеристики и физико-механические свойства композиционных материалов на основе плетеных.

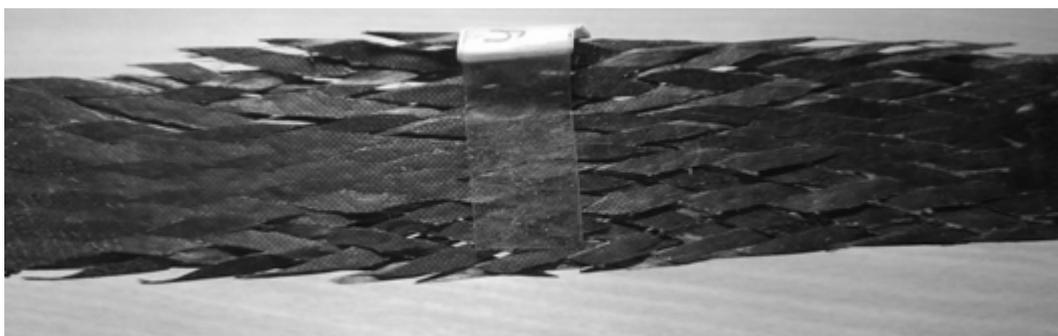
Результаты испытания слоистых композиционных материалов на растяжение, согласно ГОСТ 32656-2014, представлены в табл.4.

Таблица 4

Обозначение образца	Максимальное усилие, Н	Максимальное удлинение, мм	Предел прочности при растяжении, МПа
Пакет ПУ1сП2	15400	4,57	435
Пакет ПУ1хП1	13000	3,89	370
Пакет ПУ3сП1	12800	3,95	376
Пакет ПУ1200хП2	9400	2,81	267

Данные табл. 4 позволяют сделать вывод о том, что максимальные разрывные усилия слоеных композиционных материалов соизмеримы с величиной разрывного усилия углеволокнистого слоя и в 100-170 раз превышают значения нетканой прослойки, а предельное напряжение при растяжении в 250 – 400 раз превышают аналогичные характеристики композитов на основе соответствующих отдельно взятых нетканых и полиамидных плетеных изделий.

По результатам испытаний на растяжение можно констатировать, что основным видом разрушения многослойных композитов являлось расслоение, при котором возникало резкое падение нагрузки и остановка испытательной машины. Картина разрушения слоистых композитов представлена на рис. 1.



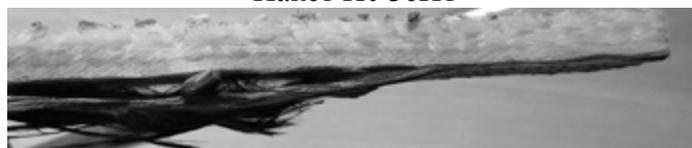
Образец ПУ



Пакет ПУ1хП1



Пакет ПУ3сП1



Пакет ПУ1сП2



Пакет ПУ1200хП2. Средний слой разрушен.

Рис. 1. Фотографии разрушения образцов многослойных композиционных материалов

Составляющие композит слои не имели полного разрушения (кроме образца ХАРД1200Т – средний слой разрушен). Для наглядности расслоения между слоями на фото вставлены ножницы. Испытания продолжались до полного разрушения композита.

Составляющие композит слои не имели полного разрушения (кроме образца ПУ1200хП2 – средний слой разрушен). Для наглядности расслоения между слоями на фотографии образца ПУ1хП1 вставлены ножницы.

Основным несущим элементом многослойного композита является композитный слой с углеродными волокнами. Анализ динамики разрушения показывает, что сначала нагрузка воспринимается всеми слоями, далее в процессе растяжения возникающие удлинения слоев неравны. Это приводит к тому, что нагрузка «перетекает» в сторону слоя с большим модулем упругости (более жесткого слоя). Слой с углеродным волокном сдерживает удлинение соседних слоев. Различие модулей упругости, соответственно и удлинений, отдельных составляющих приводит к тому, что слои композита постепенно сдвигаются относительно друг друга. Возникают напряжения сдвига на границе соединения слоев, превышение которых приводит к расслоению. После расслоения возникает удар, интенсивное удлинение «сдерживаемых» слоев, однако ограничено, так как ближе к зажимам отслоение не происходит. На примере образца ПУ1200хП2, средний слой (1200х) после удара разрушился, у остальных многослойных композитов разрушение прилегающих слоев к углеродному волокну отсутствовало, так как эти слои имели более высокое удлинение разрыва.

Таким образом, логичное предположение о том, что более крупный образец по площади сечения будет более прочным, не подтвердилось. Главную роль сыграла величины относительного удлинения составляющих композит слоев. Углеволоконистая составляющая ПУ, как основной несущий слой, имеет величину относительного удлинения 5,02%, а слой ХАРД – 2,81%. При достижении нагрузки, при которой образец ПУ растянулся на 2,81%, слой нетканого материала 1200х не мог продолжать формировать с остальными слоями

единую конструкцию. Произошел разрыв слоя – потеря прочности слоеного композита в целом. Последующие испытания подтвердили, что при более высоких величинах относительного удлинения составляющих композит, слоистая конструкция «работала» дольше, а следовательно, достигала более высокой величины предельной нагрузки.

Эталонной максимальной нагрузкой является предельная нагрузка разрыва углеволокнистого слоя ПУ. Чтобы достичь ее всей конструкцией без преждевременного разрушения, необходимо, подвести величины относительного удлинения под величину относительного удлинения главного несущего слоя или чуть выше.

Расслаивание композитов вдоль составляющих его слоев является нежелательным с точки зрения прочности композита в целом. В связи с этим можно выработать следующие рекомендации, что бы избежать данного явления:

- составляющие слои должны иметь равные или близкие модули упругости, удлинения разрыва, либо чуть выше, чем у несущих слоев

- помещение несущего слоя, если это позволяет конструктивно, в середину композита, тем самым повысить напряжение сдвига, при котором возникает расслоение композита.

Для повышения механических свойств композиционного материала на растяжение необходимо добиться одновременного сопротивления, как можно большего числа нитей. Этого можно достичь, используя связующее с пониженным модулем упругости и большим удлинением разрыва, чем удлинение разрыва у армирующих волокон. Повышением объемной доли армирующих компонентов, при этом действенным является и увеличение расстояния между волокнами, что, однако, снижает объемную долю армирующих волокон, но позволяет более эффективно «вводить» в сопротивление отдельные волокна.

Результаты экспериментов наглядно показывают сложный характер разрушения слоистых композитов и актуальной задачей в данном направлении является их проектирование на основе математического моделирования, что и будет являться задачей дальнейшего исследования.

УДК 621.928

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ НА СИТОВЫХ ТКАНЫХ ПОЛОТНАХ ВИБРОГРОХОТА**

### **SIMULATION OF GRANULAR MEDIA TRANSPORTATION ON WOVEN SCREEN CLOTH OF VIBRATING SCREEN**

В.А. Огурцов, А.В. Огурцов, М.А. Гриценко, А.М. Фатахетдинов  
V.A. Ogurtzov, A.V. Ogurtzov, M.A. Gritsenko, A.M. Fatahetdinov

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnical University  
E-mail: ogurtzovvawork@mail.ru

В данной работе рассмотрено имитационное моделирование процесса транспортирования частиц по вибрирующей ситовой ткани виброгрохота. Определено среднее время пребывания сыпучего материала на сите, рассчитана средняя скорость движения частиц по грохоту, что позволяет найти производительность аппарата и эффективность его работы.

**Ключевые слова:** вибрационный грохот, ситовое тканое полотно, фракционирование, сыпучий материал, эффективность отсева, скорость транспортирования.

Simulation modeling of the particles transportation on vibrating woven screen cloth was considered in this paper. The mean residence time of bulk material in the sieve was determined; the mean velocity of particles motion on the screen was calculated that allowed finding the performance of apparatus and its efficiency.

**Keywords: vibration screen, woven screen cloth, fractionation, bulk material, sieving efficiency, velocity of transportation.**

Вибрационные грохоты предназначены для разделения сыпучей среды на крупную и мелкую фракции. Этот процесс происходит на вибрирующей просеивающей поверхности. При рассеивании мелкодисперсного сыпучего материала в качестве сита используется тканое полотно из шелковых или синтетических нитей [1,2]. Условно процесс грохочения можно разделить на три стадии: сегрегацию частиц различной крупности в слое сыпучего материала, подверженного вибровоздействию со стороны сита; проникновение мелких частиц через отверстия сита; движение ансамбля частиц по вибрирующему ситы. От последнего процесса зависит время пребывания частиц на грохоте и скорость транспортирования сыпучего материала по просеивающей поверхности. Именно эти параметры определяют производительность грохота и конечное качество продуктов отсева.

Большинство работ, посвященных процессу движения сыпучей среды по вибрирующей просеивающей поверхности, для определения скорости транспортирования частиц по грохоту используют модель движения одиночной частицы [3-5]. Такое упрощение процесса приводит к существенным отклонениям между расчетными и опытными значениями скорости транспортирования сыпучего материала по грохоту, так как эта скорость движения одиночной частицы очень чувствительна к изменениям вибрационного режима колебаний сита.

В данной работе предлагается имитационная модель виртуального процесса движения ансамбля частиц по ситы грохота, основанная на программной системе Autodesk 3ds Max. Объектом исследования является многокомпонентная механическая система, представляющая собой совокупность конечного числа частиц. Каждая частица представляет собой тело, движение которого ограничено силовыми взаимодействиями с другими телами. Система тел подвергается внешнему силовому воздействию со стороны сита грохота. Достоверные кинематические характеристики движения частиц сыпучего материала были получены на основе решения системы дифференциальных уравнений, описывающих движение каждой входящей в ансамбль частицы, методом дискретных элементов.

В программе Autodesk 3ds Max был создан виртуальный просеивающий аппарат (рис.1), который представлял собой вибрационный грохот с просеивающей поверхностью 240 на 120 мм. Размеры отверстий сита составляли 5 на 5 мм. Менялись угол наклона сита, частота и амплитуда его колебаний. Сыпучий материал представлял собой двухкомпонентную смесь крупных и мелких частиц.

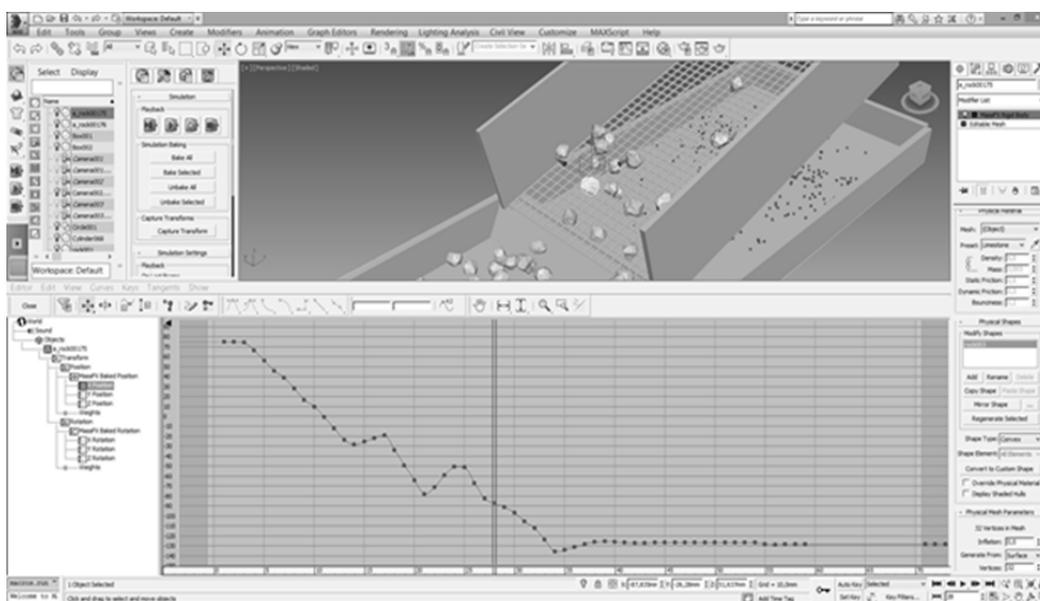


Рис. 1. Виртуальный процесс движения ансамбля частиц по ситы грохота

С помощью программы частицам придавались различные физические свойства: плотность, масса, коэффициенты статического и динамического трения, коэффициент скорости восстановления при ударе.

В окне проекций воспроизводился процесс движения частиц по вибрирующему ситы (рис.1). Сыпучий материал перемешался по просеивающей поверхности, мелкие частицы проникали через отверстия сита и ссыпались в подситовой поддон, крупные попадали в поддон, находящийся за разгрузочной частью просеивающей поверхности.

Используя возможности программы, отслеживалось движение каждой частицы, с фиксацией параметров абсолютного и относительного движения. Каждая частица имела 6 степеней свободы. Они соответствовали трем значениям координат, связанных с основанием грохота, и трем значениям углов поворота частицы вокруг осей подвижной системы координат, жестко связанных с частицей. Начало системы координат совпадало с ее центром масс. В нижней панели инструментов (рис.1) показана кривая зависимости координаты  $x$  положения частицы относительно неподвижной системы координат от времени. По оси абсцисс отложены номера кадров съемки (25 кадров соответствуют 1 секунде), по оси ординат отложены значения координаты  $x$  в миллиметрах.

В результате обработки данных компьютерного эксперимента были получены численные значения координат положения точки за время пребывания частиц на просеивающей поверхности виртуального вибрационного грохота. Определялись время пребывания частиц на сите и средняя скорость транспортирования сыпучего материала по грохоту. На рис. 2 показано влияние угла наклона сита на скорость движения частиц по его поверхности. Представлены три варианта моделирования процесса транспортирования сыпучего материала по ситы грохота: одиночной материальной точкой, одиночным шаром и ансамблем частиц. Компьютерный эксперимент проводился при следующем режиме грохочения: амплитуда колебаний виртуального сита составляла 5 мм, частота – 16,7 Гц.

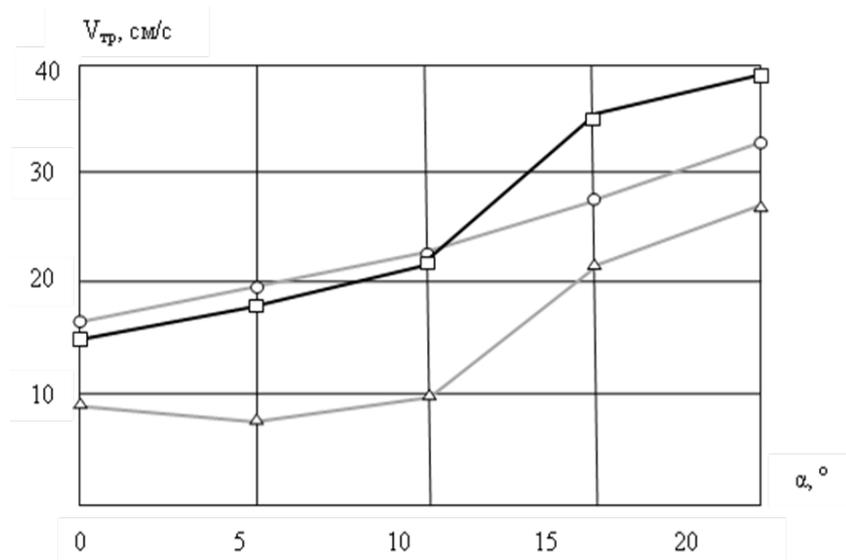


Рис. 2. Влияние угла наклона сита на скорость движения частиц по грохоту при разных вариантах моделирования процесса:  $\circ$  - одиночная материальная точка,  $\triangle$  - одиночный шар,  $\square$  - ансамбль частиц

Расхождение результатов расчетов скорости транспортирования для некоторых режимов колебаний грохота при разных вариантах моделирования движения частиц по ситы доходила до 63%.

Время пребывания частиц в реальном аппарате при заданной длине сита принимает конкретные значения и прерывает кривую кинетики грохочения. На рис.3 показана

расчетная кривая кинетики фракционирования, ограниченная двумя значениями времени грохочения, что соответствует двум скоростям транспортирования сыпучего материала по ситам грохота. Степень извлечения мелких частиц в подситовой поддон при «коротком» времени грохочения составила 67,5%, при «длинном» - 87,5%. Причем, при ошибке в определении времени грохочения в одну секунду степень извлечения в первом варианте может измениться на 4%. Во втором варианте эффективность грохочения изменится лишь на 1,1%.

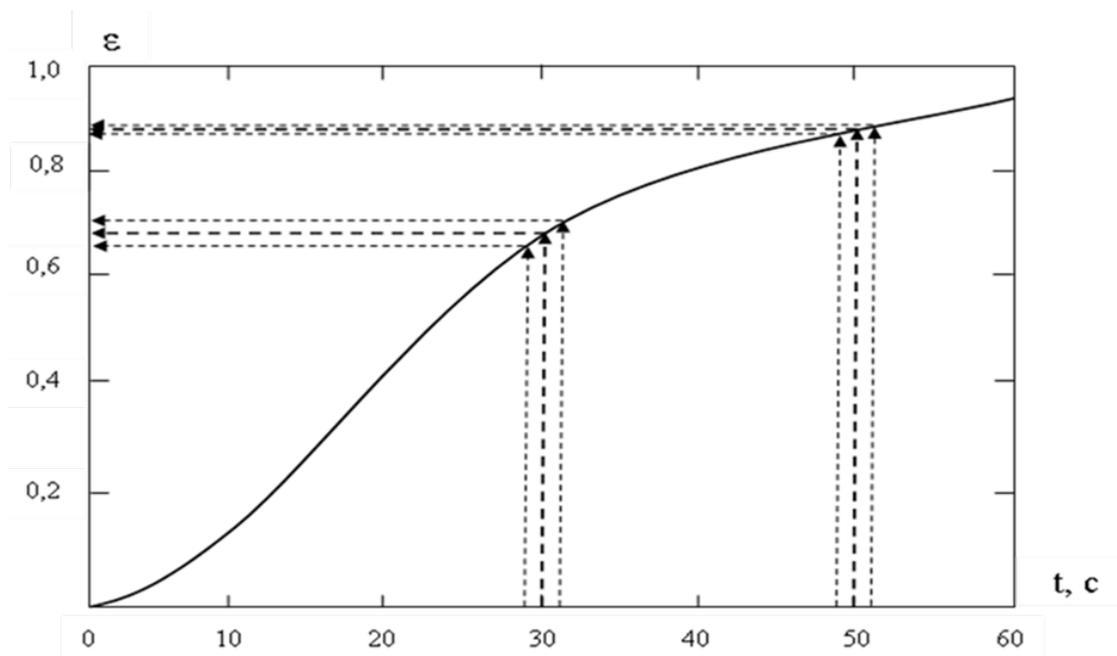


Рис.3. Кривая степени извлечения частиц мелкой фракции в подситовое пространство, ограниченная двумя значениями времени грохочения

Правильно рассчитанное значение скорости транспортирования материала по виртуальному ситам, позволяет перенести это значение на расчет промышленного грохота и определить его производительность при допустимом качестве разделения сыпучего материала на фракции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мизонов, В.Е. Процессы сепарации частиц в виброоживленном слое: моделирование, оптимизация, расчет / В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов, С.В. Федосов, А.В. Огурцов // ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет». - Иваново, 2010. – 192 с.
2. Сокова Г.Г. и др. Автоматизированное проектирование переплетений технических многослойных сеток // Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 6. С. 94 - 98.
3. Акулова, М.В. Моделирование процесса классификации сыпучих материалов на виброгрохотах с многоярусной компоновкой сит / М.В. Акулова, А.П. Алешина, Ал.В. Огурцов, Ан.В. Огурцов // Вестник МГСУ. -№2. – 2013. – С. 80-87.
4. Алешина, А.П. Нелинейная ячеечная модель кинетики вибрационного грохочения /А.П. Алешина, И.А. Балагуров, В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57. – Вып. 12. – С.81-84.
5. Кондратьев, А.В. Влияние углов наклона желобообразного валкового сита на результативность грохочения / А.В. Кондратьев и др. //Строительные и дорожные машины. 2015. № 4. С. 52-54.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАССЕВА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА СИТОВЫХ ТКАНЫХ ПОЛОТНАХ

### IMPROVEMENT OF SIEVING EFFICIENCY OF BULK MATERIALS ON WOVEN SCREEN CLOTH

В.А. Огурцов<sup>1</sup>, А.П. Алешина<sup>1</sup>, Е.Р. Брик<sup>1</sup>, Ю.В. Хохлова<sup>2</sup>  
V.A. Ogurtzov<sup>1</sup>, A.P. Aleshina<sup>1</sup>, E. R. Brik<sup>1</sup>, Y.V. Khokhlova<sup>2</sup>

Ивановский государственный политехнический университет  
Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново)

Ivanovo State Polytechnical University

G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry RAS (Ivanovo)

E-mail: ogurtzovvawork@mail.ru, annaricci89@mail.ru, e\_gorohova@list.ru, hohjul@mail.ru

В данной работе рассмотрено влияние сил инерции, действующих на частицу, на процесс ее проникновения через отверстие сита грохота. При этом создаются пространственные траектории колебаний просеивающей поверхности. Спектр сил инерции, действующих на частицу, в предложенном нами варианте грохота шире, чем для типового грохота, что обеспечивает более качественную самоочистку просеивающих поверхностей и интенсифицирует процесс проникновения частиц через отверстия сита.

**Ключевые слова:** вибрационный грохот, инерционные силы, просеивающая поверхность

The process of penetration of solid particles through openings in the screen with spatial trajectories of the screening surface fluctuations was examined. The influence of inertial forces acting on the particle during its movement on a screening surface was investigated. In the proposed construction of the screen the spectrum of inertia forces acting on the particle is wider than in case of screen with typical design and it provides a better self-cleaning of screening surface and intensifies the penetration of particles through openings in the screen.

**Keywords:** vibration screen, inertial forces, screening surface

Просеивающие аппараты (грохоты), у которых ситовые полотна активно воздействуют на сыпучий слой, более эффективны, чем грохоты, у которых сита совершают колебания по стандартным траекториям. Одним из способов повышения эффективности вибровоздействия сита на сыпучий материал является создание сложных траекторий колебаний просеивающих поверхностей из ситовых тканых полотен [1,2].

Известны устройства грохотов, позволяющие реализовывать различные траектории движения сита: круговые, прямолинейные, эллиптические с различными углами наклона оси эллипса к просеивающей поверхности, а также многие другие траектории, включая, кривые Лиссажу [3-5].

У таких грохотов траектория колебаний точек сита лежит в плоскости перпендикулярной его поверхности. Таким образом, на частицу, находящуюся в слое сыпучего материала, действуют силы инерции, лежащие в одной плоскости. Если частица близка по размерам к диаметру отверстия сита, то она может заклинить его. Так как силы инерции ограничены одной плоскостью действия, то самоочищение отверстия сита так же ограничено. Если сито совершает колебания по объемной траектории, то возможности сил инерции по самоочистке отверстий сит расширяются.

Нами предложена новая конструкция вибрационного грохота [6], у которой технологический эффект заключается в повышении качества продуктов отсева сыпучих материалов за счет создания пространственной траектории колебаний просеивающей поверхности, что приводит к увеличению подвижности частиц в слое сыпучего материала и интенсификации сегрегационных процессов [7-10].

На рис. 1 изображена, предложенная нами, конструкция вибрационного грохота.

Вибрационный грохот включает короб с просеивающей поверхностью, соединенный упругими элементами и кинематическими парами с подвижной рамой. Рама устанавливается на фундаменте с помощью амортизаторов. К раме крепится вибропривод, обеспечивающий возможность ее колебаний в вертикальном направлении. Вибропривод подключен к источнику питания через преобразователь частоты. Отличительной особенностью данного грохота от аналогичных просеивающих аппаратов является то, что короб соединен с вертикальным эксцентриковым валом, приводящим в горизонтальное вращательное движение короб с просеивающей поверхностью внутри подвижной рамы.

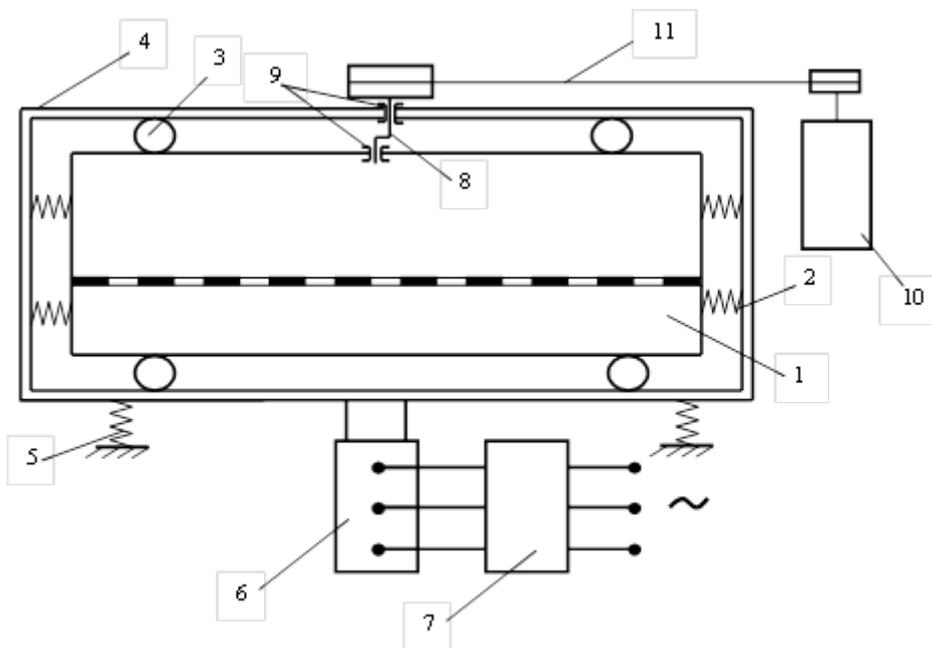


Рис. 1. Новая конструкция вибрационного грохота: 1- короб с просеивающей поверхностью из ситовых тканых полотен; 2- упругие элементы; 3 – кинематические пары; 4 – подвижная рама; 5 – амортизаторы; 6 – вибропривод; 7 – преобразователь частоты; 8 – эксцентриковый вал; 9 – подшипники; 10 – электродвигатель; 11 - ременная передача

Вибрационный грохот работает следующим образом. Включается вибропривод. Он придает вертикальные колебания подвижной раме. Амплитуда колебаний подвижной рамы по вертикальной оси регулируется виброприводом, а частота - преобразователем частоты. Включается электродвигатель и приводит во вращение ведущий шкив ременной передачи. Ведомый шкив приводит во вращение вертикальный эксцентриковый вал, смонтированный в подшипниках, жестко закрепленных в подвижной раме и коробе. Короб с просеивающей поверхностью совершает круговые колебания в горизонтальной плоскости внутри подвижной рамы. Амплитуда круговых колебаний регулируется эксцентриситетом вала, частота регулируется размером диаметров шкивов.

Таким образом, предлагаемое выполнение вибрационного грохота, позволяет получить пространственные траектории колебаний сита грохота.

На рис. 2 изображена частица, понижающая через отверстие сита. Если сито принадлежит типовому грохоту, то точки сита совершают колебательное движение по траекториям, лежащим в плоскости наибольшего ската, перпендикулярной плоскости просеивающей поверхности.

На рис. 2 (а) показан годограф сил инерции, действующих на частицу.

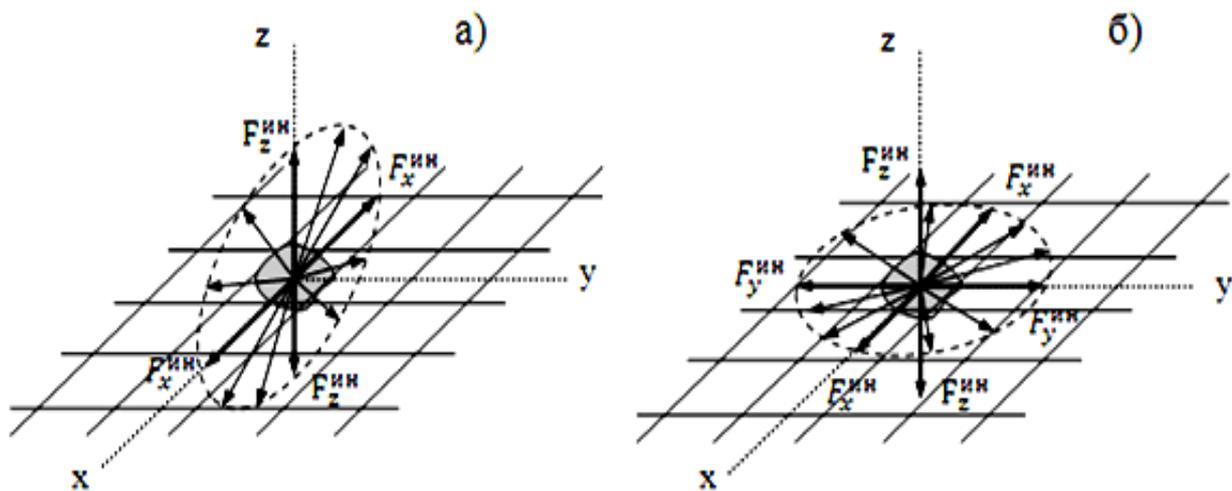


Рис. 2. Распределение сил инерции, действующих на частицу, застрявшую в отверстии сита: а) – схема действия сил для типового грохота; б) - схема действия сил для грохота с пространственной траекторией колебаний сита

Силы инерции по осям  $x$  и  $z$  можно определить выражением:

$$F_x^{ин} = F_z^{ин} = mA\omega^2, \quad (1)$$

где  $m$  – масса частицы,  $A$  – амплитуда колебаний грохота,  $\omega$  – частота колебаний грохота, при траекториях движения точек сита, близких к окружностям.

Если сито принадлежит грохоту, короб которого совершает независимые вертикальные и горизонтальные колебания, то силы инерции определяются выражениями:

$$F_x^{ин} = mA_x\omega_x^2, \quad (2)$$

$$F_z^{ин} = mA_z\omega_z^2, \quad (3)$$

где  $A_x$  – амплитуда колебаний грохота по оси  $x$ ,  $\omega_x$  – частота колебаний грохота по оси  $x$ ,  $A_z$  – амплитуда колебаний грохота по оси  $z$ ,  $\omega_z$  – частота колебаний грохота по оси  $z$ . При этом годограф сил инерции располагается в плоскости наибольшего ската, как и годограф сил инерции типового грохота.

На рис. 2 (б) показаны силы инерции, действующие на частицу, находящуюся в отверстии сита предложенного нами грохота пространственной траекторией колебаний. Так как короб грохота с просеивающей поверхностью может совершать независимые колебания в горизонтальной плоскости, годограф сил инерции располагается также в горизонтальной плоскости. Силы инерции определяются выражением:

$$F_x^{ин} = F_y^{ин} = mA_x\omega_x^2, \quad (4)$$

где  $A_x = A_y$  – амплитуда колебаний короба с ситом в горизонтальной плоскости,  $\omega_x = \omega_y$  – частота колебаний короба с ситом в горизонтальной плоскости. Силы инерции по оси  $z$  определяются выражением:

$$F_z^{ин} = mA_z\omega_z^2, \quad (5)$$

где  $A_z$  – амплитуда колебаний подвижной рамы грохота по оси  $z$ ,  $\omega_z$  – частота колебаний подвижной рамы грохота по оси  $z$ .

Предлагаемый вибрационный грохот имеет более широкие возможности, чем инерционные и самобалансные грохоты, которые традиционно используют на сортировочных предприятиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сокова Г.Г., Сорокин М.В., Исаева М.В., Соков М.А. Автоматизированное проектирование переплетений технических многослойных сеток // Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 6. С. 94 - 98.
2. Мизонов, В.Е. Процессы сепарации частиц в виброожигенном слое: моделирование, оптимизация, расчет / В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов, С.В. Федосов, А.В. Огурцов // ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет». - Иваново, 2010. – 192 с.
3. А. с. 1025462 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 07 В 1/40. Вибрационный грохот / С.С. Кораблев, В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов, А.Ю. Покровский (СССР). – № 3399940/29–03 ; заявл. 18.03.82 ; опубл. 30.06.83, Бюл. № 24. – 3 с. : ил.
4. Пат. на полезную модель 82602 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 07 В 1/40. Вибрационный грохот / Огурцов В.А., Мизонов В.Е., Баранцева Е.А., Огурцов А.В.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО Ивановский государственный энергетический университет. – № 2008150025/22 ; заявл. 17.12.08 ; опубл. 10.05.09, Бюл. № 13. – 2 с. : ил.
5. Пат. на полезную модель 86894 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 07 В 1/40. Вибрационный грохот / Огурцов В.А., Мизонов В.Е., Баранцева Е.А., Галиева А.А.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО Ивановский государственный энергетический университет. – № 2009116895/22 ; заявл. 04.05.09 ; опубл. 20.09.09, Бюл. № 26. – 2 с. : ил.
6. Патент на полезную модель №144326 Российская Федерация. В 07В 1/40. Вибрационный грохот / Огурцов В.А., Мизонов В.Е., Огурцов А.В., Алешина А.П.; заявитель и патентообладатель ИГЭУ; опубл. 20.08.2014. Бюл.№33. – 2 с.
7. Акулова, М.В. Моделирование процесса классификации сыпучих материалов на виброгрохотах с многоярусной компоновкой сит / М.В. Акулова, А.П. Алешина, Ал.В. Огурцов, Ан.В. Огурцов // Вестник МГСУ. -№2. – 2013. – С. 80-87.
8. Алешина, А.П. Нелинейная ячеечная модель кинетики вибрационного грохочения /А.П. Алешина, И.А. Балагуров, В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57. – Вып. 12. – С.81-84.
9. Алешина, А.П. Применение теории цепей Маркова к моделированию кинетики виброгрохочения в слое переменной высоты / А.П. Алешина, В.А. Огурцов, В.Е. Мизонов, А.В. Митрофанов // Вестник ИГЭУ. – Вып. 5 – 2014. – С. 42-46.
10. Кондратьев, А.В. Влияние углов наклона желобообразного валкового сита на результативность грохочения / А.В. Кондратьев и др. // Строительные и дорожные машины. 2015. № 4. С. 52-54.

**УПРОЧНЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПЭТФ**

**STRENGTHENED COMPOSITE FIBROUS GEOTEXTILES BASED  
ON SECONDARY PETF PROCESSING**

Л.В. Закревская, С.Ю. Петрунин, С.В. Лючина  
L.V Zakrevskaya, S.Y Petrunin, S.V. Lyuchina

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых  
Институт архитектуры, строительства и энергетики  
VPO Vladimir State University. AG and NG Stoletovs  
Institute of Architecture, Construction and Energy  
E-mail: lvzak@mail.ru, sp\_vlgu@mail.ru

**Работа посвящена разработке технологии нетканого геотекстильного материала на основе переработки отходов пластиковой тары с улучшенными механическими и акустическими свойствами.**

**Ключевые слова:** полиэтилентерефталат, геотекстиль, углеродные нанотрубки, механическая прочность.

**The work is dedicated to the development of technology of producing nonwoven geotextile with improved mechanical and acoustic properties basing on recycling of plastic containers**

**Keywords:** polyethylene, geotextile, carbon nanotubes, the mechanical strength.

Грунты Владимирской и Ивановской областей, используемых в дорожном строительстве – это класс глинистых т.е содержащих частицы размером не более 0,005 мм, а по своему оксидному химическому составу: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

К глинистым грунтам относят лессовые породы и илы, а также тиксотропные глины. Под тиксотропностью понимается обратимый переход золь↔гель под влиянием механического воздействия. Он происходит не мгновенно, а во времени и сопровождается структурообразованием, повышением механической прочности, иммобилизацией воды в порах структурной сетки. Практически все глинистые грунты потенциально тиксотропны. Для проявления этих свойств в грунтах необходимо наличие свободной или физически связанной воды. Минимальная влажность при этом соответствует нижнему пределу пластичности.

В грунтах полутвердой консистенции разжижение начинается при интенсивной вибрации, что и наблюдается в дорожной эксплуатации при движении транспорта, которое может быть причиной недопустимых деформаций.

Все вышеизложенное говорит о том, что изменив условия службы основания, а именно – отведя от него контактную воду, можно увеличить несущую способность грунта. Геотекстиль, который выполняет роль надежного основания, способен решить эту задачу.

Из всего известного многообразия геоматериалов более 30% используется в дорожном строительстве. Геотекстиль улучшает отток воды из грунта и его дренаж, что оказывает решающее воздействие на улучшение эксплуатационных свойств насыпи (грунта).

Нетканый геотекстиль на основе вторичного ПЭТФ отличается высокими показателями прочности на растяжение и разрыв, стойкостью к динамическим нагрузкам и статическому напряжению.

Нами была предпринята попытка разработки технологии получения геотекстиля из бытовых отходов полиэтилентерефталата (ПЭТФ) – «пластиковой тары».

Из ОДМ 218.5.003-2010 известно о достаточно хороших свойствах подобных материалов из кондиционного сырья.

Но так как количество вторичного ПЭТФ увеличивается с каждым годом, то вопрос его переработки является острой проблемой, которая успешно решается при производстве текстильных изделий и, в частности, геоматериалов. ПЭТФ-волокно из вторичного сырья позволяет получить нетканый водопроницаемый текстильный материал с требуемыми для этих целей свойствами (Таблица 1)

Таблица 1

Свойства геотекстиля, полученного при переработке тары ПЭТФ

Физико-механические и технологические свойства геотекстильного материала на основе переработки ПЭТФ	Численные значения
Плотность, г/м <sup>3</sup>	400-800
Предел прочности при сжатии, МПа	40-65
Водопоглощение, % об	0,5-0,6
Морозостойкость, циклы	35-55
Коэффициент теплопроводности, Вт/мк	0,04-0,06

В работе была разработана технология получения геотекстиля (ПЭТФ) с улучшенными механическими показателями за счет введения углеродных наноразмерных трубок (УНТ).

Технология введения УНТ разработана в лаборатории ВлГУ и заключается в предварительном получении «концентрата» наночастиц во вторичном ПЭТФ с целью облегчения равномерного распределения в большей массе сырья. Расплаву подвергали десятую часть полимера с подачей в него водного раствора УНТ, обработанных ультразвуком и, впоследствии перемешивали затвердевшие гранулы полимера с оставшейся частью исходного вещества методом кавитационного диспергирования.

Принцип работы установки (Рис.1) основывается на разделении агломерированных УНТ за счет кавитационных эффектов, возникающих при прохождении потока жидкости через специально профилированный канал кавитатора.

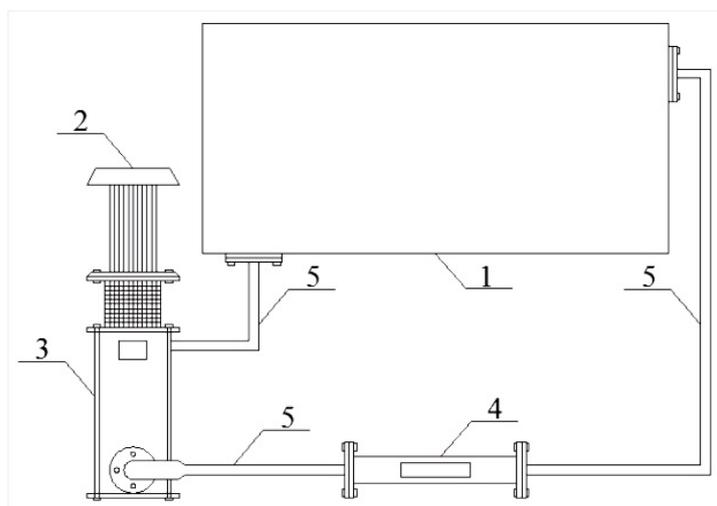


Рис. 1. Схема гидродинамической кавитационной установки: 1. Рабочая емкость для приема раствора; 2. Электрический двигатель мощностью 3 кВт; 3. Многоступенчатый многорядный насос; 4. Пассивный гидродинамический диспергатор; 5. Соединительные элементы

При этом происходит образование газовых или парогазовых пузырьков, схлопывание которых сопровождается интенсивными ударно-волновыми процессами с возникновением

локальных зон сверхвысоких давлений и температур, что приводит к равномерному распределению УНТ в объеме матрицы.

Для изучения стабильности и долговечности полученных суспензий использовался метод ультрафиолетовой микроскопии, исследования производились после 30 суток. Установлено, что степень поглощения УФ-излучения функциональными добавками с углеродными частицами и поликарбоксилатным эфиром не изменилась по сравнению с образцами, исследованными сразу после их получения (рис. 2 и 3).

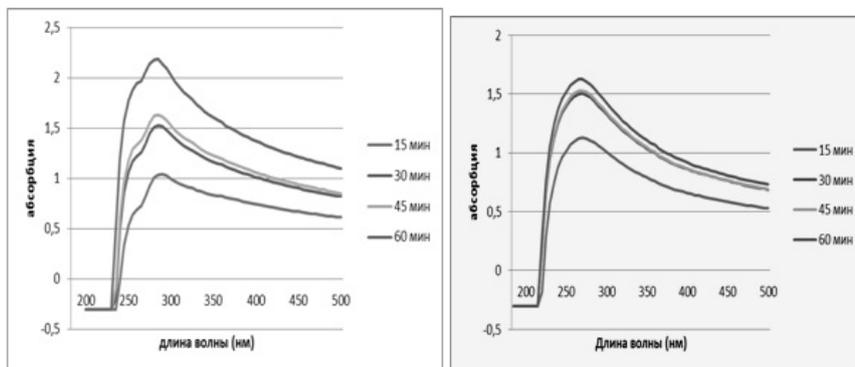


Рис. 2. Спектры поглощения ультрафиолетового излучения функциональными добавками

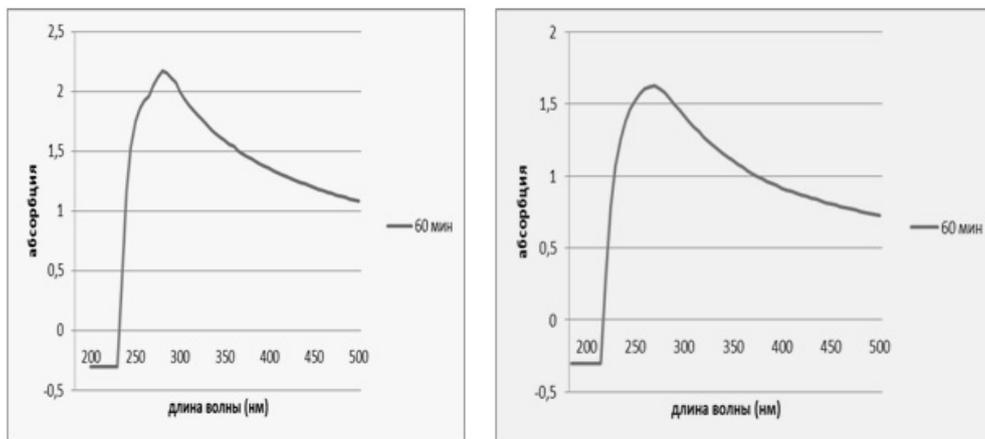


Рис. 3 Спектры поглощения ультрафиолетового излучения функциональными добавками

В данной работе были также изучены акустические свойства геотекстиля на основе вторичного ПЭТФ.

Для изучения были изготовлены образцы геотекстиля толщиной 0,5 см и «сэндвич», толщиной 4 см, состоящий из 2-х слоев геотекстиля и 1 слоя более рыхлого материала «мата».

Измерения производились измерителем шума и вибрации ВШВ-003-М3. Генератор звука: Victor VC-2002. Результаты измерений представлены в таблицах 2, 3 и на рис. 4,5.

Таблица 2

Акустические свойства геотекстиля  $d = 0,5$  см

Основные полосы среднегеометрических частот $f$ , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления $L$ , дБ (с отделкой камеры шумоизоляции)	69	93	85	92,75	81	73	70	71

окончание таблицы 2									
Уровень звукового давления L, дБ (без отделки камеры шумоизоляцией)	90	96,5	94	97	91	87	80	76	
Звукопоглощение в абсолютных величинах, дБ	21	3,5	9	4,25	10	14	10	5	
Коэффициент звукопоглощения, $\alpha$	0,77	0,96	0,9	0,96	0,89	0,94	0,88	0,93	
Снижение шума от работающего двигателя составляет 9,593 дБа									

Таблица 3

Акустические свойства материала «сэндвич»									
Основные полосы среднегеометрических частот f, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровень звукового давления L, дБ (с отделкой камеры шумоизоляцией)	86,5	93	81	96,5	86	78	78	75	
Уровень звукового давления L, дБ (без отделки камеры шумоизоляцией)	89	96	94,5	98,5	92,5	86	80	78	
Звукопоглощение в абсолютных величинах, дБ	2,5	3	13,5	2	6,5	8	2	3	
Коэффициент звукопоглощения, $\alpha$	0,97	0,97	0,86	0,98	0,93	0,9	0,98	0,96	
Снижение шума от работающего двигателя составляет 5,0625 дБа									

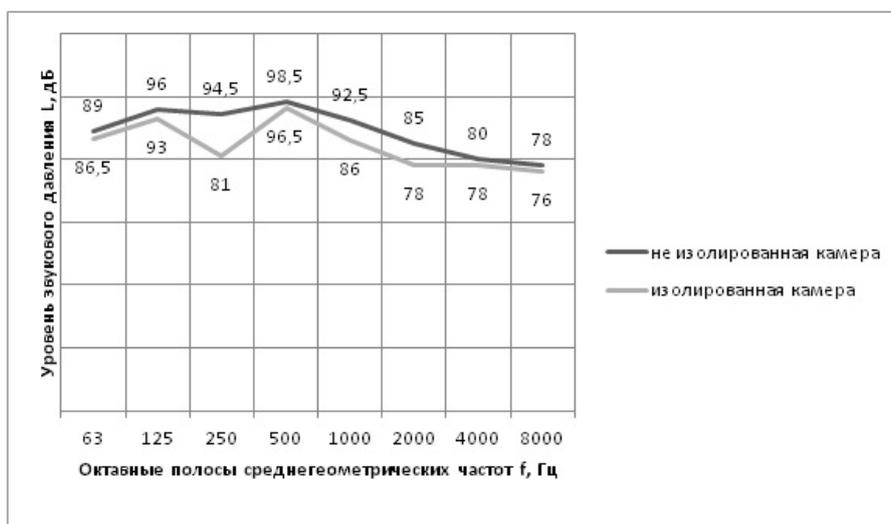


Рис. 4. График уровня звукового давления для образца геотекстиля

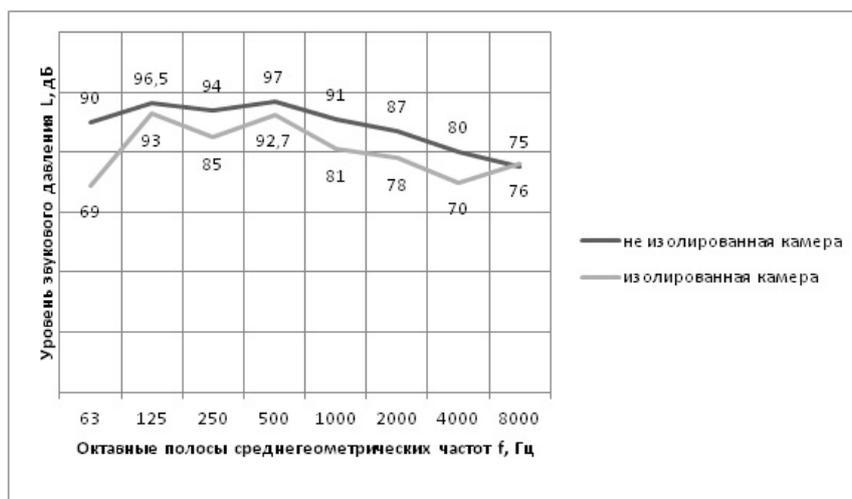


Рис. 5. График уровня звукового давления для образца «сэндвич»

Эти результаты показывают, что геотекстиль может уменьшать шум от работающих двигателей и сделать более комфортные условия в жилых домах, расположенных вдоль транспортных артерий.

В заключение хотелось вспомнить слова Д.И. Менделеева «В химии нет отходов, а есть неиспользованное сырье».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нехорошев А.В., Гусев Б.В., Баранов А.Т, Холпанов Л.П. Явления, механизм и энергетические уровни образования структурированных дисперсных систем // Доклады АН СССР. – 1981. – Т. 258, №1. – С. 149–153.
2. Гусев Б.В., Холпанов Л.П. К вопросу о блочной коллоидно-химической кристаллизации. – М., Научный мир, 2008. – 37 с.
3. ГОСТ Р 53225-2008

УДК 628.583

### ПРОСТОИ ПРЕДПРИЯТИЯ – ПРОБЛЕМЫ В ТЕХНОЛОГИИ

#### DOWNTIME ENTERPRISE – TECHNOLOGY ISSUES

Н.М. Махов<sup>1</sup>, О.Н. Махов<sup>2</sup>  
N.M. Machov<sup>1</sup>, O.N. Machov<sup>2</sup>

Ивановский государственный политехнический университет,  
Ивановский государственный энергетический университет  
Ivanovo state Polytechnic University,  
Ivanovo state power University  
E-mail: ru3uu@mail.ru

В работе рассмотрены проблемы, в основном текстильных, хлопчатобумажных предприятий, связанные с длительными простоями. Традиционно, во время ночных смен, СКВ чаще всего отключают (экономия энергии, ресурсов самих СКВ). При этом процессы, идущие в естественных, неконтролируемых условиях, приводят к значительному ухудшению микроклиматической обстановки в цехе и напрямую влияют на одну из основных характеристик полуфабрикатов и нитей – их влажность (переувлажнение или, наоборот, пересушка), прямо влияющую на обрывность. Для решения

возникающих проблем предлагаются различные режимы работы СКВ, которые, в зависимости от условий, дают возможность снижать обрывность нитей, экономят тепловую и электрическую энергию.

**Ключевые слова:** простои, микроклимат, пряжа, полуфабрикаты, обрывность, экономия энергии

**In this work the problems of technology, the effectiveness of which depends on microclimatic components associated with prolonged downtime. Traditionally, during night shifts SCR most often off-line. In this case the processes taking place in natural, uncontrolled conditions, lead to a significant deterioration of microclimatic conditions in the plant and directly affect one of the main characteristics of semi-finished products and materials – their moisture (waterlogging or, on the contrary, drying), directly affecting the efficiency of technological processes. For solving problems are various modes of operation of SCR, which, depending on conditions, allow to reduce the negative processes, save thermal and electrical energy.,**

**Keywords:** downtime, microclimate, semi-finished products, materials, break rate, energy saving.

Эра непрерывной работы в течение суток закончилась в 70-х годах XX века, когда стали применять различные графики сменности предприятий в текстиле (московский, ивановский, владимирский, ленинградский и т.д.). В их основе было исключение или сведение к минимуму ночных смен. Это в значительной мере улучшило социальную обстановку на предприятиях, т.к. к тому времени работники неохотно (а порой категорически) не хотели работать ночью. К тому же часто ночные смены были сверхурочными, проблему усугубляло отсутствие городского транспорта поздно вечером и рано утром. Смена привычного ритма жизни, отсутствие сна, еда ночью и т.д. не позволяли далее работать в старом ритме.

Но, наряду с исключением ночных смен и появлением длительных выходных в праздничные дни, возникли проблемы в технологических процессах, эффективность которых напрямую зависела от параметров микроклимата в помещениях. Так, например, в хлопчатобумажном производстве (прядение, ткачество) эффективность технологий зависит от микроклиматических условий в цехе, которые создаются системами вентиляции (СВ) или системами кондиционирования воздуха (СКВ).

Следует отметить, что для создания и поддержания микроклимата в текстиле затрачивается от 15 до 25% общерасходуемой предприятием энергии. Поэтому традиционно, во время ночных смен, СКВ чаще всего отключают сразу после выключения технологического оборудования (причина-экономия энергии, технических ресурсов самих СКВ). При этом процессы, идущие в естественных, неконтролируемых условиях, приводят к значительному ухудшению микроклиматической обстановки в цехе (как, показывают наши наблюдения, изменения по температуре и относительной влажности воздуха могут отличаться от нормируемых отклонений в 2-4 раза) и напрямую влияют на одну из основных характеристик полуфабрикатов и материалов (нитей) – их влажность (переувлажнение или, наоборот, пересушка), прямо влияющую на обрывность. Как уже сказано ранее, основным аргументом производителей при выключении СКВ при неработающей смене является экономия энергии. Но, придя на работу после длительного или даже двухдневного отдыха, производители сталкиваются с повышенной обрывностью (и даже сплошным подрывом) пряжи и ленты. Особенно это проявляется в начале утренней смены после ночного дождя или тумана. Как показывает практика, иногда повышенная обрывность может продолжаться смену – полторы. Конечно, это приводит к значительным потерям в технологии и серьезной психологической напряженности между работниками и руководителями разных рангов.

Для исключения вышеперечисленных негативных факторов предлагаем ряд мероприятий, позволяющих исключить или значительно уменьшить негативное воздействие длительных простоев на зависимые от микроклимата технологии и экономику предприятия. Наиболее простым является, так называемый инерционный «натоп», который активно применялся раньше при печном отоплении жилых домов и в настоящее время еще используется энергетиками. Суть его заключается в том, что СВ не выключают после вечерней смены, а некоторое время (в зависимости от тепловой инерции строительных конструкций) продолжают работу, нагоняя параметры, которые потом постепенно, в течение ночи, понижаются. При этом следует тщательно следить за параметрами в помещении

(чтобы не нагнать лишнее тепло и особенно влагу). Однако это годится только для поддержания «среднего» уровня температуры в короткий период времени и, как показала практика, не очень подходит для текстильных технологических процессов.

Наиболее приемлемым, конечно, является непрерывное (и даже в простое) поддержание нормируемых микроклиматических параметров в помещениях в период самого простоя путем непрерывной работы систем вентиляции (конечно, на пониженных режимах). Однако это очень накладно с точки зрения энергетических затрат, технически трудно, а в большинстве случаев невозможно в системах центрального кондиционирования, что конечно приводит к экономическим потерям, учитывая современные тарифы на тепловую и электрическую энергию. К тому же это опять приводит к необходимости ночных смен для персонала, обслуживающего СКВ.

Для снижения негативного влияния простоев на микроклимат в производственных помещениях предлагаются «упреждающие» режимы работы СКВ, которые заключаются в быстрой подготовке утром (до пуска технологического оборудования) микроклиматических условий путем предварительного запуска СКВ. В работе приведены определенные практическим путем и аналитическими методами оптимальные режимы запуска СВ и СКВ, зависящие от целого ряда факторов (время года, дожди, туманы, тип строительных конструкций). Конечно, здесь есть трудности и проблемы, но они решаемы.

Однако только упреждающего пуска утром недостаточно для поддержания технологического процесса систем кондиционирования в чувствительных к микроклимату технологиях, так как сразу после отключения технологического оборудования и СКВ после вечерней смены, параметры микроклимата естественно снижаются (а в жаркие ночи даже повышаются). Это, в свою очередь, приводит к увлажнению или пересушке, например, полуфабрикатов и пряжи в хлопчатобумажном производстве в период длительного простоя и одним «нагоном» проблему не решить. Поэтому и после отключения технологического оборудования необходимы организационные мероприятия по постепенному ступенчатому отключению оборудования СКВ. В работе приведены практически определенные способы достижения необходимых параметров. Конечно, предлагаемые режимы работы СВ не дают кардинального решения проблем, однако наши практические результаты позволяют говорить об эффективности предлагаемых мероприятий.

В зависимости от условий, предложения по режимным мероприятиям при работе СКВ приводят к 10-16% снижению обрывности нитей, экономии тепловой (до 8-12%) и особенно электрической энергии (может достигать 10-18%) что, конечно, позволяет говорить об их эффективности

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Махов Н.М. Нестационарные процессы в вентиляции и текстильных технологиях (статья) / Юбилейный сборник научных трудов (к 100 - летию профессора В.М.Черкасского), Иваново: ИГЭУ, 2004.
2. Махов О.Н., Герасимов М.Н. Исследование влияния показателя капиллярность хлопчатобумажных тканей на кинетику их пропитки (статья). Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2001. №5
3. Махов О.Н., Герасимов М.Н. Исследование механизма и кинетики пропитки водой тканей из природных целлюлозных волокон. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2001. №4

## СОДЕРЖАНИЕ

1	<b>ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ВОЛОКНИСТОЙ ОСНОВЕ: ПРОЦЕССЫ ПОДГОТОВКИ ВОЛОКНИСТОЙ ОСНОВЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ, СТРУКТУРЫ МОЛЕКУЛЯРНОГО И НАДМОЛЕКУЛЯРНОГО УРОВНЕЙ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ФОРМИРОВАНИЯ, СВОЙСТВА</b> А.К. Изгородин	6
2	<b>НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ</b> А.Г. Захаров, М.И. Воронова	14
3	<b>СИНТЕТИЧЕСКИЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АРКТИКЕ</b> В.М. Бузник, Н.П. Пророкова	20
4	<b>СВОЙСТВА, ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВОЗМОЖНОСТИ ЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ НА НЕТКАНОЙ ОСНОВЕ</b> М.Ю. Трещалин, Ю.М. Трещалин	25
5	<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ 3D ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕФОРМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> М.В. Киселев, В.Ю. Селиверстов, А.М. Киселев	28
6	<b>ПРИМЕНЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССАХ КОЛОРИРОВАНИЯ И ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> А.М. Киселев, Н.В. Дашенко	33
7	<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРУДНОГОРЮЧИХ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> Е.В. Юртов, А.А. Серцова, С.И. Маракулин	36
8	<b>ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТОДА ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b> Н.Р. Кильдеева	39
9	<b>ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕПО-МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ</b> Н.Д. Олтаржевская, М.А. Коровина М.А., Г.Е. Кричевский	44
10	<b>ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ «УМНЫХ» МАТЕРИАЛОВ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b> О.И.Одинцова	50
11	<b>ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ НЕФТЯННИКОВ</b> Р.Ф. Гайнутдинов, В.В. Хамматова	52

12	<b>МАТРИКСЫ ДЛЯ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОВОЛОКОН ПОЛИ-(3-ГИДРОКСИБУТИРАТА), ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ</b> А.А. Ольхов, О.В. Староверова, В.В. Гурьев, Т.А. Аббасов, Н.А. Орлов, А.А. Ищенко, В.С. Акатов, А.Л. Иорданский	57
13	<b>ВОЛОКНИСТЫЕ АНИОНИТЫ ФИБАН А-5, ПОЛУЧЕНИЕ, МОДИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ</b> А.П. Поликарпов, А.А. Шункевич, Г.В. Медяк, З.И. Акулич, В.И. Грачек	68
14	<b>РАЗРАБОТКА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ТЕКСТОЛИТОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПРОИЗВОДСТВА</b> В.А. Грищенко, С.В. Бухаров, А.К. Лебедев, Е.И. Шаповалова	76
15	<b>МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЛИЭФИРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДИОКСИДОМ ТИТАНА</b> О.Ю. Кузнецов, Т.Ю. Кумеева, Н.П. Пророкова	82
16	<b>КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ГОРЮЧЕСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> Г.М. Коваленко, Е.С. Бокова, К.С. Бокова, В.В. Миронцева	86
17	<b>БИКОМПОНЕНТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ МЕДИ И СЕРЕБРА ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРОВ</b> Е.В. Ерохина, Н.С. Дымникова	90
18	<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННЫХ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ</b> О.А. Москалюк, А.В. Шибанова, Е.С. Цобкалло	93
19	<b>ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ ПЕКТИН - БЕЛОК</b> Г.В. Чистякова	99
20	<b>СМАЧИВАНИЕ, КАПИЛЛЯРНОСТЬ И НАНОМОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН</b> В.А. Волков, А.А. Агеев	101
21	<b>НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ БИОДЕСТРУКЦИИ</b> Н.С. Дымникова, Е.В. Ерохина	107
22	<b>ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕТОДОМ КРЕЙЗИНГА ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН</b> А.Л. Крылов, Т.Н. Кудрявцева, В.А. Грищенко	110

23	<b>УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА С ДОБАВКАМИ НАНОВОЛОКОН ОКСИДА АЛЮМИНИЯ</b> И.Ю. Скворцов, А.К. Беркович, И.С. Макаров, И.В. Парашутин, В.Г. Куличихин	116
24	<b>ОЦЕНКА СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ БИОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛЬНОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> С.В. Алеева, С.А. Кокшаров	121
25	<b>НОВЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ПРЕПАРАТЫ ТЕЗАГРАН И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С КОМПЛЕКСНЫМИ ЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ</b> Э.А. Коломейцева, А.П. Морыганов, В.И. Таранов	126
26	<b>СТРУКТУРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИЭФИРНОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> С.А. Кокшаров, Н.Л. Корнилова, О.В. Радченко	130
27	<b>ПРОТИВОСПАЕЧНЫЕ ХИРУРГИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С ПРОГНОЗИРУЕМЫМИ СРОКАМИ РАССАСЫВАНИЯ</b> В.А. Жуковский, В.Е. Немилев, А.В. Полянский, К.Е. Скворцова	134
28	<b>ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗА В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН И МЕМБРАН</b> И.С. Макаров, Г.Н. Бондаренко, Л.К. Кузнецова	142
29	<b>ВЛИЯНИЕ РЕДОКС-ПРЕВРАЩЕНИЙ ЛИГНИНА НА ИЗМЕНЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛУБОВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ</b> О.В. Лепилова, С.В. Алеева	149
30	<b>НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩИХ АМОТИЗИРУЮЩИХ УДАРОГАСЯЩИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОРОГОВОГО СРАБАТЫВАНИЯ</b> С.Г. Керимов, Л.Н. Попов	153
31	<b>ТЕХНИЧЕСКАЯ ТКАНЬ ДЛЯ ОПОРНОГО СЛОЯ ЭЛАСТИЧНОГО СПАСАТЕЛЬНОГО РУКАВА ДЛЯ ЭКСТРЕННОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПОЖАРАХ И ДРУГИХ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ</b> С.Г. Керимов, Л.Н. Попов	157
32	<b>РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ХИМИЗАЦИЯ АССОРТИМЕНТА ПРОИЗВОДИМОГО В РОССИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ТЕКСТИЛЯ</b> Л.Н. Попов, С.Г. Керимов	161
33	<b>ТКАНАЯ СИЛОВАЯ ОБОЛОЧКА ТРАНСПОРТИРОВОЧНОЙ РЕАНИМАЦИОННО-РЕАБИЛИТАЦИОННОЙ БАРОКАМРЫ ДЛЯ ЭКСТРЕННОГО ЛЕЧЕНИЯ КЕССОННОЙ БОЛЕЗНИ</b> С.Г. Керимов, Л.Н. Попов	163
34	<b>ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ НА КОЛОРИСТИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШЕРСТИ В ПРОЦЕССЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО КРАШЕНИЯ</b> А.А. Буринская, А.Н. Аитова, Е.С. Цобкалло, О.А. Москалюк	166

35	<b>НОВЫЕ СТРУКТУРЫ ТКАНЕЙ ДЛЯ ГЕОТЕКСТИЛЯ И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ НА ОТЕЧЕСТВЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ</b> Т.Ю. Карева, Г.И. Толубеева, Т.И. Шейнова	172
36	<b>ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> О.В. Метелёва, И.Ю. Белова, С.В. Федосов	176
37	<b>ФОРМИРОВАНИЕ ПАРТИИ ОДНОРОДНЫХ СНОВАЛЬНЫХ ВАЛОВ ДЛЯ ШЛИХТОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ НАМАТЫВАНИЯ</b> Н.А. Кулида, Н.А. Демидов	182
38	<b>ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТКАНЕЙ БЕЛЬЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b> О.В. Кашеев, Н.А. Николаева	188
39	<b>ВОПРОС ОБ ЭФФЕКТИВНОМ РАСПОЗНАВАНИИ СЫРЬЯ НАТУРАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ</b> Д.В. Сичевой, К.Э. Разумеев, Е.В. Денисова, И.В. Лусинян	191
40	<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВЫХ СТРУКТУР ТКАНЕЙ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ЧАСТОТЫ</b> П.Е. Сафонов, Н.М. Левакова, С.С. Юхин	194
41	<b>РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ АРАМИДНОЙ ТКАНИ ПО ПАРАМЕТРАМ СТРОЕНИЯ</b> М.В. Киселев, Г.Г. Сокова, К.А. Зайков, П.А. Аксенов	199
42	<b>АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> А.П. Башков, Г.В. Башкова, А.В. Евдокимов	202
43	<b>НОВЫЙ ПОДХОД К МОДИФИКАЦИИ ЛУБЯНЫХ ВОЛОКОН</b> И.Ю. Ларин, Е.Р. Воронина, В.Г. Стокозенко, А.П. Морыганов	206
44	<b>РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ МЕТОДИКИ УЧЕТА СВОЙСТВ ТКАНЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИЛУЭТНЫХ ПРИБАВОК В ОДЕЖДЕ</b> О.В. Сурикова, В.Е. Кузьмичев	210
45	<b>РАСЧЕТ СУММАРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> Н.В. Евсеева, Л.В. Дрягина	214
46	<b>ВЛИЯНИЕ ФОРМОВОЧНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ВЫБОР ПРИЕМОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ</b> З.Р. Григорьева, А.Е. Горелова, Н.Л. Корнилова	219

47	<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОМЕХАНИЧЕСКОЙ РАССОРТИРОВКИ РЕГЕНЕРИРОВАННЫХ ВОЛОКОН ИЗ ТЕКСТИЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ АССОРТИМЕНТА</b> И.В. Фролова, Н.С. Ишанова	223
48	<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАКЕТОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛООБМЕНЕ В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК – ОДЕЖДА – СРЕДА»</b> А.В. Абрамов, М.В. Родичева, И. Дагал	226
49	<b>МОДИФИКАЦИЯ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОГО ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА</b> А.А. Азанова, Г.Н. Хуснутдинова, Р.Н. Мухаметшин	232
50	<b>МЕТОДИКА РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТКАНЫХ АРМИРУЮЩИХ КАРКАСОВ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ</b> А.Е. Арипбаева, Ж.У. Мырхалыков, С.Г. Степанов	235
51	<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАЗРЫВНОГО ВНУТРЕННЕГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВОВ ОТ ПАРАМЕТРОВ ИХ ТКАНОГО АРМИРУЮЩЕГО КАРКАСА</b> А.Е. Арипбаева, Ж.У. Мырхалыков, С.Г. Степанов	238
52	<b>ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАБОТКИ ПОЛИКОМПОНЕНТНОЙ СМЕШАННОЙ ПРЯЖИ ИЗ ШЕРСТИ И ДРУГИХ ВОЛОКОН</b> Д.У. Арипджанова, Д.А. Хабибуллаев, М.М. Абдуллаев	240
53	<b>РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЗАПАРЕННОСТИ ОБОЛОЧКИ КОКОНОВ</b> У.О. Ахунбабаев, Г.Г. Асраров, А.В. Корабельников, И.И. Туйчиев	244
54	<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НОВОГО ЭЛЕМЕНТА ТКАНИ НА ТКАЦКИХ СТАНКАХ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ СКАЛОМ</b> О.А. Ахунбабаев	248
55	<b>ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ ПРОЦЕССА ВЯЗАНИЯ НА КРУГЛОВЯЗАЛЬНОЙ МАШИНЕ SANTONI SM8-TOP2</b> Н.В. Банакова, В.Р. Крутикова, А.Г. Безденежных	254
56	<b>ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ КРЕСТОВОЙ НАМОТКИ НА ЕЁ ОСНОВАНИЕ ПО МЕРЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПАКОВКИ</b> Г.Н. Валиев	257
57	<b>ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПУХОВОЙ ОДЕЖДЫ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ</b> Е.В. Дьяконова	262
58	<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАШЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ВОЗДУШНЫХ СЕПАРАТОРАХ</b> Н.Е. Егорова, С.А. Егоров	268

59	<b>О ПРОЕКТИРОВАНИИ БИАКСИАЛЬНЫХ ОСНОВОВЯЗАННЫХ СТРУКТУР ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b> В.В. Капралов, Е.Н. Никифорова, Р.Р. Аллямов, Т.Ю. Никитина	273
60	<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИНТОВОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ</b> С.О. Кожевников	276
61	<b>АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАБОТКИ ОСНОВНЫХ НИТЕЙ ПО ЗАПРАВОЧНЫМ ПАРАМЕТРАМ ТКАНИ НА ТКАЦКОМ СТАНКЕ</b> Л.В. Кожевникова, С.О. Кожевников	280
62	<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДЕЖДЫ ИЗ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ</b> А.В. Корнилович, Н.В. Доронина, О.Г. Ефимова	284
63	<b>НОВЫЙ ПОДХОД К ПРИНЯТИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В РАМКАХ ИНТЕГРИРОВАННОЙ САПРО</b> Л.А. Королева, О.В. Панюшкина	288
64	<b>О МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРОЦЕССОРОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНОГО ОТДЕЛОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ</b> Е.Е. Корочкина, Е.Н. Калинин, В.Б. Кузнецов	294
65	<b>ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ НИТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> О.В. Метелёва, Л.И. Бондаренко	297
66	<b>НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НАТУРАЛЬНОГО ШЁЛКА</b> Ш.Х. Мухамадрасулов, О.А. Ахунбабаев	303
67	<b>СПОСОБ ОЦЕНКИ КАПИЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ НЕТКАНЫХ ИГЛОПРОБИВНЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> Ю.К. Островский, Л.М. Полухина, Н.В. Евсюкова	309
68	<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ АГРЕГИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> О.В. Радченко, В.В. Козырев, М.Ю. Белялов	312
69	<b>НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ТКАНЫХ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b> В.Т. Сергеев	316
70	<b>РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН И ДУБЛИРОВАННЫХ СИСТЕМ МАТЕРИАЛОВ</b> М.В. Томилова, В.В. Замышляева, Н.А. Смирнова	322
71	<b>РЕЖИМЫ ОТВАРКИ НЕПРИГОДНЫХ К РАЗМОТКЕ ДЕФЕКТНЫХ КОКОНОВ</b> И.И. Туйчиев, Г.Н. Валиев, У.О. Ахунбабаев, И.А. Набиева	327

72	<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВОЙ СТРУКТУРЫ КРЕПОВОЙ ТКАНИ</b> Б.К. Хасанов, М.М. Мирзахонов	333
73	<b>ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА И ПРОЦЕССА КРАШЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО ШЕЛКА И НИТРОНА</b> С.Б. Хожимуратова, С.Х. Хасанова, А.А. Рафиков	338
74	<b>ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ШЕЛКА-СЫРЦА</b> Ф.А. Хошимов, Г.Г. Мавлянбердиева	341
75	<b>ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕКСТИЛЬ В КИТАЕ</b> Шаньюонг Джан, Т.А. Меркулова	345
76	<b>ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВОЛОКНА ИЗ СМЕСИ ПОЛИМЕРА БЕЛКА И СОПОЛИМЕРА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА</b> М.Б.Шамукимова, И.А.Набиева, А.А.Миратаев, Х.А.Эргашева	350
77	<b>ПЛЕТЕНОЕ ПОЛОТНО ИЗ ТКАНЫХ И НЕТКАНЫХ ЛЕНТ</b> Ю.А. Щепочкина	353
78	<b>ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> А.В. Трещалина, Ю.М. Трещалин	355
79	<b>ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b> В.В. Хамматова	361
80	<b>ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ СТОЙКОСТИ К ИСТИРАНИЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОДЕЖДЕ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b> Э.А. Хамматова	365
81	<b>ANTIMICROBIAL BIO-NONWOVEN FABRICS FOR EYES'S SWATH AND DIAPERS FOR INFANT'S INCUBATORS</b> ElSayed A. ElNashar	368
82	<b>DESIGN ANALYSIS OF FUNCTIONAL TEXTILES FOR SMART AIRBAGS BY NANOTECHNOLOGY IN AUTOMOTIVE INDUSTRIAL</b> ElSayed A. ElNashar	369
83	<b>ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИИ УКЛАДКИ НЕТКАНЫХ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ</b> С.В. Федосов, Н.А. Грузинцева, Е.Г. Емельянов, Т.В. Москвитина, Б.Н. Гусев	369
84	<b>СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ СЛОЕНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕТКАНЫХ И ПЛЕТЕНЫХ ПОЛОТЕН</b> Ю.М. Трещалин, М.Ю. Трещалин, М.В. Киселев, С.Е. Голубев	374

85	<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ НА СИТОВЫХ ТКАНЫХ ПОЛОТНАХ ВИБРОГРОХОТА</b> В.А. Огурцов, А.В. Огурцов, М.А. Гриценко, А.М. Фатахетдинов	379
86	<b>ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАССЕВА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА СИТОВЫХ ТКАНЫХ ПОЛОТНАХ</b> В.А. Огурцов, А.П. Алешина, Е.Р. Брик, Ю.В. Хохлова	383
87	<b>УПРОЧНЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПЭТФ</b> Л.В. Закревская, С.Ю. Петрунин, С.В. Лючина	387
88	<b>ПРОСТОИ ПРЕДПРИЯТИЯ – ПРОБЛЕМЫ В ТЕХНОЛОГИИ</b> Н.М. Махов, О.Н. Махов	391

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

*Научное издание*

**XIX Международный научно-практический форум**

**ФИЗИКА ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ:  
СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
Часть 1**

**(SMARTEX-2016)**

Ответственный за выпуск  
Компьютерная верстка  
Дизайн обложки

А.П. Новикова  
П.В. Кузнецова  
А.П. Новиковой

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано в печать 16.05.2016. Формат 1/8 60x84.  
Усл. печ. л.46,97. Уч. - изд. л. 25,0 Тираж 100 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»  
153000, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20  
Адрес в Интернете: [www.ivgpu.com](http://www.ivgpu.com)

Отпечатано в ОАО «Информатика»  
153032, г. Иваново, ул. Ташкентская, 90