Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российский союз предпринимателей текстильной и легкой промышленности
(СОЮЗЛЕГПРОМ)
Технологическая платформа «Текстильная и легкая промышленность»

Ивановский государственный политехнический университет
Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Ивановский государственный химико-технологический университет

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

XXI Международного
научно-практического форума

«SMARTEX – 2018»

«ФИЗИКА ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, НАУКОЁМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ»

26 – 28 сентября 2018 года

Иваново 2018

УДК 677.1/.5:5

Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы [Текст]: сб. материалов XXI Междунар. науч.-практ. форума «SMARTEX-2018», 26–28 сентября 2018 года. – Иваново: ИВГПУ, 2018.– 304 с.

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. А.К. Изгородин (Ивановский государственный политехнический университет), д-р техн. наук, проф. А.П. Морыганов (Институт химии растворов имени Г.А. Крестова РАН), д-р техн. наук, гл. науч. сотр. Н.П. Пророкова (Институт химии растворов имени Г.А. Крестова РАН), д-р техн. наук, вед. науч. сотр. С.В. Алеева (Институт химии растворов имени Г.А. Крестова РАН), д-р техн. наук, проф. Н.А. Кулида (Ивановский государственный политехнический университет), д-р техн. наук, проф. А.Ю. Матрохин (Ивановский государственный политехнический университет), д-р тех. наук, проф. А.М. Киселёв (Санкт-Питербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

ISSN 2413-6514

© ФГБОУ ВО «ИВГПУ», 2018

Состав Организационного комитета

Сопредседатели

Румянцев Е.В.	д-р хим. наук, и.о. ректора Ивановского государственного политехнического университета
Киселев М.Г.	д-р хим. наук, директор Института химии растворов имени Г.А. Крестова РАН (г. Иваново)
Разбродин А.В.	канд. техн. наук, президент Российского Союза предпринимателей текстильной и легкой промышленности, член Общественной палаты РФ, член правления РСПП РФ (Москва)

Учёные секретари

Никифорова Е.Н.	д-р техн. наук, профессор, первый проректор – проректор по развитию Ивановского государственного политехнического университета
Пророкова Н.П.	д-р техн. наук, профессор, гл. научн. сотр. Института химии растворов имени Г.А. Крестова РАН (г. Иваново), профессор Ивановского государственного политехнического университета

Члены оргкомитета

Аврелькин В.А.	д-р техн. наук, министр экономического развития и торговли Чувашской Республики (г. Чебоксары)
Ахунбабаев О.А.	д-р техн. наук, директор Узбекского научно-исследовательского института натуральных волокон (г. Маргилан, Республика Узбекистан)
Бузник В.М.	акад. РАН, д-р хим. наук, профессор, начальник лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов (Москва)
Бутман М.Ф.	д-р физ-мат. наук, профессор, ректор Ивановского государственного химико-технологического университета
Васильев Д.М.	канд. техн. наук, директор Ивановского научно-исследовательского института пленочных материалов и искусственной кожи ФСБ России
Ibrahim Aman	д-р наук, вице-президент Университета г. Кафр-эль-Шейх (Арабская Республика Египет)
Кащеев О.В.	канд. психол. наук, профессор, проректор по научной работе Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина (Москва)
Киселев М.В.	д-р техн. наук, профессор Костромского государственного университета
Койфман О.И.	чл.-корр. РАН, д-р хим. наук, профессор, президент Ивановского государственного химико-технологического университета
Корнилова Н.Л.	д-р техн. наук, профессор, ген. директор ООО «Инжиниринговый центр текстильной и легкой промышленности» (г. Иваново)
Кокшаров С.А.	д-р техн. наук, профессор, заведующий научно-инновационным отделом Института химии растворов имени Г.А. Крестова РАН (г. Иваново)
Кричевский Г.Е.	д-р техн. наук, профессор, президент Российского союза химиков-текстильщиков и колористов, гл. редактор журнала «НБИКС – Наука. Технологии» (Москва)
Кулида Н.А.	д-р техн. наук, профессор, директор Текстильного института Ивановского государственного политехнического университета
Лекишвили Н.Г.	д-р хим. наук, профессор Тбилисского государственного университета имени Иванэ Джавахишвили, президент Союза химиков Грузии (Республика Грузия)
Лободанов А.П.	д-р филол. наук, профессор, декан факультета искусств Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, академик Болонской Академии наук
Лысенко А.А.	д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна
Николаев С.Д.	д-р техн. наук, профессор Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина (Москва)
Петров И.Р.	руководитель АНО «Агентство по привлечению инвестиций в Ивановскую область», ген. директор ООО «Протекс» (г. Иваново)
Рыклин Д.Б.	д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой Витебского государственного технологического университета (Республика Беларусь)
Савинов В.С.	испол. директор Российского Союза химиков (Москва)
Трещалин Ю.М.	ген. директор ООО «Научно-исследовательский технологический центр» при СОЮЗЛЕГПРОМе (Москва)
Федорова Т.А.	руководитель Дирекции Технологической платформы «Текстильная и легкая промышленность» (г. Казань)
Юнусов С.З.	д-р техн. наук, ректор Ташкентского института текстильной и легкой промышленности (Республика Узбекистан)

Состав Программного комитета

Сопредседатели

Изгородин А.К.	д-р техн. наук, профессор Ивановского государственного политехнического университета
Морыганов А.П.	д-р техн. наук, профессор, зав. лабораторией Института химии растворов имени Г.А. Крестова РАН (г. Иваново)

Члены комитета:

Алеева С.В.	д-р техн. наук, вед. науч. сотр. Института химии растворов имени Г.А. Крестова РАН (г. Иваново)
Гусев Б.Н.	д-р техн. наук, профессор Ивановского государственного политехнического университета
Elsayed A. Elnashar	д-р наук, профессор Университета г. Кафр-эль-Шейх (Арабская Республика Египет)
Карева Т.Ю.	д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой Ивановского государственного политехнического университета
Киселев А.М.	д-р техн. наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна
Кузьмичев В.Е.	д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой Ивановского государственного политехнического университета
Матрохин А.Ю.	д-р техн. наук, профессор, проректор по образовательной деятельности Ивановского государственного политехнического университета
Одинцова О.И.	д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой Ивановского государственного химико-технологического университета
Песецкий С.С.	чл.-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор, главный редактор научного журнала «Полимерные материалы и технологии» Института механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН (г. Гомель, Беларусь)
Разговоров П.Б.	д-р техн. наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Ивановского государственного политехнического университета
Румянцева В.Е.	д-р техн. наук, профессор, директор Института социально-гуманитарных и естественных наук Ивановскогогосударственного политехнического университета
Трещалин М.Ю.	д-р техн. наук, зам. декана Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (Москва)

УДК 677.024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОМПЛЕКСНЫХ НИТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ*

THE USE OF TEXTILE TECHNOLOGIES AND COMPLEX THREADS TO CREATE A NEW GENERATION OF END PRODUCTS*

М.И. Панин [1], И.Н. Панин [2], С.Д Николаев [3]
M.I Panin [1], I.N. Panin [2], S.D. Nikolaev [3]

[1]АО «Полема», г. Тула,
[2]ООО «Нефтегазовые технологии МИФИ», (г. Димитровград,)
[3]Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), (Москва)
[1]AO "Polema", Tula,
[2]OOO «Oil and Gas technologies MIFI», (Dimitrovgrad),
[3]Russian state University named after A. N. Kosygin, (Moscow)
E-mail: m.panin87@yandex.ru, inpanin@mail.ru, nsd0701@mail.ru

В работе рассматриваются вопросы использования комплексных нитей в качестве армирующих компонентов композитов за счёт большого количества переменных, связанных между собой сложными функциональными зависимостями, возможности создания конечных материалов с новыми структурами и заданными свойствами. Показано, что наиболее перспективными направлениями использования композиционных материалов армированных комплексными нитями являются процессы тонкой фильтрации различных сред. Применение коротких текстильных технологий с использованием комплексных нитей заданной структуры позволяет формировать конечные «выходные» продукты, применение которых открывает новые направления развития технологий, в том числе и технологий экологической безопасности человека

Ключевые слова: комплексные нити, текстильные материалы, свойства, пористость, проницаемость, фильтрация

The paper deals with the use of complex filaments as reinforcing components of composites due to a large number of variables related to complex functional dependencies, the possibility of creating final materials with new structures and desired properties. It is shown that the most promising areas of use of composite materials reinforced with complex filaments are the processes of fine filtration of various media. The use of short textile technologies with the use of complex threads of a given structure allows to form the final "output" products, the use of which breaks new directions of technology development, including technologies of environmental safety

Keywords: complex filaments, textile materials, properties, porosity, permeability, filtration

Создание новых видов конечных материалов специального назначения, в том числе и композиционных материалов с текстильным армирующим компонентом на основе комплексных нитей открывает новые пути расширения ассортимента создаваемых изделий с наперед заданными свойствами. Именно свойства комплексных нитей могут позволить получить заданные функциональные характеристики (разную прочность по разрывной нагрузке, различную плотность по объему материала, различную электропроводимость, пористость и проницаемость и т.д.) композитов и их производных.

Синтетические и искусственные комплексные нити могут формироваться кручением нескольких элементарных нитей различного волокнистого состава текстурированием элементарных мононитей, трощением, созданием бикомпонентных, фасонных или сложением моно пленочных нитей.

Известно [1;2], что механические свойства синтетических и искусственных комплексных нитей, вырабатываемых из элементарных волокон различной линейной плотности, в значительной степени зависят от показателя укрутки. Поэтому равновесность

комплексных нитей, а также сохранение их целостной структуры может достигаться термофиксацией или точечным проклеиванием элементарных волокон в нитях.

При создании конечного текстильного продукта специального назначения, например, композиционных материалов и армированных пластиков из данных нитей, когда нити не подлежат разматыванию, а форма изделиям придается с помощью полимерного связующего, включая аппретуры (с заданными теплофизическими свойствами), их качественные показатели определяются не только природой и соотношением основных компонентов [3], но также технологией армирования (формируемые ткачеством, вязанием или намоткой), а именно структурой и количеством воздушных (газовых) включений, которые могут занимать значительную долю в конечных изделиях.

Эти включения обеспечивают, наряду с отрицательными (образование трещин, пор, раковин). приобретение и специфичных положительных качественных характеристик, а именно:

- заданную (на участках использования композита) прочность;
- диэлектрические и теплофизические свойства;
- переменную плотность и проницаемость для жидких и газообразных фаз [4].

Такие армирующие компоненты из комплексных волокон и нитей называют «волокнитами» композиционных материалов. И, несмотря на широкий спектр специфических свойств, и возможных областей их применения, развитию их производства у нас в стране уделяется мало внимания. Это, в первую очередь, обусловлено сложностью строения комплексных нитей, особенностями составов и технологиями переработки «волокнитов». А исследование данных материалов приводит к тому, что распространенные общепринятые методики не «работают» и требуется решение специфичных, порою многостадийных сложных аналитических задач. Тем не менее, классический метод микроструктурного анализа и бесконтактная электронная микроскопия (неразрушающий контроль) , широко используемые в промышленности при производстве армированных пластиков, вполне применимы и для изучения свойств «волокнитов».

Большой интерес для производства пластиков армированных комплексными нитями с заданными параметрами пористости и проницаемости и их изменениями при температурном воздействии, имеют методики не требующие специального оборудования, которые позволяют оперативно и с достаточной степенью получить данные о соотношении наполнителя, связующего и пористости материала.

Плотность и пористость композитов сформированных, например, намоткой комплексных нитей и связующими термореактивными смолами, обладающими высокой пластичностью, можно определять методом гидростатического взвешивания. Для чего сухой образец материала сначала взвешивают на воздухе, а затем в жидкости, хорошо смачивающей образец (без образования воздушных пузырей не его поверхности, например в керосине).

Объем открытых пор в образцах компонентов:

$$V_0 = \frac{G_2 - G_1}{G - G_1} 100\%, \qquad (1)$$

где G – вес образца на воздухе;

G_1 – вес образца в жидкости до насыщения;

G_2 – вес образца в жидкости после насыщения.

Процесс насыщения образцов смачиваемой жидкостью можно проводить в вакуумной упаковке.

Изменение температурных режимов таких материалов приводит к изменению их структуры и свойств, в частности пористости и газопроницаемости. Для определения объема пор в армирующем компоненте таких материалов, до и после изменения температурного воздействия при известном содержании связующего, может использоваться метод выжигания связующего в керамических тиглях.

Умение оценивать и управлять пористостью, а также газопроницаемостью текстильных материалов, в том числе и композиционных материалов формируемых на базе комплексных нитей, открывает возможности создания новых «управляемых» структур фильтровальных перегородок, которые с успехом могут применяться для очистки жидких и газообразных сред. Например, при очистке попутного нефтяного газа от сероводорода, что весьма актуально для всей нефтедобывающей отрасли во всём мире. Причем, использование комплексных нитей в армировании структур с заданной пористостью и проницаемостью [5,6], позволяет обеспечивать требуемую производительность процессов фильтрации, а применение комплексных нитей различной природы селективность взаимодействия с фильтруемыми средами.

Таким образом, комплексные нити, применяемые в качестве армирующих компонентов композиционных материалов, благодаря своим специфичным свойствам, и свойствам связующих элементов, позволяют создавать новые конечные (выходные продукты) материалы с уникальными заданными свойствами.

Выводы:

1. Использование комплексных нитей в качестве армирующих компонентов композитов обусловливает, за счёт большого количества переменных, связанных между собой сложными функциональными зависимостями, возможности создания конечных материалов с новыми структурами и заданными свойствами.
2. Наиболее перспективными направлениями использования композиционных материалов армированных комплексными нитями являются процессы тонкой фильтрации различных сред.
3. Применение коротких текстильных технологий с использованием комплексных нитей заданной структуры позволяет формировать конечные «выходные» продукты, применение которых открывает новые направления развития технологий, в том числе и технологий экологической безопасности человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белицин М.Н. Синтетические и искусственные нити. М. «Легкая индустрия» 1976. 174 с.
2. Белицин М.Н., Дмитриев С.А. Влияние различных факторов на структуру синтетических комплексных нитей. Текстильная промышленность? № 10 .1969. с.71-74.
3. Райтлингер С.А. «Успехи химии». 1951 т.20. 213 с.
4. Шленский О.Ф, Хованская Н.Н., Лаврентьев В.В. «Пластические массы» 1966, № 5. 52 с.
5. Николаев С.Д., Зайцев В.П., Панин И.Н. «О тонкости очистки фильтрата и производстве трубчатых текстильных фильтров». Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2005 № 5, с.94-96
6. Панин И.Н., Лапшенкова В.С., Морозов С.И., Николаев С.Д., Разумеев К. Э., Снежков С.В., Сумарукова Р.И., Цимбалюк Е.П. Текстильные фильтры на базе специальных мотальных паковок – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2009. – 134 с.
7. Панин И.Н., Николаев С.Д., Зайцев В.П. О мотальных паковках специального назначения, используемых для решения экологических задач//Текстильная промышленность, 2006. – № 6., с.29-31
8. Панин И.Н., Николаев С.Д., Яскин А.П. Основные направления развития оборудования для перематывания химических нитей//Текстильная промышленность, 2006. – №7, с.30-32
9. Николаев С.Д., Панин И.Н., Морозов С.И., Цимбалюк Е.П. Новые разработки текстильщиков//Известия Вузов. Технология текстильной промышленности, 2009. – №2., с.107-109

**участник Всероссийского конкурса молодёжных исследовательских проектов «ЛЕГПРОМНАУКА»*

УДК 677.026.424:625.877(043.3)

ФИЗИЧЕСКИЙ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОДЫ К АНАЛИТИЧЕСКОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

PHYSICAL AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE ANALYTICAL STUDY OF NONWOVEN MATERIALS*

Ю.М. Трещалин
Yu.M. Treschalin

Научно-исследовательский технологический центр, (Москва)
R&D Scientific Center, (Moscow)

В статье дается обоснование представления нетканого материала как сплошной среды,имеющей волокнистое строение и пористую структуру. С позиции методологической рассмотрена целесообразность применения типологического анализа, предполагающего использование различных логико-математических методов и моделей.находящегося в порах и долю тепловой энергии, передаваемой излучением. Базируясь на эмпирических данных, типология опирается на понимание объекта исследования как системы.

Применительно к аналитическому изучению волокнистых материалов предложен ряд определений.

В связи с тем, что величины, характеризующие нетканые материалы, являются взаимосвязанными и взаимозависимыми, эффективно использовать теорию подобия, представляя совокупность различных показателей в виде критериев и критериальных уравнений.

Ключевые слова: нетканый материал, волокно, пористость, сплошная среда, элементарный объем, типология, теория подобия, критерий.

The article explains the rationale for the submission of non-woven material as a continuous medium having a fibrous structure and porous structure. From the position of methodological expediency of application of the typological analysis assuming use of various logical and mathematical methods and models is considered. located in the pores and the proportion of thermal energy transmitted by radiation. Based on empirical data, the typology is based on the understanding of the object of study as a system.

A number of definitions are proposed for analytical study of fibrous materials.

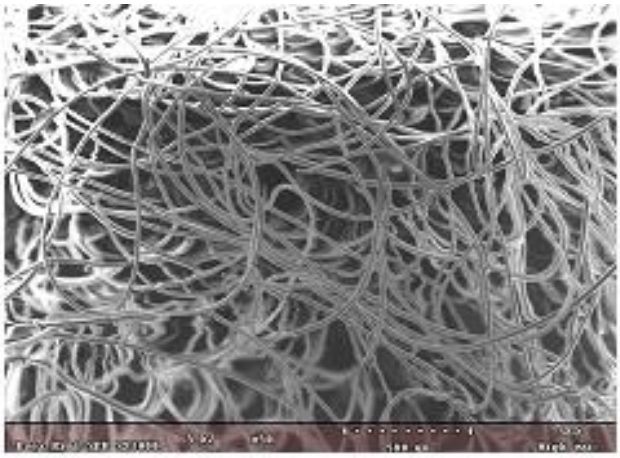
Due to the fact that the values characterizing nonwoven materials are interrelated and interdependent, it is effective to use the similarity theory, representing a set of different indicators in the form of criteria and criteria equations.

Keywords: nonwoven fabric, fiber, porosity, continuous medium, elementary volume, typology, similarity theory, criterion.

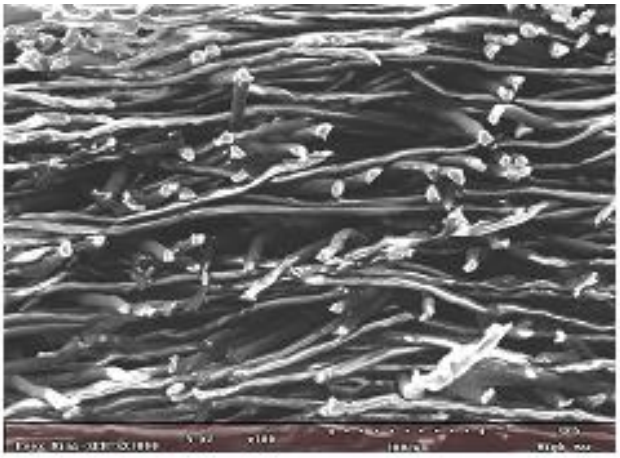
Постоянно возрастающая конкуренция на отечественном рынке выдвигает все более высокие требования к качеству изделий, что в свою очередь, заставляет разработчиков и производителей на стадии проектирования научнообоснованно подходить к прогнозированию характеристик и оценке свойств текстильных материалов. При этом определяющими параметрами являются их целевое назначение и эксплуатационные показатели.

Многообразие существующих теоретических методов определения характеристик волокнистых материалов, достаточно подробное описание которых дается в [1, 2], объясняется большими сложностями системно подходить к анализу всевозможных типов структуры, которые зависят от способов изготовления (ткань, трикотаж, нетканый материал, плетеные изделия). Немаловажное значение имеют форма, размеры, физико-механические свойства и взаимодействие (сцепление) структурных элементов(волокна, нити), а также плотность их расположения в произвольно взятом макрообъеме.

Математическое и геометрическое моделирование нетканыхполотен представляет известные трудности, что связано в основном с извитостью волокон и неупорядоченным расположением их в материале (рис. 1).



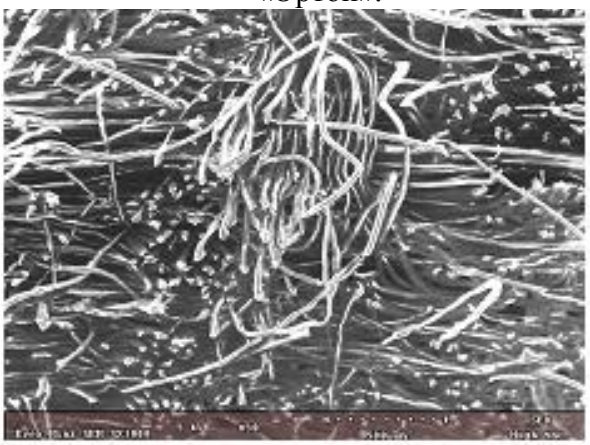
«Холлофайбер Волюметрик», 600 г/м^2. Полиэфирные мононити – 100 %. ООО «Термопол»



«Канвалан», формирование холста фильерное (спанбонд), аэродинамическое, иглопробивной, термостабилизированный каландрированием, 469,7 г/м^2. Полипропиленовые мононити – 100 %. ОАО «Ортон».



«Геоком Д», иглопробивное, каландрированное с одной стороны, 393 г/м^2. Штапельное волокно: полиэфирные - 20 %; полипропиленовые - 80 %. ООО «Комитекс».



«Геотекс М 600», формирование холста фильерное (спанбонд), аэродинамическое, иглопробивной, 632 г/м^2. Полипропиленовые мононити – 100 %. ООО «Сибур-Геотекстиль».

Рис. 1. Структура нетканых полотен различных производителей.

Поэтому для анализа процессов тепло и звукопроводности, фильтрации, самопроизвольного впитывания, упругопластических деформаций, широко применяются идеализированныемодели, посредством которых осуществляется взаимосвязь между физическими особенностями рассматриваемых явлений и геометрическими размерами и формой структурных элементов.

В общем случае, представление твердой фазы текстильных материалов в виде многогранников, сферических или цилиндрических тел значительно сокращает область применения таких моделей и имеет ряд недостатков, к которым следует отнести:

- одинаковый размер структурных элементов;
- постоянство степени заполнения порового пространства при заданном расположении волокон независимо от их размера.

Кроме того, подобные модели не являются достаточно эффективными в связи с наличием грубых допущений, которые заключаются в возможности либо изначально заданного контакта, либо полного его отсутствия между волокнами (нитями). Таким

образом, теоретические методы, основанные на микроуровневом моделировании, не приемлемы при исследовании физико-механических, гидродинамических и теплофизических процессов, происходящих в волокнистых структурах.

В связи с этим, в частности, нетканые материалы представляется целесообразным рассматривать как сплошные среды, имеющие волокнистое строение и пористую структуру. Причем, под пористостью следует понимать не совокупность отдельных пустот, замкнутых или соединенных между собой, а макрообъем вещества (например, воздуха), в котором находится большее или меньшее количество волокон (мононитей), расположенных регулярно или хаотически. Необходимо отметить, что отдельных явно выраженных пор и капилляров, в общепринятом понимании этого термина, в нетканых материалах не наблюдается (рис. 1).

Применение гипотезы сплошности связано с понятием материального континуума, что дает возможность считать непрерывным распределение в материале основных физических величин (плотность, коэффициент теплопроводности, пористость и т.д.), пренебрегая взаимодействием отдельными волокнами. Поскольку сплошная среда (материальный континуум) есть некоторая виртуальная субстанция, непрерывно заполняющая часть пространства, описание ее состояния связано с заданием величин в каждой точке какой-либо рассматриваемого пространства. При этом предполагается, что пространство, в котором рассматриваются процессы, происходящие в сплошных средах, является евклидовым.

Кроме того, подобный подход позволяет использовать аппарат непрерывных функций, дифференциальное и интегральное исчисление, что особенно актуально для изучения напряженно-деформированного состояния нетканых полотен, имеющих неориентированное расположение структурных элементов.

Понятие сплошной среды неразрывно связано с однородностью свойств на всем ее протяжении. Экспериментальные исследования показали, что различные по сырьевому составу и способу производства нетканые полотна имеют практически равные значения коэффициента изотропности по прочности и деформации, что позволяет констатировать наличие изотропных свойств у исследуемых материалов.

В процессе эксплуатации текстильных изделий нет необходимости знать, как изменяются характеристики каждого волокна или мононити. Поэтому предполагается, что все элементы идентичны по своим характеристикам, равномерно распределены по всему объему и свойства выделенных в ней макрообъемов одинаковы. Таким образом, при исследовании волокнистого материала достаточно изучить его элементарный объем – часть среды, ничтожно малую по сравнению с размерами материала и вместе с тем достаточно значительную по сравнению с характерным (поперечным) размером единичного волокна и содержащую настолько большое число волокон, что можно применять статистическое осреднение. Это положение определяет два основных подхода к изучению сплошных сред: статистический и феноменологический.

Статистический подход основывается на методах статистической механики, вероятностных методах, применению средних характеристик по макрообъему структурных элементов, введению дополнительных гипотез о свойствах и расположении микрочастиц с целью упрощения модели, что, применительно к нетканым материалам, затруднительно в связи с недостатком информации о расположении и взаимодействии волокон.

Для решения большинства задач механики сплошных сред применяются строгие математические приемы интегрирования основных дифференциальных уравнений при установленной системе граничных и начальных условий [3, 4]. Однако, большая сложность и недостаточная изученность многих явлений вынуждают не довольствоваться применением только методов теоретической механики и математической физики, но и широко пользоваться всевозможными эмпирическими приемами и так называемыми «полуэмпирическими» зависимостями, в построении которых большую роль играют результаты экспериментов. Поэтому для изучения волокнистых материалов наиболее

целесообразно использовать феноменологический подход (от греческого слова phainomenon - явление), базирующийся на общих, полученных из опыта закономерностях и гипотезах, которые принимаются за истинные и используются для:
- построения систем характеристических функций, адекватно описывающих процессы, происходящие в сплошных средах;
- выявления параметров состояния и уравнений, устанавливающих взаимосвязи, основанные на экспериментальных данных и использующихся для математического моделирования исследуемых сред;
- определения начальных и граничных условий, при которых искомые характеристики могут быть найдены математическими методами.

Основываясь на вышеизложенных рассуждениях и доводах, в соответствии с феноменологическим подходом к изучению волокнистых материалов, можно предложить ряд понятий и определений:

Нетканый материал - сплошная среда, имеющая волокнистое строение и пористую структуру.

Элементарный объем нетканого материала – часть сплошной среды, ничтожно малая по сравнению с размерами материала, но достаточно значительная по сравнению с характерным (поперечным) размером единичного волокна (мононити) и содержащая настолько большое число волокон (мононитей), что можно применять статистическое осреднение.

Нетканое полотно – пористая сплошная среда, структурными элементами которой являются скрепленные между собой механическим, физико-химическим, термическим или комбинированным способами волокна или мононити.

Волокнистый теплоизолятор - высокопористый нетканый материал, предназначенный для теплоизоляции одежды, промышленных, строительных и жилищно-бытовых объектов.

Пористость – совокупность промежутков между структурными элементами сплошной среды, заполненных веществом, в котором находится исследуемый материал, и определяемая соотношением объемных плотностей материала и составляющих его волокон (нитей).

Единичная пора представляет собой микрообъем среды, либо ограниченный (замкнутая пора), либо соединяющийся несколькими аналогичными, близко расположенными микрообъемами.

Капилляр (от лат. capillaris - волосной) –полая трубка произвольного поперечного сечения с очень узким внутренним каналом.

Радиус условного капилляра – геометрическая характеристика сплошной среды, зависящая от пористости и определяющих линейных размеров структурных элементов (для текстильных материалов – диаметр волокна или мононити). Понятие условного капилляра позволяет применить существующие формулы, справедливые для капиллярных и капиллярно-пористых тел, для приближенного расчета высоты самопроизвольного подъема жидкости в пористых средах.

Показатель (коэффициент) гидравлической проницаемости – параметр сплошной среды, характеризующий ее способность пропускать жидкость при перепаде давления и зависящий от пористости (капилляров для капиллярно-пористых тел) и геометрических размеров структурных элементов.

Эффективный коэффициент теплопроводности $\lambda_{эф}$ – параметр, характеризующий интенсивность прохождения тепла в сплошных средах, имеющих капиллярно-пористое или пористое строение, учитывающий молекулярный теплоперенос в структурных элементах (волокнах, мононитях), молекулярный и конвективный теплообмен между частицами вещества, находящегося в порах и долю тепловой энергии, передаваемой излучением.

С позиции методологической, представляется целесообразным применять типологический анализ, предполагающий использование различных логико-математических

методов и моделей. Такой подход открывает путь к построению абстрактных типологий, в которых тип понимается как сложная конструкция, размещенная в многомерном пространстве. Необходимо отметить, что типология, как метод научного познания, используется в целях сравнительного изучения существенных признаков, связей, функций, отношений и уровней организации объектов [5-7].

Базируясь на эмпирических данных, типология опирается на понимание объекта исследования как системы. Это позволяет определить математические зависимости и, как следствие, закономерности, присущие многообразию нетканых материалов, что в свою очередь дает возможность прогнозировать характеристики и свойства рассматриваемых текстильных изделий.

Конкретное применение феноменологического и типологического подходовможно показать на примере анализа процесса самопроизвольного впитывание жидкости неткаными материалами.

Отсутствие капилляров, как таковых, в строении нетканого полотна, требует принципиально иного, по отношению к существующим, подхода для изучения процесса самопроизвольного впитывания жидкости волокнистыми материалами. Особенность поставленной задачи с позиции механики сплошных сред заключается в использовании в качестве определяющего параметра не линейного размера капилляра (радиуса), а макрообъемной характеристики, например, пористости или плотности, что особенно актуально для нетканых полотен, имеющих неориентированное расположение волокон или мононитей.

Общепринято пористостью среды ξ называть отношение объема пустот к общему объему среды [8, 9]. Для волокнистых материалов и, в частности, нетканых полотен, пористость может быть выражена как отношение плотностей материала и составляющих его волокон:

$$0 \leq \xi = 1 - \frac{\rho_М}{\rho_В} \leq 1$$

где: ξ - пористость материала;
$\rho_м$- плотность материала, кг/м^3;
$\rho_в$- плотность волокон (мононитей), кг/м^3;

Помимо пористости при изучении рассматриваемого процесса, необходимо принимать во внимание структуру и строение пористой среды, а также физические свойства жидкости. Таким образом, дополнительными параметрами, характеризующими среду с точки зрения движения жидкости в поровом пространстве, будут:
- проницаемость- показатель интенсивности течения жидкости в пористой среде;
- линейный размер структурных элементов, в качестве которого принимается диаметр или длина, в зависимости от принятой модели среды.

С учетом указанных параметров формируются условия динамического равновесия при распределении скоростей в каждом сечении волокнистого материала между силами инерции и внутреннего трения, а также внешней нагрузкой и распределением давления внутри жидкости.

Процессы самопроизвольного впитывания пористыми средами обусловлены влиянием сил межмолекулярного взаимодействия на равновесие и движение свободной поверхности жидкости, поверхности раздела несмешивающихся жидкостей и границ жидкостей с твердыми телами. При соприкосновении жидкости со структурными элементами силы притяжения, действующие между молекулами волокон и жидкости, заставляют ее подниматься по поверхности волокна, вследствие чего примыкающий к стенке участок поверхности жидкости принимает выпуклую или вогнутую форму [10-12].

Интенсивность самопроизвольного впитывания жидкости нетканым материалом изменяется во времени. Подъем осуществляется до тех пор, пока силу поверхностного натяжения не уравновесит сила давления столба поднятой жидкости. Причем, скорость впитывания первоначально резко возрастает, а затем постепенно замедляется и через

некоторый промежуток времени становится равной нулю, т.е. высота подъема жидкости (или количество удерживаемой материалом жидкости) достигает своего максимального значения, которое остается постоянным во времени при неизменных параметрах среды, в которой находится материал (например, атмосфера).

Принимая во внимание, что кинетика впитывания одинакова для нетканых полотен, выработанных различными способами и состоящих из различных видов волокон (мононитей), для аналитического описания процесса подъема жидкости, в соответствии с феноменологическим подходом, может быть использована функция вида:

$$G(x) = f \cdot \frac{\alpha + x}{\alpha + x^2} - f,$$

где: $x = \xi$ – пористость материала;
$G(x) = h(\xi)$ – высота подъема жидкости;
α, f – коэффициенты пропорциональности.

В зависимости от соотношения численных значений α и f характер расположения кривой G(x) на плоскости может быть различным (рис. 2).

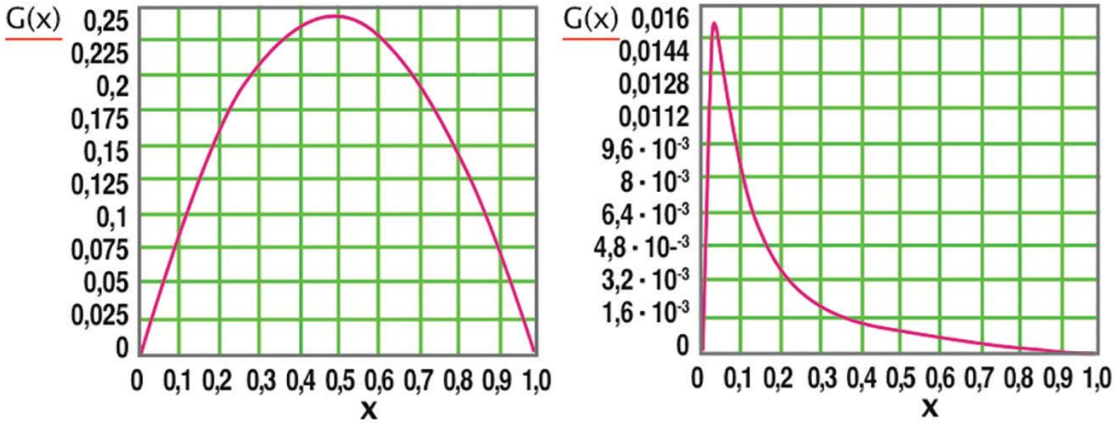


Рис. 2. Характер расположения кривой функции G(x)в зависимости от численных значений α и f.

Обоснованием целесообразности выбора приведенного уравнения для аналитического исследования процесса впитывания жидкости волокнистым материалом, является:
- наличие единственного экстремума $0 \le x^* \le 1$, позволяющего выявить максимальное значение $G(x^*)$;
- $G(x) > 0$; ;
- $G(x = 0) = G(x = 1) = 0$;
- $\frac{dG(x^*)}{dx^*} = 0$;
- наличие и непрерывность второй производной $\frac{d^2G(x)}{dx^2}$ на интервале $0 \le x \le 1$. .

Из необходимого условия существования экстремума функции определяется точка x^*:

$$x^*_{1,2} = -\alpha \pm \alpha \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\alpha}},$$

Учитывая физические особенности процесса впитывания, рассматриваются только положительные значения x^*. Значение функции в точке экстремума равно:

$$G(x^*) = \frac{f \cdot \sqrt{1+\frac{1}{\alpha}} - 1}{2},$$

С целью определения коэффициентов пропорциональности α и f сделано допущение о наличии некоторой функции Y(x), идеально описывающей процесс впитывания вязкой жидкости волокнистым материалом. При этом предполагается, что в точке x^* достигается минимум функционала:

$$\int_0^1 [G(x) - Y(x)]^2 dx = V + W$$

где: $V = \int_0^{x^*} [f^2 \cdot \frac{\alpha+x}{(\alpha+x)^2} - f - \beta \cdot x]^2 dx$; $W = \int_{x^*}^1 [f^2 \cdot \frac{\alpha+x}{(\alpha+x)^2} - f - \gamma \cdot (1-x)]^2 dx$.

Изображение G(x) и Y(x) в диапазоне $0 \leq x \leq 1$ представлено на рис. 3. Заштрихованная площадь между графиками соответствующих функций соответствует условию $\int_0^1 [G(x) - Y(x)]^2 dx \to \min$.

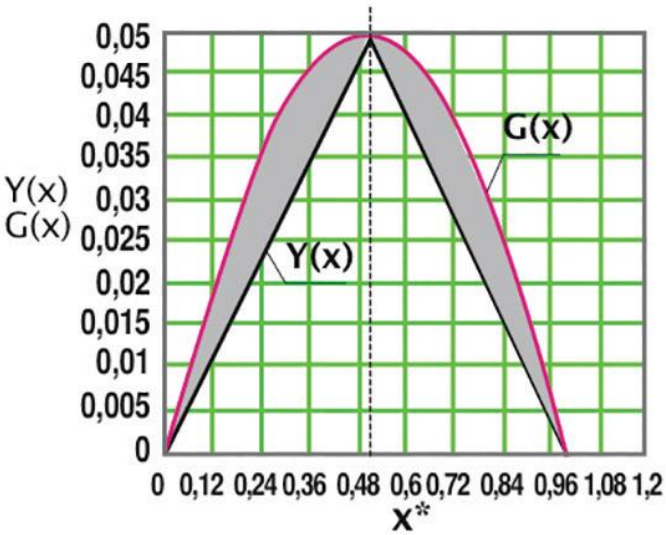


Рис. 3. График функций G(x) и Y(x)

Последующие, достаточно сложные математические выкладки, связанные с интегрированием и дифференцированием приведенных выше уравнений, достаточно подробно изложены в [2].

В результате проведенных вычислений установлено, что функция G(x) имеет экстремум в точке $x^* = 0{,}01719425$ в которой: $G(x^*) = 1{,}58810317$; $\alpha = 0{,}00030617$; $f = 0{,}0565574$ (рис. 4).

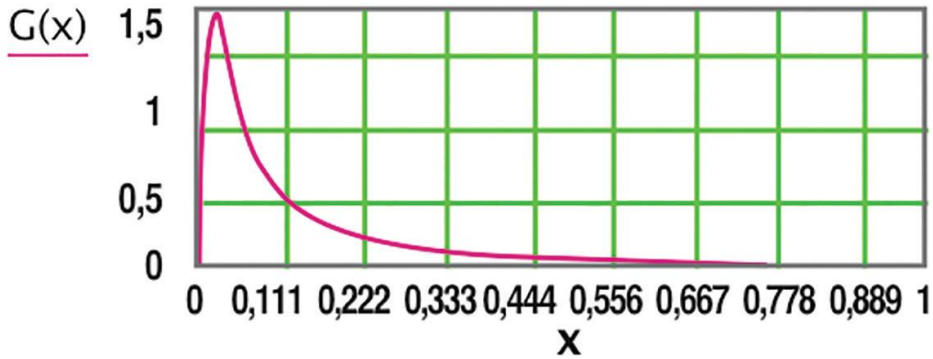


Рис. 4. График функции G(x)

Таким образом, дальнейший анализ кинетики впитывания проводится для $x^* = 0{,}01719425$ и $G(x^*) = 1{,}58810317$, полагая, что значение x^* соответствует пористости материала ξ^*, выраженной в относительных единицах, а величина $G(x^*)$ равна максимальной высоте подъема жидкости $h(\xi^*)$, выраженной в метрах. При этом высота подъема в зависимости от пористости определяется из уравнения:

$$h(\xi) = (0{,}0565574 \cdot \frac{0{,}00030617 + \xi}{0{,}00030617 + \xi^2} - 0{,}0565574) \cdot \frac{g \cdot \eta_ж}{\eta_в}$$

В основу аналитического исследования самопроизвольного впитывания жидкости волокнистым материалом в зависимости от времени также положеныфеноменологический и типологический подходы.

Основываясь на экспериментальных данных, для адекватного описания рассматриваемого процесса может быть использована функция вида:

$$F(x) = (x - D) \cdot e^{-a \cdot (x-D)} + C,$$

где: $x = \tau$ – время насыщения материала;
$F(x) = h(\tau)$ – высота подъема жидкости в момент времени τ;
D, a, C – константы, учитывающие способ производства и пористость материала, вид и степень гладкости волокнистого состава.

Характер расположения кривой F(x) на плоскости определяется соотношением численных значений констант D, a, C (рис. 5).

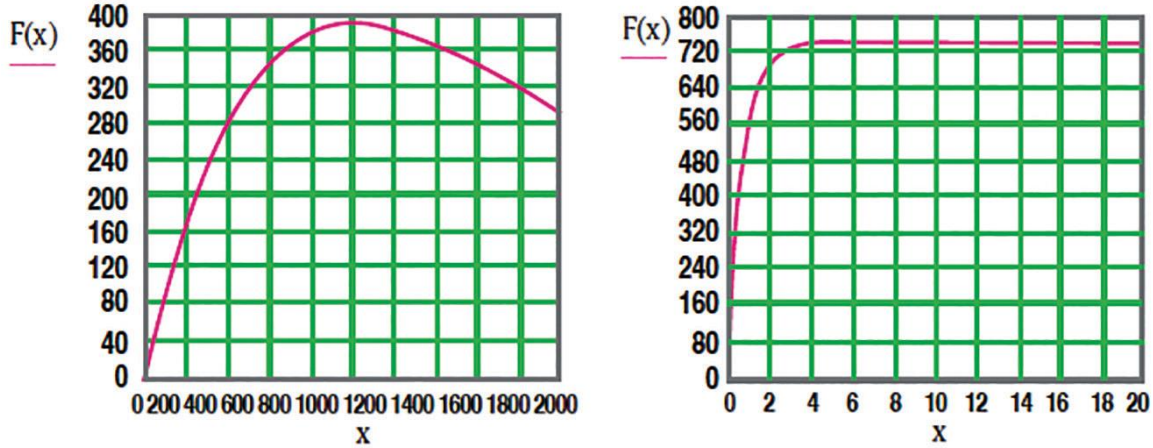


Рис. 5. Характер расположения кривой функции F(x) в зависимости от численных значений D, a, C

Функция F(x) является унимодальной, т.е. существует единственный экстремум $x^* > 0$, при котором F(x) достигает максимума, который определяется из необходимого условия существования экстремума:

$$\frac{dF}{dx} = e^{-a \cdot (x-D)} - a \cdot (x - D) \cdot e^{-a \cdot (x-D)} = 0$$

Из этого уравнения точка экстремума x* и значение функции в этой точке $F(x^*)$:

$$x^* = \frac{1}{a} + D = \frac{1 + a \cdot D}{a};$$

$$F(x^*) = \frac{1}{a} \cdot e^{-1} + y.$$

В диапазоне x от 0 до ∞, F(x) имеет следующие значения:

$$F(x = 0) = 0 \text{ и } F(x \to \infty) = y. \quad (1)$$

При проведении математического анализа предполагается, что в точке x^* достигается минимум функционала:

$$\int_0^{\infty} [F(x) - f(x)]^2 dx \to \min \quad (2)$$

где: f(x) – некоторая функция, выбранная из физических соображений, идеально описывающая процесс впитывания вязкой жидкости волокнистым материалом и удовлетворяющая следующим условиям:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{y}{x^*}, & 0 \le x < x^* \\ y, & x^* \le x < \infty \end{cases}$$

Совместное расположение функций F(x) и f(x) представлено на рис. 6. Заштрихованная площадь между графиками функций F(x) и f(x) соответствует предположению (2).

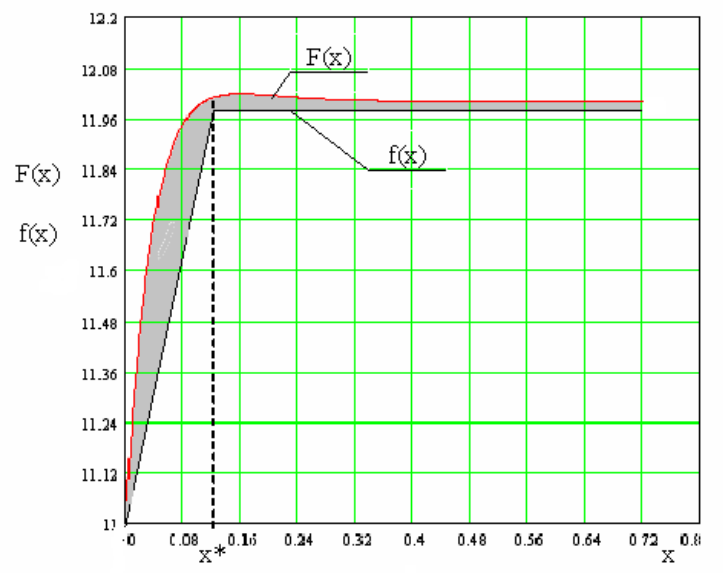


Рис. 6. Графическое изображение функций F(x) и f(x)

Функционал (2) можно записать в виде:

$$\int_0^{\infty} [F(x) - f(x)]^2 dx = A + B = \Psi$$

где: $A = \int_0^{x^*} [F(x) - f(x)]^2 dx$; $B = \int_{x^*}^{\infty} [F(x) - y]^2 dx$.

Из (1) выражается система:

$$\begin{cases} 0 = -D \cdot e^{a \cdot D} + C \\ y = C \end{cases},$$

которая дает возможность определить уравнение связи параметров: $y = D \cdot e^{a \cdot D}$

С целью оценки адекватности выбранной функции F(x) исследуемому физическому процессу, в [2] проведен подробный математический анализ влияния коэффициентов D, a, C на поведение функции F(x), а также определение значений x^* и $F(x^*)$.

В результате теоретических исследований кинетики впитывания жидкости материалом были установлены зависимости между основными характеристиками процесса: высотой, временем и скоростью вертикального подъема жидкости от пористости волокнистой среды.

Экспериментальная проверка показала наличие равномерности впитывания жидкости по всему объему порового пространства испытуемых нетканых полотен [2]. Очевидно, что хаотическое расположение мононитей в структуре материала (изотропность структуры) отражается на движении жидкости по длине и ширине образцов.

Сопоставление опытных и расчетных значений максимальной высоты подъема жидкости в нетканых материалах различных производителей (рис. 7) указывает на правомерность использования предложенных зависимостей для анализа процесса самопроизвольного впитывания с достаточностью, для выполнения технических расчетов.

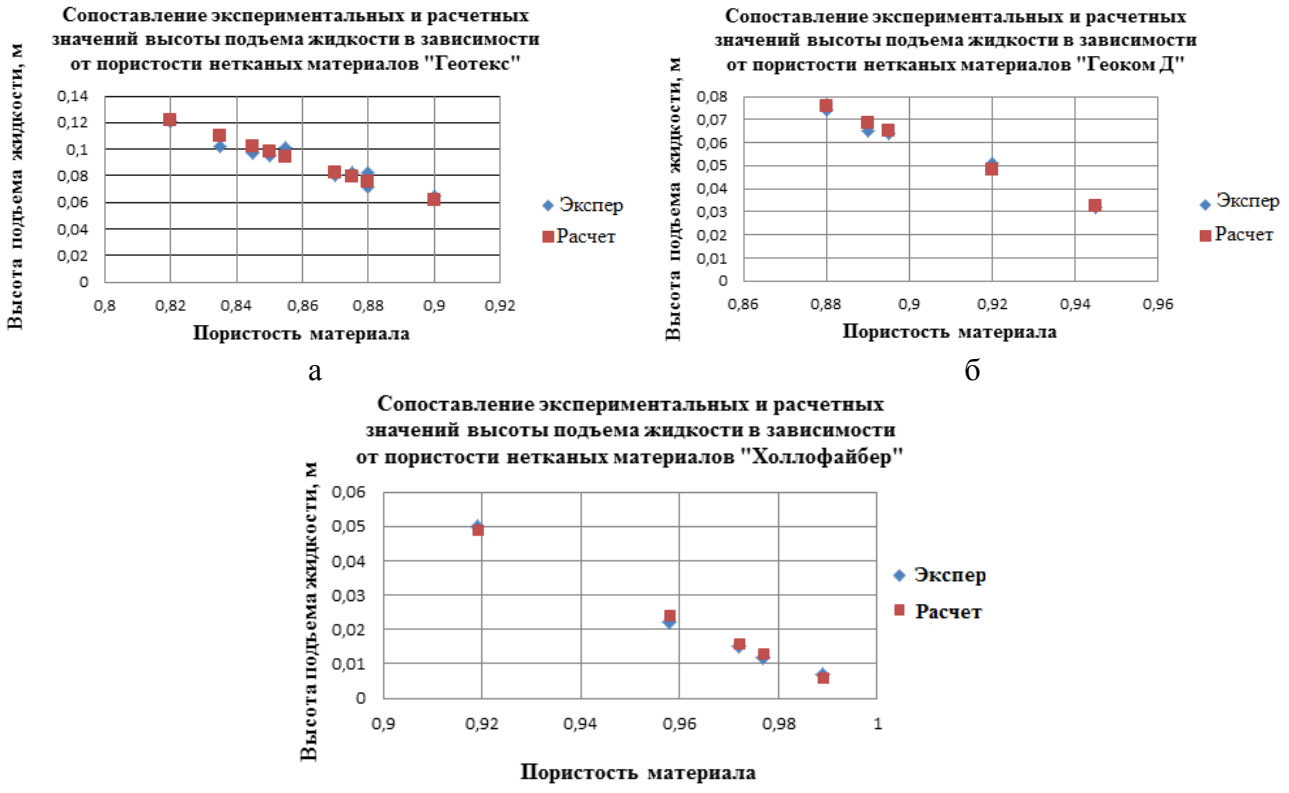


Рис. 7. Сопоставление экспериментальных и расчетных значений высоты подъема жидкости в зависимости от пористости нетканых полотен: а.- «Геотекс»; б. - «Геоком Д»; в – «Холлофайбер».

Проведенные комплексные исследования дают возможность судить о том, что полученные результаты не противоречат физическому смыслу протекающего процесса, и в большинстве своем, имеет место достаточно близкое совпадение экспериментальных и расчетных значений высоты подъема воды в зависимости от пористости нетканых полотен.

Такой вывод позволяет осуществить численный анализ кинетики процесса впитывания нетканными полотнами с учетом физических и геометрических характеристик жидкости (воды) и волокнистого материала. Для математической обработки экспериментальных данных [2, 13] использовался программный комплекс Mathcad 15.0. Оценка точности аппроксимации производилась по значениям:

- относительной погрешности, %: $U = (f_Э - f_Т)\cdot 100/f_Э$,
- коэффициента корреляции: $K_k{}^2 = 1 - \frac{S1}{S2}$,

$$S1 = \sum_n (f_Э - f_Т)^2$$

$$S2 = \sum_n (f_Э)^2 - \frac{\sum_n (f_Э)^2}{p}$$

где: $f_Э$ - экспериментальные данные;

$f_Т$ – результаты вычислений с использованием формул, полученных в результате аппроксимации;

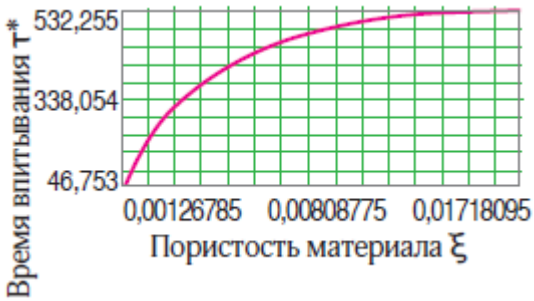
n = 1 …. N – номер, соответствующий значениям, полученным в результате измерений;

p – общее количество экспериментальных данных (образцов в соответствующей группе).

Полученные математические зависимости, графическая интерпретация результатов, величина коэффициентов корреляции и оценка погрешности вычисленных значений по отношению к опытным данным, приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Результаты аппроксимации расчетных величин.

Математическая зависимость	График зависимости	Значение коэф-фициентакорреля-цииK$_k^2$	Величина относительной погрешности, %	
			min	max
Зависимость времени впитывания жидкости τ*(мин) от пористости ξ волокнистого материала при $0 \le \xi \le 0{,}01719$				
$\tau^*(\xi) = 8{,}7115053 \cdot 10^4 \cdot \xi^{1{,}1} \cdot (0{,}3153768 \cdot \xi^{-0{,}4} - 1)$		1,00	- 0,246	0,235
Зависимость времени впитывания жидкости τ* (мин) от пористости ξ волокнистого материала при $0{,}01719 \le \xi \le 1$				
$\tau^*(\xi) = 150{,}7487755 \cdot \xi^{-0{,}35} \cdot (1 - 0{,}963805 \cdot \xi^{0{,}79})$		1,00	- 1,04	1,201
Зависимость времени впитыванияτ*(мин) от максимальной высоты подъема жидкости h(м) при заданной пористости материала ξ				
$\tau^*(h) = 19{,}9133151 \cdot h^{0{,}13} \cdot (6{,}973494522 \cdot \xi^{0{,}42} - 1)$		1,00	- 0,197	0,128
Зависимость средней скорости впитывания v_{cp}(м/с) от максимальной высоты подъема жидкости h(м)				
$v_{cp}(h) = 7{,}37439805 \cdot 10^{-5} \cdot h^{0{,}21} \cdot (0{,}90294655 \cdot h^{0{,}34} + 1)$		1,00	- 0,31	0,295

Изложенные результаты исследований позволяют разработать методику расчета основных характеристик процесса самопроизвольного впитывания жидкости волокнистыми материалами. Исходные данные, формулы и последовательность вычислений представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Методика расчета характеристик процесса самопроизвольного впитывания жидкости волокнистым материалом.

№ шага	Описание этапа	Расчетные формулы
I	Исходные данные	
I.1	Характеристики волокнистого материала: - диаметр волокна (мононити), м; - пористость.	d ξ
I.2	Параметры жидкости: - краевой угол смачивания, град; - кинематический коэффициент вязкости жидкости, Па·с; - кинематический коэффициент вязкости воды, Па·с - поверхностное натяжение жидкости, Н/м.	$\theta\ (\cos\theta = 1)$ $\eta_ж$ $\eta_в = 8{,}94 \cdot 10^{-4}$ σ
II	Вычисляются	
II.1	- высота впитывания в зависимости от пористости материала и вязкости жидкости, м:	$h(\xi) = (0{,}0565574 \cdot \frac{0{,}00030617 + \xi}{0{,}00030617 + \xi^2} - 0{,}0565574) \cdot \frac{g \cdot \eta_в}{\eta_ж} = \frac{k}{v^2} \cdot \frac{g \cdot \eta_в}{\eta_ж}$
II.2	- время достижения максимальной высоты подъема жидкости, с:	$\tau^*(\xi) = 8{,}7115053 \cdot 10^4 \cdot \xi^{1,1} \cdot (0{,}3153768 \cdot \xi^{-0,4} - 1)$ при $0 \le \xi \le 0{,}01719$
		$\tau^*(\xi) = 150{,}7487755 \cdot \xi^{-0,35} \cdot (1 - 0{,}963805 \cdot \xi^{0,79})$ при $0{,}01719 \le \xi \le 1$
II.3	- показатель проницаемости структуры материала:	$k = \frac{\eta_ж \cdot \xi^2}{8 \cdot \tau \cdot \sigma \cdot \cos\theta \cdot 4 \cdot (1 - \xi) \cdot \frac{1}{d}} \cdot [h(\xi)]^2$
II.4	- средняя скорость впитывания жидкости в зависимости от пористости материала, м:	$v_{ср}(h) = 7{,}37439805 \cdot 10^{-5} \cdot h^{0,21} \cdot (0{,}90294655 \cdot h^{0,34} + 1)$
II.5	- радиус условного капилляра волокнистого материала, м:	$r_{эф} = \frac{16 \cdot k \cdot (1 - \xi) \cdot \frac{1}{d}}{\xi^2}$

Изложенный комплексный подход к изучению нетканых материалов позволяет прогнозировать их параметры и свойства посредством математического моделирования с учетом разнообразия волокнистого состава, способа изготовления и условий перспективной эксплуатации. И, несмотря на то, что теоретические исследования проводятся с определенными приближениями, дальнейшее развитие аналитических методов расчета

характеристик волокнистых материалов позволит сократить затраты на проведение длительных, трудоемких и дорогостоящих экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трещалин М.Ю., Трещалин Ю.М., Киселев М.В., Мухамеджанов Г.К., Трещалина А.В. Проектирование, производство и методы оценки качества нетканых материалов. Издание 3-е, перераб. и доп.М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2017, 288 с.
2. Трещалин Ю.М. Анализ структуры и свойств нетканых материалов. М.: Издательство «БОС», 2016, 192 с.
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1 М.: Наука, 1970 г., 492 с.
4.Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: 1960, 676 с.
5. Электронный ресурс. – Режим доступа: vocabulary.ru›Термины›tipologija.html
6. Электронный ресурс. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/
7. Электронный ресурс. – Режим доступа: http://ponjatija.ru/node/12893
8. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение (исходные текстильные материалы): Учебник длявузов / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев. 2 – е издание перераб. и доп. / Г.Н.Кукин, А.Н. Соловьев. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 216 с.
9. Жихарев А.П. Свойства волокнистых материалов при действии технологических и эксплутационных факторов. Учебное пособие по дисциплине «Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности» / А.П.Жихарев, О.В.Фукина, В.С. Белгородский, Н.Г.Бессонова. – М, ИИЦ МГУДТ. – 2006. – 204 с.
10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. – 4-е изд., стер. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1988. – 736 с.
11. Лыков А.В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах. - М.: Гостехиздат, 1954. 296 с.
12. Милн-Томсон Л.М. Теоретическая гидродинамика. М.: Мир, 1964. – 660 с.
13. Трещалин Ю.М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен: монография / Ю.М. Трещалин. - М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2015.- 220 с.

**участник Всероссийского конкурса молодёжных исследовательских проектов «ЛЕГПРОМНАУКА»*

УДК 677.026.424:625.877(043.3)

КРИТЕРИИ И КРИТЕРИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СВОЙСТВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

CRITERIONS AND CRITERIA EQUATIONS FOR ANALYSIS OF PROPERTIES AND PREDICT CHARACTERISTICS OF NONWOVENS MATERIALS*

Ю.М. Трещалин
Yu.M. Treschalin

Научно-исследовательский технологический центр, (Москва)
R&D Scientific Center, (Moscow)

В статье рассматривается возможность использования критериальных зависимостей для анализа свойств нетканых полотен. В результате получены критерии, позволяющие прогнозировать характеристики исследуемых материалов.

Ключевые слова: пористость, нетканое полотно, плотность, толщина, критерий, критериальные уравнения.

The article discusses the possibility of using criterion dependences for analysis of properties of nonwovens. The resulting criteria enable us to predict characteristics of the investigated materials.

Keywords: porosity, non-woven fabric, density, thickness, criterion, criteria equations.

Выявление наиболее значимых параметров и системообразующих связей, а также используя представление материала как сплошной среды, способствует разработке критериев подобия и построению критериальных зависимостей.

Теория подобия – как один из методов обобщения в науке или способ обобщенных переменных [1], широко используются для всестороннего изучения различных сред, т.к. системные исследования предполагают проведение эксперимента, что связано с измерением и обработкой статистических данных, а также повышением точности и достоверности оценок вычисляемых параметров волокнистых материалов.

Численная оценка подобных процессов или явлений устанавливается посредством критериев подобия, представляющих собой безразмерные функционалы от параметров объекта. Причем, критерии подобия одинаковы у подобных явлений. Тогда результаты исследования конкретного материала могут быть распространены на изделия, имеющие аналогичные особенности технологии производства, волокнистый состав, структуру и свойства. Объединение физических параметров в безразмерные критерии, является специфической особенностью рассматриваемого метода исследования сплошных сред.

А.А. Гухман [2] различает в теории подобия четыре категории безразмерных величин: константы подобия, параметрические критерии подобия, безразмерные комплексные переменные и критерии подобия. Физический смысл критериев подобия отражается в виде математической формулы и предшествующих ей вычислениях.

В теоретических исследованиях и расчетах сложных процессов соображения о физическом подобии играют большую роль. На первом этапе изучения задачи эти соображения помогают лучше разобраться в существе явлений и выбрать основные безразмерные аргументы, от которых зависит изучаемое явление. Далее наиболее простым образом обосновывается вид неизвестной функциональной зависимости [3].

Смысл разработки критериев заключается в том, что величины, характеризующие рассматриваемые объекты и процессы, являются взаимосвязанными и взаимозависимыми, вследствие чего можно воспользоваться математическим аппаратом, представляя

совокупность различных показателей в виде уравнений. Кроме того, анализ преобразования размерностей позволяет сделать вывод о том, что всякое соотношение между размерными величинами можно сформулировать в виде безразмерного показателя.

Изучение строения и свойств различных видов нетканых полотен дает возможность предположить, что протекание физико-механических, теплофизических и гидродинамических процессов в их структуре имеет принципиально одинаковый характер. В связи с этим целесообразно оценить численные значения основных характеристик полотен, разработав систему критериев, отражающих разнообразие их структуры и свойств.

В общем случае, волокнистый материал можно рассматривать с двух позиций: технологической и структурной, которые обусловлены способом производства.

Текстильное изделие, в большинстве случаев, характеризуется поверхностной плотностью $П_п$ и видом волокнистого состава. Учитывая, что все волокна (мононити) различны по своей природе, наиболее значимым показателем разнообразия структурных элементов следует считать их плотность $\rho_в$. Однако перечисленные показатели не полностью отражают представление о материале, как с позиции целевого использования, так и с точки зрения строения и свойств. Поэтому для полноты оценки готового продукта следует учитывать и толщину δ, что позволяет вычислить объемную плотность и пористость материала, а также иметь опосредованное представление о проницаемости, тепло и звукоизоляционных свойствах и т.д.

Структура материала, в основном определяется: характерным размером волокон (мононитей), который может быть выражен через диаметр d, и их взаимным расположением, что дает представление о свойствах (анизотропия или изотропность). Относительно течения жидкости в поровом пространстве, структуру материала определяют его пористость ξ и, зависящий от диаметра волокна и проницаемости материала, радиус условного капилляра $r_{эф}$, которые дают возможность численно оценить основные параметры процессов самопроизвольного впитывания или фильтрации. Кроме того, взаимное расположение структурных элементов и их размеры оказывают существенное влияние на проницаемость волокнистой среды, что особенно важно при изучении тепломассообменных и гидродинамических процессов.

Учитывая выше приведенные доводы, в качестве наиболее информативных характеристик текстильного, и, в частности, нетканого материала, включающих основные технологические, структурные и физические показатели, предлагаются следующие безразмерные критерии:

- технологический: $К_т = \frac{П_п \cdot 10^{-3}}{\rho_в \cdot \delta \cdot 10^{-3}} = \frac{П_п}{\rho_в \cdot \delta} = (1 - \xi)$;
- структурный: $К_с = \frac{\xi \cdot d}{r_{эф}}$;
- проницаемости: $К_п = \frac{k}{h \cdot d}$,

где: $П_п$ – поверхностная плотность, г/м^2;
$\rho_в$, d – плотность (кг/м^3) и диаметр (м) волокна (мононити) соответственно;
δ, ξ – толщина (мм) и пористость материала соответственно;
h – высота самопроизвольного подъема жидкости, м;
k – показатель проницаемости структуры материала, м^2.

Для характеристики течения жидкости, как правило, используется критерий РейнольдсаRe, который применительно к процессам фильтрации и самопроизвольного впитывания можно представить как:$Re = \frac{v_{ср}(h) \cdot r_{эф}}{\nu}$,

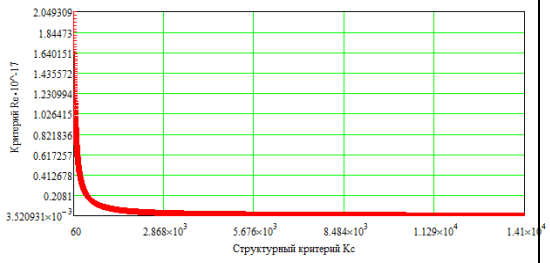
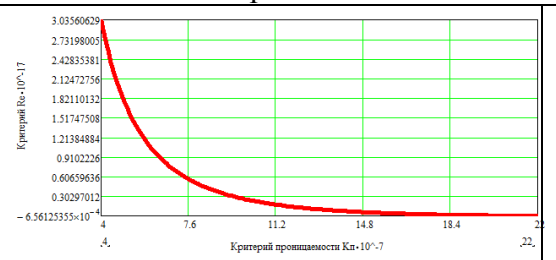
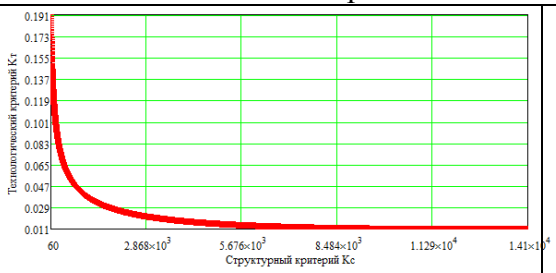
где: $v_{ср}(h)$ - средняя скорость впитывания жидкости, м/с;
$r_{эф}$ - радиус условного капилляра волокнистого материала, м;
ν – кинематический коэффициент вязкости, м^2/с.

Численный анализ, проведенный на основе имеющихся результатов экспериментальных и теоретических исследований нетканых полотен [4, 5] с использованием программного комплекса Mathcad 15, позволил выявить системную

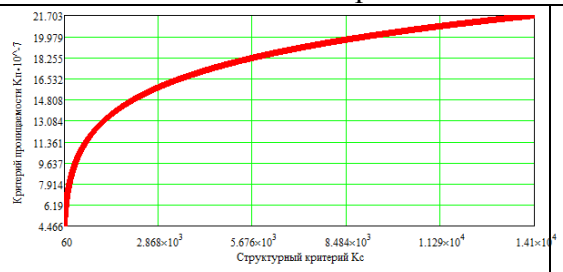
взаимосвязь между Re, $К_т$, $К_с$, $К_п$ в виде критериальных уравнений. В табл. 1 приведены полученные математические зависимости, графики, коэффициенты корреляции и относительная погрешность расчета соответствующих значений.

Таблица 1.

Результаты расчетов по определению взаимосвязи между критериями.

Математическая зависимость	График зависимости	Значение коэф-фициентакорреля-ции$К_k{}^2$	Величина относительной погрешности, %	
			min	max
Зависимость критерия $Re = \frac{v_{ср} \cdot r_{эф}}{\nu}$ от структурного критерия $К_с = \frac{\xi \cdot d}{r_{эф}}$ волокнистого материала				
$Re = [196{,}5504927 \cdot (К_с)^{-1{,}115} - 2{,}018145 \cdot 10^{-13} \cdot (К_с)^{2{,}5} + 3{,}6390757 \cdot 10^{-3}] \cdot 10^{-17}$		1,00	- 2,341	3,516
Зависимость критерия $Re = \frac{v_{ср} \cdot r_{эф}}{\nu}$ от критерия проницаемости $К_п = \frac{k}{h \cdot d}$ волокнистого материала				
$Re = [\frac{87{,}8404033}{(К_п \cdot 10^{-7})^{2{,}4}} + 3{,}5678135 \cdot 10^{-3} \cdot (К_п \cdot 10^{-7}) - 0{,}1318564] \cdot 10^{-17}$		0,999	- 3,027	4,906
Зависимость технологического критерия $К_т = \frac{П_п}{\rho_в \cdot \delta}$ от структурного критерия $К_с = \frac{\xi \cdot d}{r_{эф}}$ волокнистого материала				
$К_т = 1{,}5368819 \cdot К_с{}^{-0{,}5} + 3{,}5294938 \cdot 10^{-9} \cdot К_с{}^{1{,}5} - 7{,}2155446 \cdot 10^{-3}$		0,996	- 9,759	8,263

Продолжение таблицы 1

Зависимость критерия проницаемости $К_п = \frac{k}{h \cdot d}$ от структурного критерия $К_с = \frac{\xi \cdot d}{r_{эф}}$ волокнистого материала				
$К_п = (15{,}3716709 \cdot К_с^{\,0{,}1} - 7{,}0963161 \cdot 10^5 \cdot К_с^{\,-3{,}5} - 18{,}2588699) \cdot 10^{-7}$		1,00	- 2,291	2,944

Результаты исследований дают возможность сделать выводы о том, что:

- предложенные критерии: технологический $К_т = \frac{П_п}{\rho_в \cdot \delta}$, структурный $К_с = \frac{\xi \cdot d}{r_{эф}}$, проницаемости $К_п = \frac{k}{h \cdot d}$, и Рейнольдса $Re = \frac{v_{ср}(h) \cdot r_{эф}}{\nu}$ всесторонне характеризуют нетканые полотна (за исключением клееных) с позиции взаимосвязи структурных, физических и технологических показателей. В частности, условный модуль упругости и, как следствие, разрывная нагрузка, могут быть вычислены с использованием технологического критерия по формулам: $E_{НМ} = E_В \cdot [1 - (1 - К_т)^{0{,}01065367})]$и $R_{НМ} = 0{,}005 \cdot \delta \cdot E_В \cdot [1 - (1 - К_т)^{0{,}01065367})]$;

- численный анализ взаимосвязи критериев $Re(К_с)$, $Re(К_п)$, $К_т(К_с)$ и $К_п(К_с)$ позволил установить наличие математических зависимостей в виде следующих критериальных уравнений:

$$Re = [196{,}5504927 \cdot (К_с)^{-1{,}115} - 2{,}018145 \cdot 10^{-13} \cdot (К_с)^{2{,}5} + 3{,}6390757 \cdot 10^{-3}] \cdot 10^{-17};$$

$$Re = [\frac{87{,}8404033}{(К_п \cdot 10^{-7})^{2{,}4}} + 3{,}5678135 \cdot 10^{-3} \cdot (К_п \cdot 10^{-7}) - 0{,}1318564] \cdot 10^{-17};$$

$$К_т = 1{,}5368819 \cdot К_с^{\,-0{,}5} + 3{,}5294938 \cdot 10^{-9} \cdot К_с^{\,1{,}5} - 7{,}2155446 \cdot 10^{-3};$$

$$К_п = (15{,}3716709 \cdot К_с^{\,0{,}1} - 7{,}0963161 \cdot 10^5 \cdot К_с^{\,-3{,}5} - 18{,}2588699) \cdot 10^{-7};$$

Представление нетканого материала как сплошной среды в совокупности с теорией подобия позволяет применять разработанные критерии для прогнозирования характеристик полотен на стадии их изготовления.

Например, используя феноменологический подход в [4] проводится аналитическое исследование изменения эффективного коэффициента теплопроводности $\lambda_{эф}$от пористости ξматериала. В соответствии с физическоцй сущностью процесса теплообмена в пористых средвх зависимость $\lambda_{эф}(\xi)$ можно представить в виде:

$$\lambda_{эф}(\xi) = M \cdot \xi^N + Z \qquad (1)$$

где: $\lambda_{эф}(\xi)$ – эффективного коэффициента теплопроводности, Вт / (м·К);

ξ – пористость нетканого полотна;

M, Z – постоянные коэффициенты;

N – показатель нелинейности функции.

Предельные значения $\lambda_{эф}(\xi)$ определяются из граничных условий:

$$\lambda_{эф}(\xi) = \lambda_В \text{ при } \xi = 0; \lambda_{эф}(\xi) = \lambda_{воз} \text{ при } \xi = 1,$$

где: $\lambda_В$ – коэффициент теплопроводности полимера, из которого изготовлено волокно (мононить), Вт / (м·К);

$\lambda_{воз} = 0{,}02442$ – коэффициент теплопроводности воздуха при температуре 0 ÷ 10 ^{0}С, давлении $1{,}01 \cdot 10^5$ Па и относительной влажности 60 ÷ 65 %, Вт / (м·К);

С учетом принятых граничных условий, постоянные коэффициенты в уравнении (1) будут равны:$Z + M = \lambda_{воз}$ при ξ = 1;$Z = \lambda_В$при ξ = 0.

Тогда:$\lambda_{эф}(\xi) = (\lambda_{воз} - \lambda_{В}) \cdot \xi^{N} + \lambda_{В}$или$\xi^{N} = \frac{\lambda_{эф}(\xi) - \lambda_{В}}{\lambda_{воз} - \lambda_{В}}$. Отсюда:$N = \frac{\ln(\frac{\lambda_{эф}(\xi) - \lambda_{В}}{\lambda_{воз} - \lambda_{В}})}{\ln(\xi)}$

Для вычисления показателя нелинейности N использовались экспериментальные данные и технические характеристики нетканых материалов, выпускаемых на предприятиях: ООО «Термопол», ООО «Весь мир», ООО «Пинема», ООО «Сибур-Геотекстиль», ООО «Веротекс», изложенных в [6-9].

Анализ результатов расчета позволил установить 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 расчетных значений при помощи программного комплекса Mathcad 15. В качестве граничных условий приняты следующие величины $\lambda_{эф}(\xi)$,$N(\xi)$ и $\lambda_{эф}(\rho)$:

- для полиэфирных волокон:

$\lambda_{эф}(\xi) = 0{,}149$ и $N(\xi) = 0{,}62824$ при $\xi = 0$; $\lambda_{эф}(\xi) = 0{,}02442$ и $N(\xi) = 8{,}02725$ при $\xi = 1$.

- для полипропиленовых волокон:

$\lambda_{эф}(\xi) = 0{,}169$ и $N(\xi) = 0{,}830812$ при $\xi = 0$; $\lambda_{эф}(\xi) = 0{,}02442$ и $N(\xi) = 10{,}013817$ при $\xi = 1$.

- независимо от вида волокон: $\lambda_{эф}(\rho) = 0$ при $\rho = 0$.

В результате получены уравнения,отражающие зависимость эффективного коэффициента теплопроводности 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: $N(\xi) = 11{,}159271 \cdot \xi^{2} + 0{,}420431$.

Относительная погрешность расчетных значений по отношению к экспериментальным данным не превышает 6%.

Полученные формулы позволяют перейти к определению исследуемых характеристик, используя разработанные критерии подобия.

Выражая пористость через технологический критерий $\xi = (1 - K_{т})$, полученные расчетные формулы для определения эффективного коэффициента теплопроводности запишутся:

- для полотен, изготовленных из полиэфирных волокон:

$$\lambda_{эф}(K_{т}) = -0{,}120295 \cdot (1 - K_{т})^{2{,}5} - 2{,}66946 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - K_{т})^{0{,}5} + 0{,}149$$

$$N(K_{т}) = 7{,}268794 \cdot (1 - K_{т})^{28{,}5} + 0{,}601726$$

$$\lambda_{эф}(K_{т}) = 0{,}014033 \cdot (K_{т} \cdot \rho_{в})^{0{,}35} - 8{,}287732 \cdot 10^{-4} \cdot (K_{т} \cdot \rho_{в})^{0{,}75}$$

- для полотен, изготовленных из полипропиленовых волокон:

$$\lambda_{эф}(K_{т}) = -0{,}139048 \cdot (1 - K_{т})^{10} - 3{,}600934 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - K_{т})^{3} + 0{,}167$$

$$N(K_{т}) = 11{,}159271 \cdot (1 - K_{т})^{2} + 0{,}420431$$

$$\lambda_{эф}(K_{т}) = -0{,}010495 \cdot (K_{т} \cdot \rho_{в})^{1{,}05} + 0{,}014425 \cdot (K_{т} \cdot \rho_{в})$$

Таким образом, применение разработанных критериев $K_{т} = \frac{П_{п} \cdot 10^{-3}}{\rho_{в} \cdot \delta \cdot 10^{-3}} = \frac{П_{п}}{\rho_{в} \cdot \delta} = (1 - \xi)$, $K_{с} = \frac{\xi \cdot d}{r_{эф}}$ и $K_{п} = \frac{k}{h \cdot d}$ позволяет с достаточной для практических расчетов точностью

прогнозировать теплоизоляционные свойства нетканых материалов на стадии их изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В. А. Теория подобия и моделирования. — М.: Высшая школа, 1976. - 479 с.
2. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. 2-е изд. — М.: Высшая школа, 1973. — 296 с.
3. Электронный ресурс. – Режим доступа: physicalsystems.org›index07.09.1.html
4. Трещалин Ю.М. Анализ структуры и свойств нетканых материалов. М.: Издательство «БОС», 2016, 192 с.
5. Трещалин Ю.М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен: монография. - М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2015.- 220 с.
6. 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.
7. 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.
8. Электронный ресурс. – Режим доступа: http://www.wesmir.com/specifications.
9. Электронный ресурс. – Режим доступа: http://stroymat2000.ru/kategorii-tovarov/uteplitel-rulony-209/ uteplitel-shes-akustik-1200h600h 50mm-shelter-ekostroi-2828.html

**участник Всероссийского конкурса молодёжных исследовательских проектов «ЛЕГПРОМНАУКА»*

УДК 678-4

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ ЦЕЛЬНОТКАНЫХ 3D ПРЕФОРМ ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ*

DEVELOPMENT OF COMPUTER GEOMETRICAL MODEL OF STRUCTURE OF INTEGRAL 3D PREFORMS FOR COMPOSITE PRODUCTS*

А.М. Киселев
A.M. Kiselev

ООО НПО «Программируемые Композиты», Россия, (г. Кострома)
LLC NPO "Programmable Composites", Russia, Kostroma
E-mail: laibach@mail.ru

Статья посвящена разработке системы проектирования геометрической структуры цельнотканых 3D преформ сложной пространственной конфигурации. Разработана математическая модель определения траекторий центров нитей преформы, изготавливаемой по технологии 3D ткачества. Разработано программное обеспечение проектирования цельнотканых 3D преформ произвольной сложной конфигурации «ПРЕФОРМА». Приведены примеры построения сложных структур 3D тканей.

Ключевые слова: 3D ткачество, преформа, композиционные материалы, программирование, проектирование.

The article is devoted to the development of a system for designing the geometric structure of seamless 3D preforms of a complex spatial configuration. A mathematical model is developed for determining the trajectories of the centers of the preform's yarns manufactured using 3D weaving technology. The software for designing seamless 3D preforms of arbitrary complex configuration "PREFORM" was developed. Examples are given of constructing complex structures of 3D tissues.

Keywords: 3D weaving, preform, composite materials, programming, design.

Сегодня производство композиционных материалов является одним из приоритетных направлений развития техники и технологий. Одним из самых перспективных способов получения композиционных изделий является технология RTM (Resin Transfer Moulding) – метод инжекции связующего в закрытую форму или ее разновидности – LRTM – инжекции связующего при помощи вакуума. Преимуществом данных технологии является получение готовой композитной детали за одну операцию без ее последующей обработки. Для реализации данной технологии существует проблема получения текстильной преформы с формой очень близкой к реальной геометрии изделия. Наиболее перспективной технологией получения преформы является технология 3D ткачества, позволяющая получать высокие значения объемной плотности преформы по сравнению с другими технологиями и не допускать расслоение композита при сдвиговых, знакопеременных и динамических нагрузках.

Технология производства преформы начинается с этапа ее проектирования. При этом самой трудоемкой задачей является выбор вида переплетения внутри преформы или ее структуры для обеспечения прочности будущего композиционного изделия при действии внешних силовых факторов. Совершенно очевидно, что построение системы проектирования 3D преформ необходимо выполнять на уровне одиночной нити и с применением современных компьютерных технологий. Анализ систем проектирования 3D тканых структур [1-5] показал наличие зарубежного программного обеспечения различных производителей – WeaveStudio (EAT), ScotCAD Textiles Ltd. (ScotWeave Design Software), WiseTex : (Germany), Arahne (Словения), TexGen v. 0.75 (U Nottingham), ESI GROUP (Франция), Digimat MF & FE (eXstream), TechText CAD и Weave Engineer (TexEng Software Ltd) и отсутствие специализированного программного обеспечения в данном направлении в РФ.

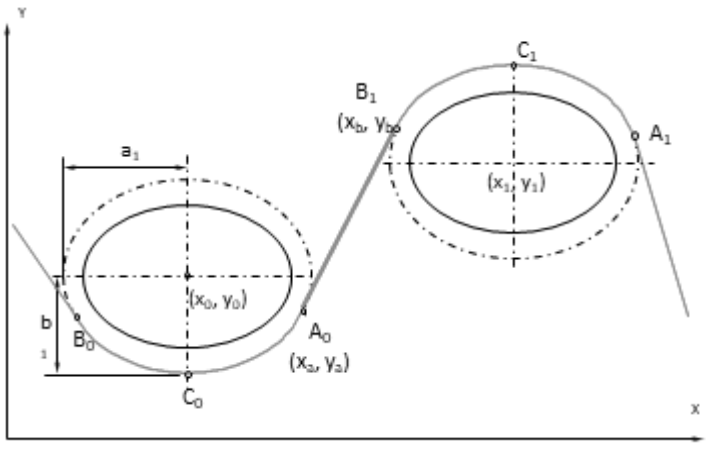
Однако имеющиеся зарубежные системы проектирования структуры 3D тканей ориентированы на построение ее структур только в простейшем объеме параллелепипеда для «представительского объема» (порядка 1-3 см^3) с возможностью образования ткани с одной структурой раппорта. Систем автоматизированного проектирования цельнотканых преформ сложной объемной конфигурации на сегодняшний день из открытых источников информации нет. Основы подходов к разработке систем проектирования и прогнозирования физико-механических свойств композиционных материалов на основе 3D текстильных преформ изложены в [6]. В статье приводится результат решения данной задачи – создание отечественного программного обеспечения проектирования цельнотканых 3D преформ сложной пространственной конфигурации.

На сегодняшний день существует огромное количество работ и математических моделей в области однослойной ткани, что позволяет говорить о том, что теория однослойной ткани достаточно широко изучена и периодически совершенствуется многими авторами. Однако единой теории строения 3D тканей пока не существует. Также не существует в настоящее время моделей и программного обеспечения, позволяющего строить геометрическую модель структуры цельнотканой 3D преформы сложной пространственной конфигурации. Одним из основных этапов создания системы проектирования сложной объемной структуры преформы является создание ее геометрической 3D модели на основе технологии 3D ткачества.

Геометрическая модель ткани представлена как сложная система переплетений основных нитей, находящихся в одной плоскости в пределах одного поперечного сечения ткани, меняющих свое расположение от сечения к сечению и связанных друг с другом уточными нитями. Таким образом, задача 3-х мерного моделирования геометрической структуры 3D ткани превращается в квази-трехмерную, то есть моделирование в 2D, меняющееся ступенчато по 3-ей координате на толщину диаметра основной нити. За основу построения траекторий основных нитей в сечении 3D ткани взята модель Пирса [7] для эллиптической формы поперечного сечения уточных нитей.

В качестве допущения в модели принята гипотеза сплошности основных и уточных нитей, поскольку реальные расчеты на уровне микрофиламентов нитей пока невозможны. Разработана математическая модель геометрического положения траекторий основных нитей в поперечном сечении ткани, которая в сочетании с уравнениями траекторий уточных нитей дают возможность строить 3D геометрическую модель структуры преформы на уровне нити.

На рисунке 1 приведен фрагмент математической модели для определения координат траекторий центров основной нити в поперечном сечении 3D ткани.



$$\begin{cases} y_a = y_0 + k\dfrac{b_1\sqrt{a_1^2-(x_a-x_0)^2}}{a_1}; \\ y_b = y_a - k\dfrac{b_1(x_a-x_0)(x_b-x_a)}{a_1\sqrt{a_1^2-(x_a-x_0)^2}}; \\ y_b = y_1 - km\dfrac{b_1\sqrt{a_1^2-(x_b-x_1)^2}}{a_1}; \\ x_a - x_0 = m(x_1-x_b); \end{cases}$$

A − точка схода нити; B − точка набегания нити

Рис. 1 Математическая модель геометрического положения основной нити в поперечном сечении 3D ткани

Для моделирования структуры преформы, а по сути самого ткацкого переплетения, введено модифицированное название вокселя, известного из терминологии томографии, – псевдо-воксель,. В данной работе, псевдо-воксель, это объемный элемент твердотельной модели заданной детали, содержащий в своем объеме один элемент переплетения основной и уточной нитей, как показано на рис. 2.

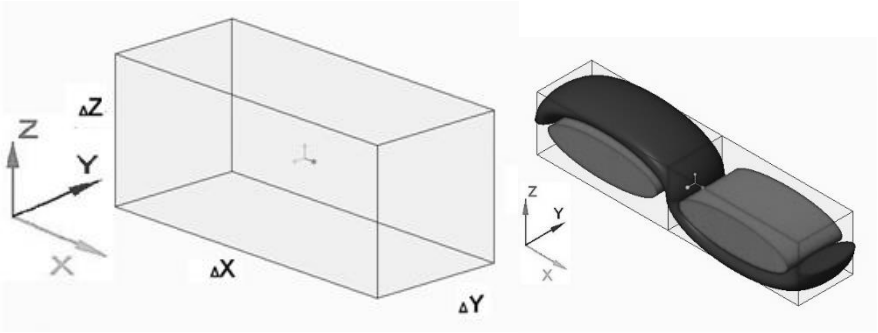


Рис. 2. Графическое изображение дискретного объема псевдо-вокселя
и его смыслового значения

Размеры псевдо-вокселя напрямую зависят от размеров поперечного сечения уточной и основной нитей. Заполнение выбранного поперечного сечения основными и уточными нитями происходит по следующим правилам:

1. Исходная геометрическая модель заданной детали представляется в псевдо-воксельном формате с разбивкой по сечениям с толщиной равной диаметру уточной нити.
2. Выбранное сечение детали заполняется проектировщиком с учетом раппорта ткани, выбираемого из базы данных переплетений, для автоматизации решения задачи проектирования.
3. В каждом сечении возможно задание множества различных раппортов при соблюдении условий непрерывности нитей основы.
4. Для ускорения работы проектировщика используют различные инструменты копирования элементов ткацких структур – на уровне раппорта в сечении, самого сечения или совокупности сечений.
5. Применение инструментов копирования или ручного заполнения всех сечений исходной детали образует твердотельную модель преформы, готовой для дальнейших ее расчетов с CAD или CAE системах.

Основная концепции проектирования 3D тканых преформ и элементов ее структуры представлена на рис. 3.

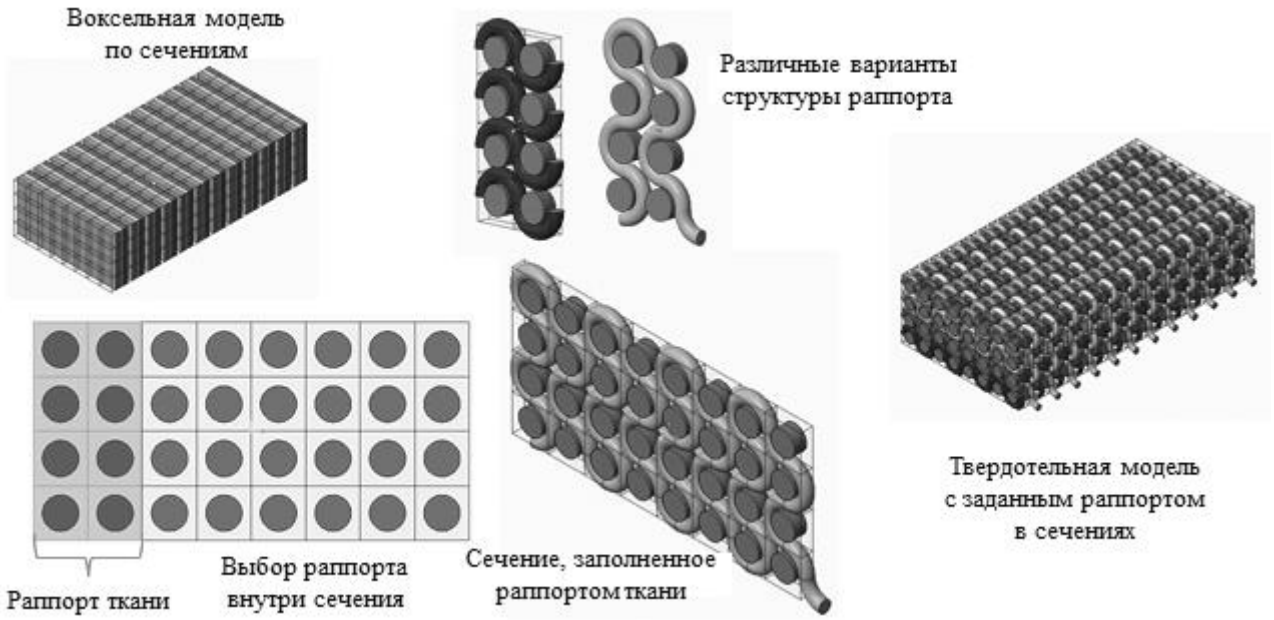


Рис. 3 Реализация концепции проектирования 3D тканых преформ

Программное обеспечение системы проектирования «Преформа» написано на языке C++ для операционной системы семейства Windows. При разработке было создано геометрическое ядро конструктивной блочной геометрии (CSG). Ядро содержит набор классов описания примитивных геометрических объектов: точка, вектор, полигон, плоскость. Также разработаны вспомогательные функции аналитической геометрии, векторной и линейной алгебры, набор операций над примитивными геометрическими объектами и 3D телами: вращение, смещение, масштабирование, создание с помощью вытягивания контура. Ядро выполняет операции над бинарными деревьями, а также операции слияния, копирования, разделения деревьев, обход деревьев левосторонний и в ширину. 3D-модели хранятся в виде полигонов, которые представляют собой индексы ссылок на вершины, воксельная модель хранится в виде растровой матрицы. В модуле разработан минимально необходимый функционал для построения контурных элементов, а также функции, которые позволяют создать контуры простой формы: треугольник, прямоугольник, шестигранник, эллипс, окружность, произвольный. По заданному виду контура создается вытянутая поверхность на указанную длину или по определенной траектории. При построении сложных моделей применяются булевы операций над 3D телами: вычитание, объединение, исключение.

Для отображения 3D модели применяется графический интерфейс OpenGL с возможностью вращения, приближения, удаления и перемещения полученного геометрического примитива. Модель выгружается/загружается в обменном формате STL в геометрическое ядро.

Существенным преимуществом разработанной системы является наличие графического редактора структуры ткани в сечениях. Это принципиальное отличие от существующих систем проектирования, позволяющее проектировщику визуализировать наглядно весь процесс формирования внутренней структуры ткани, а не пользоваться условными системами кодирования или их переводом в графический вид. При этом разработано много авторских эвристических алгоритмов. Другим преимуществом системы является разработка собственного 3D Viewer, встроенного в систему. Таким образом, решается проблема представления разрабатываемого ПО в виде независимой системы проектирования и возможности проектировщику в любой момент осуществлять визуальный контроль спроектированной структуры в режиме on-line. На рис. 4 представлен фрагмент заполнения одного из сечений 3D структуры преформы в разработанном программном обеспечении.

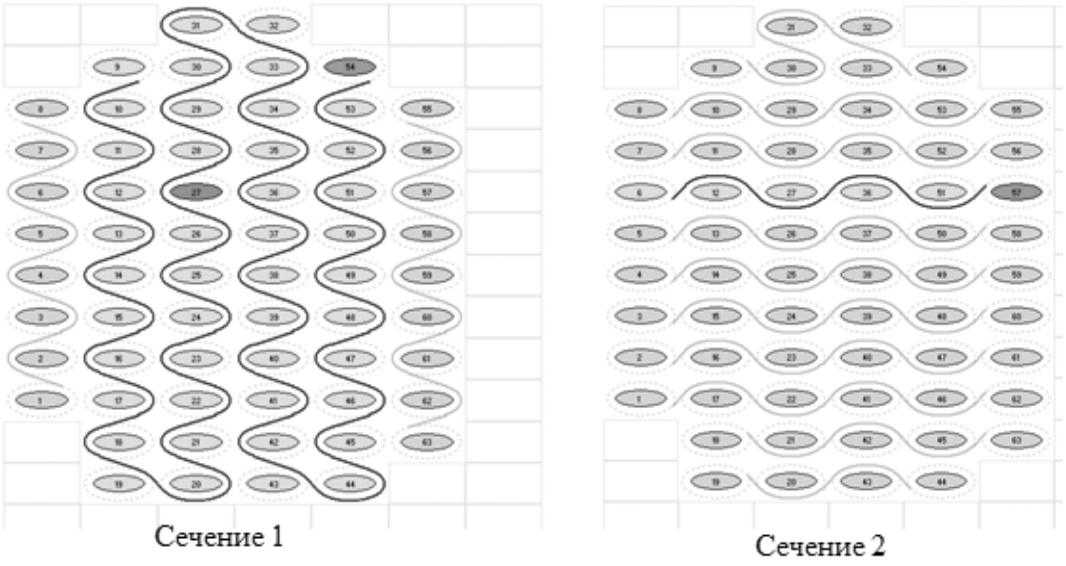


Рис. 4. Представление траекторий нитей, в двух сечениях в сечениях преформы, находящихся в противофазе

Благодаря универсальным возможностям ПО, возможно моделирование любых текстильных структур 3D тканей таких как: многослойная, слоисто-каркасная, ортогональная, оболочечная и др. Применение разработанной системы проектирования позволяет даже моделировать отдельные дефекты структуры 3D ткани на уровне одиночных нитей и таким образом разработать систему разбраковки готовых изделий.

Забегая вперед, разработанная система «ПРЕФОРМА» позволяет решать и реверсивные задачи проектирования – строить геометрическую модель 3D преформы по ее томографическому изображению, что позволяет решать задачи оценки ее качества изготовления. Осуществлять проектирование сложной структуры преформы возможно не только с применение графического редактора системы. Возможно моделирование структуры ткацких переплетений и по традиционно задаваемым схемам переплетения нитей в 3D тканых структурах.

Примеры моделирования различных структур 3D тканей по традиционно заданной структурной схеме переплетения нитей приведены на рис. 5.

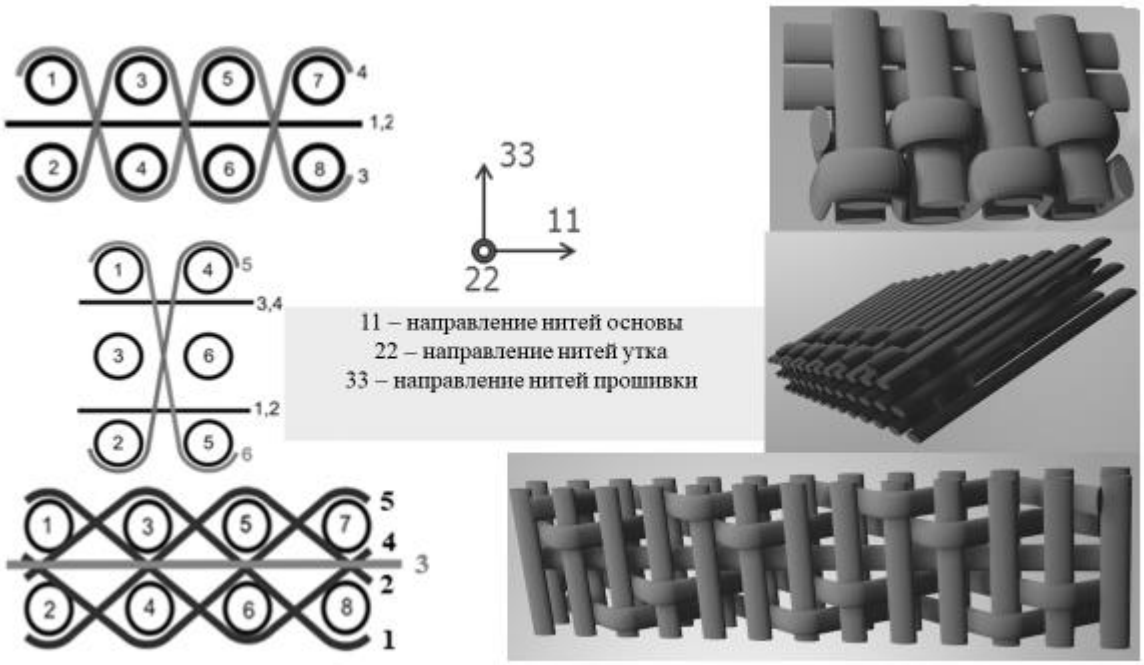


Рис. 5 Примеры моделирования различных структур 3D тканей

Демонстрация возможностей разработанного ПО для получения пространственных объемных преформ, получаемых по технологии 3D ткачества приведена на рис. 6. На нем приведен внешний вид заданной детали сложной пространственной конфигурации в формате поверхностного представления 3D модели *.stl, которая является входным файлом для последующей обработки в системе «ПРЕФОРМА».

Для построения преформы в заданном объеме выбраны нити основы и утка с диаметром поперечного сечения 1 мм. Сечение нитей описывалось эллипсом с соотношением диагоналей 1:4. Вид ткацкого переплетения – полотняное. Габаритный размер заданной детали 420 мм.

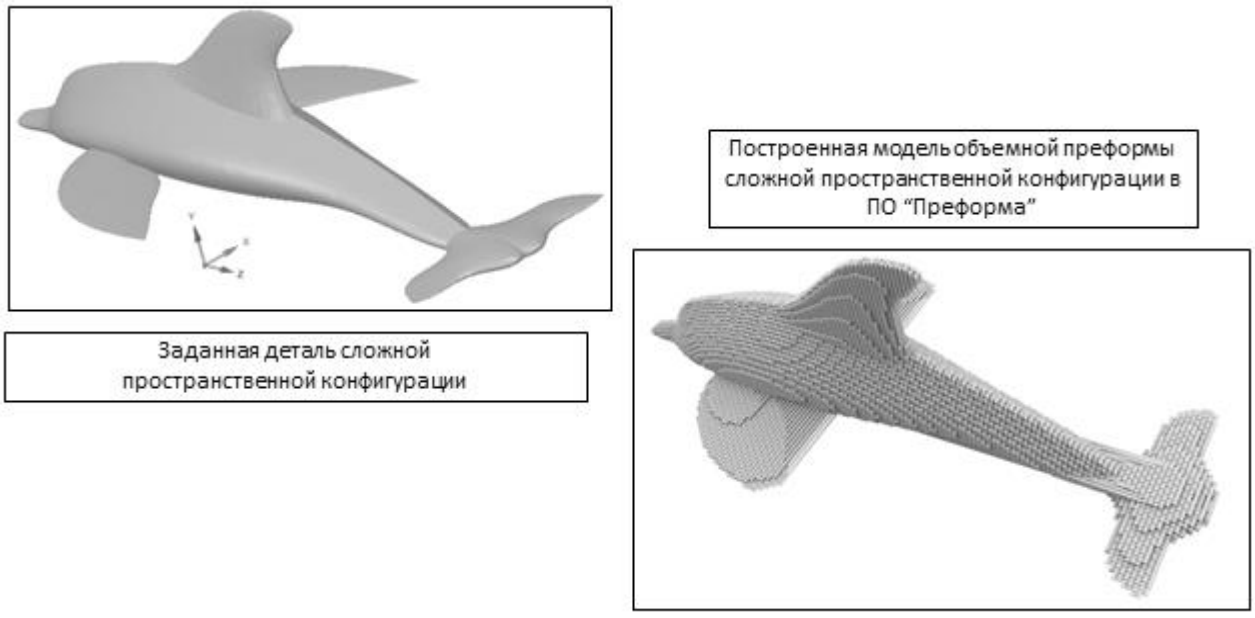


Рис 6. Пример построения цельнотканой 3D преформы сложной пространственной конфигурации по заданному чертежу детали

Преимущество разработанной системы проектирования цельнотканых 3D преформ сложной пространственной конфигурации «ПРЕФОРМА»:

1. Возможность получения 3D модели преформы для детали произвольной формы.

2. Наличие графического редактора 3D структур online упрощает работу пользователя и дает возможность получения любых структур переплетений. Возможно создание собственной базы пользовательских переплетений.

3. Возможность моделирования любых структур 3D тканей: многослойная, слоисто-каркасная, ортогональная, оболочечная и др. Однослойная ткань – частный случай.

4. Возможность получения различных видов переплетений по объему преформы.

5. Проектирование структуры преформы в соответствии с технологией изготовления (возможность формирования CAM модуля одновременно с проектированием CAD модели ткани).

6. Автоматизация построения структуры преформы с применением широкого набора инструментов копирования.

7. Независимость ПО от сторонних разработчиков. Наличие встроенного 3D Viewer.

Вывод:

Разработана новая отечественная система проектирования цельнотканых 3D преформ сложной пространственной конфигурации.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.V. Lomov, D.S. Ivanov, G. Perie, I. Verpoest «Modelling 3D fabrics and 3D-reinforced composites: challenges and solution» 1st world conference on 3D fabrics, Manchester 9-11.04.2008

2. CAD/CAM systems for weaving - ScotCad Textiles Limited. Электронный ресурс. – Режим доступа http://www.scotweave.com.

3. CAD/CAM systems for weaving EAT. Электронный ресурс. – Режим доступа http://www.designscopecompany.com.

4. CAD/CAM systems for weaving –NedGraphics. Электронный ресурс. – Режим доступа http://www.nedgraphics.com.

5. CAD /CAM systems for weaving – Arachne. Электронный ресурс. – Режим доступа http://www.arahne.si

6. Киселев А.М. Проектирование и прогнозирование физико-механических свойств композиционных материалов на основе 3d текстильных преформ /А.М. Киселев, М.В. Киселев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1 – С. 325 - 329.

7. Peirce, F.T., The geometry of cloth structure. Journal of the Textile Institute. 1937. P.T45-T97.

**участник Всероссийского конкурса молодёжных исследовательских проектов «ЛЕГПРОМНАУКА»*

УДК 677.075

ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ – ТРЕНД ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА

INNOVATIVE DEVELOPMENTS - TREND OF ACTIVITY OF THE INSTITUTE

П.М. Шелудяков, В.И. Шавкин
P.M. Sheludyakov, V.I. Shavkin

ООО «Научно-исследовательский институт нетканых материалов», (г. Серпухов)
OOO "Nonwovens Scientific Research Institute"
E-mail: nri@inbox.ru

В статье представлены основные разработки института в последние годы:
- фильтрующие и сорбционные нетканые полотна;
- биологически активные нетканые материалы, обеспечивающие комфортные условия жизнедеятельности человека;
- нетканые материалы, наполненные наноразмерными компонентами.
Ключевые слова: Инновационные нетканые материалы, исследование, разработка, фильтрующие, сорбирующие, защитные, наноразмерные частицы, модифицированные волокна.

Abstract: The article presents the main scientific developments of the Institute in recent years:
- filtering and sorption nonwoven fabrics;
- biologically active nonwoven materials, providing comfortable conditions for human life;
- nonwoven materials filled with nanoscale components.
Keywords: Innovative nonwovens, research, development, filtering, sorbing, protective, nano-sized particles, modified fibers.

В 1963 г. решением Госкомитета по науке и технике организован Всесоюзный научно-исследовательский институт нетканых текстильных материалов (ВНИИНТМ).

Пятьдесят пять лет своей истории НИИ нетканых материалов занимается исследованиями в области создания нетканых материалов на основе текстильных волокон и нитей.

Отраслевая принадлежность института к текстильной промышленности в прошлом наложила свой отпечаток на научную специализацию нашей деятельности в настоящем.

Научные направления деятельности института в последние годы обеспечиваются как за счет нового научного задела, так и рационального использования наработанного десятилетиями научного потенциала, постоянного совершенствования применяемых технологий и внедрением научных разработок на научно-производственной базе института и на промышленных предприятиях страны.

Поэтому научный поиск направлен на изучение потребностей потенциальных потребителей и улучшение качественных характеристик выпускаемой продукции и расширение ее ассортимента при оптимальном соотношении цена/качество. Достигается это как за счет совершенствования известных технологических приемов, так и за счет создания новых технологических операций и отделки нетканых материалов новых структур и технических средств для их реализации. В соответствии с этим определяются и основные, наиболее значимые приоритетные направления исследований, что во многом способствует решению сложнейшей задачи сегодняшнего дня - импортозамещению.

Ведущим научным направлением в деятельности института по-прежнему является создание высокоэффективных фильтрующих и сорбционных нетканых материалов, в т.ч. для защиты от техногенных воздействий.

Фильтрующие нетканые материалы разрабатываются и подрабатываются для использования в различных отраслях промышленности, черной и цветной металлургии, металлообрабатывающей, деревообрабатывающей промышленности, на предприятиях по производству минеральных удобрений. Материалы предназначены для очистки воздуха,

жидких суспензий и растворов, ГСМ, сточных вод, для улавливания аэрозолей кислот, щелочей и т.д. Ряд разработанных фильтровальных полотен предназначен для работ в экстремальных условиях совместного воздействия агрессивных сред и высоких температур.

При использовании теоретических основ процессов фильтрации на базе традиционных волокон и нитей создаются конкурентоспособные фильтрующие материалы с чистотой фильтрации до 5-10мкм и термостойкостью до 240^0С.

На сегодняшний день в институте на опытно-экспериментальной базе выпускается более 50 позиций фильтрующих материалов, и находятся в разработке еще 8. На 5 видов материалов поддерживается патентная защита.

Для экологической защиты окружающей среды разрабатываются сорбционные материалы, предназначенные для сбора и удаления загрязнений нефтепродуктами с поверхности почвы и воды, для очистки бытовых, промышленных, сточных и ливневых вод.

Достигнутая сорбционная емкость данных материалов сегодня составляет 10-25 кг/кг.

Число циклов регенерации для повторного использования не менее 10, достигнуто уменьшение концентрации при доочистке сточных вод от нефтепродуктов – в 8 раз; взвешенных частиц – в 2 раза.

Сорбционные материалы и изделия из них защищены тремя патентами на изобретения и свидетельством на товарный знак.

В рамках выполнения государственного заказа по Государственному контракту с Федеральным агентством по науке и инновациям разработан новый материал–носитель биомассы, обладающий высокой поглотительной способностью в отношении нефтепродуктов и устойчивостью к многократной механической регенерации. Сопоставление свойств нетканого бионосителя с разработками, определяющими мировой уровень, свидетельствуют о том, что биосорбент, разработанный нами, обладает более прочной адгезией биомассы к нетканому носителю, что позволяет расширить область применения таких материалов, особенно для условий очистки сточных вод в динамическом режиме.

По-прежнему важным научным направлением в работе института является разработка и освоение новых перевязочных и хирургических материалов и изделий санитарно-гигиенического назначения, в т.ч. для чрезвычайных ситуаций. Институтом разработан целый ассортиментный ряд нетканых полотен и изделий медицинского назначения, опытно-промышленные партии которых выпускаются на экспериментальной базе института. К ним относятся: термоскрепленные нетканые полотна для головных уборов, масок, бахил; гигроскопичные полотна для тампонов; холстопрошивные влагопоглощающие полотна для специальной одежды; атравматичные материалы; нетканые материалы для изготовления лечебных одеял, применяемых при реабилитации пациентов. На выпускаемый ассортимент продукции разработаны технические режимы, научно-техническая документация; получены 3 патента.

В настоящее время специалисты института работают над созданием биологически активных материалов, в т.ч. с антимикробными свойствами. Исследования проводятся в направлении создания полифункциональных нетканых материалов для лечебно-профилактических перевязочных изделий, обеспечивающих минимальную травматизацию раневой поверхности при наложении и снятии, обладающих антимикробными свойствами и высокой сорбционной емкостью. К сожалению, институту трудно конкурировать с огромным количеством современных дешевых медицинских материалов, ввозимых из-за рубежа. В этой связи особые надежды мы связываем с дальнейшей реализацией государственной программы импортозамещения в здравоохранении.

Не менее важным научным направлением является создание нетканых материалов, обеспечивающих комфортные условия жизнедеятельности человека, в т.ч. безопасные условия труда. В рамках данной проблемы разработана целая серия новых высокоэффективных видов нетканых материалов для средств профессиональной защиты персонала, работающего в экстремальных условиях. Наибольший интерес представляют:

- теплозащитные нетканые материалы, используемые при изготовлении боевой одежды пожарных и для работников Крайнего Севера;
- кислотозащитные нетканые материалы, используемые при пошиве одежды для защиты от воздействия минеральных кислот и сильнодействующих ядовитых веществ (паров хлора, аммиака, фосфорсодержащих соединений, гидразинопроизводных и др.) для изготовления респираторов, защищающих органы дыхания от воздействия фтористого водорода и др.;
- влагопоглощающие нетканые материалы, предназначенные для нательного белья, спортивных маек, костюмов и др.;
- многофункциональные нетканые материалы для обуви и обувной промышленности.

К важному научному направлению относится также разработка технологии нетканых материалов для изготовления высокоэффективных средств профессиональной защиты с использованием новых видов волокнистого сырья (новых ионообменных волокон, термостойких волокон, высокомодульных волокон и их отходов).

К числу требующих дальнейших исследований и реализации в промышленных масштабах относится технология, изначально ориентированная на переработку коротковолокнистых текстильных отходов с длиной волокон от 2 до 15мм, которая разработана на базе новой системы холстоформирования.

Нетканые материалы, изготовленные по новой технологии, содержат в своей структуре от 80 до 95% коротких волокон. Материалы вследствие стохастического характера расположения волокон и вида их скрепления обладают уникальными свойствами по упругости и устойчивости к многократному сжатию. Степень упругого восстановления составляет 73-89% при объемной плотности 32-70 кг/м^3 и толщине до 50мм.

Разработанная необходимая конструкторская и нормативно-техническая документация для промышленного освоения данной технологии сегодня не востребована отечественными машиностроителями.

В последние годы в научных планах института появилась тематика, связанная с нанотехнологиями.

На наш взгляд, к перспективным направлениям можно отнести работы института по созданию нетканых материалов, наполненных наноразмерными структурными компонентами. На сегодняшний день выполнены две работы, отличающиеся друг от друга по технологическому принципу введения и закрепления наноразмерных функциональных частиц в структурах материалов.

Институт в рамках государственного заказа проводил исследования по наномодифицированию нетканых материалов наноразмерными частицами металлов и их комплексными соединениями.

Наполнение структуры нетканого материала наноразмерными функциональными частицами осуществляется посредством наномодификации волокон непосредственно в процессе их подготовки к переработке в нетканые материалы.

Разработан технологический способ наномодифицирования волокон с целью придания им антибактериальных свойств, который основан на совмещении процессов наномодифицирования и обработки волокон антистатическими препаратами перед чесанием, который защищен патентом РФ.

Для достижения широкого спектра антимикробной активности нетканых материалов исследованы различные композиции и найден препарат с наночастицами серебра, на который подана и зарегистрирована заявка на международный патент. К сожалению, институту не удалось продолжить исследования в этом направлении. Между тем, дальнейшие исследования могут привести к созданию не только материалов с антибактериальными свойствами, но и материалов с повышенной стойкостью к ультрафиолетовому облучению, возможностью связывания опасных токсичных веществ, устойчивостью к жестким излучениям.

Второе направление в области нанотехнологии требует создания нового технологического оборудования, поскольку специфика формирования новой структуры нетканого материала сорбционно-фильтровального назначения, заполненной неволокнистыми компонентами повлекла за собой создание целого ряда новых технологических операций, неиспользуемых в текстиле.

В данной работе впервые реализуются технологические основы формирования структуры нового вида текстильного носителя активных частиц, в т.ч. наноразмерных, разработанные на базе новой, созданной в институте технологии холстоформирования и соответствующего оборудования. При этом введение частиц в структуру материала осуществляется в процессе его формирования.

Способ введения частиц, выстраивания и фиксации структурной композиции с равномерным и стабильным характером распределения компонентов по всему объему формируемого материала является ноу-хау нашего института. Пока работа по данному направлению по объективным и существенным причинам приостановлена.

Следует также отметить, что институт совместно с ФГБУ Институт химии растворов им. Г.А.Крестова РАН участвовал в исследованиях новых модифицированных волокон в рамках ФЦП «Национальная технологическая база». Предполагается, что продолжение, развитие и реализация данных работ будет осуществляться в рамках проектов технологических платформ «Медицина будущего» и «Текстильная и легкая промышленность»

В заключение необходимо отметить, что для выполнения работ, имеющих социальную направленность (медицина, экология, санитария) необходимы консолидация усилий специалистов в области различных научных дисциплин и серьезные финансовые средства, в первую очередь бюджетные.

УДК 678:338.35

РЫНОК УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН К НАЧАЛУ 2018 ГОДА

THE MARKET FOR CARBON FIBERS BY THE BEGINNING OF 2018

А.А. Лысенко, О.В. Асташкина, Н.В. Русова, И.О. Цыбук
A.A. Lysenko, O.V. Astashkina, N.V. Rusova, I.O. Tcybuk

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
E-mail:thvikm@yandex.ru

В работе приводится анализ развития производства углеродных волокнистых материалов, приводятся сведения по объемам спроса, мощностям производства и в некоторых случаях по объемам выпуска углеродных волокон. Материалы характеризуют как производство углеродных волокон в мире, так и в России

Ключевые слова: углеродные волокна, потребительский спрос, мощности производства.

The paper analyzes the development of the production of carbon fiber materials, provides information on the volume of demand, production capacity and, in some cases, the volume of production of carbon fibers. The materials characterize both the production of carbon fibers in the world and in Russia.

Keywords: carbon fiber, consumer demand, production capacity.

В 2005 и 2007 гг. были опубликованы обзоры, наиболее полно характеризующие состояние производства и потребления углеродных волокон (УВ) к 2005 г. и на перспективу до 2010 г. [1, с. 33; 2, с. 4]. В этих работах указывалось, что мировое производство УВ к

2005 г. должно было достичь 31-36 тыс. тонн, а потребительский рынок УВ к 2010 г. должен был составить 45-50 тыс. тонн в год.

Кроме того в статье [2, с. 7] приведена довольно редкая информация об истории развития производства активированных УВ (АУВ), о выпуске АУВ в мире (600-2000 тонн в год) и странах СНГ (ориентировочно 50-100 тонн в год).

К сожалению, нам неизвестны более поздние (2007-2011 гг) Российские статьи и обзоры, полновесно характеризующие отрасль углеродных волокон и волокнистых материалов, в частности для армирования композитов. Частичным исключением является доклад Российской компании UMATEX Group (композитный дивизион Госкорпорации «Росатом») 2017 года, в котором прогнозируется рост мирового рынка УВ к 2025 году до 161 тыс. тонн. В России прогнозируется рост потребительского рынка УВ в 10 раз, т.е. с 0,3 до 3 тыс. тонн/год [3, с. 2], однако в этом докладе нет анализа рынка УВ в целом.

Значительно менее оптимистичны данные по потреблению УВ, приведенные в работе [4, стр. 21]. В 2010 г. потребление составило 207,5 тонн, а в 2013 г. должно было достичь 785 тонн.

Производство УВ в России оценивается очень скромно – не более 1400 тонн в год по состоянию на 2015-2017 гг. Однако в 2019 году планируется запуск завода по производству полиакрилонитрильных (ПАН) волокон мощностью 5 тыс. тонн/год, что, теоретически, может позволить повысить выпуск УВ до 2000-2500 тонн. Оценки по росту спроса на УВ к 2022 г. – не более 120 тыс. тонн в год; 2016 г. – 64 тыс. тонн; 2017 г. – 72 тыс. тонн. Выпуск УВ в мире в 2016 г. составил 106,1 тыс. тонн.

В работах [5, с. 2;6, с.4] приводится оценка потребления (спроса): 2015/2016 гг – 58-64 тыс. тонн; 2017 г. – 72 тыс. тонн; 2022 г. – не более 120 тыс. тонн [6, с. 4]; 2025 г. – 148 тыс. тонн [5, с. 2].

Данные различных источников значительно отличаются. Китайские исследователи [7, с. 3] оценили глобальный спрос на УВ в 2016 г. в 83 тыс. тонн. В тоже время по данным доклада [5, с. 4] выпуск УВ в мире в 2015 г. составил 64 тыс. тонн, а в 2025 г. ожидается в объеме 161 тыс. тонн.

В тоже время в Китае планируется ускоренное развитие отрасли производства углеродных волокон.

К сожалению, приходится констатировать, что перспективы развития производства УВ и волокнистых материалов на их основе в России выглядит довольно проблематично.

В частности это связано с отсутствием сырьевой базы как для УВ из ПАН, так и для УВ из гидратцеллюлозы.

В докладе также будут освещены вопросы поиска новых эффективных прекурсоров для производства УВ и предположения по перспективам развития отрасли УВ, как в мире, так и в России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысенко А.А. Тенденции формирования мирового рынка углеродных волокон (обзор) // Технический текстиль. 2005. № 12, С. 33-37.

2. Лысенко А.А. Перспективы развития исследований и производства углеродных волокнистых сорбентов // Химические волокна. 2007. № 2. С. 4-11.

3. Тюнин А.В. Масштабирование рынка композитных материалов в РФ // Межотраслевая конференция по вопросу применения композитов и изделий из них в нефтегазовой отрасли, 9 октября 2017 года, СПб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://umatex.com/upload/iblock/878/878616fd41d397ade2988168d2e02899.pdf (дата обращения:25.05.2018 г.).

4. Лебедева, И. А., Хлебников, В. В. Рынок углеродных волокон: состояние и перспективы // Полимерные материалы: изделия, оборудование, технологии, 2011, № 4. - С. 20-24.

5. Тевонян С.М. Применение углеродного волокна и изделий из него в нефтегазовой отрасли // Материалы Международной конференции по вопросу применения композитов и изделий

из них в нефтегазовой отрасли , 9 октября 2017 г., СПб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://umatex.com/news/kompozity-v-neftegazovoy-otrasli/ (дата обращения:25.05.2018 г.).
6. The global CFRP market 2016 Michael Kühnel, Thomas Kraus // International Composites Congress (ICC) Düsseldorf, November 28th 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elib.dlr.de/109625/1/CFRP%20market%20report%20ICC%202016%20K%C3%BChnel.pdf (дата обращения:25.05.2018 г.).
7. Global and China carbon fiber and CFRP Industry Report, 2016-2020 Researchin China Jan. 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://studylib.net/doc/14535418/global-and-china-carbon-fiber-and-cfrp-industry-report--2... (дата обращения:25.05.2018 г.).

УДК 687.02

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ЦИФРОВЫХ ФАБРИК В ИНДУСТРИИ МОДЫ

MAIN APPROACHES TO THE CREATION OF DIGITAL FACTORIES IN THE FASHION INDUSTRY

Н.Л. Корнилова, С.В. Салкуцан, А.Е. Горелова, Д.А. Васильев
N.L.Kornilova, S.V.Salkutsan, A.E.Gorelova, D.A.Vasiliev

Ивановский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ООО «ИИТ Консалтинг», (г. Иваново)

Ivanovo State Polytechnic University,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
IIT Consalting Ltd, Russia, (Ivanovo)
E-mail: nkorn@mail.ru, GorelovaAnn@mail.ru

В статье рассмотрены основные принципы формирования цифровых фабрик. Показаны специфические особенности перехода к цифровому проектированию в современном швейном производстве. Представлены основные направления совершенствования САПР швейных изделий для повышения адекватности представления виртуальных двойников одежды.
Ключевые слова: цифровая фабрика; виртуальное проектирование; системы поддержки жизненного цикла изделия.

The article considers the basic principles of the formation of Digital Factories. The specific features of the transition to digital design in modern garment production are shown. The main directions of improving CAD software for sewing products, to increase the adequacy of presentation of clothing virtual twins, are presented.
Keywords: Digital Factory; Virtual Design, PLM systems.

Одной из основных тенденций современного производства является необходимость сокращения времени выхода новых изделий на рынок при одновременном удовлетворении специфических потребностей заказчиков (от модели массового производства компании переходят к разработке и сборке на заказ). При этом компании не могут позволить себе повышать стоимость процессов проектирования новых изделий. Одновременно с этим в процесс создания продукции вовлекаются сегодня многочисленные внешние участники – от поставщиков комплектующих, которые должны иметь возможность оперативно реагировать на изменения в требованиях к конечному продукту, до самих заказчиков, которые хотят получить доступ к процессам формирования этих требований. Многие крупные производители выносят за скобки собственного производственного процесса разработку и

выпуск комплектующих, а подчас и собственно сборку готового изделия, оставляя за собой базовые операции выработки концепции и проектирования продукции. Передача части своих функций на аутсорсинг не отменяет необходимости контролировать и интегрировать все процессы. Для того, чтобы виртуализация производства происходила не в ущерб конечному результату и с максимальной экономической отдачей, компаниям необходимы технологии, объединяющие и автоматизирующие все разрозненные этапы жизненного цикла изделия, создающие интегрированную среду коллективной работы, где каждый участник производственной цепочки имеет в реальном времени доступ к нужной ему информации по изделию.

- Цифровая фабрика предполагает создание и отладку технологических и производственной цепочек, начиная от стадий исследования и планирования, когда закладываются базовые принципы конкурентоспособного продукта, и заканчивая созданием опытного прототипа изделия: "оцифровка" жизненного цикла продукта и приведение его в соответствие с матрицей целей (требования / ограничения: технологические, технические, экономические и т.д.) на его разработку;
- формирование базы поставщиков и требований к ним;
- проведение серии первичных расчетов с целью определения общих принципов проектирования и создания оптимальной конструкции на основе современной концепции (Simulation & Optimization)-Driven Design & Additive Manufacturing;
- конструкторские работы (CAD); компьютерный / суперкомпьютерный инжиниринг (CAE, HPC), все виды оптимизаций (CAO; многокритериальная, многопараметрическая, многодисциплинарная, топологическая, топографическая, оптимизация размеров и формы, наконец, робастная оптимизация);
- выбор технологии производства и подготовка к изготовлению прототипа (Computer-Aided Manufacturing, CAM; Computer-Aided Additive Manufacturing, CAAM);
- изготовление прототипа (аддитивное производство, многофункциональные обрабатывающие центры на базе станков с ЧПУ и др.). [1]

Создание цифровых фабрик в индустрии моды направлено на достижение трех основных целей:

1) кардинальное изменение в производительности, качестве и эффективности производственного процесса одежды; радикальное сокращение времени и стоимости проектирования и разработки продукта путем прямого 3D проектирования и виртуального моделирования ткани и швейного изделия, оценки посадки и комфорта на динамических виртуальных манекенах, соответствующих реальным потребительским морфотипам, прогнозирования стоимости и технологичности;

2) радикальный реинжиниринг и автоматизация принятия решений для ключевых задач изготовления изделия: значительного сокращения затрат труда в швейном производстве при значительном увеличении качества;

3) интеграция всех отдельных процессов и технологий в высокоэффективные и гибкие производства, обеспечивающие радикальное движение в сторону быстрой реакции на запросы потребителей и развертывания географически распределенных производственных сетей.

Достижение указанных целей невозможно без обеспечения сквозного процесса производства с применением электронного документооборота с возможностью вносить изменения и дистанционно контролировать процессы производства. При этом заказчики смогут получать информацию о конечном виде будущего изделия и удаленно согласовывать его количественные и качественные характеристики.

Это позволяет сместить центр тяжести на этап проектирования, которое выполняется в цифровом виде на основе современных средств компьютерного моделирования, включая весь набор необходимых испытаний. Такое решение имеет ряд преимуществ, в том числе значительно ускоряет и удешевляет устранение ошибок, позволяет оперативно реагировать на изменения рынка, а также войти в окно возможностей раньше конкурентов. [2]

Одной из причин низкой мобильности производства, и в свою очередь, недостаточной конкурентоспособности отечественных производителей одежды является высокая

трудоемкость проектных работ. Традиционный подход к получению лекал с помощью 2d САПР не обеспечивает получения требуемого результата при первичных расчетах, что вызывает необходимость изготовления пробных образцов с последующей корректировкой лекал, выполняемой итерационно от 3 до 5 раз в зависимости от сложности модели.

Развитие автоматизации конструкторских работ направлено на применение трехмерных САПР, решающих задачи прогнозирования, создания и развертывания объемной формы одежды в виртуальном пространстве. Проведенный анализ систем трехмерного проектирования одежды показал, что большинство из них (Lectra, Франция; Optitex, Израиль; Assyst, Германия; Gerber, США; Marvelous Designer, Корея и т.д.) нацелено на обеспечение возможности увидеть будущую форму изделия при помощи процесса, называемого «виртуальной примеркой», то есть симуляции сшивки деталей и «надевания» их на виртуальный манекен. Такой подход имеет сходство с существующим процессом конструкторско-технологической подготовки производства: достижение желаемой формы изделия путем последовательных итераций двумерных лекал, разработанных графо-аналитическими способами. Однако процесс проводится без участия заказчика, с виртуальным аналогом материала, путем автоматической сшивки полученных лекал и формообразования изделия под действием внешних и внутренних сил [3]. В случае неудовлетворенности получившейся объемной формой изделия проектировщик выбирает необходимые действия по модификации лекал. Несмотря на то, что изменения можно вносить как в 2D, так и в 3D, количество итераций зависит от экспертных навыков пользователя и зачастую требует профессионального образования. С другой стороны, благодаря прямому физическому моделированию с учетом свойств материалов, применению текстур и анимации, конструктор и заказчик могут оценить внешний вид будущего изделия и его посадку, в том числе и в динамике. Данный подход во многом решает обозначенную выше задачу устранения ошибок непосредственно на этапе проектирования.

Другое направление предусматривает переход от трехмерной поверхности фигуры к трехмерной модели одежды и автоматизированное получение лекал инженерными методами построения разверток. Данный подход реализован в отечественных системах СТАПРИМ, АССОЛЬ 3D parametric, BustCad [4]. Достоинство такого подхода заключается в том, что проектирование базируется непосредственно на желаемом внешнем виде изделия, его объемной форме и посадке на фигуре заказчика. Это позволяет всем участникам производственного процесса сразу иметь единое представление о будущем изделии, тем самым избежать повторяющихся этапов двумерного и трехмерного проектирования, значительно снизить требования к профессиональным навыкам конструктора. Несмотря на высокую точность разверток, данные системы требуют дальнейшего совершенствования процессов в части учета свойств материалов.

Практически ни одна из существующих сегодня САПР одежды не гарантирует возможность получения задуманного изделия таким, каким его задумал дизайнер. Конечный результат во многом зависит от опыта и интуиции конструктора и технолога.

Для устранения описанных выше недостатков представляется целесообразным реализовать автоматизированный итерационный процесс получения разверток (лекал) изделия с учетом физических свойств материалов, с возможностью коррекции как двумерных лекал так и трехмерной формы. Стадиями этого процесса являются:

- создание виртуального манекена типовой или индивидуальной фигуры,
- создание трехмерной формы изделия непосредственно на манекене,
- автоматическая развертка деталей изделия и получение плоских лекал с учетом формовочных свойств материалов,
- прямая физическая симуляция посадки с полным учетом свойств материалов и воздействия на мягкие ткани манекена, отображение карт деформаций,
- выявление несоответствий с желаемой формой изделия и автоматическая коррекция лекал.

Преимуществами подобного подхода являются:

- возможность быстро проектировать изделие сразу в «конечном виде», обойтись без этапа построения базовой и модельной конструкции по одной из принятых методик,

- высокая степень автоматизации процесса получения лекал, не требующая высокой квалификации конструктора,

- более точная визуализация посадки изделия на конечного пользователя с учетом свойств конкретных материалов,

- отсутствие погрешностей, связанных с особенностями учета свойств материалов при развертывании,

- возможность автоматического перестроения лекал при изменении материалов изделия,

- автоматическая градация изделия и лекал на любые фигуры (как типовые, так и индивидуальные).

Таким образом появляется возможность получения изделий более сложной формы, улучшения качества изделий, повышения уровня индивидуализации изделий, реализации творческих идей без необходимости подстраивать уже существующие методики получения того или иного типа изделия.

Получаемые трехмерные модели одежды с адекватным отображением их визуальных и физико-механических свойств могут применяться в «виртуальных примерочных». Интеграция с Web-сервисами интернет-магазинов одежды, виртуальных ателье позволит предприятиям перейти на дистанционный прием заказов и концепцию self-design (потребитель сам проектирует модель на интернет-портале производителя с помощью размещенных на нем Web-сервисов) с последующей передачей их в наиболее выгодный участок распределенного производства.

Рассмотрим основные проблемы, сдерживающие повсеместное внедрение трехмерных САПР одежды и требующие решения для обеспечения возможности создания цифровых фабрик в индустрии моды.

1) Информация о поверхности фигуры. Все трехмерные САПР одежды имеют возможность выбора или трансформации цифровых манекенов любого размера и роста, допускают возможность интеграции с высокоскоростными оцифровывающими устройствами человеческих фигур (бодисканерами), однако база типовых манекенов, имеющаяся в перечисленных САПР, является недостаточной и несоответствующей российским стандартам. Цифровые манекены, используемые в вышеперечисленных системах, несовершенны, не имеют пластики реальных фигур, трудны в подстройке под индивидуальные параметры. Значительное количество типовых фигур в размерных антропологических стандартах (мужских – 172, женских – 137) затрудняют качественное выполнение процессов создания объемной формы одежды и ее адаптации на другие размеры и роста (трехмерной градации) при использовании имеющихся в современных САПР математических моделей [5]. Инженерное задание типовых фигур затруднено как недостаточным набором размерных признаков, указанных в стандартах, так и использованием преимущественно обхватных и дуговых параметров, не характеризующих форму отдельных участков тела.

Разработка методов построения виртуального манекена, обеспечивающих сохранение естественной антропоморфности и учет антропометрической информации, содержащейся в нормативной документации или получаемой после оцифровывания индивидуальной фигуры, и их применение в отечественных САПР позволит повысить адекватность трехмерного проектирования одежды и конкурентоспособность программных продуктов. Кроме того, для проектирования корсетных и утягивающих изделий необходимо моделирование поведения мягких тканей человека (их деформации при сжатии и сдвиге). Конечной целью данного процесса является получение цифровых двойников фигур, позволяющих полностью исключить необходимость традиционной примерки.

2) Прогнозирование формы одежды. Качество прогнозирования формы определяется, прежде всего, наличием и способом привязки поверхности одежды и конструктивных линий,

расположенных на ней, к ключевым точкам манекена. Однако само понятие «форма» применительно к одежде, расположенной на человеческой фигуре и опирающейся на нее, не может быть полностью формализовано. Возможности современных САПР одежды таковы, что оператор может задать практически любую форму одежды, в том числе нереальную и несоответствующую свойствам текстильных материалов (например, выпуклые направляющие на отвесных складках юбки и т.д.). При применении физического моделирования производители САПР вынуждены искать компромисс между временем и ресурсоемкостью симуляции, а с другой стороны точностью моделирования материала и близостью к посадке будущего изделия. Подвижность структуры, наличие сложного переплетения, анизотропность, драпируемость и отсутствие статического положения делает моделирование текстильных материалов во много раз более сложным чем симуляция, традиционно применяемая в машиностроении, архитектуре и других областях.

Отдельную проблему представляет учет свойств дублированных участков деталей, упруго-деформационные свойства которых могут отличаться от соседних (недублированных участков) в десятки раз [6]. При этом форма одежды на жестких (дублированных) участках может значительно отличаться от формы поверхности фигуры, и определяться в первую очередь конструктивными особенностями изделия, в то время как на мягких – в большей степени пластичностью (формовочной способностью и драпируемостью) материала. Для обеспечения симуляции посадки плотно облегающих изделий (спортивные, корсетные, корригирующие и проч.) необходим учет растяжимости материалов, а также изменения формы фигуры (перераспределения мягких тканей тела) под действием одежды [7]. Вследствие этого практически невозможно адаптировать традиционные CAD/CAE системы для моделирования одежды.

3) Учет свойств материалов. Свойства материалов при построении развертки в существующих САПР учитываются недостаточно. Традиционный процесс учета поведения текстильных материалов в одежде в процессе построения развертки опирается на большой эмпирический опыт и экспертные знания, которые плохо формализуются, что затрудняет их применение в трехмерных САПР. Примерами могут служить соблюдение направления нити основы при развертывании, выпрямление среза детали до прямой линии (край борта), задание максимально-возможной величины посадки или сохранение длин двух срезов и т.п., что обеспечивает возможность изготовления изделия, воспроизведения и сохранения его формы при эксплуатации. На данный момент требования к физико-механическим свойствам текстильного материала, обеспечивающим изготовление изделия заданного внешнего вида, отображаются в виде карт деформаций, возникающих при трансформации детали одежды из трехмерной в двумерную.

Существующие САПР для «виртуальной примерки» для учета свойств материалов предлагают инструменты для эмпирического подбора параметров математической модели ткани, что существенно снижает адекватность симуляции посадки изделия. Повышение адекватности моделей одежды, задаваемых в трехмерных САПР, возможно применением в математических моделях данных о способности текстильных материалов к образованию объемной формы.

Таким образом, настоящее время не существует практически применимой универсальной модели физико-механических свойств текстильных материалов, позволяющей получать цифровые двойники заданных материалов, используемые как на этапе построения развертки, так и на этапе симуляции посадки изделия. Необходимо создание универсального цифрового представления материала, а также инженерных методик получения его количественных характеристик. Это даст возможность формирования базы данных свойств материалов, которая может пополняться несколькими участниками, в том числе самими производителями материалов.

4) Сенсорная составляющая в трехмерном проектировании. Дополнительной проблемой при виртуальной примерке одежды является исчезновение сенсорной составляющей, которая определяет ощущение комфорта или дискомфорта, и зависит не

только от конструкции одежды, но и от индивидуальных особенностей потребителя. Степень удовлетворенности потребителей одеждой зависит от множества хорошо известных факторов, обусловленных взаимодействием фигуры и одежды, часть из которых не может быть воспроизведена в условиях виртуального проектирования (например, давление одежды в зонах максимального контакта). В ряде зарубежных САПР, в частности Assyst, существует возможность прогнозирования давления одежды на поверхность тела, для чего разработаны цветовые шкалы, градированные по зонам значений. Однако эти шкалы являются грубым приближением, основанным на единичных показателях и не согласованы с сенсорными ощущениями. Экспериментальная проверка показала условность такой информации, которую нельзя считать достоверной в большинстве случаев [8]. Разработка инновационных методов оценки комфортности одежды и их адаптация для виртуального моделирования, в том числе динамического, является задачей, которая позволяет максимально приблизить виртуальные процессы к реальным и видится необходимой для создания полноценных цифровых двойников. Эта составляющая является специфической только для трехмерного проектирования одежды и не учитывается в других отраслях промышленности.

Таким образом, для обеспечения перехода отечественных предприятий индустрии моды трехмерному проектированию одежды важными задачами являются:

1) создание базы трехмерных виртуальных манекенов типового телосложения;

2) создание методик кастомизированного производства на индивидуальные фигуры при дистанционном приеме заказа;

3) совершенствование методов учета свойств материалов при развертывании и симуляции посадки изделия;

4) разработка методики создания базы материалов и алгоритмов их учета свойств;

5) создание инструментов оценки взаимодействия в системе «поверхность фигуры – поверхность изделия» с целью прогнозирования статического и динамического соответствия (комфорта) одежды в процессе носки (виртуальные испытания изделий).

ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Боровков, О.И. Клявин, В.М. Марусева и др. Цифровая Фабрика (Digital Factory) Института передовых производственных технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого – режим доступа http://fea.ru/news/6387.

2. Эксперт: "фабрики будущего" смогут работать в 10 раз лучше и быстрее обычных – режим доступа http://tass.ru/nauka/4032401

3. Н.Л. Корнилова, А.Е. Горелова, А.В. Смирницкий Трехмерное проектирование плотнооблегающей одежды на индивидуального потребителя // Швейная промышленность. – 2013. -№1 – С.32-33.

4. Корнилова Н.Л., Баландина Г.В., Горелова А.Е. Автоматизированное проектирование корсетных изделий в трехмерной среде //Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2008. № 1. С. 40-44

5. Yan J.Q., Zhang S.C., Kuzmichev V.E., Adolphe D.C. New database for improving virtual system "body-dress" В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 17, Shaping the Future of Textiles. Сер. "17th World Textile Conference, AUTEX 2017: Shaping the Future of Textiles - Fashion, Design and Garment Industry" 2017. С. 172029.

6. С.А. Кокшаров, Н.Л. Корнилова, О.В. Радченко и др. Влияние структурных характеристик термоклеевых материалов на жесткость дублированного пакета // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.- 2016.- №4. – С.96-101

7. Сеницкий, И.А. Моделирование мягких тканей виртуального манекена для проектирования корсетных изделий и белья [Текст] / И.А. Сеницкий, Н.Л. Корнилова, Д.А. Васильев, А.Е. Горелова // Программные продукты и системы. – 2015. - №1. – С.167 – 172

8. Кузьмичев В.Е. Виртуальная реальность как основа новой коммуникативной среды и взаимосвязи производителя и потребителя одежды // Физика волокнистых материалов:

структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2017. № 1 (1). С. 72-78.

УДК 557.114

ЗЕЛЕНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЗЕЛЕНАЯ ХИМИЯ, ЗЕЛЕНЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ, ЗЕЛЕНЫЙ ТЕКСТИЛЬ – ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

GREEN TECHNOLOGY, GREEN CHEMTSTRY, GREEN NANOTECHNOLOGY, GREEN TEXTILE – BASE OF SUSTANABLE DEVELOPVENT

Г.Е. Кричевский
G.E. Krichevskii

ООО «Текстильпрогресс», (Москва)
LLC «Textileprogress», (Moscow)
E-mail: gek20003@gmail.com

Рассмотрены определения и принципы «зеленых» технологий, «зеленой» химии, «зеленой» нанотехнологии, «зеленого» текстиля. Все эти технологии ставят перед собой задачу минимально нагружать природу за счет снижения отходов, использования токсичного сырья и полупродуктов, исключения токсичных конечных продуктов; «зеленые» технологии должны быть сырье, энергию, воду сберегающие. Все эти цели достигаются с использованием конвергентных нано-, био-, инфо-, когнитивных технологий. Конечная цель всех «зеленых» технологий обеспечение устойчивого развития цивилизации в 21-ом веке на благо настоящего и будущего поколений. Современная химическая технология текстиля очень далека от требований и принципов «зеленых» технологий. Рассмотрены основные проблемы производства текстиля с точки зрения возможности приближения к «зеленой» технологии.

Ключевые слова: «зеленые» технологии, химия, нанотехнология, текстиль, конвергентные технологии.

The definitions and principles of "green" technologies, "green" chemistry, "green" nanotechnology and "green" textile have been considered in this work. All these technologies aim to minimize the impact on the environment by reducing waste: eliminating toxic end-products while using toxic raw materials and intermediates; “green" technologies should be energy-, water- material- saving. All these goals are achieved by using convergent nano-, bio-, info-, cognitive technologies. The ultimate goal of all "green" technologies is to ensure the sustainable development of civilization in the 21st century for the benefit of the present and future generations. The modern chemical textiles technology is a way far from the requirements and principles of "green" technology. In this article are considered the main problems of textile production from the point of view of the possibility of approaching the "green" technology.

Key words: "green" technologies, chemistry, nanotechnology, textile, convergent technologies.

Рассмотрены принципы и определения «зеленых» технологий (ЗТ), «зеленой» химии (ЗХ), «зеленых» нанотехнологий (ЗНТ), «зеленого» текстиля (ЗТк).

Все они связаны одной общей целью, свести к минимуму негативное воздействие на природу и человека и обеспечить тем самым устойчивое развитие цивилизации в 21-ом веке. Это достигается за счет использования во всех «зеленых» технологиях, в том числе и в перечисленных последних достижений конвергентных (взаимосвязях) наук и технологий: нано-, био-, инфо-, когнитивных технологий (НБИК) [1], а также научно-практического направления «Бионика».

Целью всех этих «зеленых» технологий обеспечить устойчивое развитие, снижение рисков и угроз от происходящей 4-ой Научно-технологической революции (НТР), направить НТР на благо настоящего и будущего поколений. Основные проблемы производства ЗТк:

- высокое потребление энергии, воды, химикатов и красителей;

- токсичность текстильно-вспомогательных веществ (ТВВ) и связанная с этим токсичность текстильных материалов;

- производство синтетических красителей, синтетических волокон и ТВВ требует расхода невозобновляемых источников сырья (нефти и газа), из которого они производятся;

- практически все химические технологии производства текстиля происходят при значительном сбросе в сточные воды незафиксированных красителей (до 40-60 %) и ТВВ (в ряде случаев до 100 %).

Если экология химической технологии текстиля занимается определением причин и источников загрязнений окружающей среды и очисткой от загрязнений, то «зеленые» технологии текстиля нацелены на то, чтобы создать такие технологии, которые бы не вызывали бы загрязнений и всех других видов нагрузки на природу.

Основные пути и принципы производства ЗТк:

- частичная замена синтетических волокон, красителей и ТВВ на природные или получаемые из возобновляемого сырья;

- переход на безводные или маловодные и энергосберегающие технологии;

- замена традиционных химических технологий на ферментативные биотехнологии;

- использование низкотемпературных и маломодульных технологий;

- замена токсичных красителей и ТВВ на нетоксичные;

- использование генной инженерии для производства трансгенных волокон;

- повторное использование красильных и промывных ванн, тепла;

- совершенствование утилизации изделий из текстиля;

- полномасштабное использование международной системы безопасности текстильных материалов «Экотекс»;

- широкое использование «зеленых» НБИК-технологий на производстве нового «умного» поколения текстиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кричевский Г.Е. НБИКС-технологии для Мира и Войны. – Саарбрюккен, Германия: Изд-во Ламберт, 2017. – 634 с.
2. Кричевский Г.Е. Возрождение природных красителей. – М.: Изд-во Паблит, 2017. – 595 с.
3. Бионика. Учимся мудрости у природы. Учебное пособие / Под ред. Кричевский Г.Е. – М.: Изд-во Сам полиграфист, 2015. – 151 с.
4. Кричевский Г.Е. Нано-, био- химические технологии и производство нового поколения волокон текстиля и одежды. – М.: Изд-во Известия, 2011, – 528 с.
5. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов. – М.: Изд-во Известия, 2011, Т.3. – 298 с.
6. Все, или почти все о текстиле. Учебное пособие / Под ред. Кричевский Г.Е. – М.: Изд-во Маска, 2013. – Т.1. – 240 с.
7. Все, или почти все о текстиле. Учебное пособие / Под ред. Кричевский Г.Е. – М.: Изд-во Маска, 2013. – Т.2. – 192 с.
8. Все, или почти все о текстиле. Учебное пособие / Под ред. Кричевский Г.Е. – М.: Изд-во Маска, 2014. – Т.3. – 400 с.

УДК 66.012

СОВРЕМЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ИХ ПРОИЗВОДСТВУ

MODERN POLIMERIC MATERIALS FOR THE DIRECTED DELIVERY OF DRUGS AND AN IMPROVTMENT OF THE TECHNOLOGICAL APPROACHES TO THEIR PRODUCTION

Н.Д. Олтаржевская, М.А. Коровина, Т.С. Хлыстова, Т.С. Быркина
N.D. Oltazhevskaya, M.A. Korovina, T.S. Khlystova, T.S. Byrkina

ООО «КОЛЕТЕКС», (Москва)
LLC «COLETEX», (Moscow)
E-mail: koletex@list.ru

Публикация посвящена полимерным материалам (волокнообразующим, гелеобразующим, в том числе и на основе полисахаридов), используемым для производства медицинских изделий, в том числе для направленной доставки лекарственных веществ, отмечены их преимущества и актуальность применения в современной медицине. Внимание сосредоточено на принципах получения полимерных материалов с контролируемым высвобождением лекарственных веществ, видах полимеров, которые используются при создании таких систем доставки и высвобождения, а также подходах к совершенствованию технологии их получения. Показано, как основные способы модификации биополимерных систем и изменения технологии их получения могут влиять на скорость и степень высвобождения лекарственных веществ из них.

Ключевые слова: контролируемое высвобождение лекарственных веществ; местная и направленная доставка; биополимеры; медицинские изделия; альгинат натрия; гиалуронат натрия; сукцинат хитозана; полисахариды; текстильные материалы.

The publication describes polymeric materials (fiber-forming, gel-forming and the polysaccharide-based) which are used to produce medical products, in particular for the directed drug delivery; and their advantages and relevance for modern medicine. An attention is focused on the principles of obtaining polymeric materials that allow to control release of drugs; the types of biopolymers that are used to create such delivery and release systems, as well as approaches to improving the technology for their production. It is shown how the main methods of modification of biopolymer systems and changes in the technology of their production can affect the proportions of drugs release from them.

Key words: controlled release of medicinal substances; local and directed delivery; biopolymers; medical products; sodium alginate; sodium hyaluronate; chitosan succinate; polysaccharides; textile materials.

Полимеры, в том числе волокнистые материалы, нашли очень широкое применение в медицине. Это перевязка (бинт, марля), которая из-за области использования требует особенности в отделке с точки зрения применяемых химикатов; сосуды, получаемые по технологии плетения из синтетических волокон с нанесением специальных покрытий; сетки на основе синтетических биосовместимых полимеров, которые используются для крепления органов (трикотажное производство); шовные нити с различными полимерными покрытиями, в том числе и лекарственно наполненными, и т.д. Разработка перечисленных медицинских материалов потребовала навыков и знаний специалистов различных научных областей (химиков-технологов, биотехнологов, фармацевтов, медиков), их усилия были объединены и все исследования проводились на стыке научных дисциплин. В настоящее время область применения полимеров в медицине только расширяется, а объем научных исследований – возрастает.

В России, как и во всем мире, наблюдаются тенденции к росту числа серьезных заболеваний, например, таких как сердечнососудистые, эндокринные (сахарный диабет), но настоящим «бичом» современности по праву можно назвать онкологию. На фармацевтический рынок с каждым годом выводятся новые препараты, совершенствуются

синтез и производство лекарственных веществ (ЛВ), направленных на борьбу с перечисленными заболеваниями. Однако уже к середине прошлого века к медикам, фармацевтам, химикам пришло осознание того, что практически все традиционные лекарства, применяемые сотни лет, и особенно синтезируемые, обладают не только лечебными, но и побочными нежелательными свойствами. Вводимые в организм традиционными способами лекарства распределяются в нем относительно равномерно, проникая в различные органы и ткани [1-3], но лишь 1% введенной дозы попадает в клетки-мишени [4], то есть в то место, где ЛВ должно оказывать свой эффект, и достигает их в концентрации, значительно меньшей по сравнению с необходимой терапевтической, остальное же количество введенного ЛВ нередко оказывает вредное побочное действие.

Более перспективным подходом к решению этой проблемы является создание систем направленного транспорта лекарств [5—7]. Реализация целенаправленного концентрирования ЛВ и/или биологически активного вещества (БАВ) преимущественно в зоне патологического очага позволяет резко снизить нежелательные реакции организма на медикаментозное воздействие, уменьшить терапевтическую дозировку лекарства и кратность его введения (рис.1).

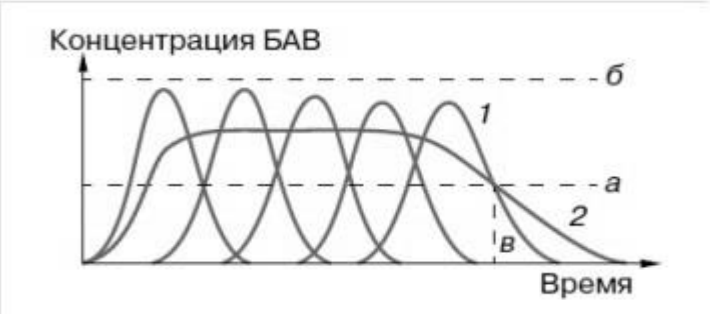


Рис.1 Схема, описывающая контролируемое высвобождение БАВ или ЛВ (2) и однократное введение БАВ или ЛВ (1), а – неэффективная доза, б- токсичная доза, в – желаемое время действия ЛВ [8]

Эта идея смогла быть реализованной в том числе благодаря использованию полимеров, которые обладают хорошей биосовместимостью с тканями человеческого организма.

В данной публикации мы подробнее остановимся на разнообразных технологиях модификации доставки и высвобождения лекарств с помощью полимерных носителей. В таких системах доставки лекарство или БАВ находится в матрице полимера (растворено, диспергировано) или защищено полимерной оболочкой, и тут особую роль играет выбор полимера-носителя ЛВ. В последние годы происходит возрождение интереса ко всему природному, это касается и биополимеров, которым предпочтение отдается все чаще. Природные полимеры биосовместимы, биодеградируют в организме. Они используются в тех случаях, когда биополимер выполняет функцию временной матрицы (депо) для лекарства, и тут основным преимуществом биополимеров перед синтетическими, помимо их способности к биоразложению, является отсутствие токсичности. Следует особо подчеркнуть, что полимер-носитель ЛВ во многом определяет его контролируемое высвобождение из матрицы. Изменяя такие факторы как вид полимерной матрицы, количество используемых биополимеров (один или несколько), их компонентное соотношение, построение технологического процесса, а именно модификацию определенных технологических условий получения биополимерной системы, можно обеспечить ту или иную степень и скорость высвобождения активного вещества, тем самым подчиняя его терапевтическим требованиям.

Контролируемое высвобождение ЛВ из биополимерной матрицы может реализовываться различными способами, которые будут более детально описаны далее.

Трансдермальные системы доставки лекарственных веществ (ТСД) – системы для наружного применения, предназначены для доставки ЛВ в системный кровоток методом пассивной диффузии через неповрежденную кожу [9]. Такие системы с контролируемым высвобождением ЛВ могут быть отнесены как к лекарственным формам, так и к медицинским изделиям. И в том и в другом случае ТСД представляют собой многослойный материал, включающий подложку (например, текстильную или на основе полимерной пленки), на которой находится активный слой, представляющий собой, как правило, полимерную композицию с иммобилизованным в ней ЛВ. Достоинством ТСД является то, что такие материалы можно максимально приблизить к очагу поражения (например, к опухоли в случае рака кожи или молочной железы) и тем самым повысить эффективность инкорпорированного в активном слое ЛВ при сведении к минимуму его токсического воздействия на здоровые ткани и органы по сравнению, например, с инъекционным способом применения того же ЛВ.

Среди отечественных ТДС доставки ЛВ, применяемых в онкологической практике, стоит отметить медицинские изделия «Колетекс-5-фтур», «Колетекс-М» [10], успешно применяемые при лечении рака молочной железы. Это текстильные материалы, которые имеют двойной депо-слой из текстильной основы и полисахарида альгината натрия, в котором инкорпорированы цитостатик 5-фторурацил или радиосенсобилизатор метронидазол. Стоит подчеркнуть, что использование в качестве полимера-носителя альгината натрия оправданно с точки зрения высокой биологической активности этого биополимера [11].

В качестве базовой для создания материалов марки «Колетекс» была применена технология текстильной печати через сетчатые шаблоны: в загустку на основе природного полимера – альгината натрия вводили, по аналогии с красителями, лекарственные препараты (водорастворимые и не растворимые в воде). Такое технологическое совпадение еще раз подчеркивает необходимость совместной работы специалистов разных областей и в том числе химиков-технологов, «отделочников», без чего сегодня нельзя добиться успеха.

Полученную гидрогелевую композицию наносили через сетчатый шаблон на текстильный материал, который выбирался так же с учетом той медицинской области, где лечебный материал будет применяться (онкология, хирургия, комбустиология). В результате были получены лечебные композиционные депо-материалы, которые за счет образования многослойной структуры (депо), в которой распределено ЛВ (поверхность полимерной пленки, сам полимерный слой, оказывающий регенерирующий эффект за счет свойств альгината натрия и набухающий при контакте с жидкостью, объемный текстильный материал), и технологии их получения, являющейся универсальной за счет применения в качестве текстильной основы большого ассортимента текстильных материалов и практически не ограниченного выбора лекарств, можно получать очень широкий ассортимент лечебных материалов пролонгированного действия для различных областей медицины [10].

Однако данный способ местного подведения ЛВ к пораженной области организма не является универсальным несмотря на относительно простую технологию получения данных материалов.

Как уже было отмечено, ТДС имеют ограниченное применение в медицине, поскольку диффузия ЛВ из полимерной матрицы предполагается через кожу, имеющую у различных людей и в различных местах различную проницаемость, что затрудняет контроль над концентрацией ЛВ [9]. В случае, когда необходима местная доставка ЛВ в полости организма, где его высвобождение только в незначительной степени окажет влияние на здоровые органы и ткани, целесообразней применять непосредственно гели различных полимеров, в которые могут быть включены ЛВ.

При местной направленной доставке в случае гинекологических, проктологических, урологических, стоматологических заболеваний, предусматривающих транспорт лекарств через слизистую, используются также другие полимерные формы для доставки лекарств – эластичные диски из структурированных полимеров, гидрогели, в качестве выпускной формы упакованные в блистеры, тубы и преднаполненные шприцы [10]. Такие лечебные формы гидрогелей будут рассмотрены нами далее.

Все гидрогели можно разделить на два типа в соответствии с методами их получения: предварительно сформированные гидрогели и формируемые in situ гидрогели (т.е. непосредственно в месте применения). В частности, формируемые in situ привлекают внимание как искусственная микросреда из-за простоты инкапсуляции клеток, сигнальных молекул или лекарственных субстанций в процессе формирования гидрогеля [12].

Физико-химические свойства гидрогелей легко можно изменять в зависимости от назначения лекарственного препарата или медицинского изделия. Существует несколько различных путей «управления» свойствами гидрогелей, наиболее распространенные:

- изменение степени набухания в результате изменения условий, в которых реализуется действие полимерных гидрогелевых систем (pH и состав среды, температура);

-изменение состава полимерной композиции (варьирование концентрации полимеров),

- изменение степени сшивки и способов формирования полимерной сетки.

- модифицирование (прививка) различных биологически активных молекул.

Рассмотрим некоторые случаи более подробно.

Степень набухания полимерной системы можно изменить, подействовав на внешние условия, в этом случае полимер в форме гидрогеля либо уменьшает степень набухания, либо частично разрушается. Лекарственное вещество, инкорпорированное в полимерную матрицу диффундирует в окружающую среду сучетом полноты и скорости набухания полимера.

Температура - один из тех параметров, который чувствителен к наличию патологического процесса в организме человека, поэтому использовать данный фактор в качестве регулятора высвобождения ЛВ из полимерной матрицы целесообразно. Механизм высвобождения заключается в коллапсировании гидрогеля при изменении температуры окружающей среды, вследствие чего из него высвобождается инкорпорированное ЛВ. При этом используемые для создания матрицы полимеры делятся на две группы: полимеры с верхней критической точкой растворения (ВКТР) и полимеры с нижней критической точкой растворения (НКТР).

Полимеры первой группы образуют *термоположительные* гидрогели, которые при уменьшении температуры ниже верхней критической точки уменьшаются в объеме. Примерами полимеров с ВКТР являются поликапролактоны или их сополимеры с гликолевой кислотой, для пролонгирования высвобождения ЛВ из их гидрогелей проводят сополимеризацию с полиэтиленгликолем. Полимеры второй группы образуют *термоотрицательные* гидрогели,степень набухания которых резко возрастает при температуре ниже нижней критической точки растворения, при увеличении же температуры выше этой отметки гидрогель резко уменьшается в объеме. Такими полимерами являются N-замещенные полиакриламида, в частности, поли-N-изопропилакриламид [13].

Описанные фазовые превращения, сопровождающиеся переходом макромолекулы полимера из состояния набухшего клубка в состояние компактной глобулы, объясняются в первом случае образованием водородных связей между полимером и молекулами воды, что и способствует набуханию полимера, а во втором случае – гидрофобными взаимодействиями, что приводит к сжатию макромолекулы полимера [14]. Нужно отметить, что увеличение в полимере доли гидрофильного мономера путем сополимеризации позволяет повысить НКТР. а увеличение доли гидрофобного мономера, наоборот, приводит к понижению НКТС.

В качестве примера [15] описана система с контролируемым высвобождением жаропонижающего ЛВ из полимерной матрицы на основе сшитого поли-N-изопропилакриламида, который имеет НКТР 32℃. Показано, что при температуре ниже этой

отметки гидрогель набухает, а при повышении – сжимается, тем самым высвобождая жаропонижающее лекарство. Отмечено, что такая система доставки может работать вплоть до полного исчерпания ЛВ.

В зависимости от наличия в структуре полимера кислых и основных групп он может реагировать на изменение pH среды. Если полимер в своем составе имеет слабокислые группы, то его степень набухания увеличится при повышении pH. Полимеры же, которые в своей структуре имеют слабощелочные группы, в большей степени набухают при понижении pH среды [15]. pH-чувствительные полимеры очень часто используются для создания кишечно-растворимых оболочек таблеток, капсул, что позволяет сделать высвобождение контролируемым и направленным. Кишечно-растворимые полимерные оболочки таблеток позволяют избежать высвобождения ЛВ (например, ацетилсалициловой кислоты, нестероидных противовоспалительные препаратов, блокаторов протонной помпы, пищеварительных ферментов, антибиотиков) в желудке и тем самым предотвратить его агрессивное воздействие на слизистую желудка, они нерастворимы при низких значениях pH (в желудке), но быстро растворяются при попадании в среду с оптимальным значением pH (в тонкой кишке). Используемые в данном случае полимеры pH-чувствительны, имеют растворимость в диапазоне pH >5 (производные целлюлозы, метакриловой кислоты и др.) [13,15].

Как было отмечено ранее, системы с контролируемым высвобождением можно модифицировать также изменением состава полимерной композиции. От соотношения полимеров в гидрогеле зависят его реологические характеристики, а также адсорбционно-выделительные, если мы говорим, например, о лекарственно наполненных пленках, матриксах и т.д.

Например, известно совместное применение альгината натрия и сукцината хитозана при получении гидрогелевых матриц с инкорпорированными лекарственными веществами (лидокаин, диоксидин и др.) для различных сфер медицины (стоматология, гинекология, оториноларингология), в частности, в материалах «Колегель®». Сукцинат хитозана в данном случае предпочтительнее, чем хитозан из-за его лучшей растворимости в водной среде. При варьировании соотношения альгината натрия и сукцината хитозана меняется вязкость композиции для приготовления матриц, кинетика их набухания, и, как следствие, скорость высвобождения лекарственных веществ из гидрогелевой матрицы (рис. 2) [2,10].

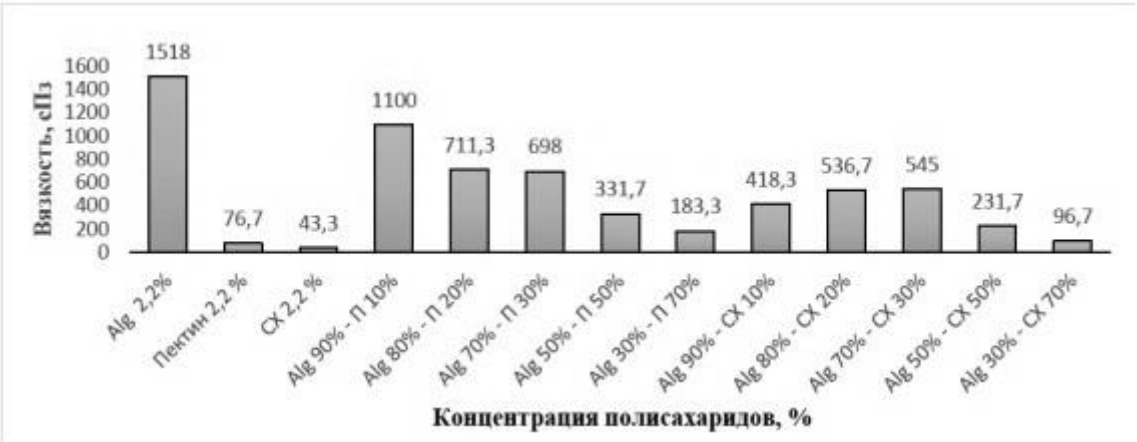


Рис. 2. Влияние соотношения полимеров альгината натрия (Alg) и сукцината хитозана (СХ) в композиции на ее вязкость [2]

Совместное использование полисахаридов альгината натрия и солей хитозана рассматривается многими учеными. Описывается [16] вариант получения на основе альгината натрия и хитозана интерполимерного комплекса эквимольного состава в форме пленки. Комплексообразование происходит по механизму электростатического взаимодействия между противоположно заряженными группами данных полиэлектролитов, ионные связи образуются между карбоксильными группами пиранозных циклов L-

гулуроновой кислоты соседних полимерных цепей и аминогруппами хитозана, кроме того присутствует большое количество водородных связей. При избытке альгината натрия комплекс формируется в виде неоднородного геля с плохо разделенным внутренним пространством, при избытке хитозана поверхность гидрогелевой пленки гомогенна, морфология пористая. Таким образом , варьируя соотношение полиэлектролитов в комплексе, можно изменять структуру образующихся комплексов и их морфологию[16,17,18]. Этот принцип также использован нами при создании гидрогелевых материалов для урологической практики.

Эти материалы (торговая марка – «Колегель®») представляют собой гидрогели на основе двух полисахаридов - альгината и гиалуроната натрия, предназначенные для введения в мочевой пузырь. Они выпускаются в форме преднаполненных шприцев и успешно используются при лечении циститов различной этиологии. В эту композицию вводится ЛВ(антисептик, анальгетик и т.д.)[10]. Лечебный эффект таких гидрогелей основан на том, что гиалуронат натрия является основным компонентом защитного слоя мочевого пузыря, который, истончаясь при воспалительных процессах, теряет свои защитные функции, переводя заболевание в хроническую стадию . Кроме того гиалуронат имеет низкую адгезию к поверхности органа, что снижает защитную и лечебную функции «Колегеля», не позволяет пролонгировать действие лекарства. Показано, что определенное соотношение по концентрациям альгината и гиалуроната натрия позволяет увеличить адгезию и продлить время нахождения композиции с ЛВ в мочевом пузыре по сравнению с монокомпозицией гиалуроната натрия (что обуславливается физиологическими особенностями и высокой степенью растворимости этого биополимера), защитить внутреннюю поверхность органа[10,16,19].

В этих случаях гидрогель используется в качестве матрицы (депо) для ЛВ, и врачам удается с помощью различных приемов (шприц, катетер, клизма) максимально близко приблизить его к очагу поражения, например, опухолевым тканям. Гель набухает под действием биологической жидкости, а высвобожденное ЛВ, имеющее сродство к объекту воздействия, начинает работать. Подобную ситуацию можно сравнить с печатью тканей,когда краситель наносится с помощью полимера-загустителя, но в текстильной технологии гель-загустка затем удаляется с ткани при промывке, а в рассматриваемом случае он, биодеградируя, выполняет дополнительную лечебную функцию (регенерация, кровоостанавливающий эффект и т.д.).

Распространенным способом модифицирования свойств полимерных систем доставки ЛВ является сшивка гидрогелей полимеров.

Физические методы сшивки включают ионную сшивку, например, сшивку гидрогелей альгината натрия с помощью солей двухвалентных металлов (Ca^{2+} ,Ba^{2+}), о которой далее будет рассказано более подробно, чувствительную к стимуляции самосборки (например, термочувствительную или pH-чувствительную) и взаимодействие типа «хозяин–гость». Физическая сшивка удобна тем, что гелеобразование (образование сетчатой структуры) обычно происходит в мягких условиях и водном растворе без химических сшивающих агентов или катализаторов, которые могут обладать токсичностью. Недостатками является высокая вязкость образующихся гелей, что вызывает проблемы с достижением равномерного распределения в них ЛВ [2].

Сегодня известны работы [20], в которых рассматривается возможность сшивки гидрогелей хитозана с помощью природного сшивающего агента дженипина (весьма экзотического), что позволяет отказаться от метода их сшивки с помощью глутарового альдегида, подразумевающего наличие токсичных побочных продуктов.

Способ структурирования альгинатного гидрогеля подробно описан в работах [16-18] и используется при создании гидрогелевых матриц (например, в форме дисков) с иммобилизированным ЛВ, которые помещаются в полости организма с целью направленного контролируемого высвобождения из них лекарства в очаг поражения, например, в опухоль.

В образовании поперечных ионных связей альгината натрия с кальцием участвуют только карбоксильные группы гулуронатных блоков полимера. Для повышения технологичности процесса получения гидрогелевых матриц (например, увеличения времени от момента приготовления гидрогеля и заполнения им блистерной упаковки до сшивки полимера) используют прием отсроченного желирования [2,16]. Получение структурированного материала с повышенной вязкостью реализуется следующим образом: в гидрогель на основе альгината натрия вводят углекислый кальций, предварительно суспензированный в глицерине с целью предотвращения седиментации и лучшего распределения по объему гидрогелевого материала, а также сорбиновую кислоту. Процесс перехода ионов кальция в раствор посредством взаимодействия с сорбиновой кислотой (R-COOH), описывается следующей схемой [2] :

1) R-COOH (тв.) ↔ RCOO- + H+ (медленно) (стадия
2) CaCO3 + 2 H+ → Ca2+ + H2O + CO2↑ (медленно) (стадия
3) Ca2+ + 2 Alg-COO- → (Alg-COO)2 Ca (быстро) (стадия

R-COOH – слабая, труднорастворимая кислота (Кд=1,73·10-5, S=0,15г/100). Равновесие (1) смещается по мере взаимодействия протонов с углекислым кальцием. Скорость гелеобразования определяется скоростью взаимосвязанных процессов (1) и (2).

Образование сетки геля и плотность сшивки в гидрогеле определяется активной концентрацией ионов кальция, перешедших в раствор, независимо от источника этих ионов. Данный способ за счет введения сорбиновой кислоты значительно увеличивает время структурирования альгината натрия при добавлении сшивающих агентов [2,16,17]. Принцип действия структурированных гидрогелей с инкорпорированным ЛВ аналогичен описанным нами ранее: набухание, биодеградация полимера и высвобождение лекарства, но время высвобождения и пролонгированность действия изделия существенно возрастает.

Модификация гидрогелей на основе биосовместимых полимеров нашла свое применение также при создании систем с контролируемым выделением инсулина, используемых при лечении сахарного диабета. Суть таких систем доставки заключается в их чувствительности к повышению глюкозы в крови. При этом очень важно, чтобы инсулин начинал выделяться только при той концентрации глюкозы в крови, при которой это необходимо по терапевтическим показаниям, а именно 80-100 мг/100 мл крови [13], потому как в литературе имеются сведения о том, что основным недостатком инсулинсодержащих систем является их чувствительность даже к малым конценцентрациям глюкозы в крови (от 1 мг/мл). Описан способ получения и механизм действия глюкозчувствительного гидрогеля на основе сополимеров акриламида (АА) с ненасыщенным производным глюкозы — N-(2-D-глюкоз)акриламидом (ГАА), сшитых белком конканавалином А Кон А, который имеет в своей структуре 4 точки для связывания углеводов [13]. Гидрогель синтезировали сополимеризацией АА с ГАА и последующим смешиванием водных растворов полученных сополимеров с Кон А. Принцип контролируемого высвобождения инсулина заключался в том, что при появлении глюкозы в окружающей систему среде она вытесняла инсулин из комплекса с Кон А. При изучении взаимодействия гидрогеля с растворами глюкозы различной концентрации было обнаружено, что существует пороговая концентрация, ниже которой никаких видимых изменений с гидрогелем не происходит. При концентрациях глюкозы выше пороговых наблюдался быстрый переход гидрогеля в растворимое состояние, — комплекс [Кон А—ГАА] распадался с образованием комплекса [КонА—глюкоза] и водорастворимых макромолекул сополимера ГАА и АА (рис. 3) [13].

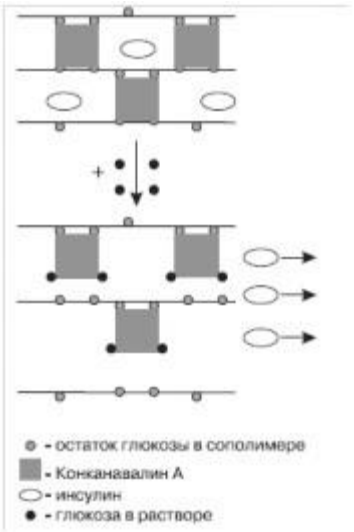


Рис. 3. Принцип действия глюкозчувствительного гидрогеля [13]

Чем выше содержание звеньев ГАА в сополимере, тем выше значение пороговой концентрации. Таким образом, представлялось возможным подобрать систему с контролируемым высвобождением инсулина путем изменения количества звеньев ГАА, исходя из пороговой концентрации глюкозы.

Лечебный гель может вводиться механически в возникающую у больного полость. Такой способ адресной доставки ЛВ называется «локальной доставкой». Например, пациентам с опухолью головного мозга после удаления опухоли объемом 30-35 см ^{3} гидрогелевый материал с лекарством – цитостатиком (препараты платины, доксирубицин и т.д., обладающие высокой токсичностью) закладывали непосредственно в образовавшееся ложе. В качестве полимерной матрицы используют фосфаты декстрана, благодаря их катионнообменным и комплексообразующим свойствам, способности к созданию межмолекулярных комплексов, влияющих на скорость биодеградации и пролонгации лечебного действия, а также с учетом объемной структуры фосфата декстрана. Массоперенос ЛВ происходит в течение 2-7 суток, а полная биодеградация матрицы – через 6 месяцев, при этом токсичность при таком введении препарата существенно ниже по сравнению с парентеральным введением.

Массоперенос ЛВ, например, цитостатика, из матрицы на основе фосфата декстрана происходит в несколько стадий: первая - с наибольшей скоростью высвобождается цитостатик, связанный с полимером химическими или электростатическими (ионными) связями, затем скорость снижается и определяется диффузией препарата, удерживаемого водородными связями, и гидролизом матрицы.

Подобный подход нашел новое применение при создании наноструктурных контейнеров для направленной доставки противоопухолевых препаратов [21]. В работе [22] рассматривается получение наночастиц на основе сополимера молочной и гликолевой кислот, содержащих противоопухолевые препараты, размером менее 300 нм. Нужно отметить, что применение полимолочной (PLA) и полигликолиевой (PGA) кислоты, а также сополимера молочной и гликолевой кислот (PLGA) достаточно перспективно (рис.4), данные биополимеры успешно применяются при создании различных носителей ЛВ, матриксов для тканевой инженерии, их биосовместимость с тканями организма человека подтверждена многими исследованиями [22].

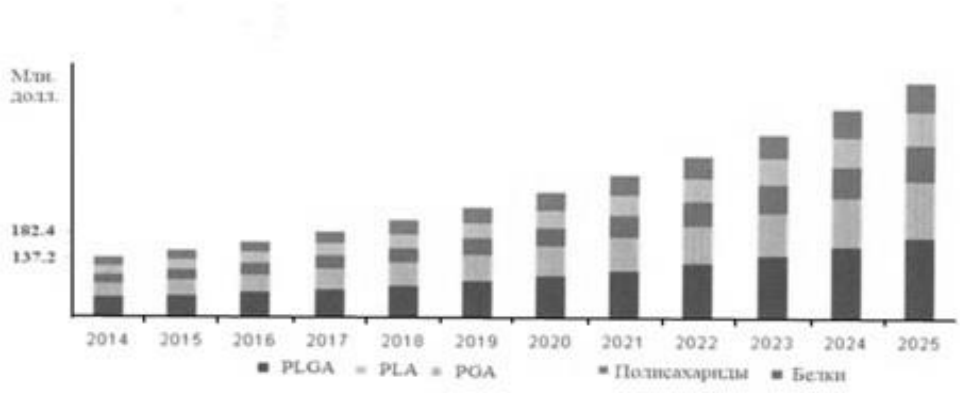


Рис.4. Прогноз объемов промышленного получения биополимеров

К данным частицам прививалась белковая векторная молекула, в качестве которой был взят альфа-фетопротеин человека (АФП); АФП в данном случае использовался в качестве вектора – лиганда биополимерной частицы, наполненной противоопухолевым препаратом, приводящим его к опухолевой клетке, которая в значительных количествах, по сравнению с нормальными клетками, экспрессирует рецепторы АФП [21]. Данный конъюгат (рис.5) - наночастица с векторной молекулой - позволяет сократить время реакции клеток на лекарство без снижения эффективности и уменьшения концентрации лекарственного вещества[21,22].



Рис.5. Схема распознавания конъюгатом опухолевой клетки [22]

Описанный способ позволяет получать адресные системы доставки различных противоопухолевых препаратов для лечения большого количества злокачественных новообразований.

Нужно отметить, что дополнительным стимулом, заставляющим совершенствовать технологию получения различных медицинских материалов на основе биополимеров, является продление их срока годности и оптимизация условий хранения, учитывая, что конкурентная способность биополимерных материалов, особенно на основе природных полисахаридов, кроме эффективности их использования, сснижения токсичности, экономических факторов. напрямую зависит от длительности этого срока.

В случае использования биополимеров – полисахаридов вопрос стерилизации (в большинстве случаев γ-стерилизации) медицинских изделий стоит очень остро, т.к. за счет протекающего радиолиза происходят изменения в гидрогелевой матрице. Технологам приходится одновременно бороться с обсемененностью композиции, добиваясь стерильности, но не нарушать ее свойства, например, реологические, за счет условий (доза, время) γ-обработки. Этот острый вопрос стоит перед всеми производителями.

В работе [23] изучена возможность одновременного воздействии на 2 процесса: понижение микробной обсемененности гидрогелевой композиции до финишной

стерилизации, которая связана с использованием легко обсеменяемого сырья (например, природных полисахаридов альгината и гиалуроната натрия), и стабилизации вязкости композиции после стерилизации. Кроме того, повышение стерилизующей дозы также может повысить надежность финишной стерилизации. Результатами этой работы стал не только новый подход к технологии получения готового стерильного продукта за счет нахождения оптимальных с технологической и токсикологической точки зрения консервирующих и стабилизирующих добавок, но и разработка методики ускоренного старения прогнозирующей срок годности композиции, что позволило значительно ускорить время проведения научных исследований и оптимизировать производственные испытания, необходимые для выпуска качественной и безопасной продукции.

Как показано, существует множество подходов к созданию полимерных систем с контролируемым высвобождением ЛВ, только часть которых освещена в этой публикации. В настоящее время основная сложность заключается в том, что разработанные и апробированные in vitro системы с контролируемой доставкой ЛВ зачастую вынуждены так и остаться в состоянии разработки из-за огромных сложностей, в т.ч. финансовых, возникающих при их выводе на рынок. Те немногие материалы, которые все-таки прошли процедуры государственной регистрации (будь то лекарственные препараты или медицинские изделия), нуждаются в постоянном усовершенствовании для того, чтобы не уступать в эффективности зарубежным аналогам. Хочется надеяться, что существующие сложности и преграды в дальнейшем будут меньше, и работы отечественных химиков, полимерщиков, технологов, фармакологов найдут свою дорогу к нуждающимся в их труде больным людям.

Отдельные части работы выполнены в рамках гранта РФФИ № 15-29-04847.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харкевич Д.А. Фармакология. М.; 2013. 760 с.
2. Биополимеры в медицине.Успехи, проблемы, будущее. Лечебные депо-материалы на основе биополимера альгината натрия. Принципы создания и применения / Н. Д. Олтаржевская [и др.] // Биофармацевтический журнал. - 2017. - Т. 9, № 2. - С. 3-25.
3. Бегдуллаев А.К., Маншарипова А.Т., Джусипов А.К. и др. Проблема направленного транспорта лекарственных веществ в клинической практике // Терапевтический вестник. 2008.Т. 17. № 1. С. 32–36.
4. Гельперина С.Э., Швец В.И. Системы доставки лекарственных веществ на основе полимерных наночастиц. Биотехно- логия. 2009; 3: 8—23.
5. Ивонин А.Г., Пименов Е.В., Оборин В.А., Девришов Д.А., Копылов С.Н. Направленный транспорт лекарственных препаратов: современное состояние и перспективы. Известия Коми НЦ УрО РАН. 2012; 9: 46—55.
6. Аляутдин Р.Н. Транспорт лекарственных веществ через гема- тоэнцефалический барьер: линия Мажино или волшебный сезам. Молекулярная медицина. 2012; 3: 3—12.
7. Федотов Ю.А., Калмыков Ю.М., Шоболов Д.Л., Соснов А.В., Иванов Р.В., Балакин К.В. Разработка систем доставки лекарственных средств с применением микро- и наночастиц. Качественная клиническая практика. 2008; 2: 4—12.
8. Штильман М.И. Полимеры в биологически активных системах // Соросовский образовательный журнал, 1998, №5, с. 48-53.
9. Трансдермальные терапевтические системы. Качественная клиническая практика (от редакции), 2001, №1, с. 3-10.
10 Направленная доставка лекарственных препаратов при лечении онкологических больных / под ред. Бойко А. В. [и др.]. М.: СИМК, 2013. 194 с.
11. Хауг А. Альгиновая кислота // Методы химии углеводов: пер. с англ. / под ред. Н. К. Кочеткова. М.: Мир,1967. С. 317-321.
12. Кун М. П. и др. Сшиваемые in situ гидрогели для создания клеточного микроокружения //Вестник трансплантологии и искусственных органов. – 2017. – Т. 19. – №. 3. – С. 53-64.

13.Валуев Л.И., Валуева Т.А., Валуев И.Л., Платэ Н.А., Полимерные системы для контролируемого выделения биологически активных соединений / Л.И. Валуев [и др.] // Успехи биологической химии. 2003. Т.43. С. 307-309.
14. Bartil T., Bounekhei M., Cedric C., Jerome R. Swelling behavior and release properties of pHsensitive hydrogels based on methacrylic derivatives // Acta Pharm. — 2007. — V. 57. — P. 301–314.
15. Григорьева М. В. Полимерные системы с контролируемым высвобождением биологически активных соединений"/ Біотехнологія. -2011. - Т.4. - №. 2. – С. 9-23.
16. Олтаржевска Н.Д., Щвец. В.И., Коровина М.А., Липатова И.М., Хлыстова Т.С.Выбор состава биополимерной депо-композиции для использования в различных областях медицины / Биотехнология. 2016.№ 1. С.43-52.
17. Юсова, А.А. Свойства гидрогелей на основе смесей альгината натрия с другими полисахаридами природного происхождения / А.А. Юсова, И.В. Гусев, И.М. Липатова // Химия растительного сырья. – 2014. – № 4. – С. 59-66.
18. Структурообразование в дисперсиях на основе растворов ионогенных полисахаридов при интенсивных механических воздействиях / Н.В. Лосев, Е.А. Мезина, И.М. Липатова: сб. тез. докл. IV Всерос. науч. конф. «Физико-химия процессов переработки полимеров», ИХР РАН. - Иваново, 2009. - С. 61.
19. Хлыстова Т.С., Олтаржевская Н.Д., Эйзенах И.А., Липатова И.М. Лечебные гидрогелевые материалы для направленной доставки препаратов в онкоурологии / Российский биотерапевтический журнал. - 2016; № 15(1) – С. - 113-114.
20. Кильдеева Н.Р. Особенности получения биосовместимых пленок на основе хитозана, сшитого дженипином / Н.Р. Кильдеева, М.А. Касаткина, С.Н. Михайлов // Все материалы. Энциклопедический справочник.–2016. –No4. –С. 9-14
21. Швец В.И., Краснопольский Ю.М., Сорокоумова Г.М. Липросомальные формы лекарственных препаратов: технологические особенности получения и применения в клинике. – М.: Издательство «Ремедиум», 2017. 197 с.
22. Никольская Е.Д. «Создание новых систем доставки противоопухолевых препаратов и исследование их эффективности in vitro и in vivo»: дис ... канд. хим наук:. М., 2018.
23. Быркина Т.С. Разработка технологии получения лечебной гидрогелевой композиции на основе альгината натрия с увеличенным сроком годности: дис. ... канд. техн. наук: М., 2018.

УДК 547.458.61-148:66.084.8

ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ АППЛИКАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВОЛОКНИСТОЙ ОСНОВЕ

THE OBTAINING OF HYDROGELS BASED ON CHITOSAN FOR MEDICAL APPLICATION MATERIALS ON A FIBROUS SUBSTRATE

И.М. Липатова
I.M. Lipatova

Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук, (г. Иваново)
Institute of Chemistry of solutions to them. G.A.Krestova, (Ivanovo)
E-mail: i_lipatova@bk.ru

Рассмотрены способы безреагентного получения гидрогелей на основе хитозана: инициируемое сдвигом желирование хитозана с низкой степенью деацетилирования и механоактивируемое интерполиэлектролитное желирование хитозан-альгинатных смесей. Оба способа основаны на использовании интенсивных механических воздействий, реализуемых в роторно-импульсном аппарате. Разрабатываемые полисахаридные гидрогели предназначены для использования в качестве носителей лекарственного препарата в аппликационных медицинских материалах на волокнистой подложке. Показано, что скорость высвобождения лекарственного препарата зависит от состава волокнистой подложки и способа нанесения на нее гидрогеля.

The methods of reagent-free preparation of hydrogels based on chitosan are considered: high shear initiated gelling of chitosan with a low degree of deacetylation initiated and mechanoactivated interpolyelectrolitic gelling of chitosan-alginate mixtures. Both methods are based on the use of intensive mechanical actions implemented in the rotor-stator device. Developed polysaccharide hydrogels are intended for use as carriers of the drug in medical application materials on a fibrous substrate. It is shown that the rate of drug release depends on the composition of the fibrous substrate and the way it is coated with hydrogel.

В настоящее время хорошо известен и успешно используется способ придания текстильным изделиям медицинского назначения дополнительных лечебных свойств путем введения лекарственных препаратов в волокнистый материал, используемый для производства этих изделий. Такими изделиями могут быть повязки, аппликации, раневые покрытия. Для пролонгации действия лекарственных препаратов и закрепления их на текстильном субстрате используют растворы или гидрогели природных полисахаридов, таких как, например, альгинат натрия или эфиры целлюлозы, которые служат полимерной матрицей для вводимых препаратов [1]. В последнее время неуклонно возрастает интерес исследователей, работающих в области биологии, медицины и текстильной химии, к такому важному представителю природных полисахаридов, как хитозан. Уникальные физико-химические свойства хитозана, его совместимость с тканями человека, биодеградируемость, хорошая пленкообразующая и сорбционная способность позволяют считать его перспективным полимерным пролонгатором для контролируемого высвобождения лекарственных препаратов [2]. Бактериостаические и гемостатические свойства, а также способность к гелеобразованию хитозана обусловливливают интерес исследователей к его использованию для создания атравматичных раневых покрытий.

Для формирования трехмерного каркаса гидрогелей хитозана используют ковалентную сшивку, протекающую по конденсационному механизму с участием аминогрупп, или радиационную сшивку. Основным методом получения ковалентно-сшитых гелей хитозана является сшивание глутаровым альдегидом [3], однако побочные процессы альдольной конденсации, приводящие к образованию продуктов с непредсказуемым действием, ограничивают использование систем хитозан-алифатический диальдегид в биомедицинских целях. Для медицинских целей представляет особый интерес разработка новых способов получения гидрогелей без использования химических кросс-линкеров.

В настоящей работе рассмотрены приемы безреагентного гелеобразования хитозана с использованием интенсивных механических воздействий, реализуемых в роторно-импульном аппарате. Условия механической активации: скорость вращения ротора 5000 об.·мин$^{-1}$, градиент скорости сдвига 1,7·10^{5} с$^{-1}$, продолжительность обработки 4-10с.

Примером гидрогелей, не содержащих химических реагентов, являются физические гидрогели, в которых образование пространственной полимерной сетки обусловлено гидрофобными взаимодействиями. Для получения физического геля методом механического инициирования мы использовали промышленный хитозан с низкой степенью деацетилирования (СДА=60%; ММ=550кДа), по существу представляющий собой сополимер, состоящий из гидрофильных глюкозаминовых и гидрофобных N-ацетоглюкозаминовых блоков.

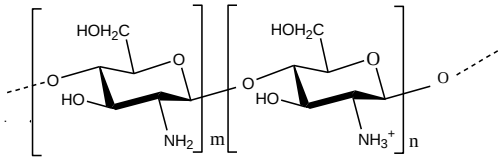


Рис. 1. Хитозан

Использованный в данной работе хитозан при растворении в 2%-ной уксусной кислоте образует раствор с высоким (до 17% масс.) содержанием дискретной гелевой фракции. При интенсивном механическом воздействии «гелики» расщепляются, высвобожденные хитиновые участки макромолекул образуют ассоциаты за счет гидрофобного взаимодействия [4]. Роль механической активации в данном процессе заключается в том, что за счет интенсивного массобмена и ориентирующего действия высокоградиентных сдвиговых деформаций создаются условия для предельного сближения гидрофобных участков и их агрегации. Ассоциаты хитиновых фрагментов, принадлежащих разным макроцепям, являются узлами образующейся пространственной полимерной сетки геля. Об образовании трехмерной пространственной сетки геля можно судить по степени потери текучести, характеризуемой индексом течения (m), значения которого в данной работе получали математической обработкой кривых течения растворов хитозана. Как следует из табл.1, после механической активации степень потери текучести растворов хитозана увеличивается с увеличением их концентрации.

Таблица 1

Индексы течения (m) исходных и механически обработанных (5000 об./мин., 10с) растворов хитозана.

Образец $C_{ХЗ}$, масс.%	m	
	без обработки	Механическая обработка
1,0	0,655	0,726
2,0	0,558	0,388
2,5	0,513	0,256
3,0	0,448	0,078

Полученные гидрогели после введения в них лекарственного препарата (ЛП) наносили на нетканый текстильный материал (НМ) двумя способами: методом импрегнирования (пропитки с отжимом между резиновыми вальцами), либо методом шпредингования (поверхностного нанесения с помощью шаблонной рамки и ракли). После аппретирования материалы высушивали при 40°С. В качестве тестового ЛП использовали лидокаин. Пленка высушенного гидрогеля при введении в водную среду быстро повторно набухает (см.рис.1 и 2)

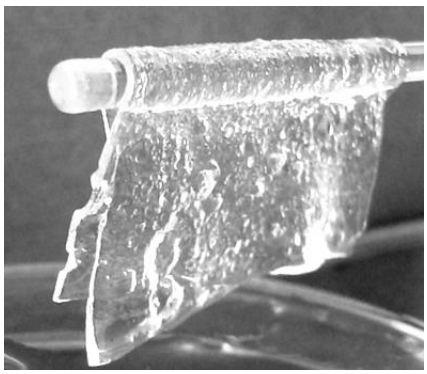
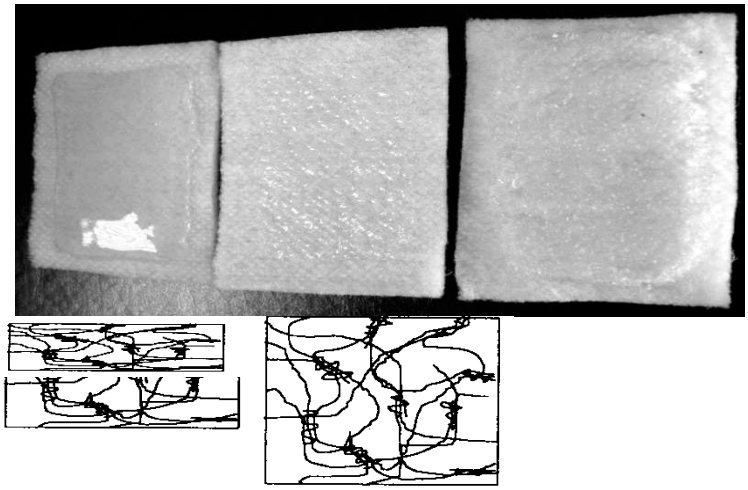


Рис.2 Физический гидрогель, полученный набуханием пленки из механоактивированного раствора хитозана с низкой СДА.



1 2 3

Рис.3 Фото и схематическое изображение трехмерной полимерной сетки исходного (1), высушенного (2) и повторно набухшего (3) физического геля хитозана на текстильной подложке.

Таблица 2

Влияние состава НМ и способа нанесения физического гидрогеля хитозана на степень набухания и продолжительность высвобождения ЛП (лидокаин**).**

Состав НМ	Способ нанесения	Время выхода 85% ЛП,ч	Степень набухания,%
Лен – 50%, Вискоза – 50%	Чистый НМ	0,8	-
	Пропитка	18,2	1850
	Шпредингование	12,2	5150
Лен – 50%, Полипропилен – 50%	Чистый НМ	0,6	-
	Пропитка	11,5	2650
	Шпредингование	8,5	4980

Из данных таблицы 2 следует, что для одних и тех же пар хитозан-волокнистый материал время высвобождения ЛП больше в случае аппретирования методом пропитки. Это связано с армирующим действием НМ, который можно рассматривать как наполнитель, имеющий противоположный заряд поверхности по отношению к хитозану (ζ=26-38мВ.). В случае поверхностного нанесения гидрогеля наблюдается большая степень повторного набухания.

В последние годы наметился большой интерес к гибридным гидрогелям, образованным двумя противоположно заряженными ионогенными полисахаридами. В нашей работе для получения гибридных гидрогелей мы использовали смеси хитозана и

биосовместимого анионного полисахарида альгината натрия. При обычном смешении растворов этих полисахаридов получается очень неоднородная густая масса, не пригодная для нанесения на текстильную подложку. Неоднородность хитозан-альгинатных смесей обусловлена наличием двух фаз – водно-хитозановой и водно-альгинатной (рис.5, *а*). Образующаяся на межфазных границах сетка интерполиэлектролитных кооперативных связей препятствуют взаимному проникновению полимеров на молекулярном и надмолекулярном уровнях.

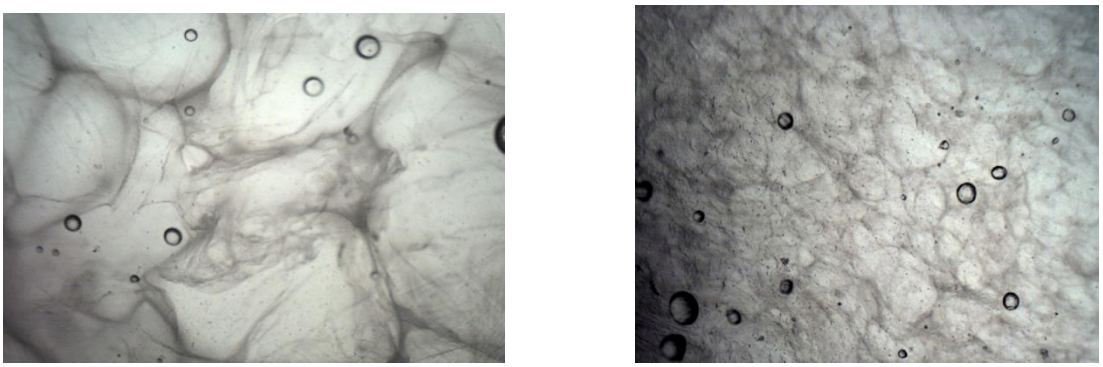


Рис.4 Контрастированные микроскопические изображения исходных (слева) и обработанных в РИА хитозан-альгинатных гидрогелей.

Степень дисперсности смесей может регулироваться за счет использования интенсивных механических воздействий, в частности высоких сдвиговых напряжений, реализуемых в роторно-импульсном аппарате (рис.5, *б*). Регулирование степени дисперсности двухфазных смесей и частоты интерполимерных ионных контактов позволяет целенаправленно изменять транспортные свойства гидрогелевых матриц и тем самым обеспечивать заданную скорость высвобождения лекарственного препарата. Механическая обработка смешанных гидрогелей делает возможным нанесение их на текстильные подложки и получение аппликационных материалов. Увеличение степени пролонгации действия введенного препарата может быть достигнуто путем его введения лишь в одну из полимерных составляющих гибридного геля.

Таким образом, продемонстрирована возможность безреагентного получения гидрогелей на основе хитозана с использованием интенсивных механических воздействий, реализуемых в роторно-импульсном аппарате. Разрабатываемые полисахаридные гидрогели предназначены для аппликационных материалов на текстильных подложках. Скорость высвобождения лекарственных препаратов из таких материалов может варьироваться за счет изменения плотности пространственной сетки геля путем варьирования концентрации полимеров и параметров механической активации, а также за счет состава текстильной подложки и способа нанесения гидрогелевого материала.

ЛИТЕРАТУРА

1 Н.Д.Олтаржевская, В.И. Швец, М.А.Коровина, И.М. Липатова , Т.С.Хлыстова Выбор состава биополимерной лечебной депо-композиции для использования в различных областях медицины**. //** Биотехнология 2016, №1, С. 43-52

2. Muzzarelli R.A.A., Muzzarelli C. Chitosan cytmistry: relevance to the biomedical sciences. // Adv. Polym. Sci. 2005. V.186. P.151-209.

3. Никоноров В.В., Перминов П.А., Кильдеева Н.Р. Закономерности структурообразования в растворах хитозана в присутствии сшивающего реагента для получения волокнистых биокатализаторов// Хим. волокна. – 2006. – №2. – С. 9-11.

4. А.А.Юсова, И.М.Липатова. Механоинициированное гелеобразование в растворах хитозана с низкой степенью деацетилирования. // Журнал прикладной химии. 2013. Т. 86. Вып.4. С. 585-592.

УДК 677.07

МАТЕРИАЛЫ НА ВОЛОКНИСТОЙ ОСНОВЕ В ДОРОЖНОЙ КАРТЕ РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

MATERIALS ON A FIBROUS BASIS IN THE ROAD MAP OF DEVELOPMENT OF ARCTIC MATERIALS SCIENCE

В.М. Бузник[1], Н.П. Пророкова[2]
V.M. Bouznik[1], N.P. Prorokova[2]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (Москва)
[2]Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук (г. Иваново)
[1]All-Russian Research Institute of Aviation Materials (Moscow)
[2]G.A. Krestov Insititute of Solution Chemistry of Russian Academy of Science (Ivanovo)
E-mail: bouznik@ngs.ru, npp@isc-ras.ru

Статья посвящена анализу современного состояния и перспективам развития материалов на волокнистой основе, предназначенных для использования в арктических условиях. Рассматриваются арктические волокнистые материалы технического и бытового назначения

Ключевые слова: арктические технические ткани, ткани для арктической одежды, теплозащитные материалы

The article is devoted to the analysis of the current state and the development prospects of fibrous-based materials which intended for use in arctic conditions. Arctic fibrous materials of technical and household use are considered.

Keywords: Arctic technical fabrics, fabrics for Arctic clothing, heat-shielding materials

Дальнейшее освоение Арктики является одной из важнейших современных задач Российской Федерации. Для реализации этой задачи необходимо наличие материалов, эффективно и надежно работающих в арктической зоне. Арктика отличается экстремальными природно-климатическими условиями: длительными низкими температурами, значительным годовым перепадом температур в континентальной зоне (в Якутии от минус 60 до плюс 40 ^{o}C); сильными ветровыми нагрузками; высокой влажностью в морской зоне, оледенением и налипанием снега; наличием ледяного покрова на акватории арктических морей; высокой солнечной радиацией в период полярного дня; низкой экологической устойчивостью окружающей среды, её сильной зависимостью от антропогенных воздействий [1]. Материалами, которые могут работать в указанных условиях, занимается арктическое материаловедение. Под арктическим материаловедением понимается междисциплинарный раздел науки, изучающий создание, строение и свойства материалов для эксплуатации в условиях Арктики, разработку технологий их производства и выявление областей применения в зоне арктического климата [2]. Особенность арктических материалов – возможность их разностороннего применения. В отличие от обычных материалов, предназначенных для определенной узкой области использования, арктические материалы разрабатываются для эксплуатации в различных условиях, но обязательно включающих арктические. В целом арктические материалы должны выдерживать воздействие арктического климата при сохранении своих эксплуатационных свойств.

В настоящее время под эгидой Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам и ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ ведется работа над дорожной картой «Развитие отечественного арктического материаловедения», дополняющей дорожную карту освоения Арктики Министерства промышленности и торговли РФ [3]. В этой дорожной карте важное место занимают материалы на волокнистой основе.

В частности, большой интерес вызывают технические ткани с защитными функциями, которые можно эксплуатировать при экстремальных климатических условиях. К таким

материалам можно отнести различные защитные ткани, разработанные и выпускаемые Ивановским НПФ «Фабитекс»:

- водонепроницаемые и непрогораемые ткани с силиконовыми покрытиями для различных укрытий, палаток, чехлов, тентов, а также для различных средств индивидуальной защиты, предназначенных, например, для военных, пожарных, сварщиков и т.д.;

-высокоизносостойкие, а также огнезащитные и термозащитные материалы с дискретными покрытиями различных модификаций для средств индивидуальной защиты в различных отраслях, а также для внутренней отделки палаток разного назначения;

- огнестойкие и термостойкие материалы из различных видов термостойких волокон, например, из параарамидныхи минеральных нитей и пряж для спецодежды и средств индивидуальной защиты;

- новые виды хемостойких материалов специального назначения;

- другие виды защитных тканей с огнезащитными или водоотталкивающими пропитками, полимерными покрытиями и др.

Правительством Российской Федерации принята «Стратегии развития Арктического региона РФ», являющаяся основополагающим документом в этой области. Поскольку одной из её важнейших целей является улучшение условий существования людей, живущих и работающих в условиях Арктики, важным вопросом арктического материаловедения является создание комфортной одежды для Арктики.

Основные функции одежды, используемой в арктических условиях, состоят в предотвращении переохлаждения за счет обеспечения нормальной терморегуляции человека [4]. Одежда должна изолировать организм человека от воздействия низких температур и ветра, обеспечивая снижение теплопотерь и создавая условия для поддержания постоянной температуры тела. Дополнительной, но не менее важной функцией является реализация условий тепло- и газообмена организма с окружающей средой, для отвода (поглощения) от поверхности тела человека продуктов метаболизма - излишней влаги и тепла.

Туристическая, спортивная, рабочая, форменная, производственная одежда, эксплуатируемая в условиях Арктики, должна отвечать следующим требованиям [5]:

- обладать функциональностью (защита от погодно-климатических факторов и от загрязнений), долговечностью и надежностью (сохранение формы, прочность, устойчивость к погодным факторам и средствам ухода);
- быть экономичной (создаваться на основе материалов и фурнитуры рациональной стоимости, иметь низкую материалоемкость, невысокую стоимость промышленного изготовления за счет технологичности, отличаться легкостью ухода, ремонтопригодностью);
- быть эргономичной (соответствовать антропометрическим параметрам потребителя, отличаться удобством надевания, пользования и снятия, небольшой массой, обладать гигиеничностью, воздухо- и паропроницаемостью, водопоглощением, гигроскопичностью);
- удовлетворять эстетическим требованиям потребителя (быть современной, привлекательной, сбалансированной по цвету, пропорциям и форме).

Создание одежды для защиты от холода является сложной научной и производственной задачей, поскольку она должна удовлетворять часто плохо совместимым и противоречивым требованиям. В одежде должны сочетаться малая масса и высокие теплозащитные свойства, малая воздухопроницаемость и достаточная влагопроницаемость для обеспечения влагообмена тела с окружающей средой, она должна защищать от внешней влаги и не препятствовать удалению последней с поверхности тела, кроме того, должна предотвращать охлаждение человека в состоянии покоя и не вызывать перегрева при выполнении физической работы.

Арктическую одежду рекомендовано конструировать на основе принципа многослойных пакетов [6]. Каждый слой имеет определенное функциональное назначение. Так ткани верха обеспечивают защиту одежды от ветра и влаги, не препятствуя удалению влаги с поверхности, и способствуют регулированию теплообмена с окружающей средой при

изменении метеоусловий и уровня физической активности. Для обеспечения комфортных условий носки в пододежном пространстве должен установиться определенный устойчивый микроклимат, которого можно добиться лишь при использовании в одежде тканей и нетканых материалов с оптимальными характеристиками воздухопроницаемости, водопоглощения, паропроницаемости, гигроскопичности, термического сопротивления.

В перечень материалов входит несколько десятков наименований, но из них следует выделить три ключевых компонента: ткань с ветро-, водо- и другими защитными свойствами, утеплитель и мембранную ткань. Ткань для верха одежды изготавливается, в основном, из волокон на основе полиэтилентерефталата, реже – поликапроамида. Высокими эксплуатационными характеристиками в условиях арктического климата обладают также ткани из отечественных ароматических полиимидных волокон Аримид®, Пион®, Твим®. Утеплители с высокими теплозащитными свойствами производятся, преимущественно, на основе специальных волокон из первичного полиэтилентерефталата (микроволокон, 3D извитых, полых, силиконизированных и т.д.), иногда с добавками волокон на основе других полимеров. Основным компонентом пористых мембран, используемых для получения мембранных тканей, является политетрафторэтилен. Безпоровые мембраны изготавливаются на основе полиуретана.

В России вопросами создания одежды для арктических условий и разработки материалов для неё занимается ряд организаций. Ведущим является Центральный научно-исследовательский институт швейной промышленности (г. Москва), который разрабатывает рекомендации по формированию пакета материалов одежды в зависимости от региона, профессии, степени интенсивности труда, осуществляет испытания новых материалов для утепленной одежды. Проблемы проектирования теплозащитной одежды, разработки программ для рационального подбора пакетов теплозащитной одежды решают в Донском государственном техническом университете (г. Ростов-на-Дону) и его филиалах [7], в Казанском национальном исследовательском технологическом университете (г. Казань) и в Научно-исследовательском институте медицины труда РАМН (г. Москва) [8,9]. Вопросы создания новых утеплителей, исследования их структуры и свойств решаются исследователями фирмы «Термопол», Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (г. Москва) [10,11], филиала ЮУГУ (г. Златоуст) [12]. Оценка влаго- и ветрозащитных свойств текстильных материалов и проблема получения новых ветрозащитных тканей находится в сфере научных интересов ученых Ивановского государственного политехнического университета (г. Иваново) [13,14]. Проблемой придания тканям оптимальных характеристик воздухопроницаемости, водопоглощения, паропроницаемости, гигроскопичности, термического сопротивления занимаются ученые Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Ивановского химико-технологического университета (г. Иваново), Санкт-Петербургского университета промышленных технологий и дизайна (г. Санкт-Петербург) [15-17].

Работа проводилась при финансовой поддержке РНФ (проект № 18-13-00392).

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития Арктического региона РФ до 2020 г. (утверждена Президентом России 8 февраля 2013 г.) URL.: http://www.government.ru/info/18360/ (дата обращения 21.06.2018).
2. Бузник, В.М. К вопросу построения дорожной карты отечественного арктического материаловедения. Ч. 1 / В.М. Бузник, Н.П. Бурковская, И.В. Зибарева, Р.Н. Черепанин // Материаловедение. – 2017. - № 4. – С. 8 – 16.
3. Бузник, В.М. К вопросу построения дорожной карты отечественного арктического материаловедения. Ч. 2 / В.М. Бузник, Н.П. Бурковская, И.В. Зибарева, Р.Н. Черепанин // Материаловедение. – 2017. - № 5. – С. 22 – 28.
4. Holmer, I. Textiles for protection against cold / In book: Textiles for protection / Ed. R. A. Scott. - Cambridge: Woodhead Publishing Lim., 2005. – P. 378 – 397.

5. Афанасьева, Р.Ф. Гигиенические основы проектирования одежды для защиты от холода / Р.Ф. Афанасьева. - М.: Лёгкая индустрия, 1977. – 136 с.
6. Колесников, П.А. Рациональные принципы построения теплозащитной одежды / П.А. Колесников. - М.: Легкая индустрия, 1961. - 240 с.
7. Черунова, И.В. Новые технологии в проектировании средств индивидуальной защиты для условий освоения Арктики / И.В. Черунова, С.А., Колесник С.А., Е.Б. Стефанова // Современные проблемы науки и образования. – 2015.- №1 (часть 1). - URL https://science-education.ru/ru/article/view?id=17198.
8. Афанасьева, Р.Ф. Полимерные материалы в производстве костюма для военнослужащих Арктики / Р.Ф. Афанасьева, Н.В. Тихонова, А.Б. Михайлов, Т.М. Осина, И.Д. Михайлова, В.Т. Прохоров // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. - Т.18, №22. – С. 89 – 93.
9. Афанасьева, Р.Ф. Полимерные материалы в производстве костюма для военнослужащих Арктики (Сообщение 4) / Р.Ф. Афанасьева, Н.В. Тихонова, А.Б. Михайлов, Т.М. Осина, И.Д. Михайлова, В.Т. Прохоров, Д.В. Рева // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. - Т.19, №11. - С. 114-118.
10. Советников, Д.А. Ассортимент и области применения синтетических утеплителей / Д.А. Советников, В.Ю. Мишаков, И.Н. Жагрина, Г.К. Мухамеджанов / Дизайн и технологии – 2013. – № 34 (76). – С. 62-69.
11. Советников, Д.А. Исследование теплозащитных свойств нетканых утеплителей в пакетах одежды / Д.А. Советников, В.Ю. Мишаков, Е.А. Кирсанова, М.Ю. Трещалин / Дизайн и технологии – 2016. – № 56 (98). – С. 73-79.
12. Дерябина, А.И. Исследование деформации волокнисто-сетчатых материалов методом циклического сжатия / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова // Известия высших учебных заведений «Технология текстильной промышленности». 2013. – №1. – С. 32-36.
13. Метелёва, О. В. Исследование влияния водопроницаемости швов на теплозащитные свойства пакета одежды / О.В. Метелева, И.В. Молькова, В.В. Веселов // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 2005. – № 1 (282). – С. 87-90.
14. Карева, Т.Ю. Исследование параметров строения тканей различных способов формирования / Т.Ю. Карева, С.Д. Николаев. М.:МГТУ им.А.Н.Косыгина, 2004.-86 с.
15. Пророкова, Н.П. Новые методы модифицирования синтетических волокнистых материалов / Н.П. Пророкова, В.М. Бузник // Российский химический журнал (Журнал РХО им. Д.И. Менделеева). - 2015. - Т. LIX. № 3. – С. 52-59.
16. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Никитин Л.Н., Бузник В.М. Глава 8. Придание сверхгидрофобных свойств полиэфирным тканям на основе использования растворов низкомолекулярной фракции ультрадисперсного политетрафторэтилена в сверхкритическом диоксиде углерода / В кн.: Растворы в химии и технологии модифицирования полимерных материалов: новое в теории и практике (Проблемы химии растворов) / Отв. ред. А.Ю. Цивадзе. – Иваново: ОАО «Издательство Иваново». – С. 401 – 457.
17. Prorokova, N.P. Hydrophobization of Polyester Textile Materials with Telomeric Tetrafluoroethylene Solutions / N.P.Prorokova, T.Yu. Kumeeva, D.P. Kiryukhin, V.M. Buznik // Russian Journal of Applied Chemistry,. – 2013. - Vol. 86, No. 1. - P. 69−75.

УДК 677.027.4.047.42:677.042.2

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF FUNCTIONALIZATION OF TEXTILE MATERIALS

О.И. Одинцова
O.I. Odintsova

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

В работе представлены методики получения микрокапсул, содержащих биологически активных вещества (БАВ), на основе микроэмульсий и с использованием темплатов карбоната кальция. Разработаны микрокапсулированные формы отделочных препаратов. Рассмотрены особенности технологий заключительной отделки целлюлозных текстильных материалов, основанные на использовании микрокапсулированных форм функциональных препаратов.

Ключевые слова: микрокапсула, наночастица, иммобилизация синтетический полиэлектролит, серебро, акарицид, биологически активные вещества.

A technique of obtaining microcapsules of biologically active substances (BAS) on the basis of microemulsion and templates of calcium carbonate is presented. Microencapsulated forms of finishing preparations have been developed. Features of final finishing technologies for cellulose textile materials based on the use of microencapsulated forms of functional preparations are considered.

Key words: microcapsule, nanoparticle, immobilization, synthetic polyelectrolyte, silver, acaricide, biologically active substances.

В настоящее время в текстильном производстве промышленно развитых стран Европы, Азии и Америки происходит смена приоритетов – традиционный текстиль уходит в развивающиеся страны, а его место занимает «умный» текстиль медицинского, бытового, технического, информационного назначения, для получения которого используют наукоемкие нанотехнологии.

К таким технологиям относятся различные способы синтеза нанокапсул, включающих функциональные вещества. Перспективным является метод создания микрокапсул на основе полиэлектролитов, основанный на послойной (Layer-by-Layer) электростатической самосборке (Electrostatic Self-Assembly) противоположно заряженных полиэлектролитов на коллоидных наноразмерных частицах [1, 2].Формирование оболочек капсул может осуществляться как на темплатах, так и на частицах наноэмульсий. Методика рассматриваемого процесса заключается в том, что на поверхности сферических частиц, размеры которых варьируются от сотен нанометров до десятка микрон, методом поочередной адсорбции противоположно заряженных макромолекул полиэлектролитов, формируется многослойная оболочка толщиной несколько нанометров.

В качестве полиэлектролитов были опробованы полидиаллилдиметиламмоний хлорид, сополимеры акриловых соединений, альгинат натрия и др. Наноэмульсии готовили на основе маслорастворимых витаминов, биологически активных веществ (БАВ), репеллентов. В качестве эмульгаторов использовали неионогенные и анионоактивные ПАВ различного химического строения.

Показано, что максимально устойчивая прямая эмульсия получается при введении в систему К-пав, Эмпола 10 и Синтанола АЛМ -10. Средней эмульгирующей способностью обладают Эмпол С-10, Эмпол 8 и Эмпол 12.

Выявлено влияние природы поверхностно-активных веществ, используемых в составе наноэмульсий на размеры синтезируемых капсул.Минимальные размеры капсулируемых БАВ достигаются при использовании в качестве эмульгаторов оксиэтилированных жирных спиртов. Одновременно размер формируемой капсулы определяется природой и концентрацией в системе масляного вещества. Капсулирование при одинаковых условиях масел грейпфрута и розмарина позволяет получить капсулы различного размера.

Оценен размер капсул розмарина при различных концентрациях масла в системе. Оптимальный размер капсул-от 25,07 до 155,5 нм, содержащих в ядре масло розмарина концентрацией 5 г/л, получен при использовании смеси анионоактивного и неионогенного ПАВ. Увеличение концентрации масла розмарина до 50 г/л практически не влияет на размер капсул (средний размер 75-121 нм), однако в дальнейшем происходит частичная агрегация капсул-«слипание», что видно из фотографии (рис.1).

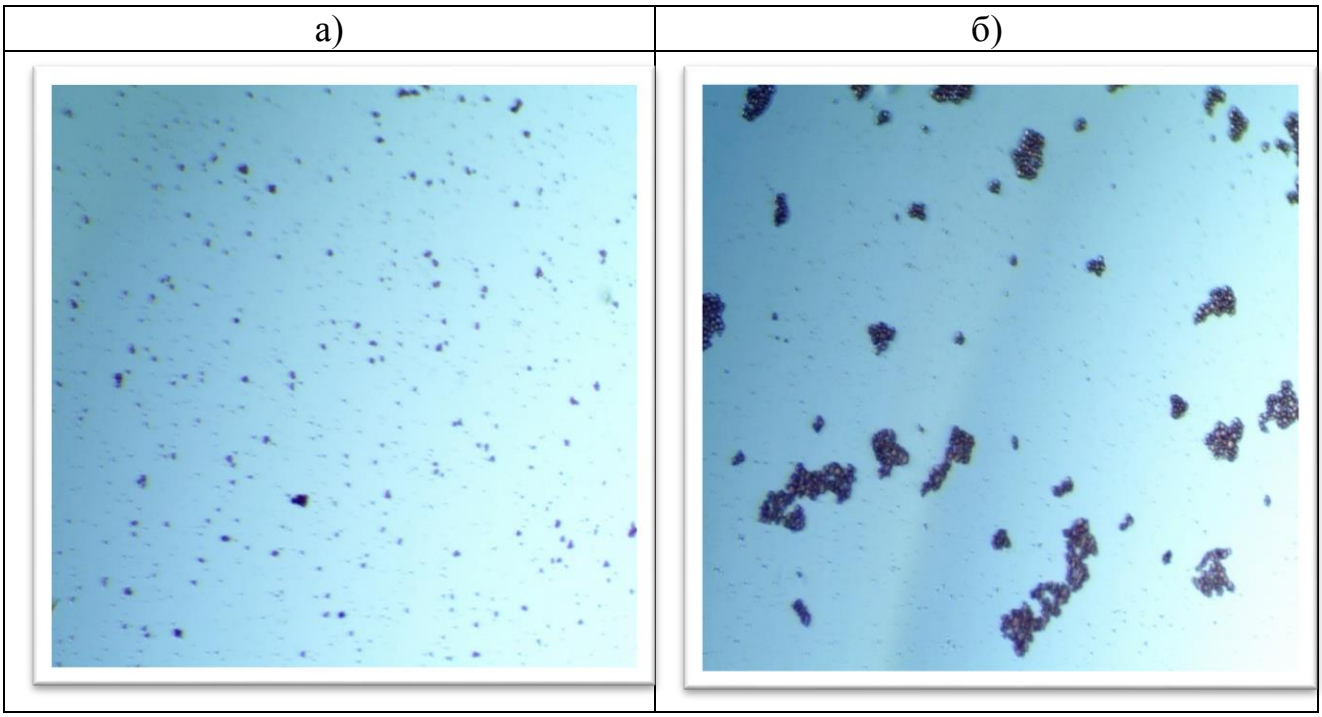


Рис. 1. Фотографии капсул с маслом розмарина: а) концентрация масла розмарина 10 г/л; б) концентрация масла розмарина 50 г/л.

Получить устойчивые системы, содержащие капсулированные вещества, удалось посредством подбора стабилизаторов. В результате исследования получены бислойные и тетраслойные капсулы, содержащие масляные растворы функциональных веществ.

Предложены технологические схемы отделки БАВ, а также ароматической и репеллентной отделок целлюлозных тканей, включающие пропитку капсулированным препаратом, сушку при температуре 100^{0}-130^{0}С, пропитку закрепителем, конвективную или контактную сушку. Разработанные технологии рекомендованы в качестве базовых для полупроизводственных испытаний [3-6].

Другой способ капсулирования функциональных веществ состоит в формировании оболочки на темплатах. Темплатами могут быть латексные частицы, частицы SiO_2, карбонатов кальция и марганца, эритроциты и т.д.

Данная технология позволяет получать микрокапсулы определенной формы и размера, зависящих от используемых матриц-ядер. Оболочка микрокапсул обеспечивает требуемые каталитические или аффинные свойства, стабильность, проницаемость, совместимость и регулирование высвобождения внутреннего материала капсулы.

Были получены темплаты на основе карбоната кальция микронных размеров, на которых последовательно формировались полиэлектролитные оболочки из противоположено

заряженных синтетических и природных полиэлектролитов. Затем ядро удаляли путём растворения в этилендиаминотетрауксусной кислоте. Определение размеров синтезируемых капсул, показало, что в процессе растворения темплатов происходит «сжатие» капсул до размеров нанометрового диапазона.

Предложено топировать оболочки капсул наночастицами серебра и наполнять антибактериальными препаратами, что позволяет придавать текстильным материалам антибактериальные свойства пролонгированного действия [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Одинцова О.И., Кузьменко В.А., Русанова А.И. Применение синтетических полиэлектролитов для иммобилизации душистых веществ на текстильных материалах методом «Layer-by-layer» // Сб. мат. 8-ой межд. науч.-практ. конф. «Актуальные научные разработки – 2013». - Бял ГРАД-БГ, София, 2013. - С. 87-89

2. Одинцова О.И., Кузьменко В.А., Прохорова А.А Synthetic polyelectrolyte application for the functional substances immobilization on cotton with the "layer-by-layer" method (Применение синтетических полиэлектролитов для иммобилизации функциональных веществ на хлопчатобумажные ткани) // Topical areas of fundamental and applied research Сборник научных статей международной научно-практической конференции "Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований". – 2015. - С. 112-114. – North Charleston США

3. Прохорова А.А., Петрова Л.С., Владимирцева Е.Л., Одинцова О.И. Использование метода микроэмульсионногокапсулирования для придания текстильным материалам акарицидных свойств// Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности, № 1, 2017, с. 332-335

4. Прохорова А.А., Одинцова О.И., Авакова Е.О., Кузьменко В.А.Применение метода layer-by-layer для иммобилизации акарицидных веществ на целлюлозных текстильных материалах.//Изв.вузов Химия и химическая технология, 2016, т.59, № 7 с.42-46.

5. Патент РФ № 2594422 Способ получения ароматизированного текстильного материала/ Кузьменко В.А., Одинцова О.И., Никифорова Т.Е., Прохорова А.А, Одинцова Л.С., //опубл. 20.08.2016 (приор.от. 26.03.2015).

6. Патент РФ № 2596452 Способ производства текстильного материала, содержащего нано- и микрокапсулированные биологически активные вещества с замедленным высвобождением / Одинцова О.И., Королев С.В., Кузьменко В.А., Владимирцева Е.Л., Козлова О.В., Королев Д.С., Крутских Е.В., Муратова Н.Н., Одинцова Л.С., Прохорова А.А., Никифорова Т.Е. //опубл. 10.09.2016 (приор. от. 10.06.2015

7. Одинцова О.И., Кузьменко В.А., Дмитриева А.Д. Синтез и использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // Изв. вузов. Химия и химическая технология. - 2015.- Т.58. - № 8.- С. 67-70.

УДК [677.014.2+677.027](075.8)

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ КУБОВЫХ И ИНДИГОИДНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ – ИННОВАЦИОННЫЙ РЕСУРС ДЛЯ ОКРАШИВАНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ И НЕТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЕНИЕ, ДИЗАЙН

UNIVERSAL PREPARATIONS ON THE BASIS OF VAT AND INDIGOIDS DYES AS INNOVATION RESOURCES FOR THE DYEING OF TEXTILE AND NONTEXTILE MATERIALS. TEHNOLOGY, APPLICATION, DESIGN

А.М. Андриевский, М.К. Грачев
A.M.Andrievskiy, M.K.Grachev

Ассоциация «ЦЕМЕСС», (Москва)
Association “CEMESS”, (Moscow)

Рассмотрены новые возможности универсальных препаратов на основе кубовых и индигоидных красителей для окрашивания текстильных и нетекстильных материалов. Обсуждаются существенные преимущества предложенных препаратов по сравнению с известными. Предлагаются варианты дизайна одежды с использованием интеграции приемов классического крашения, элементов «умного» и «глупого» текстиля. Демонстрируются соответствующие образцы.

Ключевые слова: кубовые и индигоидные красители, текстильные и нетекстильные материалы, крашение, дизайн одежды

The new possibilities of universal preparations on the basis of vat and indigoid dyes for the dyeing of textile and nontextile materials are considered. The principal advantages of suggested preparations in comparison with the known ones are discussed. The variants of clothes design with using of integration methods of classic dyeing, elements of “Smart” and “Doltish” textile are suggested. The corresponding samples are demonstrated.

Key words: vat and indigoid dyes, textile and nontextile materials, dyeing, clothes design

Нами запатентованы препараты кубовых и индигоидных красителей в твердой форме (в виде сухих порошков), которые могут быть использованы для окрашивания текстильных и нетекстильных материалов. Препараты стабильны без применения специальных мер защиты, являются товарной формой, удобной для хранения и транспортировки и одновременно подготовленной для осуществления процесса крашения. В их состав входят: краситель в невосстановленной форме, восстановитель, щелочной агент, диспергатор и добавки. Совместное использование восстановителя и щелочного агента в препарате не является очевидным. Так, при смешивании, например, порошков восстановителя – декстрозы и гидроксида натрия идет бурная реакция с выделением тепла. Известно также, что дитионит натрия при нарушении правил хранения склонен к самовозгоранию.

Созданные нами препараты на основе дитионита и гидроксида натрия устойчивы к длительному (многолетнему) хранению. Они приняты к производству и выпускаются под торговой маркой «нанопринты».

При добавлении препарата к воде идет реакция восстановления с образованием лейкоформы красителя. Готовят сначала так называемый «маточный куб», затем на его основе «рабочий раствор», который используют для окрашивания различных субстратов.

Колорирование нетекстильных материалов лейкоформами красителей мало изучено. В течение последних пяти лет мы провели многочисленные исследования, в результате которых были разработаны технологии крашения большого количества нетекстильных материалов: песка, камней, бетона, сухих строительных смесей, тротуарной плитки и др. Создано производство окрашенной щепы (мульчи) из различных пород дерева широкого цветового ассортимента. Предприятия многих российских регионов для реализации этого направления закупают у нас «нанопринты». Окрашивание препаратами в соответствии с

критерием «цена – свойства» намного превосходит существующие способы крашения дерева. Выполнен ряд работ в области ландшафтного дизайна (И.В. Волкова). По мотивам картины В.В. Верещагина «Апофеоз войны» нами создана композиция «Триумф жизни» (Музеон, 2015 год, колорированный камень, - структурное и поверхностное крашение, флуоресценция, свечение в темноте).

В докладе обсуждаются результаты крашения лейкокрасителями нетекстильных материалов, когда процесс фиксации красителя (пигмента) не связан с явлениями сродства красителя к субстрату.

В последние три десятилетия одним из основных направлений в области создания препаратов для крашения кубовыми (индигоидными) красителями становится получение твердых препаратов лейкоформ [1]. Дело в том, что лейкоформу кубового красителя в виде водного раствора нельзя долго хранить в открытой системе, поскольку после смешения компонентов происходит основная реакция восстановления, а со временем обратные и побочные реакции: окисление лейкоформы красителя кислородом воздуха, реакция восстановителя с кислородом и водой, реакция щелочного агента с диоксидом углерода. Известные технологические решения создания концентрированных и твердых (порошковых или гранулированных) препаратов осуществляется по одинаковой схеме:

- Предварительное восстановление красителя путем каталитического гидрирования водородом на никеле Ренея щелочной пасты красителя;
- Концентрирование водных растворов лейкоформы;
- В некоторых решениях - гранулирование.

Во всех известных технических решениях существует проблема защиты восстановленного кубового красителя от окисления и обеспечения устойчивости препаратов при хранении, которая решается проведением всех стадий процесса получения препаратов в среде инертного газа (азота). Необходимость защиты препаратов от окисления существует на всех этапах их производства хранения и применения.

В состав известных твердых (гранулированных) лейкоформ кубовых и индигоидных красителей входит дитионит и гидроксид щелочного металла.

В процессе концентрирования водных растворов, осуществляемом при высоких температурах, дитионит разлагается или реагирует с образованием побочных продуктов:

Дитионит может разлагаться в горячей воде:

$$2Na_2S_2O_4 + H_2O \rightarrow 2NaHSO_3 + Na_2S_2O_3$$

В щелочной среде образуется тиосульфат и сульфит:

$$2Na_2S_2O_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2S_2O_3 + 2Na_2SO_3 + H_2O$$

Таким образом, составы в гранулированных препаратах подвержены изменению при отсутствии возможности регулирования. Эти препараты невозможно транспортировать и хранить без осуществления специальных мер (обеспечение отсутствия доступа кислорода, хранить предпочтительно в среде инертного газа).

Получение предложенных нами препаратов осуществляется в один прием – смешением сухих порошков кубовых или индигоидных красителей (невосстановленная форма) с восстановителем и щелочным агентом в смесителях барабанного типа. Для приготовления препаратов используются твердые выпускные формы кубовых и индигоидных красителей промышленного производства.

Предложенный нами препарат обеспечивает следующие преимущества перед известными твердыми препаратами:

- стабильность, позволяющую хранить, транспортировать и использовать в процессе хранения без применения специальных мер;
- простоту процесса получения, полностью исключающую применение сложных, опасных и дорогостоящих технологических приемов.

На основе препарата может быть приготовлен водный концентрат лейкокрасителя путем добавления препарата к воде. Все исследованные препараты хорошо растворяются в

воде, красители легко восстанавливаются, образуя лейкоконцентраты. Концентрат так же, как сухой препарат можно использовать в качестве товарного продукта.

Преимущества препарата по сравнению с известными состоят в следующем:

1. Упрощается расчет рецептуры крашения, т.к. препарат содержит все необходимые компоненты для крашения (краситель, щелочь, восстановитель) и отсутствует необходимость в расчетах концентрации отдельных составляющих красильной ванны, достаточно задаться необходимой концентрацией красителя.

2. Сокращается время приготовления маточного раствора, т.к. сразу после растворения препарата в теплой воде начинается процесс восстановления красителя, что снижает опасность окисления восстановителя и недовосстановленного красителя, а также возможность получения неполноценной окраски (неравномернось и потеря яркости)

3. Препарат, будучи твердым, стабильным продуктом является товарной формой, удобной для хранения и транспортировки, при этом одновременно позволяет максимально сократить стадии подготовки лейкоформы для осуществления процесса крашения, тем самым устранив недостатки, связанные с обратными процессами, инициируемыми кислородом воздуха.

4. Возможность приготовления на его основе концентрированных растворов, применение которых целесообразно в случае необходимости проведения серии крашений ткани в один и тот же цвет на одном и том же оборудовании значительно упрощает процесс, поскольку позволяет использовать заранее приготовленный маточный куб в виде концентрата лейкоформы красителя устойчивого к окислению в течение длительного времени. В этом случае операции приготовления рабочего раствора в красильной ванне будут сводиться к разбавлению определённого объёма концентрата водой. Методика приготовления концентратов универсальна – реализуется для всего ассортимента препаратов. Простота приготовления концентрата (одностадийный процесс растворения в течение 10-15 мин. приводит к получению товарного продукта, который после затаривания можно отгружать потребителю, или использовать непосредственно в производстве) выгодно отличается от способа получения концентрированных растворов лейкоформ красителя, описанного в патентах [2].

Далее в докладе обсуждаются инновационные возможности использования препаратов для окрашивания текстильных материалов. Предлагаются варианты дизайна одежды с использованием интеграции приемов классического крашения, элементов «умного» и «глупого» текстиля. Демонстрируются образцы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gaeng M., Krueger.R., Miederer P., Schlueter H., Schultz P., Wolf M. Пат. 19502968 (1995). ФРГ. *C.A.*, **1995**, *122*, 316848; Gaeng M., Krueger.R., Mieder P., Beckmann E. Пат. 19624208 (1996). ФРГ. *C.A.*, **1996**, *125*, 198428; Gaeng M., Krueger R., Miederer P., Schultz P. Пат. 5637116 (1996). США. *C.A.*, **1995**, *122*, 316848; Gaeng M., Krueger.R., Miederer P., Schluter H., Schultz P., Wolf M. Пат. 5888254 (1997). США. *C.A.*, **1996**, *125*, 198428; Gaeng M., Kruger.R., Miederer P., Beckmann E. Пат. США 6007587 (1998). США. *C.A.*, **1997**, *128*, 76552.

2. Gaeng M., Krueger R., Miederer P. Пат. 6428581 (2001). США. *C.A.*, **2000**, *132*, 109360.

УДК 677.027.622

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КОЛОРИРОВАНИЯ И ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПРЕПАРАТОВ

IMPROVING QUALITY COLORING AND FINISHING TEXTILE MATERIALS USING NANOSIZED EMULSIONS

Н.В. Дащенко, А.Ю. Манукян-Галактионова, А.М. Киселев
N. V. Daschenko, A. Y. Manukyan-Galaktionova, A. M. Kiselev

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
Saint-Petersburg state University of industrial technology and design
E-mail: dnv77@mail.ru, alenochkavolk@mail.ru, color_textiles@mail.ru

В статье рассмотрены современные тенденции в процессах колористической и заключительной отделки текстильных материалов. Показано, что применение гидрофильных наноэмульсий приводит к существенному изменению свойств гидрофобных синтетических волокон, что позволяет интенсифицировать процессы колорирования и заключительной отделки текстильных материалов на их основе.

Ключевые слова: нанотехнологии, колорирование, заключительная отделка; гидрофильные наноэмульсии

The article describes the current trends in textile materials coloring and finishing. It is shown that the use of hydrophilic nanoemulsions leads to a significant change in the properties of hydrophobic synthetic fibers, which allows to intensify the processes of coloring and finishing of textile materials based on them.

Keywords: nanotechnology, coloring, final finishing, hydrophilic nanoemulsions

В настоящее время в процессах колорирования и облагораживания текстиля все шире используются био-, нано-, и информационные технологии [1]. В частности, получает развитие технология формирования на текстильном материале структурных окрасок (окрасок без химических красителей) по оптическому механизму с использованием наноразмерных интерференционных пигментов [2]. Еще одной важной областью приложения нанотехнологий к текстилю является технология заключительной отделки, определяющей уровень качества, комфортности, потребительских и специальных свойств готовых изделий. Путем модификации волокон посредством введения наночастиц в раствор или расплав полимера в процессе формования возможно сообщение волокнам и материалам дополнительных и новых свойств (гидро- и олеофобность, огенестойкость, электропроводность, устойчивость к микроорганизмам и др.) В качестве наполнителей используются различные модификации углерода, металлы и их оксиды, а также частицы природных минералов. Новые эффекты (биоцидность, ароматизация, контроль-мониторинг состояния организма и окружающей среды и др.) могут быть получены при закреплении в структуре текстильного материала нанокапсул («структур-контейнеров») с пролонгированным характером действия [3].

Еще одна современная тенденция в совершенствовании отделочных технологий состоит в совмещении базовых процессов (подготовка, крашение, печатание, заключительная отделка) с одновременным подбором текстильно-вспомогательных веществ, способных к проявлению комплексных свойств, позволяющих сообщить текстилю заданные свойства при минимальном количестве обработок. Подобные совмещенные технологии, как правило, характеризуются улучшенными показателями ресурсосбережения и экологической безопасности [4]. В качестве отделочных препаратов комплексного действия наиболее распространены фторированные и акриловые сополимеры, силиконовые соединения и, в последнее время, гидрофильные наноэмульсии. Последние способны сообщать текстильным материалам повышенную гидрофильность, мягкость, гидро- и олеофобные свойства. При

целенаправленном подборе компонентов обрабатывающей композиции возможно получение эффектов пониженной горючести, защиты, антистатической отделки.

В кремнийорганических наноэмульсиях размер капель дисперсной фазы лежит в интервале 40-60 нм. Специфика химии силиконовых соединений связана с одновременным присутствием в макромолекулах полимера неорганических (Si-O-; H-Si-O-) и органических (CH_3-Si-R) элементов структуры, первые из которых могут иметь ионную природу связей. В соответствии с этим, при синтезе подобных соединений применяется введение дополгнительных органических радикалов (например, боковых метильных). Преимуществом таких полимеров является высокая подвижность цепей со свободным вращением –Si-O- групп, эластичность и повышенный коэффициент скольжения пленок при низких значениях поверхностного натяжения по отношению к волокнистому субстрату [5]. Сформированные пленки имеют низкую температуру стеклования, что позволяет сохранять эластичность в широком диапазоне температур (90 - 200 ^{o}C). Пленочные покрытия из наноэмульсий достаточно устойчивы химически, но чувствительны к действию сильных окислителей, концентрированных щелочей при повышенной температуре и УФ-облучению. Обработанные текстильные изделия сохраняют высокую воздухопроницаемость и характеризуются хорошими санитарно-гигиеническими свойствами.

Таким образом, получение эмульсий возможно на основе кремнийорганических соединений, содержащих амино- или модифицированные аминогруппы. В отличии от микроэмульсий, откладывающихся на поверхности волокон и нитей, наноэмульсии проникают в межволоконные пространства на значительную глубину. На уровень отделочных эффектов оказывают влияние такие факторы, как природа и количество функциональных групп в составе макромолекул, показатели степени дисперсности и вязкости эмульсий, от которых зависит их смачивающая и сорбционная способность. Следует иметь в виду, что с увеличением количества аминогрупп в структуре наноэмульсии возрастает гидрофобность и мягкость обработанного текстильного материала [6].

Препараты на основе наноразмерных аминосиликонов имеют двойственную природу, поскольку основная кремнийорганическая цепь придает им гидрофобные свойства, а наличие аминогрупп – сообщает качество гидрофильности. По этой причине такие препараты хорошо закрепляются на гидрофобных синтетических и гидрофильных натуральных волокнах [7]. Еще одной особенностью структуры аминокремнийорганическеих полимеров является их склонность к самоэмульгированию частиц, в результате чего их размеры соответствуют переходу из области микроэмульсий в наноразмерную область с размерами частиц менее 100 нм. Наноразмерные эмульсии обладают более высокой агрегативной устойчивостью и формируют перманентные эффекты отделки текстильных материалов [8].

При введении в структуру аминокремнийорганического полимера дополнительных этокси- (ЕО) и пропокси- (РО)-групп образуются гидрофильные наноэмульсии, содержащие реакционноспособные аминогруппы (рис. 1)

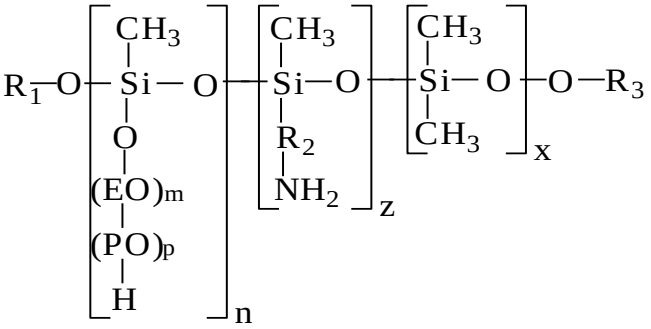


Рис. 1 Структура гидрофильных аминокремнийорганических наноэмульсий

Пропитка такой эмульсией гидрофобного синтетического материала приводит к гидрофилизации его поверхности с одновременным сообщением мягкости грифа, эластичности, водо-масло- и грязеотталкивающих свойств.

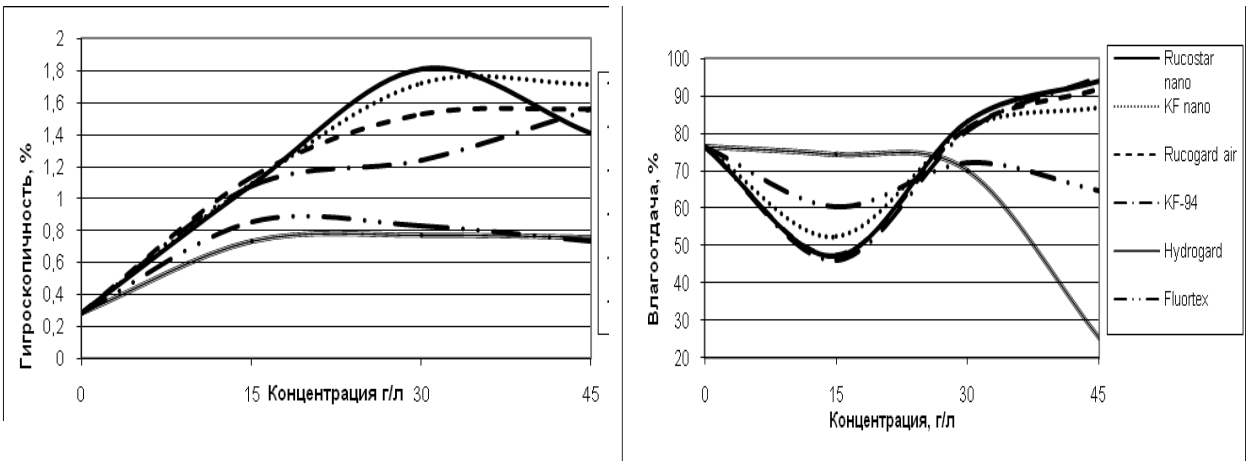
С учетом этого, в настоящей работе исследована возможность построения процессов термозольного крашения и сублимационной печати, совмещенных с заключительной отделкой текстильного материала. При этом, с использованием специальных марок дисперсных красителей осуществлялись высокотемпературное крашение и термопереводная печать образцов текстильных материалов, подвергнутых предварительной обработке микро- и наноэмульсиями, характеристика которых представлена в табл. 1

Таблица 1

Характеристика отделочных эмульсий

Наименование препарата	Состав препарата	Достигаемый отделочный эффект	Фирма-изготовитель
Rucoguard air	Эмульсия на основе перфторированных акриловых соединений	Водо-грязеотталкивание	«Rudolf-Chemie»
Hydroguard	Фторорганическая эмульсия	Водо-масло-грязеотталкивание	«ISCA»
Fluortex	Эмульсия фторуглеродной смолы	То же	«Auxicolor»
KF-94	Гидрофильная аминокремнийорганическая эмульсия	Мягчение	«Setas Kimya»
KF-nano	Гидрофильная аминокремнийорганическая наноэмульсия	Комплексный эффект	«Setas Kimya»
Rucostar E^3	Фторкарбоновая эмульсия с наноразмерными частицами (20 – 90 нм)	то же	«Rudolf-Chemie»

Результаты выполненного эксперимента показали, что обработка текстильных материалов гидрофильными наноэмульсиями повышает показатели гигроскопичности и влагосодержания образцов из волокон различной природы. В частности, гигроскопические свойства полиэфирного волокна наиболее существенно увеличиваются при обработке наноэмульсией Rucostar E^3. Одновременно отмечается активное связывание сорбированной влаги, что предопределяет снижение показателей влагоотдачи (рис. 2)

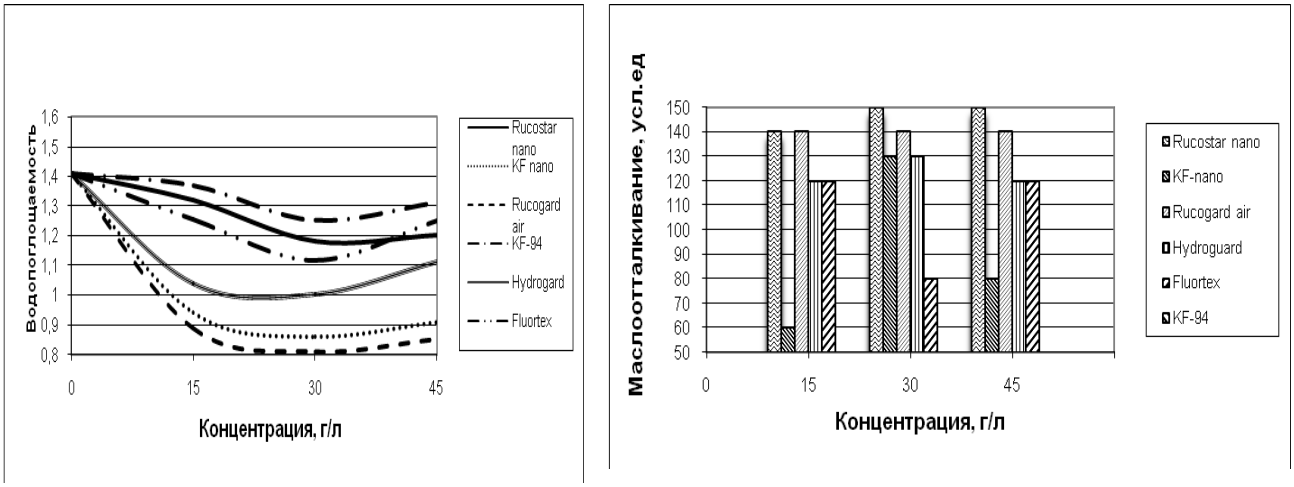


а б

Рис. 2 Сравнительные показатели гигроскопичности (а) и влагоотдачи (б) полиэфирного волокна, обработанного отделочными наноэмульсиями

Максимальное связывание влаги наблюдается для образцов, обработанных аминокремнийорганическими (KF-94, KF-Nano) и фторсодержащими (Rucostar E^3, Rucoguard-Air) наноэмульсиями. Это связано с формированием на поверхности гидрофобного полиэфирного волокна ультратонких плотных нанопокрытий, содержащих гидрофильные функциональные группы, расположенные на границе раздела фаз, а также с наличием в составе полимера атомов фтора.

Анализ характера изменения уровня водопоглощения и маслоотталкивания полиэфирного волокна после его обработки наноэмульсиями (рис. 3) позволяет сделать вывод о формировании, в данном случае, так называемого, «мембранного эффекта», который характеризуется, с одной стороны, наличием на поверхности волокна гидрофобной пленки, отталкивающей капли воды, а с другой – сохранением гигроскопичности со способностью к сорбции водяных паров внутренним объемом волокнистого субстрата. Наиболее высокий уровень маслоотталкивания выявлен для образца, обработанного препаратом Rucostar E^3, что можно объяснить расположением на поверхности волокна фторированных групп ($-CF_3$)



а б

Рис. 3 Влияние обработки наноразмерными препаратами на показатели водо- и маслоотталкивания полиэфирного волокна

Гидрофилизация поверхности полиэфирных материалов наноразмерными эмульсиями позволяет прогнозировать возможность улучшения их окрашивания, в частности при использовании технологии термозольного крашения. С целью проверки данного предположения проведен эксперимент, в ходе которого, предварительно обработанную

эмульсиями полиэфирную ткань, плюсовали 1%-ой дисперсией красителя в присутствии диспергатора НФ с последующей сушкой и термообработкой при 200 ^{o}C в течение 2 минут. При указанной температуре волокно находится в высокоэластичном состоянии и легко воспринимает сублимированные пары дисперсного красителя свободными зонами в объеме волокнообразующего полимера. После термообработки окрашенные образцы ткани промывались и высушивались в токе теплого воздуха.

Создание с помощью аминокремнийорганических эмульсий мембранного эффекта способствует проникновению и удержанию в порах пленочного покрытия молекул дисперсных красителей, при этом для красителей с низкой молекулярной массой (дисперсный синий 79) наблюдается повышенная интенсивность окраски, а для более крупных молекул красителя (дисперсный оранжевый 30) – ее снижение. Лучшие результаты с точки зрения яркости, равномерности и устойчивости полученных окрасок получены при применении наноразмерного препарата KF-94 (табл. 2)

Таблица 2 Качество окрашивания полиэфирной ткани термозольным способом

Вариант обработки	Дисперсный синий 79					Дисперсный оранжевый 30				
	K/S	ΔE	МСР	СТ	ХЧ	K/S	ΔE	МСР	СТ	ХЧ
Без предваритель ной обработки	7,6	18,3	4/4/5	4	4/5/5	11,6	28,0	4/5/5	4-5	4/5/5
Rucostar E^3	10,4	25,6	5/5/5	5	4/5/5	10,4	25,6	5/5/5	4-5	5/4/5
KF-Nano	11,5	27,2	5/5/5	5	4/4/5	10,8	26,2	4/5/5	5	5/5/5
KF-94	12,2	28,9	5/5/5	5	5/5/5	11,5	27,2	5/5/5	5	5/5/5

Примечание: K/S – интенсивность окраски (функция ГКМ); ΔE – разнооттеночность; МСР –устойчивость окраски к стирке при 40^{o}C, балл; СТ- устойчивость окраски к сухому трению, балл; ХЧ-устойчивость окраски к химической чистке, балл.

До настоящего времени попытки успешного использования термопереводной (сублимационной) печати гидрофильных (в частности, хлопчатобумажных) материалов базировались на предварительном грунтовании печатаемой ткани специальными комплексными составами на основе, например, акриловых и полиуретановых сополимеров [9].

В настоящей работе для хлопчатобумажной бязи перед процессом сублимационной печати предложена пропитка гидрофильными аминокремнийорганическими наноэмульсиями в сочетании с гидрофобными мягчителями (Rucostar E^3, KF-Nano, KF-94 + Hydroguard 520, Fluortex 9MX) при концентрации в пропиточной ванне 30 г/л. После пропитки и сушки хлопчатобумажная ткань печаталась по термопереводному способу.

Установлено, что так же, как и в процессе термозольного крашения, высокое качество печатного рисунка на хлопчатобумажной бязи (по показателям четкости контура рисунка, колористическим характеристикам окраски, степени пропечатки и мягкости грифа ткани) обеспечивается при предварительной пропитке материала эмульсией KF-94. С целью дополнительного повышения прочностных показателей окрасок в данном случае после процесса печати рекомендуется проведение операции заключительной отделки с аппретированием напечатанной ткани фторсодержащими препаратами (например, Rucostar E^3) вместе с акриловым карбоксилсодержащим латексом (БНК 40/4, МН-10 и др.) в качестве связующего вещества. Следует иметь в виду возможность пожелтения пленки таких латексов при температуре более 190 ^{o}C, в связи с чем необходим строгий контроль параметров высокотемпературной обработки [10,11].

Применение гидрофильных наноэмульсий оказывает позитивное влияние и на традиционный процесс сублимационной печати текстильных материалов из синтетических и триацетатных волокон (в качестве примера ниже рассмотрен совмещенный процесс

термопереводной печати и комплексной заключительной отделки обивочных мебельных тканей из полиэфирных нитей).

Экспериментально установлено, что предварительная обработка полиэфирной ткани наноэмульсиями Microcill IDRO и Rucostar E^3 повышает значения коэффициентов диффузии дисперсных красителей в полиэфирный субстрат (табл. 3)

Таблица 3

Значения коэффициентов диффузии дисперсных красителей в полиэфирное волокно в процессе сублимационной печати

Режим обработки	Коэффициент диффузии, D •10^{10} $см^2/с$	
	Дисперсный оранжевый 30	Дисперсный синий 79
Без предварительной обработки	5,33	6,18
С предварительной обработкой наноэмульсиями:		
Microcill IDRO	7,23	8,31
Rucostar E^3	8,42	9,80

На примере предварительного аппретирования полиэфирной мебельной ткани микро- и наноэмульсиями с последующим процессом сублимационной печати доказана возможность достижения высокого качества узорчатой расцветки с одновременным сообщением комплекса специальных свойств [12]. Экспериментально показано, что предлагаемая совмещенная технология дает возможность повысить показатели водо-, масло-, грязеотталкивания и несминаемости обивочных тканей при снижении жесткости их грифа. Одновременно увеличивается огнестойкость и снижается электризуемость при условии введения в аппрет на основе наноэмульсий антистатического препарата (тетрамон С) и композиции антипиренов (карбамид+орто-фосфорная кислота Пирофикс) (табл. 4). Препарат тетрамон С в концентрации 3-4 г/л позволяет снизить величину удельного электрического сопротивления на поверхности полиэфирного волокна с 10^{14} до 10^8-10^{10} ом, вследствие гидрофилизации субстрата и формирования на нем гладкого нанопокрытия, снижающего коэффициент трения и способствующего проявлению трибоэлектрического эффекта. Указанная композиция антипиренов повышает огнестойкость мебельной ткани, благодаря наличию P-N-эффекта и выделению газов, не поддерживающих горение (CO_2, NH_3). Высокая устойчивость образцов к воспламенению и перманентность данного эффекта достигается прочным закреплением препарата «Пирофикс» [$O=P(OR)_2CH_2CH_2NHCH_2OH$] на субстрате совместно с нанопокрытием, содержащим гидрофильные группы [13].

При наличии дополнительных требований со стороны потребителей обивочная мебельная ткань может быть ароматизирована при содержании в аппрете одоранта «Odortex SL», который нанокапсулируется в структуре напечатанной полиэфирной ткани. Специальными испытаниями установлено, что эффект ароматизации в этом случае сохраняется в течение не менее 2-3 месяцев [14].

Таблица 4

Показатели потребительских свойств обивочной мебельной ткани

ВОДООТТАЛКИВАНИЕ									
Вариант 1						Вариант 2			
Метод Шоппера			Краевой угол, º			Метод Шоппера		Краевой угол, º	
1	2	3	1	2	3	4	5	4	5
290	285	270	114	105	102	313	320	126	134
МАСЛООТТАЛКИВАНИЕ									
Вариант 1						Вариант 2			
Метод 3M Company, усл.ед.									
1		2		3		4		5	
100		90		90		110		115	
ГРЯЗЕОТТАЛКИВАНИЕ									
Вариант 1						Вариант 2			
Фотометрический метод (ГКМ), степень загрязнения сажей, %									
34		38		27		23		24	
МАЛОСМИНАЕМОСТЬ									
Вариант 1						Вариант 2			
Суммарный угол восстановления складки, град									
170		165		160		175		180	
ЖЕСТКОСТЬ ТКАНИ									
Консольный метод, мкН* $см^2$									
7800		8100		8300		5600		5150	
АНТИСТАТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ									
Вариант 1						Вариант 2			
Удельное электрическое сопротивление, Ом									
Танастат 6040						4		5	
$2,6\ 10^{-11}$						$4,0\ 10^{-14}$		$3,6\ 10^{-14}$	
Вариант 1						Вариант 2			
ОГНЕСТОЙКОСТЬ ТКАНИ (t – время горения, l - длина обугленного участка ткани, мм)									
Пирофикс (200 г/л)						4		5	
t = 26,7		l = 0,8				t = 7,1	l = 4,4	t = 7,0	l = 4,1

Примечания: 1. Вариант *1.* – традиционный; Вариант *2.* – предлагаемый.

2. Предварительное аппретирование: *1* - микроэмульсия «KF-94» *2* - Рукогард AFC; *3* - Тубикоут HP-27; *4* - Microcill IDRO (наноэмульсия); *5* – Rucostar E^3 (наноэмульсия).

На основании выполненных исследований сделан вывод о том, что применение гидрофильных наноэмульсий позволяет интенсифицировать процессы колорирования и заключительной отделки текстильных материалов при сокращении числа технологических операций, улучшении показателей ресурсосбережения и повышении конкурентоспособности выпускаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кричевский Г.Е. Нано,-био-, химические технологии в производстве нового поколения волокон, текстиля и одежды.- М.: 2011.- 528 с.
2. Mather R et al. Mechanism and behavioural function of structural coloration in cephalopods //J. of the Royal Society Interface, 23009, v. 6.- p. 149-163
3. Intelligent textile and clothing //Woodhead Publ. Lim Abington, 2006.-H.Mattila.- 528 p.
4. Киселев А.М., Епишкина В.А., Целмс Р.Н., Буринская А.А. Экотехнологии отделки текстильных материалов (под ред. проф. А.М.Киселева).-СПб, Геликон-Плюс, 2016.- 327 с.
5. Turner G.R. //Text.Chem.Color , 1985, v/17, N 10.-p. 205-207
6. Изгородин А.К. Интеллектуальные волокнистые материалы //Материалы VII межд. научно-практ. семинара.- Иваново, 2004.- с. 6-15
7. Мельников Б.Н., Захарова Т.Д., Кириллова М.Н. Физико-химические основы отделочного производства.-М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982.- 346 с.
8. Дащенко Н.В., Киселев А,М. Нанотекстиль: принципы получения, свойства и области применения //Технология текст. пром-сти (сенр.: Изв. вузов, 2007, № 2.- с. 51-57
9. http//www.esaprint.ru/catalog/sublicoat
10. Галактионова А.Ю., Дащенко Н.В., Киселев А.М. Применение наноразмерных эмульсий для интенсификации процессов колористической отделки текстильных материалов //Вестник молодых ученых СПГУТД, 2016, № 1.- с. 61-67
11. Киселев А.М., Дащенко Н.В. особенности применения наноразмерных препаратов в процессах отделки текстильных материалов //Материалы межд. научно-практ. конф. «Текстильная химия-2011»-Иваново, 2011.- с. 34-36
12. Блинов А.Н., Киселев А.М., Ковалева Т.В. // Технология текст. пром-сти (сер.: Изв. вузов, 2008, № 3.- с. 60-62
13. Блинов А.Н., Дащенко Н.В., Ковалева Т.В., Киселев А.М. Современная технология комплексной отделки мебельных тканей //Технология текст. пром-сти (сер.: Изв. вузов), 2009, № 4.- с. 63-65
14. Блинов А.Н., Дащенко Н.В., Киселев А.М Гидрофилизация полиэфирных тканей при обработке наноэмульсиями //Технология легкой пром-сти (сер.: Изв. вузов), 2010, т. 7.- с. 99-103

УДК 677.11.519.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

DEFORMATION PROPERTIES MODELING OF FIBROUS POLYMERIC COMPOSITES

А.П. Башков, Г.В. Башкова, Е.Н. Никифорова
A. Bashkov, G. Bashkova, E. Nikiforova

Ивановский государственный политехнический университет
Ivanovo State Polytechnic University
E-mail: apb303@yandex.ru, milena55@yandex.ru

В статье предложена стержневая модель структурного элемента полимерного композита, армированного основовязаным трикотажным полотном и аналитически рассматриваются ее внутренние напряжения и деформации под действием внешней нагрузки. На базе этой модели разработана методика прогнозирования деформаций композита при воздействии внешних растягивающих нагрузок.

Ключевые слова: композитный материал, льносодержащий основовязаный трикотаж, кривая растяжения, деформационные свойства, полимолочная кислота, стержневая модель, структурный элемент.

The article discusses a core model of structural element of polymer composite reinforced with a warp-knitted fabric under the action of external loads. On the basis of this model a technique for predicting deformations of a composite under the influence of external tensile loads has been developed.

Key words: composites, warp-knitted fabric on the flax base, extension curve, deformation properties, polylactic acid, a core model, a structural element.

Деформационные свойства композиционного материала не могут определяться простым сложением прочностей полимерной матрицы и волокнистого наполнителя, поскольку механизм деформации каждого компонента при нагружении будет различным. На рис. 1 представлен структурный элемент основовязаного трикотажа, помещенный в

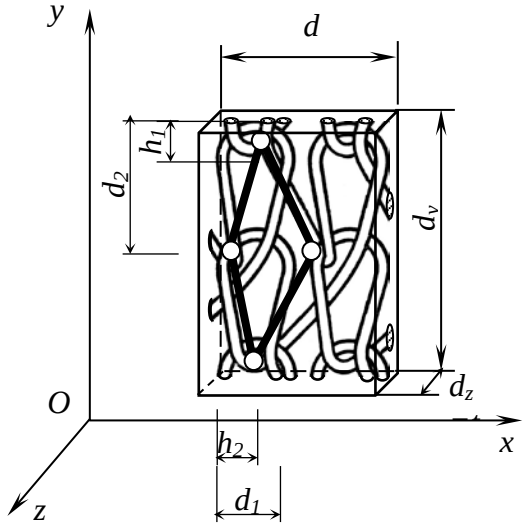


Рис. 1. Структурный элемент армирующего основовязаного трикотажа

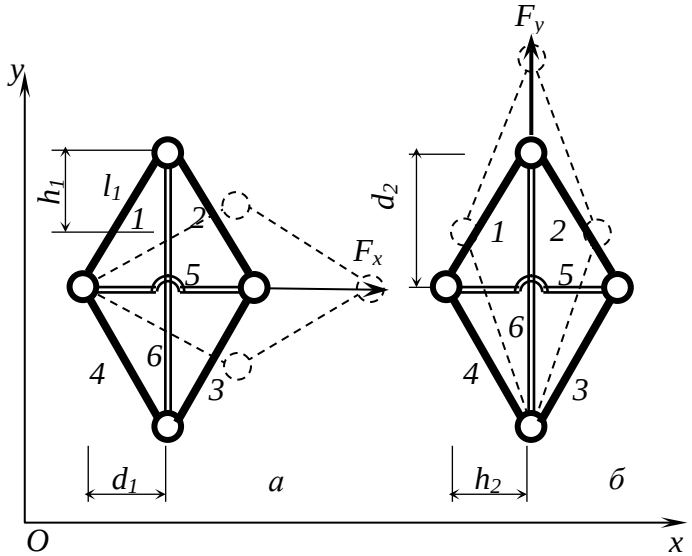


Рис. 2. Шарнирно-стержневая модель структурного элемента основовязаного трикотажа.

полимерную матрицу, в виде элемента со сторонами d_x, d_y, d_z. На рис. 2 показана шарнирно-

стержневая модель структурного элемента волокнистого полимерного композита. При приложении растягивающей нагрузки в любом направлении в координатной плоскости *xOy* растягивающие усилия пытаются не только растянуть нить, но и выдернуть ее из тела полимерной матрицы. Вместе с тем, структурный элемент трикотажа начинает деформироваться, и нити (стержни на модели) сжимают заключенный между ними элемент полимерной матрицы. За счет сжатия элемента матрицы происходит упрочнение самого элемента, увеличение сил сцепления между полимером и нитью, в дополнение к естественной адгезии, и упрочнение самой нити за счет лучшего сцепления между волокнами, как за счет адгезии, так и за счет увеличения сил трения в результате сжатия. Такой сложный механизм совместной деформации матрицы и текстильной структуры, особенно характерный для трикотажной армирующей основы, создает нелинейность и трудную предсказуемость внутренних напряжений элемента композита σ_x и σ_y.

При нагрузках меньше разрушающих можно пренебречь сдвиговыми деформациями, т.е. исключить послойный отрыв полимера от армирующих нитей. Тогда, средние деформации элемента композита e_x и e_y в общем виде можно получить, используя первую теорему Кастильяно [1]:

$$F_{xi} = \frac{2\partial U}{\partial b_i};\ F_{yi} = \frac{2\partial U}{\partial b_i};\ F_{zi} = \frac{2\partial U}{\partial b_i}; \tag{1}$$

$$U = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} k_i b_i^2, \tag{2}$$

где U – энергия деформирования системы, b_i и k_i – соответственно осевая деформация и осевая жесткость i-го стержня (рис. 2); F_{xi}, F_{yi}, F_{zi} – проекции на координатные оси силы F_i, которая является результирующей сил трения (вязкости) в узлах и упругих сил в стержнях, возникших в результате деформаций от внешней силы P_i.

Совместный упрочняющий эффект от взаимодействия матрицы и наполнителя можно имитировать в модели (рис. 2) дополнительными стержнями с деформацией b_5 и b_6, создающими треугольники жесткости внутри структурного элемента. Кроме этого, за счет упрочняющего эффекта прочность стержней, имитирующих нити трикотажа, также необходимо принимать с большим значением модуля упругости, чем в нити.

При рассмотрении плоской задачи в осях *xOy* можно записать

$$F_x = d_x t\sum_{i=1}^{8}\sigma_{xi};\ F_y = d_y t\sum_{i=1}^{8}\sigma_{yi}, \tag{3}$$

где $t=d_z$ – толщина полимерной матрицы; σ_{xi} и σ_{yi} – внутренние напряжения.

Применяя уравнения совместности деформации для стержневой системы (рис. 2), можно выразить осевые деформации стержней при нагрузке вдоль оси *Ox* и *Oy* соответственно

$$b_1 = b_2 = \frac{2}{l_1 + l_2}\left[\frac{d_1^2}{4}\left(\frac{2b_5}{d_1} + \frac{b_5^2}{d_1^2}\right) + \left(b_6^2 - 2h_1 b_6\right)\right]; \tag{4}$$

$$b_1 = b_4 = \frac{1}{l_1 + l_4}\left[\frac{d_2^2}{4}\left(\frac{2b_6}{d_2} + \frac{b_6^2}{d_2^2}\right) + \left(b_5^2 - 2h_2 b_5\right)\right]. \tag{5}$$

где d_1, d_2 и h_1, h_2 – геометрические параметры трикотажной структуры, характеризующие размер петли и изгиб нити, l_1, l_2,… l_6 – длины стержней.

Учитывая связь внутренних напряжений с узловыми нагрузками (3) и, принимая во внимание условия, связывающие деформации e_x и e_y с удлинениями композитного материала d_x, d_y

$$e_x = \frac{b_5}{d_1} = \frac{b_x}{d_x};\ e_y = \frac{b_6}{d_2} = \frac{b_y}{d_y}, \tag{6}$$

а также на основе трех уравнений равновесия для дискретной системы (1), (2), запишем

эквивалентную систему уравнений композита как сплошной среды, связывающих эффективные нормальные деформации с напряжениями в материале:

$$\sigma_x = \left[2k_x\left(\frac{2d_x}{l_1+l_2}\right)^2\left(\frac{1+e_x}{d_x d_y t}\right)\right]\cdot\left[\left(\frac{d_x}{2}\right)^2\left(2e_x+e_x^2\right)+\left(b_6^2-h_2b_6\right)\right]+\frac{k_5 d_x^2 e_x}{d_x d_y t}; \quad (7)$$

$$\sigma_y = \left[2k_x\left(\frac{d_y}{l_1+l_4}\right)^2\left(\frac{1+e_y}{d_x d_y t}y\right)\right]\cdot\left[\left(\frac{d_y}{2}\right)^2\left(2e_y+e_y^2\right)+\left(b_5^2-h_1b_5\right)\right]+\frac{k_6 d_y^2 e_y}{d_x d_y t}; \quad (8)$$

$$\left(\frac{k_x}{(l_1+l_2)^2}\right)(2b_5-h_2)\left[\left(\frac{d_x}{2}\right)^2\left(2e_x+e_x^2\right)-\left(b_5^2+h_2b_5\right)\right]+$$
$$\left(\frac{2k_y}{(l_1+l_4)^2}\right)(2b_6-h_1)\left[\left(\frac{d_y}{2}\right)^2\left(2e_y+e_y^2\right)+\left(b_6^2+h_1b_6\right)\right]=0, \quad (9)$$

где $d_x d_y t = V$ – объем элементарной ячейки композита, k_5 и k_6 – жесткость стержней, имитирующих полимерную матрицу. Можно принять их $k_5 = \frac{ES}{l_5}$; $k_6 = \frac{ES}{l_6}$; E – модуль Юнга (упругости) для выбранного полимера, S – эквивалентная площадь сечения стержня, определяется по геометрическим характеристикам пространства внутри структурного элемента, для стержней, имитирующих нить, берется реальная площадь сечения нити и ее модуль Юнга. Следует учесть, что стержни *1* и *4* имитируют сразу две нити в петле.

При нагружении композита возникает две области деформаций: упругих – в начале цикла и пластических – в поздней фазе. Пластичность материала определяется: неупругим поведением полимера матрицы, пластичностью текстильного каркаса (проскальзывание нитей в точках контакта в петлях, проскальзывание волокон внутри нити), проскальзывание и даже отслоение по границе контакта матрицы и нити. Зона упругих деформаций вполне может быть описана уравнениями (7) и (8).

Пластичность композита можно моделировать, задаваясь соответствующими свойствами материала стержней *1-6* (рис. 2).

Для упрощения рассуждений можно не учитывать нелинейное поведение нитей. Тогда, композиционный материал характеризуется начальной жесткостью k_a, жесткостью за пределами текучести k_b и деформацией текучести l_p, которая служит показателем, характеризующим неупругое поведение. Если обозначить деформации текучести стержней *5* и *6* как e_{px} и e_{py} и учесть, что $e_x \geq e_{px}$, а $k_5 = k_{px}$, а $e_y \geq e_{py}$, а $k_6 = k_{py}$, то уравнения (7) и (8) можно модифицировать в следующем виде:

$$\sigma_x = \sigma_{fx} + \sigma_{cx};\ \sigma_y = \sigma_{fy} + \sigma_{cy}. \quad (10)$$

Здесь индексы "*f*" и "*c*" обозначают вклад в напряженное состояние соответственно текстильного каркаса и полимерной матрицы [2]. Если силы, действующие на каркас и матрицу, сосредоточены в пределах структурного элемента (при небольших размерах элемента это так и будет), то из уравнения (7) напряжение в матрице определяется как

$$\sigma_{cx} = \frac{k_5 d_x^2 e_x}{d_x d_y t}. \quad (11)$$

Если напряжение в матрице превышает начальный предел текучести, то

$$\sigma_{cx} = \frac{k_5 d_x^2 e_x}{d_x d_y t} + \frac{k_{p5} d_x^2 (e_x - e_{px})}{d_x d_y t}. \quad (12)$$

Тогда неупругие уравнения вдоль оси *Ox* и *Oy* будут выглядеть следующим образом

$$\sigma_x = \left[2k_x\left(\frac{2d_x}{l_1+l_2}\right)^2\left(\frac{1+e_x}{d_x d_y t}\right)\right]\cdot\left[\left(\frac{d_x}{2}\right)^2\left(2e_x+e_x^2\right)+\left(b_6^2-h_2b_6\right)\right]+\frac{k_5 d_x^2 e_x}{d_x d_y t}+\frac{k_{p5} d_x^2 (e_x - e_{px})}{d_x d_y t}; \quad (13)$$

$$\sigma_x = \left[2k_x \left(\frac{2d_y}{l_1 + l_4} \right)^2 \left(\frac{1+e_y}{d_x d_y t} \right) \right] \cdot \left[\left(\frac{d_y}{2} \right)^2 \left(2e_y + e_y^2 \right) + \left(b_5^2 - h_1 b_5 \right) \right] + \frac{k_6 d_y^2 e_y}{d_x d_y t} + \frac{k_{p6} d_y^2 (e_y - e_{py})}{d_x d_y t}. \quad (14)$$

Поскольку механические свойства полимерной матрицы изотропны, а также одинаковы при сжатии и растяжении, то можно считать относительные деформации вдоль координатных осей равными, т.е. при малых размерах можно допустить, что $b_5 = b_6 = b_c$. Тогда, этот показатель, являющийся функцией от e_x и e_y, определяется как корень уравнения (9) и находится в пределах

$$-\frac{h_1}{2} \le b_c \le \frac{h_2}{2}. \quad (15)$$

Для расчетов по данной модели необходимо задаться геометрическими параметрами d_1, d_2, d_x, d_y, t, h_1, h_2, l_1 l_2,… l_6, S_i, которые определяются обычным замером по сканированному изображению образца материала. Значения модуля упругости E и удлинений, как в упругой, так и в пластической зоне становятся известны после испытаний образцов трикотажа на растяжение [3], модуль упругости и удлинения полимерного материала также определяются по справочной литературе [4]. Для полимолочной кислоты E= 3,5 ГПа, предел текучести 53 МПа, разрушающая нагрузка 60 МПа при относительном удлинении 6,0 % . После подстановки этих значений в уравнения (13) и (14) с помощью программы *Origin 6.1* были получены прогнозируемые кривые удлинения композитного материала на основе льносодержащего трикотажного полотна и полимолочной кислоты. На рис. 3 представлена кривая *1* удлинения вдоль оси *Ox*. Можно отметить, что в упругой зоне она соответствует экспериментальной кривой *2*, полученной в работе [5] для композита на основе кулирного трикотажа из хлопковой пряжи.

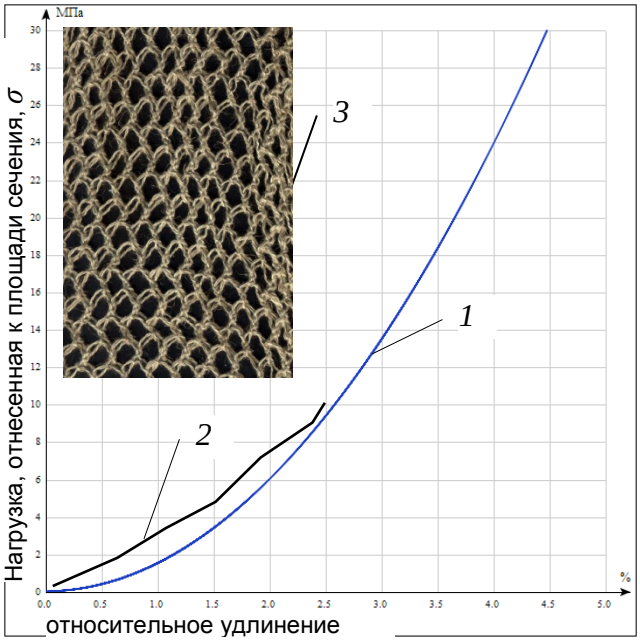


Рис. 3. Кривая удлинения композитного материала:
1 – полученная расчетным путем, *2* - экспериментальная [3],
3 – структура трикотажа, используемая для расчета.

Разработанная методика прогнозирования механических свойств с использованием стержневой модели композиционного материала, армированного основовязаным трикотажем, позволяет достаточно объективно определять деформации материала в зависимости от приложенных нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА
1. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов: Учебное пособие. – М.: Наука, 1986. – 560 с.
2. Трещалин Ю.М. Анализ внутренних напряжений в волокнах, возникающих в процессе полимеризации связующего при изготовлении композиционных материалов на основе нетканых полотен. Изв. вузов. Технол. текст. пром-сти. – 2012. – № 4 – С. 37-40.
3. Башкова, Г.В. Анизотропия структуры и свойств ниточных наполнителей композитов/ Г.В. Башкова, Г.И. Чистобородов, А.П. Башков, Д.А. Алешина, И.Ю. Натертышев// Изв. вузов. Технол. текст. пром-сти. – 2010. – № 7 – С. 80-84.
4. Энциклопедия полимеров. Т. 3. Под общ. ред. В. А. Кабанова. – М.: Советская Энциклопедия, 1977. – 1152 с.
5. Kononova, O. Mechanical properties of composites reinforced by cotton knitted fabric/ O. Kononova, A. Krasnikovs, K. Dzelzitis, G. Kharkova, A. Vagel, M. Eiduks, 7th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING" 22-24 April 2010, Tallinn, Estonia, PP. 47-53.

УДК 678

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ТКАНИ НА КИНЕТИКУ ПРОЦЕССА ЕЕ ПРОПИТЫВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКОВ

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF FABRIC ON KINETICS OF THE PROCESS OF ITS PROTECTION AT THE MANUFACTURE OF DETAILS FROM UGLYOPLASTICS

А.Н. Марычева, В.А. Нелюб, Г.В. Малышева
A.N. Maricheva, V.A. Neluyb, G.V. Malysheva

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
Moscow State Technical University named after Bauman
E-mail: man@emtc.ru, admin@emtc.ru, malyin@mail.ru

Приведены данные по экспериментальной оценки пористости углеродных тканей и кинетики их пропитки при изготовлении деталей из углепластиков с использованием эпоксидного связующего по технологии вакуумной инфузии. Приведены результаты численного моделирования общей продолжительности процесса пропитывания в зависимости от пористости тканей и проведено сравнение теоретических и экспериментальных результатов. Приведены результаты определения фазового состава углепластика в зависимости от технологии пропитывания и технологии отверждения.

Ключевые слова: углеродная ткань, вакуумная инфузия, кинетики процесса пропитывания, структура элементарной ячейки ткани.

The data on the experimental evaluation of the porosity of carbon fabrics and the kinetics of their impregnation in the manufacture of carbon fiber reinforced plastic components using an epoxy binder using vacuum infusion technology are presented. The results of numerical simulation of the total duration of the impregnation process as a function of tissue porosity are presented, and a comparison of theoretical and experimental results is made. The results of the determination of the phase composition of CFRP depending on the impregnation technology and the curing technology are presented.

Key words: carbon tissue, vacuum infusion, kinetics of impregnation process, structure of unit cell of tissue.

Для изготовления деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) методом ручной выкладки в качестве наполнителей используются ткани, различной

химической природы и структуры. Широкое распространение получили углеродные ткани, что связано с очень высокими значениями удельной прочности и жесткости [1, 2].

Известно [3-5], что ткань, используемая в качестве армирующего материала для производства деталей из ПКМ прямыми методами формования, являются характеристики ее линейной и поверхностной плотности, линейного и объемного заполнения, а также величина ее общей пористости. Изготовители технических тканей, таких как углеродные, как правило, ограничиваются данными по геометрическим размерам (длина, ширина, толщина), приводят данные по массе, линейной плотности и основным механическим свойствам. В то же время, при разработке технологического процесса пропитывания, в том числе и по технологии вакуумной инфузии или при подачи связующего под давлением, необходимо знать величину пористости используемой ткани. Эта характеристики относится к числу основных, которые закладываются в качестве исходных данных в процессе моделирования технологии в программе PAM-RTM.

Целью данной работы является экспериментальная оценка пористости углеродных тканей и исследование ее влияния на продолжительность процесса пропитывания при изготовлении деталей из углепластиков по технологии вакуумной инфузии.

В качестве объектов исследования использованы углеродные ткани различных производителей, используемые в нашей стране при производстве деталей из углепластиков (табл. 1).

Таблица 1

Свойства используемых в работе углеродных тканей

Марка армирующих материалов	Вид материала	Плотность, г/м^2
FibaArm	Лента	230
ТВЧ 2/2 312-10,	Ткань	312
GF 206		200
SAAI UT 350		350

Пористость тканей определяли по методике, изложенной в работе [6]. Суть используемого метода состояла в том, что ткань фотографировали таким образом, что бы получать четкие изображения отдельных элементарных ячеек, образованных нитями основы и утка.

Продолжительность процесса пропитывания оценивали по секундомеру с помощью которого замеряли протяженность пропитанных связующим участков ткани и общее время процесса пропитывания. При проведении экспериментальных исследований использовали образцы тканей одинакового размера (150х100 мм) и количества слоев (15 слоев при схеме армирования 0°). Традиционно, при использовании технологии вакуумной инфузии, используют специальную сетку, которая позволяет существенным образов ускорять фронт распространения связующего [6, 7]. При такой подаче, первоначально связующее двигается только по сетке и верхнему слою ткани. В настоящей работе использовали две технологии сборки вакуумного мешка: с использованием распределительной сетки и без нее. В качестве распределительной сетки использовалась сетка из полиэфира маркиCCVM-FM-KNITW-100-1,25. Данная сетка имела повышенную теплостойкость, что позволяло ее использовать при отверждении связующего при температуре 200°С.

В настоящей работе применяли две технологии пропитки: с сеткой (технология №1) и без сетки (технология №2). При использовании технологии №2 продолжительность процесса пропитывания в несколько раз увеличивается, однако мы предполагали, что при таком технологии возможно более точно оценить влияние пористости на кинетику процесса пропитывания.

Теоретически, продолжительность процесса пропитывания определяли с помощью программы PAM-RTM.

Для пропитывания использовалось эпоксидное связующее на основе смолы марки ЭД-20, отвердителя (диаминодифенилсульфон) и активного растворителя, который позволил снизить вязкость готового связующего до 0,05 Па·с. Эпоксидные связующие получили наибольшее распространение при изготовлении деталей из стеклопластиков и углепластиков, что связано с их уникальными технологическими свойствами и высокими механическими характеристиками.

Фазовый состав углепластика определяли методом термогравиметрического анализа на TG 209 F1 Libra.

В табл. 2 приведены экспериментально найденная продолжительность процесса пропитывания по технологиям №1 и №2 и фазовый состав.

Таблица 2

Продолжительность процесса пропитывания и срдержание полимерной матрицы в углепластике в зависимости от используемой технологии пропитывания

№	Марка ткани и используемая технология	Продолжительность пропитывания, с	Содержание матрицы, %
1	FibaArm, технология №1	82	33,2
2	FibaArm, технология №2	430	36,4
3	ТВЧ 2/2 312-10, технология №1	161	34,3
4	ТВЧ 2/2 312-10, технология №2	960	36,2
5	GF 206, технология №1	143	34,5
6	GF 206, технология №2	1020	35,3
7	SAAI UT 350, технология №1	141	33,2
8	SAAI UT 350, технология №2	1035	33,9

Значения пористости и результаты теоретических расчетов продолжительности процесса пропитывании приведены в табл. 3.

Таблица 3

Теоретическое и экспериментальное время пропитывания образцов, изготовленных по стандартной технологии вакуумной инфузии

Наименование ткани	Пористость, %	Продолжительность пропитывания образцов тканей, сек		
		Эксперимент	Теория	
			Без учета пористости	С учетом пористости
FibaArm	20,5	82	75,7	84,1
ТВЧ 2/2 312-10	31	161	149,8	163,2
GF 206	35,2	143	123,1	138,6
SAATI GF 206	27,8	141	127,9	137,7

В результате проведенных исследований установлено, что при использовании стандартной технологии вакуумной инфузии (технология №1), наименьшая продолжительность процесса пропитывания у ткани FibaArm, пористость которой составляет 20%. Общая продолжительность процесса пропитывания составила практически одинаковое время для ткани GF 206 (143 с) и для ткани GF 206 (143 с), тогда как величина их пористости отличается между собой и составляет 35,2% для ткани GF 206 и 27,8% для ткани SAATI GF 206. Таким образом, экспериментально установлено, что между величиной пористости и общей продолжительностью процесса пропитывания отсутствует прямая взаимосвязь.

При использовании технологии №2, без распределительной сетки, продолжительность процесса существенно повышается для всех исследованных марок углеродных тканей. Для

ткани FibaArm она увеличивается в 5,2 раза, для ткани ТВЧ 2/2 312-10 − в 5,9 раз, а для ткани SAATI GF 206 − в 7,3 раза.

Содержание полимерной матрицы в углепластике для всех исследованных типов тканей, при использовании технологии№1 (с сеткой) меньше, чем для технологии №2 (без сетки). Таким образом, даже при проведении экспериментальных исследований с целью оценки кинетики процесса пропитывания нет необходимости использовать технологию №2, поскольку она не только занимает существенно большее время, но и приводит к повышенному содержанию полимерной матрицы в углепластике.

Учет величины пористости ткани при проведении теоретических расчетов общей продолжительности процесса пропитывания позволяет повысить точность расчетов. Наибольшая величина погрешности между теорией и экспериментом (при учете пористости) не превышает 5%, тогда как если ее не учитывать, то разница между теоретическими и экспериментальными значениями составляет 14% и более.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин / Учебное пособие. М. МАДИ, 216. – 264 с.
2. Баурова Н.И., Зорин В.А. Технологическая наследственность при производстве деталей машин из полимерных композиционных материалов: монография. – М.: МАДИ. – 2018. – 220 с.
3. Паталах, И.И. Композиционные материалы на основе углерода, упрочненные углеродным волокном / И.И. Паталах, А.С. Илюхин, Н.В. Аллавердова. – М.: НИИТЭхим, 1991. – 32 с.
4. Михайлин Ю. А. «Конструкционные полимерные композиционные материалы», Санкт-Петербург, «НОТ», 2008. – 820 с.
5. Левит, Р.М. Электропроводящие химические волокна / Р.М. Левит. – М.: Химия., 1986. – 200 с.
6. Марычева А.Н., Нелюб В.А. Методика оценки кинетики процесса пропитывания углеродных тканей эпоксидным связующим // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2017. - №12. – С.72-75.
7. Малышева Г.В., Гусев С.А. Исследование влияния сетевого угла тканей на кинетику процесса пропитывания при формовании изделий из углепластиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. №5. С.2-6.

УДК 678

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ЛЕНТ

MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES FIBER COVER METALL

В.А. Нелюб[1], Б.Л. Горберг[2]
V.A. Neluyb[1], B.L. Gorberg[2]

[1]Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
[2] Ивановский государственный химико-технологический университет
[1]Moscow State Technical University named after Bauman
[2]Ivanovo State University of Chemistry and Technology
E-mail: admin@emtc.ru, gorberg@isuct.ru

Приведены результаты оценки качества металлических покрытий, нанесенных на углеродную ленту ЛУП методом магнетронного распыления. Рассмотрены шесть типов металлических покрытий: нержавеющая сталь 12Х18Н10Т, титан ВТ1-0, алюминиевый сплав АМцМ, медь М1, цинк марки Ц2 и серебро 99,99. Проведен структурный и элементный анализ нанесенных покрытий и оценены значения равновесных краевых углов смачивания. Влияние качества покрытия на смачивание эпоксидной смолы оценивалось на пластинах из кремния на которые наносили металлические покрытия по той же технологии, что и на углеродную ленту.

Ключевые слова: углеродная лента; элементарная нить; металлические покрытия; шероховатость.

The results of the evaluation of the quality of metal coatings deposited on the carbon tape of the LUP by the method of magnetron sputtering are presented. Six types of metal coatings are considered: stainless steel 12X18H10T, titanium BT1-0, aluminum alloy AMцM, copper M1, zinc of mark Ц2 and silver 99,99. Structural and elemental analysis of the deposited coatings was carried out and the values of the equilibrium wetting contact angles were estimated. The effect of coating quality on the wetting of epoxy resin was evaluated on silicon wafers on which metal coatings were applied using the same technology as for carbon tape.

Key words: carbon tape; elementary thread; metal coatings; roughness

Области применения углепластиков с каждым годом расширяются, что связано с уникальным комплексом их свойств [1-3]. При нанесении на поверхность углеродных лент и тканей различных типов покрытий, можно обеспечить получение углепластиков с новыми функциональными свойствами [4]. Например, авторы работы [5] установили, что углеродные ленты, с нанесенным на них покрытием из нержавеющей стали, эффективно применять в условиях отрицательных температур в качестве армирующих материалов при изготовлении ремонтных бандажей.

Наибольшее распространение при нанесении металлических покрытий на ткани получили технологии напыления. Суть технологии напыления состоит в том, что напыляемый металл первоначально переводят в газообразное или жидкое состояние, а потом переносят его на поверхность ткани, где он превращается в твердый материал, образуя металлическое покрытие. Основной целью металлизации является изменение микроструктуры и физико-химических свойств поверхности углеродных лент и тканей, что позволяет регулировать их реакционную способность, теплофизические свойства, биосовместимость и др. Основными методы напыления являются: вакуумное, плазменное и газоплазменное. В настоящей работе для напыления использована лабораторная установка МИР-2 [4].

Целью работы является оценка качества металлического покрытия, нанесенного на углеродную ленту

Качество металлического покрытия оценивали с помощью атомно-силового микроскопа, путем исследования поверхности единичного филамента с нанесенным

покрытием. Оценку качества также проводили путем определения значений краевых углов смачивания при использовании эпоксидного связующего

Металлические покрытия наносили на отечественную однонаправленную углеродную ленту ЛУП с использованием лабораторной установки магнетронного распыления МИР-2. Особенностью данной углеродной ленты является отсутствие на ее поверхности аппрета, что сокращало трудоемкость технологического процесса, поскольку исключалась операция по удалению аппрета с поверхности углеродной ленты. Свойства углеродной ленты ЛУП и используемой смолы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства используемых материалов

Углеродная лента		Эпоксидная смола	
Характеристики	Показатели	Характеристики	Показатели
Марка	ЛУП	Марка	ЭД-20
Плотность, кг/м3	1800	Молекулярная масса	390
Модуль упругости, ГПа	260	Динамическая вязкость, Па·с	18,4
Предел прочности при растяжении, МПа	2500	Содержание гидроксильных групп, не более, %	1,7

Качество сцепления металлического покрытия с углеродной ленты оценивали скотч-тестом ASTMD 3359. Такая оценка не является точной, однако для ее проведения не требуются существенные временные затраты и она позволяет определять технологические режимы предварительной обработки углеродной ленты перед нанесением на нее металлических покрытий, обеспечивающие наибольшее значение адгезионной прочности. Если площадь удаленного покрытия превышала 10% от общей площади, то такая технология признавалась не удовлетворительной. В результате проведенных исследований установлено, что металлические покрытия имеют очень низкую адгезию к поверхности углеродной ленты. Для повышения адгезии использовали установку плазменной активации УПМ-500. Нанесение металлических покрытий проводили непосредственно сразу же после активации поверхности углеродной ленты на лабораторной установке магнетронного распыления МИР-2. Для проведения напыления использовали мишени из соответствующих металлов, размером 130х10 мм. Объем вакуумной камеры составлял 0,7 м3. Образцы углеродной ленты, размером 210х290 мм, помещались в вакуумную камеру на вращающийся горизонтальный столик. Рабочее давление в камере изменяли в диапазоне (1-2)·10-3.

В качестве мишеней применяли: нержавеющую сталь марки 12Х18Н10Т, титан ВТ1-0, алюминиевый сплав АМцМ, медь марки М1, цинк марки Ц2 и серебро99,99 (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав металлических покрытий

Содержание химических элементов, %									
Медь марки М1									
Cu+Ag	Fe	Ni	S	As	Pb	Zn	O	Sb	Bi
99,9	0,005	0,002	0,004	0,002	0,005	0,004	0,05	0,002	0,001
Цинк марки Ц2, ГОСТ 3540-94									
Zn		Fe		Cu		As		Pb	Sn
98,7		0,05		0,005		0,01		1	0,002

Продолжение таблицы 2

Титан марки ВТ1-0, ГОСТ 19807-91							
Ti		Fe		C	Si		Ni
99,7		0,25		0,07	0,1		0,04
Нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т							
Fe	C	S	Si	Ni	P	Cr	Ti
67	0,12	0,02	0,8	11	0,035	19	1
Серебро марки 99,99							
Ag	Zn	Fe	Sb		Bi		Cu
99,99	0,003	0,004	0,001		0,002		0,008
Алюминиевый сплав марки АМц, ГОСТ 4784-97							
Al	Fe	Si	Mn		Cu		Zn
99	0,7	0,6	1,5		0,2		0,1

Качество покрытия оценивали непосредственно на элементарной нити с помощью атомно-силового микроскопа марки SOLVERHV. Также качество покрытия определяли на пластине из полированного кремния, размером 20х20 с использованием атомно-силового микроскопа марки SOLVER 47PRO. На кремниевую пластинку первоначально наносили полоску фоторезистора шириной 1 мм, затем на нее напыляли металлическое покрытие по той же технологии, что и на углеродную ленту, далее фоторезистор удаляли путем его растворения. Образовавшаяся после удаления фоторезистора ступенька на границе металл-кремний позволяла с точностью до 10 нм оценить толщину покрытия.

Для оценки значений краевых углов смачивания использовали пластику из кремния, на которую наносили все типы используемых металлических покрытий на тех же режимах напыления, которые использовались для углеродной ленты. Для оценки кинетики растекания связующего применяли не эпоксидное связующее, а только один из его компонентов (эпоксидную смолу марки ЭД-20). Такой выбор был связан с тем, что вязкость смолы много больше, чем вязкость связующего, что приводит к большим значениям краевых углов, что повышало точность их определения. Оценку значений краевых углов проводили путем фотосъемки капли смолы на поверхности. Такой метод не является точным, однако он позволяет провести сравнительную оценку различных типов покрытий.

Качество углеродной ленты с нанесенным покрытием оценивали по величине прочности углепластика при межслоевом сдвиге методом короткой балки по ASTMD 2344.

В качестве связующего при изготовлении углепластиков использовался состав из эпокси-диановой смолы ЭД-20, изометилтетрагидрофталевого ангидрида в качестве отвердителя в количестве 80 мас.ч. на 100 мас. ч. смолы и диэтиленгликола – в качестве активного разбавителя в количестве 5 мас.ч. Формование образцов углепластиков проводили по технологии вакуумной инфузии [6, 7].

Методами атомно-силовой микроскопии изучено строение элементарных нитей, из которых изготовлена углеродная лента ЛУП до и после ее металлизации. Полученные результаты приведены в табл.3. Однородность нанесенного покрытия оценивали не только по высоте профиля, но и качественно, по 5-ти бальной шкале: 5 – однородное покрытие, без дефектов; 4 – незначительные дефекты, площадь которых не превышает 5%; 3 – существенные дефекты, приводящие к растрескиванию покрытия, в результате чего оно становилось похоже на черепицу 2 – наличие протяженных зон без покрытия; 1 – отсутствие покрытия на большей части поверхности элементарной нити.

Таблица 3

Значения шероховатости элементарных нитей после нанесения металлических покрытий

Тип металлического покрытия	Качественная оценка однородности покрытия	Высота микронеровностей профиля с учетом покрытия, нм		Величина краевого угла смачивания, °
		Максимальная	Минимальная	
Без покрытия	–	–	–	56
Нержавеющая сталь	4	76	22	42
Титан	4	83	45	52
Цинк	3	55	20	48
Медь	3	85	25	48
Серебро	5	350	150	44
Алюминий	4	45	30	51

В результате проведенных исследований установлено, что шероховатость металлического покрытия не оказывает существенного влияния на его качество. Все покрытия, за исключением серебра, имеют неоднородную структуру сложного рельефа и состоят из двух областей: одна область представляет собой множество гранул разного размера, вторая – гладкая. Размеры гранул изменяются в диапазоне от 20 до 200 нм. В процессе оценки шероховатости имело место сильное взаимодействием между зондом атомно-силового микроскопа SOLVERHV и поверхностью элементарной нити, что приводило к большим погрешностям в процессе исследований. Образование на поверхности элементарных углеродных нитей гранул, вероятно, связано не с особенностями напыляемых металлов, а со структурой элементарной нити. Известно [8], что она состоит из аморфной и кристаллической частей. Мы предполагаем, что адгезия на кристаллических участках поверхности углеродного волокна (элементарной нити) будет лучше на аморфной части, однако на кристаллических участках покрытие наносится более ровным слоем.

Толщина металлического покрытия, определенная с помощью атомно-силового микроскопа непосредственно на пластине из кремния, изменялась в диапазоне от 30 до 80 нм. Наибольшая толщина покрытий была зафиксирована при несении нержавеющей стали (32 нм), наименьшая при нанесении титана (87 нм).

Значения краевых углов смачивания для различных типов покрытий изменялись в пределах от 42 до 52 °, наименьшие для покрытия из нержавеющей стали, наибольшие – для покрытия из титана.

Испытание на межслоевой сдвиг углепластиков проводили на универсальной испытательной машине марки Zwick//Roell. В результате проведенных исследований установлено, что величина прочности при межслоевом сдвиге изменяется в пределах от 45 до 65 МПа. Наибольшие значения прочности получены при использовании углеродной ленты с покрытием из нержавеющей стали, наименьшие – при использовании покрытия из цинка и алюминия.

В результате проведенных исследований установлено, что металлические покрытия, нанесенные на углеродную ленту ЛУП, позволяют повышать величину прочности углепластиков при межслоевом сдвиге на 30%. Значение краевых углов смачивания при использовании покрытия из нержавеющей стали практически на 20% ниже, чем для покрытия из титана.

Оценить качество металлического покрытия, нанесенного на углеродную ленту ЛУП и его толщину непосредственно на элементарной нити с помощью атомно-силового микроскопа марки SOLVERHV не удалось. Применение атомно-силового микроскопа марки SOLVER 47PRO позволили оценить толщину металлического покрытия, величина которого составила около 30 нм для покрытия из титана и около 90 нм для покрытия из нержавеющей стали.

Результаты настоящей работы получены в рамках проекта по теме «Научные исследования по разработке композиционных материалов со структурой управляемого хаоса и их применение в высокотехнологичном производстве» по заданию № 11.7291.2017/БЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин / Учебное пособие. М. МАДИ, 216. – 264 с.
2. Баурова Н.И., Зорин В.А. Технологическая наследственность при производстве деталей машин из полимерных композиционных материалов: монография. – М.: МАДИ. – 2018. – 220 с.
3. Baurova N.I., Zorin V.A., Prikhodko V.M. Description of the process of degradation of material properties using the apparatus of catastrophe theory // Polymer Scitnce – Series d, 2015, 8(2), pp.92-95.
4. Горберг Б.Л., Иванов А.А., Мамонтов О.В., Стегнин В.А., Титов В.А. Модифицирование текстильных материалов нанесением нанопокрытий методом магнетронного ионно-плазменного распыления // Российский химический журнал, 2011, T.LV, №3, С.7-13.
5. Нелюб В.А., Коноплин А.Ю. Материалы и технологии, эффективные в условиях Арктики при проведении ремонтных работ // Клеи. Герметики. Технологии. 2-18. №6. С. 6-10.
6. Буянов И.А., Вдовин Д.С. Разработка метода проектирования и технологии прошивки преформ для изготовления углепластиков // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. - №10. – С.25-28.
7. Малышева Г.В., Гусев С.А. Исследование влияния сетевого угла тканей на кинетику процесса пропитывания при формовании изделий из углепластиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. №5. С.2-6.
8. Нелюб В.А. Оценка адгезионного взаимодействия между углеродным волокном и эпоксидным связующим //Клеи. Герметики. Технологии. 2014. №7. С.20-22.

УДК 677.074.1

ТКАНЬ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУШНЫХ И ГАЗООБРАЗНЫХ СИСТЕМ

FILTERING FABRIC FOR AIR AND GAS SYSTEMS

М.П. Михайлова, В.С. Колтунчиков, Б.П. Макаров
M.P. Mihailova, V.S. Koltunchikov , B.P. Makarov

ОАО ИНПЦ ТЛП (Москва),
ООО «Термиз» (г. Мытищи)
Innovation Centre of Science and Production of Textile and Light Industry (ICSP TLI)
LLC Research and production firm heat-Resistant products (Mytischi)
E-mail : mikhailowachem@mail.ru, koltunchikov.vs@mail.ru, termiz@mail.ru

В сообщении представлены результаты анализа производства фильтровальных технических тканей в России. Созданы ткани названного ассортимента с регулируемой воздухопроницаемостью и сохранением основных механических свойств.

Ключевые слова: ткань, фильтрация, воздухопроницаемость.

This article informs about analysis of feltings technicals fabrics production in Russia. Regulative air permeability in technical fabrics is described.

Keywords: fabric, filtration, air permeability

Технические фильтровальные ткани применяются для разделения газообразных, жидких и твердых систем.

Оценка аналитиков [1, с. 60-72] по объемам и динамике производства фильтровальных технических тканей в России в период 2012-2016г.г. и объемам и динамике импорта этих тканей в Россию за тот же период представлена на рис. 1,2.

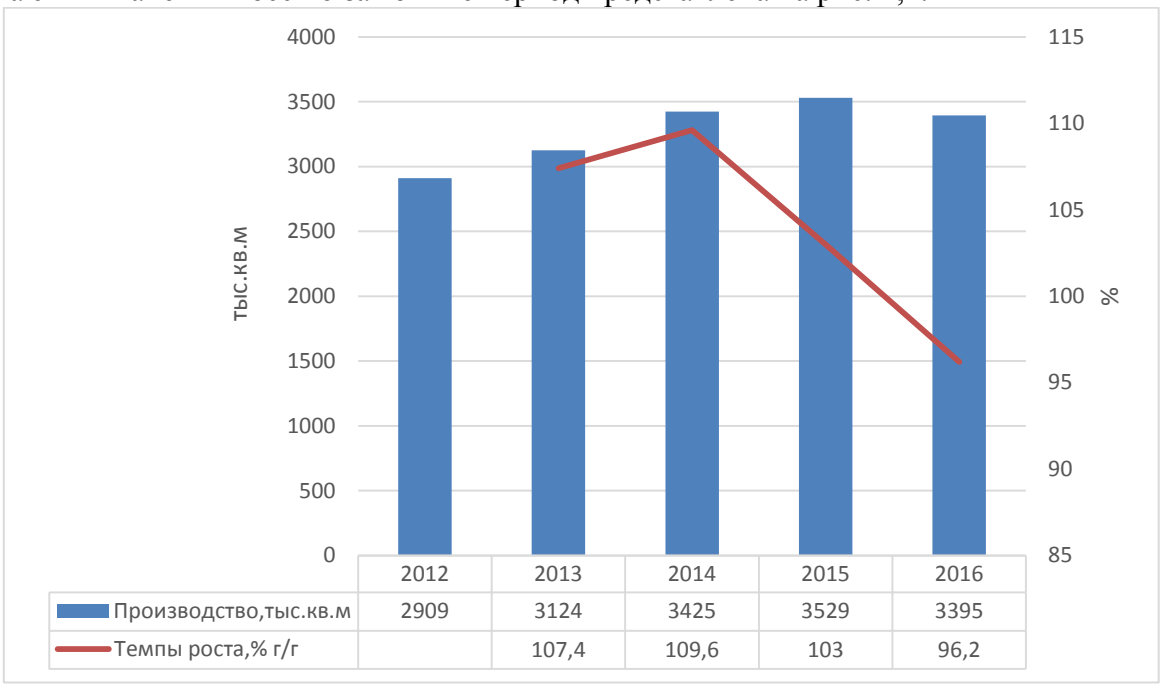


Рис.1 Обьемы и динамика производства фильтровальных технических тканей в Росии в 2012-2016гг.

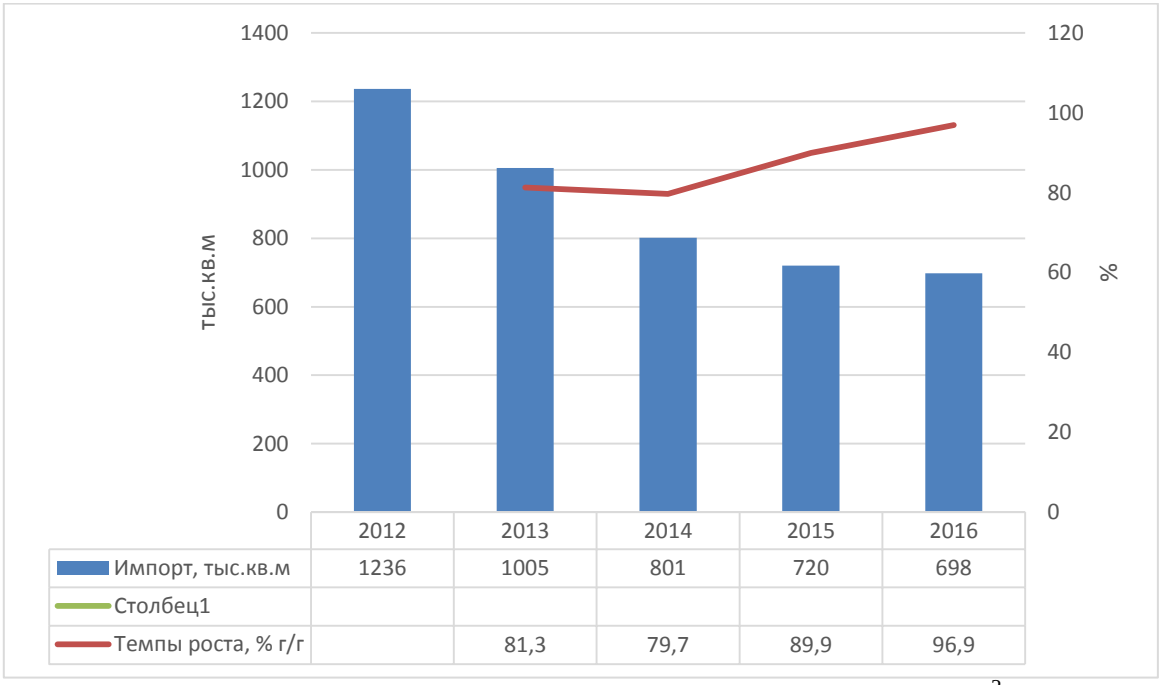


Рис. 2 Обьемы и динамика импорта ФТТ в 2012-2016гг., тыс. $м^2$,%.

Эти данные наглядно свидетельствуют о целесообразности отечественных разработок в области технических тканей указанного сектора.

В нашем сообщении речь идет о разработке серии тканей для тонкой очистки при фильтрации промышленного воздуха и газообразных систем с показателем воздухопроницаемости в диапазоне 8,0-200 $дм^3/м^2$ с. Ткани должны длительно эксплуатироваться до Т= 350°С.

Анализ патентной литературы за последнее десятилетие показал, что существуют отечественные разработки фильтровальных тканей в этом направлении.

Известна фильтровальная ткань, выполненная переплетением ломаная саржа из арселоновой пряжи. Однако температура эксплуатации не выше 250°С и воздухопроницаемость в диапазоне 40-210 $дм^3/м^2$ с. Снижение этого показателя достигается дополнительными технологическими операциями: ворсованием или термической усадкой.

Известна ткань выполнена саржевым переплетением из комбинированной пряжи из арселона и параарамида Русар.

Ткань характеризуется высоким удлинением (до 88%), что может вызвать изменение размеров изделия при эксплуатации, а значит и высокую и неравномерную по поверхности воздухопроницаемость не ниже 100 $дм^3/м^2$с.

Нами был разработан ряд тканей, представленных на таблице 1.

Таблица 1

Параметры фильтровальных тканей

№	Параметры	Номер образца					
		1	2	3	4	5	6
1.	Сырьевой состав по основе	Нить арамидная 58,8 текс , 10 мкм	Нить арамидная 58,8 текс , 30 мкм	Нить арамидная 58,8 текс , 10 мкм	Нить арамидная 110 текс. 30 мкм	Нить арамидная 58,8 текс , 10 мкм	Нить арамидная 58,8 текс , 30 мкм
2.	Сырьевой состав по утку	Нить арамидная 58,8 текс , 10 мкм + арамидная пряжа 45 текс	Нить арамидная 58,8 текс , 30 мкм + арамидная пряжа 45 текс	Нить арамидная 58,8 текс , 30 мкм + арамидная пряжа 45 текс	Нить арамидная 110 текс, 30 мкм + арамидная пряжа 45 текс х2	Нить арамидная 58,8 текс , 30 мкм + пряжа Арселон 29,4 текс х2	Нить арамидная 58,8 текс , 30 мкм + пряжа Арселон 29,4 текс х2
3.	Поверхностная плотность, $г/м^2$	451	439	449	438	458	450
4.	Соотношение нитей основы и утка на единицу длины	1,51	1,49	1,49	1,55	1,49	1,50
5.	Коэффициент наполнения	1,83	1,84	1,85	1,30	1,00	1,50
6.	Разрывная нагрузка полоски 25х200,кгс - по основе - по утку	 1000 575	 980 530	 975 570	 1150 401	 978 320	 969 356
7.	Относительное удлинение при разрыве, % - по основе - по утку	 14,3 21,3	 12,7 7.5	 22,5 6.0	 14,8 12,7	 13,0 17,4	 12,4 18,3
8.	Воздухопроницаемость, $дм^3/м^2$ с	8,0	13,6	10,4	200	5,0	9,0

В предложенных тканях саржевого переплетения в основе и утке были использованы арамидные нити на основе сополимера, содержащего бензимидазольные группы. Нити, состоящие из филаментов 10-30 мкм, имели линейную плотность в диапазоне 58,8-110 текс. Дополнительно уток содержал пряжу одиночную или двойного кручения на основе комбинации волокон из ароматических полиамидов.

Ткани характеризуются соотношением нитей основы и утка до 1.55, коэффициент наполнения составляет 1.3-1.85 (станки СТБ).

Воздухопроницаемость таких тканей можно изменять в пределах от 8,0 до 200 $дм^3/м^2с$ варьированием сырьевым составом , коэффициентами наполнения и соотношением нитей основы и утка.

Ткани могут длительно эксплуатироваться до $T=350^oC$ за счет значительного наличия п-арамидных волокон.

Представленная разработка решает вопросы импортозамещения в указанном секторе технических тканей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.П.Лаврентьева, А.А.Семенов. «Анализ Российского рынка фильтровальных технических тканей». Сборник докладов участников Третьего международного научно-практического симпозиума, Изд «БОС», Москва, 2018, с 60-72

УДК 677.026

ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЕ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ (ПЕРЧАТКИ, НОСКИ) ДЛЯ ЭКРАНИРУЮЩИХ КОМПЛЕКТОВ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

IMPORT-SUBSTITUTING PERSONAL PROTECTIVE ITEMS (GLOVES, SOCKS) FOR SHIELDING KITS AGAINST ELECTROMAGNETIC FIELDS OF RADIO FREQUENCY SPECTRUM

А.Е. Цветкова[1], И.С. Шадрина[1], С.Н. Перова[1], Е.П. Лаврентьева[1], И.А. Чернов[2]
A.E. Tsvetkova[1], I.S. Shadrina[1], S.N. Perova[1], E.P. Lavrentyeva[1], I.A. Chernov[2]

[1]ОАО «Инновационный научно-производственный центр текстильной и легкой промышленности» (Москва)
[2]ОАО «Силуэт» (г. Карачев)
[1]Innovative Research and Production Centre for Textile and Light Industry, OJSC (Moscow)
[2]Siluet, Ltd (Karachaev)
E-mail: a.tsvetkova@inpctlp.ru, i.shadrina@inpctlp.ru, s.perova@inpctlp.ru, e.lavrentyeva@inpctlp.ru, ichernov@vostok.ru

Статья знакомит с научно-исследовательской работой, целью которой являлась разработка современных импортозамещающих средств индивидуальной защиты (перчатки, носки) для экранирующих комплектов, обеспечивающих защиту персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона.

В процессе работы разработаны технологии производства перчаток и носков для экранирующих комплектов. Изготовлены экранирующие перчатки и носки. Проведены исследования качественных характеристик трикотажных экранирующих перчаток и носков.

Ключевые слова: экранирующий комплект; электромагнитное поле; экранирующая перчатка; экранирующие носки.

The article introduces a research project devoted to the development of modern import-substituting personal protective items (gloves, socks) for shielding kits providing personnel with protection against electromagnetic fields of radio frequency spectrum.

During the work process there have been developed new production technologies of gloves and socks for shielding kits. The developed shielding gloves and socks have been produced, their qualitative characteristics assessed.

Keywords: shielding kit; electromagnetic field; shielding glove, shielding socks.

Технический текстиль – это динамично развивающийся отраслевой сектор текстильной промышленности всего мира. Текущее состояние рынка, долгосрочные позитивные прогнозы его развития подтверждают важность и значимость темы технического текстиля для российского рынка. В настоящее время потребность в современном техническом текстиле удовлетворяется в основном за счет поставок по импорту.

Специальная одежда и средства индивидуальной защиты (СИЗ) являются одним из основных сегментов технического текстиля, ассортимент которого постоянно совершенствуется и расширяется.

Основными видами средств защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона являются экранирующие комплекты. Они предназначены для защиты работающих от воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона от 30 кГц до 60 ГГц.

В состав экранирующего комплекта входят следующие элементы:

– экранирующий комбинезон с капюшоном или костюм с капюшоном;

– экранирующий головной убор (в случае, если комбинезон или костюм без капюшона);

– экранирующие перчатки;
– экранирующие ботинки или чулки, носки, бахилы;
– щиток защитный лицевой;
– каска защитная.

В случае комплектации чулками, носками или бахилами, комплект должен применяться с рабочей обувью.

С целью импортозамещения средств индивидуальной защиты (перчатки, носки) для экранирующих комплектов, обеспечивающих защиту персонала при выполнении монтажа, ремонта и обслуживания источников электромагнитного излучения, были разработаны технологии их производства [1].

Специалистами ОАО «ИНПЦ ТЛП» по заказу ОАО «Силуэт» были разработаны экспериментальные образцы экранирующих одинарных вязаных пятипалых перчаток с применением электропроводящих нитей для лицевой стороны и хлопчатобумажной пряжи – для изнаночной стороны перчатки (рис. 1) с учетом утвержденной нормативной документации (НД) и требований, предъявляемых к ним заказчиком ОАО «Силуэт», а также технологических возможностей современных перчаточных автоматов.

Защитная перчатка состоит из участков: напульсник, корпус, пальцы.

Участки перчатки изготовлены различными переплетениями.

Для изготовления образцов перчаток разработана специальная программа вязания и проведена наладка перчаточного автомата для провязывания мишурной нити.

Были изготовлены несколько экспериментальных образцов экранирующих перчаток с использованием различных вариантов вида и состава сырьевых компонентов пряжи.

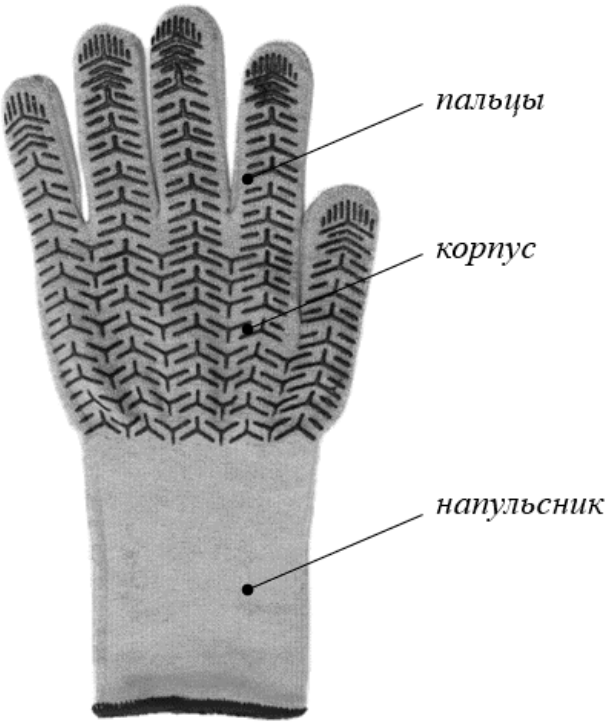


Рис. 1 – Экранирующая перчатка

Вязание проводилось двумя разными способами. Был выбран способ вязания, обеспечивающий надежность петлеобразования при выполнении необходимого переплетения.

После проведения испытаний и определения коэффициента экранирования экспериментальных образцов перчаток в составе комплекта произведен выбор оптимальных заправочных данных для вязания опытной партии экранирующих перчаток.

Специалистами ОАО «ИНПЦ ТЛП» разработаны экспериментальные образцы экранирующих носков с двойным бортом и удлиненным паголенком с применением

электропроводящих нитей для лицевой стороны и хлопчатобумажной пряжи – для изнаночной стороны носка (рис. 2) с учетом требований, предъявляемых к ним заказчиком ОАО «Силуэт», а также технологических возможностей современных одноцилиндровых круглочулочных автоматов.



Рис. 1 – Экранирующий носок

Защитный носок состоит из участков: двойной борт, удлиненный паголенок, след, пятка, мысок.

Участки носка изготовлены различными переплетениями.

Для изготовления экспериментальных образцов носков разработана специальная программа вязания и проведена наладка круглочулочного автомата для провязывания мишурной нити.

Для вязания образцов выбраны переплетения, способные обеспечить образование на лицевой стороне защитного слоя, а на изнаночной – гигиенического.

Разработан вариант заправки для изготовления экспериментальных образцов носков.

После проведения испытаний и определения коэффициента экранирования экспериментальных образцов носков в составе комплекта произведен выбор оптимальных заправочных данных. Были отработаны заправочные данные на вязание, установлена плотность вязания, определены линейные размеры носков по снятию с автомата.

Проведены исследования физико-механических, санитарно-химических, органолептических, токсиколого-гигиенических, потребительских и специальных защитных свойств экспериментальных образцов трикотажных экранирующих перчаток и носков для защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона.

Для исследования специальных свойств экспериментальных образцов защитных перчаток и носков выбраны основные показатели, характеризующие способность изделий препятствовать порезу и воздействию электромагнитных полей радиочастотного диапазона от 30 кГц до 60 ГГц: сопротивление порезу, коэффициент экранирования в составе комплекта, электрическое сопротивление в составе комплекта.

Результаты испытаний импортозамещающих экранирующих перчаток и носков приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний экранирующих перчаток и носков

Свойства изделия	Наименование показателя, ед. измерения	Вид изделия	
		экранирующие перчатки	экранирующие носки
Гигиенические	Гигроскопичность, %	7,5	5,4
	Воздухопроницаемость, $дм^3/м^2 \cdot с$	520	-
Потребительские	Растяжимость, мм	- напульсника – 330	- борта – 440; - паголенка – 328
Специальные	Сопротивление порезу, Н/мм	10	-
	Коэффициент экранирования в составе комплекта, дБ	32,79	
	Электрическое сопротивление в составе комплекта, Ом	5,1	

Отмечен высокий уровень гигиенических и потребительских свойств экспериментальных образцов экранирующих перчаток и носков, обеспечивающих комфортность и размероустойчивость в процессе эксплуатации.

Испытания показали, что величины: сопротивление порезу, коэффициент экранирования и электрическое сопротивление экранирующих носков и перчаток в составе комплекта, соответствуют требованиям, предъявляемым к экранирующим комплектам ТР ТС 019/2011 [2] и ГОСТ 12.4.305 [3].

Испытания экранирующих перчаток и носков по физико-механическим, санитарно-химическим, органолептическим, токсиколого-гигиеническим, потребительским и специальным защитным свойствам подтвердили соответствие изделий требованиям технического регламента.

С учетом проведенных работ разработаны технологические режимы производства экранирующих перчаток и носков.

Разработаны и утверждены ТУ:

– ТУ 14.12.30–004–00302178–2017 «Экранирующие носки для защиты от электромагнитных полей радиочастотного диапазона»;

– ТУ 14.12.30–005–00302178–2017 «Экранирующие трикотажные перчатки для защиты от электромагнитных полей радиочастотного диапазона»

Сравнительный анализ разработанных технологий производства экранирующих перчаток и носков, а также их показателей качества с технологиями и качественными показателями аналогичных изделий ведущих зарубежных фирм показал, что разработанные технологии являются технологиями мирового уровня.

По завершению работы были поданы две заявки на получение патента.

Получен патент на полезную модель № 176287 «Экранирующая трикотажная перчатка».

Получен патент на изобретение № 2652577 «Экранирующие носки».

ОАО «ИНПЦ ТЛП» и ОАО «Силуэт» являются совместными патентообладателями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврентьева Е.П., Шадрина И.С., Перова С.Н., Цветкова А.Е. и др. Отчет о НИОКР ОАО «ИНПЦ ТЛП» «Разработка технологий производства средств индивидуальной защиты (перчатки, носки), соответствующих мировому уровню, для экранирующих комплектов, обеспечивающих защиту персонала от электромагнитных полей промышленной частоты и

радиочастотного диапазона; описание НИОКР по выбору сырья и комплектующих, а также технологий производства экранирующих комплектов. Этап II», 2017. – 375 с.
2. Технический регламент Таможенного союза 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты».
3. ГОСТ 12.4.305-2016 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Комплект экранирующий для защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Общие технические требования».

УДК 677.11.08

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МОДИФИКАЦИИ ЛЬНОВОЛОКНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ

RATIONALE OF THE TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF FLAX FIBER MODIFICATION TO IMPROVE ITS SORPTION PROPERTIES

С.В. Алеева, О.В. Лепилова
S.V. Aleeva, O.V. Lepilova

Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук (г.Иваново)
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences (г. Ivanovo)
E-mail sva@isc-ras.ru

В статье обсуждаются результаты оценки влияния состава полиферментной композиции для биомодификации льноволокна на эффективность развития удельной поверхности материала и повышения реакционной способности полиуглеводов и лигниновой компоненты в отношении органических соединений. Дифференцирован вклад каждого из полимерных компонентов в развитие внутренней поверхности волокнистых объектов для исследуемых вариантов биомодификации.

Ключевые слова: льноволокно, полимерный состав, биомодификация, удельная поверхность, сорбция паров фенола, водопоглощение.

The results for the evaluation of the influence of the multienzyme preparation composition for biomodification of the flax fiber on the effectiveness of the specific surface increase in the material and enhance activity of the polysaccharides and lignin to reactions with organic compounds having been discussed in the article. The role of the each polymer component for the increase of the inner surface of fiber objects after different options of the biomodification having been differentiated.

Keywords: flax fiber, polymeric content, biomodification, specific surface, phenol vapour adsorption, water absorption.

Для решения научно-технологических задач, направленных на регулирования сорбционных свойств отходов переработки льноволокнистых материалов (угаров), применены оригинальные решения, обеспечивающие пространственно локализованную деструкцию полимеров в структуре перерабатываемых лигноцеллюлозных материалов. С этой целью адаптированы технологические подходы к осуществлению биохимической модификации льноволокна, в основу которых положены принципы научно-обоснованного подбора состава полиферментных композиций для реализации не только механизмов субстратной специфичности ферментов (селективности), но и приемов регулируемого проявления их активности в определенных структурных зонах биополимерной системы, а также оригинальных эффектов использования продуктов, генерируемых в ходе биокатализируемых процессов, в качестве вторичных реагентов для протекания redox-превращений в макромолекулах лигнина [1-4].

Метод модификации льноволокна предполагает реализацию двустадийной обработки:

1 стадия (*Cat*) – ферментативный катализ; процесс осуществляют в растворе ферментных препаратов при температуре 40±1^{o}C, pH 6,5 и модуле ванны 1:5 в течение 1-3 ч.

2 стадия (*Red*) – активация redox-превращений лигнина; субстрат подщелачивают до pH 11, нагревают до 95±1°С и выдерживают в течение 20 мин.

В исследованиях использовано разновидности чесаного льноволокна отечественного производства: бийское, костромское, вологодское, калужское.

Ранее в работах [5,6] обоснован эффект положительного влияния пектиновых веществ и гемицеллюлозных соединений на проявление сорбционных свойств льноволокнистых материалов. Установлено, что направленность действия ферментного препарата ориентирована, прежде всего, на модификацию основного полимера – целлюлозы. Использованные композиции экспериментальных целлюлолитических препаратов производства ЗАО «Энзим» (г. Ладыжин, Винницкой обл., Украина) отличаются способностью к адсорбционному связыванию с расщепляемым субстратом:

- ЦП 1 – композиция слабо адсорбирующихся (СА) ферментов с низким значением коэффициента равновесного распределения энзимов между раствором и поверхностью субстрата (коэффициент адсорбции Генри $К_Р$=0,32 л/г);

- ЦП 2 – содержит в своем составе прочно адсорбирующие (ПА) целлюлазы ($К_Р$=3,8 л/г).

Характеристика биопрепаратов и условия их применения приведены в табл. 1.

Таблица 1

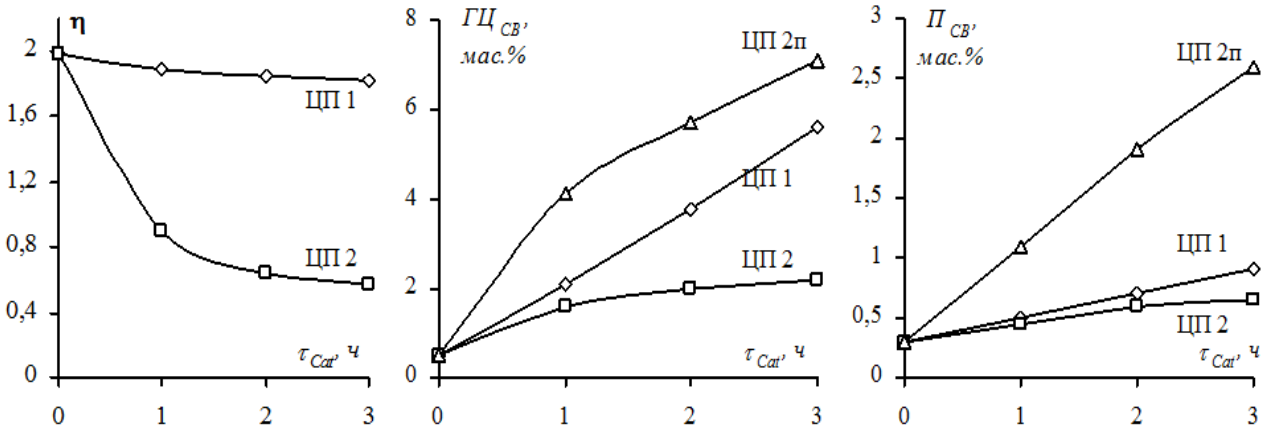
Профиль активности ферментных препаратов

Препарат	Характеристика препарата	Активность ферментов в рабочем растворе, ед/мл		Условия применения
ЦП 1	комплекс целлюлолитических СА-ферментов	эндоглюканаза экзоглюкозидаза целлобиаза	100 80 35	Т=35…60°С pH 5,5…7,5
ЦП 2	комплекс целлюлолитических ПА-ферментов	эндоглюканаза экзоглюкозидаза целлобиаза	450 270 150	Т=37...45°С pH=6,0...7,5

Композиция ПА-целлюлаз дополнительно усиливалась введением протеолитических ферментов – модификация ЦП 2п, уровень активности протеаз в рабочем растворе 30 ед./мл.

В серии экспериментов с проведением стадии *Red* использовали базовую композицию ферментов ЦП 2п с добавками одного гомогенных (очищенных) ферментов экзогенного (осахаривающего) действия, варьируя уровень активности экзоглюкозидазы ($ГЛ_{ЭКЗО}$) в интервале до 1200 ед./мл, экзогалактозидазы ($ГАЛ_{ЭКЗО}$) 200…600 ед./мл или экзоксилозидазы ($КС_{ЭКЗО}$) 300…800 ед./мл, либо применяя их комбинированные сочетания.

Состояние полимеров связующих веществ в межволоконных пространствах комплексного волокна характеризовали с учетом общего содержания гемицеллюлозных соединений (*ГЦ*) и пектина (*П*), а также доли полимеров, переходящих после ферментативного воздействия в структурно высвобожденное состояние (соответственно $ГЦ_{СВ}$ и $П_{СВ}$), что обеспечивает их извлечение из субстрата раствором щавелевой кислоты. Изменение состояния целлюлозных фибрилл оценивали с учетом данных удельной вязкости медно-аммиачного раствора целлюлозы (η), характеризующей снижение степени ее полимеризации. Степень деструкции структурных образований лигнина, в результате инициируемых redox-превращений, характеризовали способностью полимера к реакции сульфитирования и повышением содержания фракции, растворимой в 72%-ном растворе H_2SO_4 ($Л_Р$). Значение $Л_Р$ определяли из разности величин общего содержания полимера (*Л*) и содержания лигнина Класона ($Л_К$).



а) б) в)

Рис. 1. Изменение структурных характеристик вологодского чесаного льноволокна при модификации препаратами ЦП 1, ЦП 2 и ЦП 2п

На примере обработки вологодского чесаного льноволокна сопоставлено действие ферментных препаратов на биополимерную систему волокнистого материала. Результаты, представленные на рис. 1, позволяют сделать следующие заключения:

- тополитическое (поверхностное) действие препарата ЦП 1, сопровождающееся постоянной сменой дислокации СА-ферментов после каждого каталитического акта, обусловливает незначительные изменения состояния целлюлозы (см. рис. 1а); преимущественное проявление активности целлюлаз в межволоконных зонах материала по отношению к макромолекулам гемицеллюлоз обеспечивает прирост показателя $ГЦ_{СВ}$ (см. рис. 1б), что благоприятно для развития поровой структуры материала;

- ПА-ферменты препарата ЦП 2 в значительно меньшей степени обеспечивают структурное высвобождение гемицеллюлоз (см. рис. 1б) и пектина (см. рис. 1в), преимущественно воздействуя на целлюлозу клеточной стенки льняных волокон (см. рис. 1а), что отражается в существенном снижении величины показателя η; нарушение плотности упаковки макромолекул целлюлозы благоприятно для увеличения внутреннего свободного объема биомодифицируемого волокна;

- эффективным методом повышения подвижности полимеров в межволоконных зонах льняного волокна является каталитическое воздействие на протеиновый компонент углевод-белкового комплекса; расщепление полипептидных цепей под действием протеаз препарата ЦП 2п обеспечивает возрастание значений показателей $ГЦ_{СВ}$ и $П_{СВ}$ в 3,2…4,4 раза по сравнению с кривыми для препарата ЦП 2.

Сходный вид зависимостей получен для сопоставляемых вариантов биомодификации костромского льноволокна с повышенным содержанием лигнина. В табл. 2 представлены результаты изменения состояния полимерных компонентов и величины площади удельной поверхности ($S_{УД}$) для двух волокнистых образцов, сопоставление которых объективно отражает необходимость учета не только происходящих в ходе биомодификации изменений состояния полимерных компонентов, но и их исходного содержания в волокнистом материале.

Таблица.2

Результаты изменений состояния вологодского и костромского льноволокна при варьировании условий проведения биомодификации в режиме Cat

Льняное волокно	Ферментный препарат	τ_{Cat}, ч	Полимерный состав материалов, мас.%				$S_{УД}$, $м^2/г$
			Ц (η)	$ГЦ/ГЦ_{СВ}$	$П/П_{СВ}$	$Л/Л_Р$	
вологодское	-	0	73,5 (1,98)	11,6/0,5	2,7/0,3	3,5/0,8	16,9
	ЦП 1	1	73,5 (1,89)	11,6/2,1	2,7/0,5		20,5
		2	73,5 (1,85)	11,6/3,8	2,7/0,7		25,8
		3	73,5 (1,82)	11,6/5,8	2,7/0,9		27,9
	ЦП 2	1	73,5 (0,90)	11,6/1,6	2,7/0,4		35,4
		2	73,5 (0,64)	11,6/2,0	2,7/0,6		41,3
		3	73,5 (0,57)	11,6/2,2	2,7/0,7		54,6
	ЦП 2п	1	73,5 (0,90)	11,6/4,1	2,7/1,1		40,1
		2	73,5 (0,64)	11,6/5,7	2,7/1,9		54,6
		3	73,5 (0,57)	11,6/7,1	2,7/2,6		64,4
костромское	-	0	66,4 (1,81)	13,3/0,3	3,3/0,2	7,3/0,6	14,7
	ЦП 1	1	66,4 (1,72)	13,3/2,4	3,3/0,6		17,6
		2	66,4 (1,69)	13,3/4,4	3,3/0,9		23,9
		3	66,4 (1,66)	13,3/6,7	3,3/1,2		25,3
	ЦП 2	1	66,4 (0,82)	13,3/1,9	3,3/0,5		34,1
		2	66,4 (0,58)	13,3/2,3	3,3/0,7		49,2
		3	66,4 (0,52)	13,3/2,5	3,3/0,8		52,9
	ЦП 2п	1	66,4 (0,82)	13,3/4,7	3,3/1,3		38,6
		2	66,4 (0,58)	13,3/6,5	3,3/2,3		55,8
		3	66,4 (0,52)	13,3/8,1	3,3/3,1		62,1

Анализ полученных результатов свидетельствует о наличии следующих тенденций:

- возрастание показателя $S_{УД}$ по мере увеличения массовой доли целлюлозы и снижения вязкости ее медно-аммиачного раствора, а также повышения как общего содержания гемицеллюлоз, так и структурно высвобождаемой их части;
- пектины - клеящая основа межклетных образований и инкрустов - сдерживают формирование внутреннего объема; биокатализируемое расщепление их полимерного окружения и уменьшение их структурной связанности способствует повышению показателя $S_{УД}$.

Вариант аналитической модели, позволяющей формализовать взаимосвязи полимерного состава с изменениями удельной поверхности модифицированных материалов, имеет вид:

$$S_{уд} = 0{,}458 + 0{,}362\,Ц/\eta + 0{,}083ГЦ + 1{,}235ГЦ_{СВ} - 0{,}018П + 0{,}992П_{СВ},\ R = 0{,}693 \qquad (1)$$

Уравнение (1) не обладает высокой степенью аппроксимации экспериментальных данных, и высокое значение свободного члена уравнения отражает наличие неучтенных входных параметров системы. Вместе с тем данная зависимость может быть применена для описания состояния низколигнифицированного лубоволокнистого сырья.

Подбор состава биопрепарата и условий проведения биообработки высоколигнифицированого волокнистого материала должен обеспечить регулируемую биодеструкцию полиуглеводов волокнистого материала и использование генерируемых низкомолекулярных продуктов в качестве вторичных реагентов для протекания редокс-превращения лигнина, которые осуществляются при достижении необходимого уровня восстановительного потенциала системы: | –ОВП | ≥ 1000 мВ. С этой целью на стадии *Cat* необходима определенная степень генерации низкомолекулярных сахаров, которые на последующей стадии *Red* в результате термоинициируемого ретроальдольного распада образуют смеси соединений с высокими редуцирующими свойствами.

Данные рис. 2 отражают эффективность генерации низкомолекулярных восстанавливающих сахаров при использовании нескольких вариантов усиления полиферментного препарата ЦП 2п экзогенными (осахаривающими) ферментами.

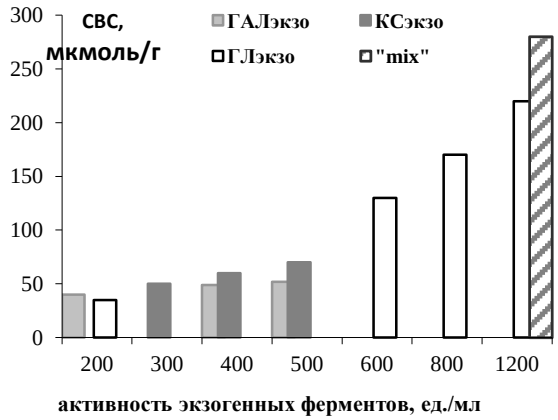


Рис. 2. Эффективность накопления восстанавливающих сахаров при обработке костромского льноволокна композициями базового биопрепарата ЦП 2п с добавками гомогенных экзогенных ферментов и их смеси «***mix***»:
ЦП 2п + $ГЛ_{экзо}$(1200 ед./мл) +
+ $ГАЛ_{экзо}$(400 ед./мл) + $КС_{экзо}$(500 ед./мл).

В случае комбинированного введения осахаривающих ферментов получены результаты, отражающие аддитивное увеличение содержания низкомолекулярных продуктов в соответствии с эффектом ферментативной деструкции отдельными видами экзодеполимераз.

Вместе с тем, как показано в табл. 3, необходимый уровень ОВП на последующей стадии *Red* достигается только при величине C_{BC}, превышающей 230 мкмоль на 1 г субстрата, т.е. для вариантов полиферментных систем с максимальным значением активности $ГЛ_{ЭКЗО}$ и дополнительным ее усилением гемицеллюлазами экзогенного действия.

Достигаемый уровень активности экзоферментов обеспечивает генерацию требуемого количества низкомолекулярных продуктов без существенного изменения степени полимеризации гемицеллюлоз. Сравнение результатов для стадии *Cat* с соответствующими значениями для 2-х часовой обработки препаратом ЦП 2п (табл. 2) позволяет выявить тенденцию к снижению величины $ГЦ_{СВ}$ и согласующееся с этим небольшое (до 1 %) уменьшение значения $S_{УД}$.

Проведение *Red*-обработки обеспечивает возрастание показателя $S_{УД}$ в 1,1…1,27 раза, что является откликом на совокупные изменения состояния всех компонентов полимерного комплекса связующих веществ в структуре льноволокна, включая деполимеризацию лигнина, сопровождающую восстановление карбонильных группировок. Совместный анализ экспериментальных данных в табл. 3 и 2 позволил уточнить зависимость «состав – свойство» для описания изменений площади внутренней удельной поверхности с учетом влияния лигнина:

$$S_{УД} = 0{,}009 + 0{,}395\,Ц/\eta + 0{,}097ГЦ + 1{,}229ГЦ_{СВ} - 0{,}020П + 0{,}893П_{СВ} - 0{,}272Л + 1{,}885Л_{Р}, R = 0{,}992 \quad (2)$$

Таблица. 3

Результаты *Cat-Red*-обработки льняных волокнистых материалов

Льняное волокно	Ферментный препарат	Стадии	Полимерный состав биомассы, мас.%				C_{BC}, мкмоль/г	|-ОВП|, мВ	$S_{УД}$, $м^2/г$
			Ц (η)	$ГЦ/ГЦ_{СВ}$	$П/П_{СВ}$	$Л/Л_{Р}$			
вологодское	ЦП 2пэ*	*Cat*	73,5 (0,64)	11,6/5,5	2,7/1,9	3,5/0,8	230		53,6
		Red	73,5 (0,64)	11,6/7,1	2,7/2,3	3,5/2,5		1040	59,7
	ЦП2пэ**	*Cat*	73,5 (0,64)	11,6/5,0	2,7/1,9	3,5/0,8	280		53,1
		Red	73,5 (0,64)	11,6/8,1	2,7/2,6	3,5/2,8		1250	63,2

Продолжение таблицы 3

костромское	ЦП 2пэ*	*Cat*	66,4 (0,58)	13,3/6,0	3,3/2,2	7,3/0,6	230		54,7
		Red	66,4 (0,58)	13,3/8,1	3,3/2,9	7,3/5,1		1040	66,7
	ЦП 2пэ**	*Cat*	66,4 (0,58)	13,3/5,7	3,3/2,3	7,3/0,6	280		54,2
		Red	66,4 (0,58)	13,3/9,3	3,3/3,2	7,3/5,8		1250	70,2

Примечания: ЦП 2пэ* - базовый препарат ЦП 2п + $ГЛ_{экзо}$ (1200 ед./мл);
ЦП 2пэ** - базовый препарат ЦП 2п + «***mix***».

В отличие от уравнения (1) данный вид зависимости характеризуется пренебрежимо малым значением свободного члена, что свидетельствует о практически полном учете факторов, определяющих величину $S_{УД}$. Отрицательное значение множителя при показателе *Л* в уравнении (2) отражает негативную роль лигнина в формировании поровой структуры волокна, но его влияние можно нивелировать за счет перевода $^1/_7$ полимера в трансформированное состояние. Фактически, как показано в табл. 3, *Red*-обработка позволяет повысить долю формы $Л_Р$ до 71…79%.

Анализ уравнения (2) позволяет дифференцировать весомость изменения состояния каждого из полимерных компонентов в развитие внутренней поверхности волокнистых объектов для исследуемых вариантов биомодификации. Данные рис. 3 отражают проявление специфического влияния исходного состояния биополимерной системы льняного волокна при одинаковых условиях биохимической модификации. Факторы вскрытия внутренней структуры целлюлозных фибрилл клеточной стенки элементарных волокон и высвобождения нецеллюлозных полисахаридов межволоконного углевод-белкового комплекса проявляют наибольшую весомость в случае низколигнифицированного сырья (вологодский лен). С увеличением массовой доли лигнина (костромской лен) возрастает и значимость его трансформации: вклад показателя $Л_Р$ в общую величину $S_{УД}$ достигает 45%.

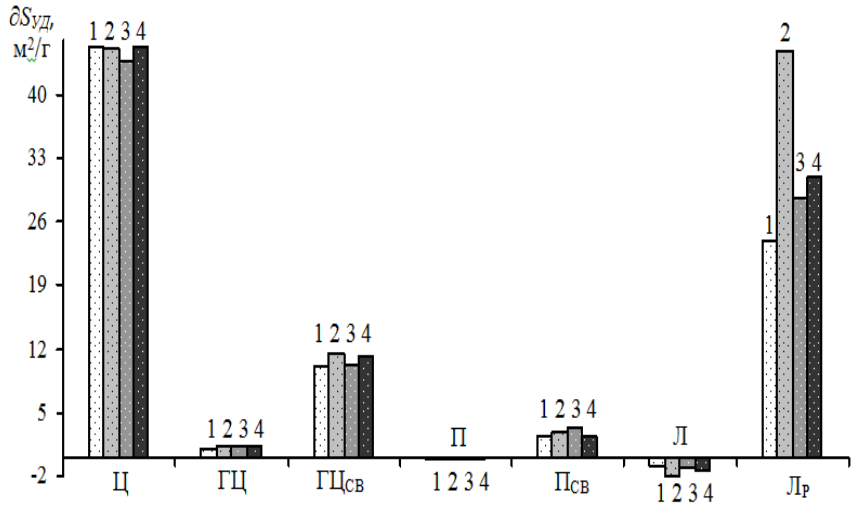


Рис. 3. Сопоставление вклада полимеров в совокупный результат развития площади удельной поверхности льняных материалов после проведения стадий *Cat*- и *Red*-обработки:
1- вологодский лен;
2 – костромской лен;
3 – бийский лен;
4 – калужский лен

Специфическая роль модификации лигнина в суммарной эффективности вскрытия внутренней структуры льноволокна в воздушно-сухом состоянии исследована по результатам анализа величины равновесной сорбции паров фенола $А_Ф$. Результаты, полученные при постадийном контроле образцов, модифицированных препаратом ЦП 2пэ** (τ_{Red} = 2 ч), приведены в табл. 4. Экспериментальные данные наглядно демонстрируют возможность 4-кратного увеличения сорбционной емкости субстрата по отношению к ароматическим летучим соединениям.

Таблица.4

Характеристика сорбционной емкости биомодифицированных льняных материалов в отношении паров фенола

Льняное волокно *(стадия биомодификации)*		$S_{УД}$, м^2/г	Л$_Р$, мас.%	Сорбция паров фенола, $A_Ф$, мг/г
вологодское	–	16,9	0,8	13,7
	Cat	54,8	0,8	39,0
	Red	63,2	2,8	51,0
костромское	–	14,7	0,6	11,8
	Cat	58,3	0,6	42,6
	Red	70,2	5,8	58,6
бийское	–	15,6	0,7	12,6
	Cat	53,1	0,7	35,6
	Red	61,2	2,9	49,5
калужское	–	15,8	0,6	12,7
	Cat	59,5	0,6	37,5
	Red	67,3	3,3	54,5

Аналитическая модель взаимосвязи характеристик состояния биомодифицированных льняных материалов и проявляемой ими способности к связыванию паров фенола имеет вид:

$$A_ф = 0{,}018 + 0{,}739 \cdot Л_р + 0{,}774 \cdot S_{УД}, R = 0{,}992 \quad (3)$$

Не смотря на сопоставимость множителей при величинах входных переменных в уравнении (3), необходимо отметить, что соотношение значений вводимых параметров предопределяет преимущественность вклада развития пористой системы материала. Тем не менее, весомость хемосорбционных механизмов взаимодействия фенола с частично деструктированным лигнином в биомодифицированных льноволокнистых материалах возрастает в 4…10 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кокшаров С.А., Алеева С.В. Биохимическая модификация полисахаридов в процессах текстильного производства // Научные основы химической технологии углеводов / Под ред. А. Г. Захаров. – М.: Изд. ЛКИ. 2008. С. 401-523.
2. Aleeva S.V., Koksharov S.A. Chemistry and technology of biocatalyzed nanoengineering of linen textile materials // Russian Journal of General Chemistry. 2012. Vol. 82. N 13. P. 2279-2293.
3. 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. N 3. P. 215-225.
4. Lepilova O.V., Spigno G., Aleeva S.V., Koksharov S.A. Study of the ability of reducing saccharides to chemically transform lignin // Eurasian Chemico-Technological Journal. 2017. Vol. 19. No 1. P. 31-40.
5. Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А. Технологические подходы к биомодификации структуры льняного волокна для получения сорбционных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. №1 (367). С. 319-324.
6. Алеева С.В., Лепилова О.В., Курзанова П.Ю., Кокшаров С.А. Специфика изменения сорбционной способности льноволокна при регулируемой биокатализируемой деструкции нейтральных полиуглеводов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2018. Т. 61. Вып. 2. С. 80-85.

УДК 677.027

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕРАСТВОРИМЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ В ТЕКСТИЛЬНОМ ОТДЕЛОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

PROSPECTS OF INSOLUBLE ALUMOSILICATES APPLICATION IN TEXTILE FINISHING

Е.Л. Владимирцева[1], Л.В. Шарнина[2], М.А. Кравченко[1], А.А. Миронова[1]
E.L. Vladimirtseva[1], L.V. Sharnina[2], M.A. Kravchenko[1], A.A. Mironova[1]

[1]Ивановский государственный химико-технологический университет
[2]Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России
[1]Ivanovo State University of Chemistry and Technology
[2]Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters

В работе оценивается перспективность использования нерастворимых алюмосиликатов по всему технологическому циклу текстильно-отделочного производства, включая подготовку, колорирование и заключительную отделку, а также очистку сточных вод.

Ключевые слова: нерастворимые алюмосиликаты, текстильные материалы, сорбция, колорирование, отделка

The prospects of using insoluble aluminosilicates throughout the entire technological cycle of textile and finishing production are assessed, including preparation, coloring and finishing, as well as sewage treatment of textile enterprises.

Keywords: insoluble aluminosilicates, textile materials, sorption, coloring, finishing

Природные силикаты и кремнезем широко используются в различных отраслях промышленности. В текстильной промышленности известно применение монтмориллонитовых глин до 30-х гг. прошлого века в процессах промывки шерсти и ее валки (для удаления жиропотовых загрязнений и уплотнения структуры) [1]. Однако в настоящее время эти технологии забыты, а природные минералы заменены более эффективными, но менее экологичными химическими препаратами.

В работе оценивается возможность использования в технологиях отделки тканей нерастворимых алюмосиликатов. В качестве объектов исследования были выбраны природные глинистые материалы, отличающиеся месторождением, составом и наличием примесей, обуславливающими их характеристики и цвет исходных образцов (глины Лежневская, Малоступкинская, Веселовская, Часов-Ярская, Никифоровская и пр.) [2, 3], минералы, прошедшие промышленную обработку (Каолин, Бентонит, Цеолит, Диатонит, Тальк) [2], а также фторированный алюмосиликат (ФТАС), являющийся побочным продуктом в синтезе фторида алюминия [4]. Слоистая структура этих соединений, мелкодисперсность, самоэмульгируемость, высокая сорбционная и ионообменная способность могут быть востребованы в отделочном производстве в различных технологических процессах (подготовки, колорировании и заключительной отделке).

В подготовке текстильных материалов важным является процесс беления с использованием пероксида водорода. Известно, что неустойчивость перекисных растворов требует присутствия стабилизаторов в белящей ванне [5]. При изучении стабилизирующего действия нерастворимых силикатов отметили, что природные минералы могут действовать на пероксид водорода различным образом: содержащие большое количество примесей поливалентных металлов катализируют разложение пероксида водорода; алюмосиликаты, сорбирующие из белящей ванны металлы переменной валентности, напротив, стабилизируют перекисные растворы [6], обеспечивая их обмен на ионы Ca^{2+} и Mg^{2+}, входящих в состав этих минералов. А так как кальций и магний обладают свойствами

стабилизаторов, то увеличение их концентрации способствует высокой стабильности отбеливателя и эффективности беления текстильных материалов [7].

В таблицах 1 и 2 приведены результаты отбеливания целлюлозосодержащих и белковых текстильных материалов пероксидом водорода в присутствии различных стабилизаторов. Беление проводилось по непрерывной и периодической технологиям.

Таблица 1

Белизна целлюлозосодержащих текстильных материалов, отбеленных в присутствии различных стабилизаторов непрерывным и периодическим способами

Стабилизатор	Способ обработки ткани					
	Лен		Диагональ		Миткаль	
	Непрер.	Период.	Непрер.	Период.	Непрер.	Период.
Исходная	38,0		39,7		64,6	
Силикат натрия	45,4	67,9	70,3	73,0	79,8	81,2
Каолин	38,6	62,8	67,3	78,9	76,3	80,0
Тальк	40,5	66,4	68,0	79,1	78,6	80,4
Цеолит	40,1	67,3	65,6	79,8	79,3	79,6
Бентонит	38,1	40,3	59,2	60,8	67,0	72,6
Диатонит	37,3	39,7	60,1	62,2	66,3	67,8

Таблица 2

Качественные показатели белковых текстильных материалов, отбеленных в присутствии различных стабилизаторов

Препарат	Шерстяное волокно				Натуральный шелк		
	Белизна, %	Потеря массы волокна, %	Жест-кость	Свойлачиваемость	Белизна, %	Потеря массы волокна, %	Жесткость, град. *
Исходное волокно	64,6	-	-	-	60,8	-	
Без стабилизатора	65,5	4	0	+	64,9	1,0	82
Силикат натрия	72,0				67,2	4,4	77
Метасиликат натрия	80,0	привес 0,16	++	+	68,5	3,3	82
Пирофосфат натрия	79,5	привес 0,21	++	+	-	-	-
ФТАС	76,7	0,7	0	0	68,3	2,3	84
Каолин	78,5	привес 17	-	0	70,2	1,8	80
Тальк	77,6	привес 5	-	0	70,4	1,5	83

Как видно из представленных данных, большинство нерастворимых алюмосиликатов обеспечивают белизну на уровне силиката натрия или близкую к ней. Исключение составляют Бентонит и Диатонит. Известно, что они обладают достаточно высоким стабилизирующим действием [6]. Поэтому, такой эффект вероятнее всего вызван природной окраской этих минералов: бентонит имеет сероватый оттенок, диатонит – красно-коричневый, и, попадая на текстильный материал в виде мельчайших частиц, они «маскируют» отбеленное волокно, зрительно снижая белизну. Следовательно, в этом случае желательно использовать неокрашенные порошки. Основным преимуществом нерастворимых алюмосиликатов в роли стабилизаторов перекисных ванн является то, что в отличие от силиката натрия, они не образуют налипов на ткани и оборудовании, не вызывают увеличение жесткости и усадки отбеленных материалов. [6,7].

При использовании порошков минералов при отбеливании белковых волокон, было отмечено значительное снижение потерь массы волокна (в 2-3 раза). Известно, что отбеливание обычно сопровождается сбелкой, поскольку происходит окисление окрашенных и других спутников и их последующее удаление. Пероксидное беление шерсти в отсутствие стабилизатора облегчает волокно примерно на 4 %. Однако присутствие нерастворимых алюмосиликатов приводит к увеличению массы отбеленной шерсти до 17 %.

В ходе исследований [8] установили, что такой привес не случаен, и причиной его является специфика строения шерстяного волокна и возможность закрепления в чешуйчатом слое на его поверхности мельчайших частиц минералов. Это позволило разработать способ модификации шерсти с целью придания ей улучшенных потребительских и технологических свойств. Наличие в шерстяном волокне микрочастиц алюмосиликатов заметно снижает ее усадку, позволяет регулировать валкоспособность, повысить стойкость волокна к гниению и действию УФ-излучения (Таблица 3).

Таблица 3

Изменение характеристик шерсти при обработке алюмосиликатами

Алюмосиликаты		Светлота, %	Мягкость *	Облучение УФ (250 нм)		Степень повреждения кератина по «почвенному» тесту
				Изменение массы (отн. %) после обработки 0,1 н р-ром NaOH	Пожелтение волокна, %	
Исходное волокно		60,0	-	69,0	11,5	82,7
Глины	Веселовская	68,9	+	38,2	8,7	14,7
	Лежневская	60,1	+	33,4	9,3	34,3
	Пелгусовская	56,2	0	34,3	6,2	30,0
	Никифоровская	57,7	+	37,5	7,1	34,4
	Малоступкинская	54,3	+	37,3	1,8	80,0
Бентонит		59,3	+	44,4	2,8	10,2
Пегматит		61,6	+	48,2	2,1	18,2
Глинозем		73,1	0	42,2	1,1	16,3
Фторированный алюмосиликат		74,5	-	45,1	2,2	14,9
Каолин		72,8	++	30,8	2,4	22,1
Тальк		73,0	++	35,6	2,8	16,9

* *мягкость волокна «+» - увеличивается; «-» - уменьшается; «0» - не изменяется*

Кроме того, материал приобретает способность окрашиваться хромовыми красителями без дополнительной стадии хромирования [6, 9]. Специфика строения минералов, связанная с наличием на ребрах кристаллитов частично свободных валентностей, ионов Al^{3+}, обуславливает взаимодействие алюминия с красителем с образованием комплексного соединения, аналогичного получаемому с соединениями хрома. Таким образом, появляется возможность повысить экологичность процесса колорирования шерстяных материалов хромовыми красителями, исключив применение солей хрома на технологические нужды и заменив стадию хромирования обработкой шерстяного материала в дисперсии алюмосиликатов [6].

Высокая сорбционная способность нерастворимых алюмосиликатов может быть использована для очистки сточных вод от красителей. При этом минералы должны обладать склонностью к осаждению, однако оно не должно быть слишком быстрым, для того, чтобы обеспечить необходимое время контакта раствора красителя и сорбента. Исследования показали, что по седиментационной устойчивости условно можно выделить три группы минералов: 1) быстрооседающие, которые через 1-5 часов отстаивания практически полностью оседают, а растворы осветляются; 2) оседающие в течение суток, но долго сохраняющие мутность; 3) образующие стойкие дисперсии, которые даже после недельного отстаивания не осветляются. Для очистки наиболее пригодны нерастворимые алюмосиликаты, относящиеся к первой группе. При введении порошков минералов в отработанные растворы они «захватывают» красители и оседают вместе с ним.

Сорбция красителей алюмосиликатами не приводит к их деструкции, а сопровождается обесцвечиванием растворов и изменением цвета осажденных минералов. Таким образом хорошо удаляются пигменты, основные (катионные) и некоторые прямые красители (за 2-4 часа). В общем случае, эффективность удаления красителей определяется совокупностью факторов: свойствами алюмосиликата, классом и химическим строением красителя, его растворимостью и пр. По сорбируемости порошками алюмосиликатов красители можно выстроить в следующий ряд: пигменты > основные (катионные) > прямые > кислотные ≥ хромовые > активные.

Введение в раствор красителей пероксида водорода и дисперсии минералов, имеющих примеси поливалентных металлов, повышает эффективность очистки. Причиной этого является каталитическое разложение пероксида водорода, продукты которого вызывают разрушение хромофорной системы красителей до веществ, удаляемых путем сорбции их алюмосиликатами. Полнота очистки подтверждается полученными спектрофотометрическими данными в диапазоне 230-300 нм [10,11].

Еще один вариант использования алюмосиликатов при колорировании текстиля касается непосредственно фторированного алюмосиликата. Кроме окислов алюминия и кремния, ФТАС содержит в своем составе 2-6 % фторида алюминия, имея брутто формулу $xAl_2O_3*ySiO_2*zAlF_3$. Уникальность этого препарата заключается в том, что в отличие от обычных нерастворимых алюмосиликатов ФТАС сочетает нерастворимую (оксиды кремния и алюминия) и растворимую (фторид алюминия) фракции. Именно наличие в алюмосиликате растворимого AlF_3, гидролизующегося в водной среде до фтороводородной кислоты, открывает возможность применения его в качестве катализатора процесса фиксации на волокне пигментной композиции. В то же время мелкодисперсность, гидрофобность, белый цвет порошка (белизна - 85 %), отсутствие иных примесей могут быть использованы в пигментной печати для купирования, аналогично белому пигменту, с целью корректирования насыщенности красителей [12].

Каталитическая активность ФТАС в сочетании с гидрофобными свойствами мелкодисперсной фракции порошков позволяет эффективно использовать его и в процессах заключительной отделки, в которой используются предконденсаты термореактивных смол [12-14]. В качестве примера на рис. представлены результаты несминаемой отделки с применением ФТАС в сравнении с традиционно используемыми катализаторами для текстильных материалов различного волокнистого состава. Как видно из диаграмм,

наибольшее увеличение суммарного угла раскрытия складки (прирост показателя) характерно для низкоформальдегидных Отексида НФ и Отексида Д-2 (до 40 %). А для высокоактивных карбамолов коэффициент несминаемости увеличивается не более чем на 7-10 %. Отмечено также, что для препарата Фортекс, в котором уже имеется встроенный катализатор, добавление ФТАС повышает его активность и заметно улучшает результаты отделки [13].

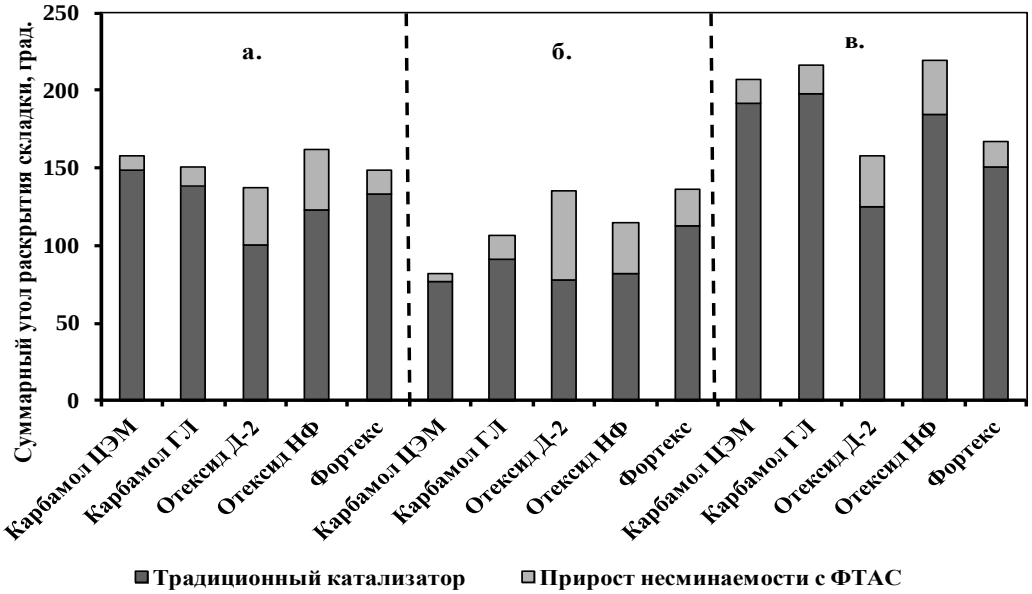


Рис.1 Влияние природы катализатора на несминаемость тканей а – хлопчатобумажной; б – вискозно-штапельной; в – льняной

Аналогичные результаты были получены и с огнестойкой и водоотталкивающей отделками в случае применения предконденсатов термореактивных смол для закрепления на волокне антипиренов или гидрофобизаторов. Причем в последнем случае эффективность замены традиционного катализатора на ФТАС проявляется намного ярче: увеличение показателей достигают 2-3 раза. Это обусловлено тем, что здесь алюмосиликат проявляет свойства не только катализатора, но и гидрофобизатора: нерастворимая мелкодисперсная фракция оксидов кремния и алюминия фиксируются вместе с предкондесатами на волокне, что и усиливает водоотталкивающий эффект [12, 14].

Таким образом, представленные в работе результаты позволяют говорить о технологических возможностях использования нерастворимых алюмосиликатов по всему технологическому циклу текстильно-отделочного производства: благодаря высокой сорбционной способности по отношению к ионам металлов и красителям они могут использоваться в качестве стабилизаторов пероксидного беления и сорбентов отработанных красильных растворов; наличие мелкодисперсной фракции дает возможность модифицировать свойства шерсти; способность алюминия образовывать комплексные соединения применяются в процессах крашения хромовыми красителями; каталитическая активность железа при генерации разложения пероксида водорода – в деструкционно-сорбционных процессах очистки красильных растворов. Выбор алюмосиликатов для конкретного процесса будет определяться как характеристиками минерала, так и поставленной технологической задачей. Применение их, наряду с технологическими преимуществами, позволит повысить экологичность отделочного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цейтлин Е.А. Очерки истории текстильной техники: 1940 М.: Книга по требованию, 2012. 233 с.
2. Шульц М.М. Силикаты в природе и практике человека // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 8. С.45–51.
3. Соколова Т.А. Дронова Т.Я., Толпешта И.И. Глинистые минералы в почвах: учеб.пособие. Тула: Гриф и К, 2005. 336 с.
4. Боярко Г.Ю., Хатьков В.Ю. Добыча и потребление фтористого минерального сырья в России. Ч.1 // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307. № 3. С. 165–169.
5. Кричевский Г.Е., Никитков В.А. Теория и практика подготовки текстильных материалов. М.: Легпромбытиздат. 1989. 208 с.
6. Блиничева И.Б., Шарнина Л.В., Тихонов С.В. Роль растворимых и нерастворимых силикатов в процессах пероксидного беления текстильных материалов //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2004. №2. С.43–47.
7. Шарнина Л.В., Блиничева И.Б., Жбанов Л.В. Решение проблемы налипообразования в процессах пероксидного беления текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2003. №2. С. 51-54.
8. Владимирцева Е.Л. и др. Исследование сорбции алюмосиликатов шерстяным волокном // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2010. № 8. С.50-54.
9. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Вельбой М.А. Улучшение потребительских свойств шерсти // Изв. вузов. Технология легкой промышленности 2012. Т.17. № 3. С.91-95
10. Вельбой М.А. и др. Оценка сорбционной активности глинистых минералов по отношению к растворам прямых и активных красителей // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. 2014. Т. 24. № 2. С. 28-32.
11. Владимирцева Е.Л. и др.Эффективность извлечения нерастворимых красителей из водных дисперсий алюмосиликатами // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 19. С. 116-120.
12. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Тимофеева С.В. Полифункциональность действия фторированного алюмосиликата в процессах текстильной химии // Российский химический журнал. 2014. Т. LVIII. № 2. С. 59-67.
13. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Блиничева И.Б. Применение синтетического алюмосиликата в процессах заключительной отделки текстильных материалов предконденсатами термореактивных смол // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2008. № 3. С. 62-65.
14. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Блиничева И.Б. Применение синтетического алюмосиликата в гидрофобной отделке текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2008. № 4. С. 59-61.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (проектная часть), проект № 4.1929.2017/4.6

УДК 531.782+537.311.324

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОЧНЫХ НИТЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

GETTING A HEAT AND ELECTRICALLY CONDUCTIVE YARNS BASED ON POLYPROPYLEN NANPCOMPOSITES

О.А. Москалюк[1], Е.С. Цобкалло[1,2], В.Е. Юдин[2,3], А.С. Степашкина[2]
O. A. Moskalyuk[1], E. S. Tsobkallo[1,2], V. E. Yudin[2,3], A. S. Stepashkina[2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
[2] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
[3] Институт высокомолекулярных соединений РАН (Санкт-Петербург)
Saint-Petersburg State University of Industrial Technology and Design
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
Institute of Macromolecular Compounds Russian Academy of Sciences (St. Petersburg)
E-mail: olga-moskalyuk@mail.ru, tsobkallo@mail.ru, yudin@hq.macro.ru,
stepashkina.ann@yandex.ru

По расплавной технологии получены пленочные нити из нанокмпозитов на основе полипропиленовой матрицы и углеродных нановолокон. Выявлен различный характер зависимостей электро- и теплопроводности от концентрации нанонаполнителя. Изучены зависимости электрического сопротивления от температуры. Показано, что при введении углеродных нановолокон в полипропиленовую матрицу можно получить пленочные нити одновременного с тепло- и электропроводящими свойствами.

Ключевые слова: пленки, нити, нанокомпозиты, полипропилен, углеродные наночастицы, углеродные нановолокна, электрическое сопротивление, теплопроводность.

The melt technology is used to obtain films from nanocomposites based on polypropylene matrix filled with carbon nanofibers. The different nature of the dependence of electrical and thermal conductivity on the concentration of the nanofill is revealed. The dependences of electrical resistance on temperature are studied. It is shown that the introduction of the carbon nanofibers in to polypropylene is possible to obtain the films simultaneous thermal and conductive properties.

Keywords: films, yarns, nanocomposites, polypropylene, carbon nanoparticles, carbon nanofibers, electrical resistance, thermal conductivity.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ проект № 11.6946.2017/7.8.

Одной из важнейших проблем материаловедения, связанной стехническим текстилем специального назначения, является создание синтетических полимерных материалов в виде лент, волокон, плёнок, обладающих тепло- и электропроводящими свойствами. Разработка такого рода материалов становится возможной благодаря появлению на рынке уникальных электро- и теплопроводящих наполнителей, в том числе углеродных наночастиц - нановолокон, многостенных и одностенных нанотрубок, мелкодисперсных теплопроводящих наполнителей и других. Введение таких наполнителей в волокнообразующие синтетические материалы позволяет создавать полимерные нанокомпозиты (ПНК) с принципиально улучшенной способностью проводить электрическую и тепловую энергию [1, 2]. В соответствии с видом передаваемой энергии ПКМ подразделяются на два основных класса: электропроводящие и теплопроводящие (теплоотводящие).

Специальные свойства ПНК определяются: химическим составом и физическими свойствами матрицы и наполнителя, формой, размером частиц, концентрацией наполнителя, геометрией и технологией изготовления образцов. Поэтому одной из ключевых задач материаловедения является установление взаимосвязи структура-свойств в полимерных

нанокомпозитах и их взаимосвязь с технологией получения, а также разработка адекватных моделей для описания и прогнозирования их свойств, в зависимости от типа и концентрации вводимого наполнителя, Все это в комплексе позволит контролировать изменение эксплуатационных характеристик при создании новых текстильных материалов с комплексом уникальных тепло- и электропроводящих свойств.

Цель данной работы состояла в получении пленочных нитей из ПНК на основе термопластичной волокнообразующей матрицы и углеродных наночастиц, в исследовании тепло-и электропроводящих свойств данных материалов.

В качестве полимерной матрицы для создания пленочных нитей из ПНК использовался термопластичный волокнообразующий полимер - изотактический полипропилен (ПП). Наполнителями были выбраны углеродные наночастицы – углеродные нановолокна (УНВ) марки VGCF-H. Характеристика нанонаполнителей представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики углеродных нановолокон VGCF-H

№	Наименование показателя, единицы измерения	Значение
1	Длина .мкм	~5
2	Диаметр, нм	~150
3	Осевое отношение, отн. ед.	~30
4	Плотность, g/cm³	2
5	Удельное электрическое сопротивление, Ohm·m	10^{-4}
6	Коэффициент теплопроводности, W/m·K	1200

Изготовление образцов осуществлялось по расплавной технологии с использованием двухшнековый микрокомпаундера DSM Xplore 5 ml Microcompounder, производства DSM Xplore (Нидерланды) при температуре 474 К и скорости вращения шнеков ω=50 мин-1. Ширина пленочных нитей составляла 2,5 мм, толщина 100-200 мкм. Массовая доля наполнителя составляла: ϑУНВ= 0, 3, 5, 8, 10, 15, 20 мас.%.

Измерение удельного электрического сопротивления (ρ, Ом·м) образцов проводилось двухконтактным методом с записью вольт-амперных характеристик (ВАХ) с использованием пикоамперметра Keithley 6487 и программируемого источника питания АКИП-1124 на постоянном токе. Измерения проводились в широком диапазоне температур от 80 К до 373 К.

Измерение теплопроводности исследуемых образцов проводилось на основе мостовой схемы, принцип работы которой заключался в измерении теплового сопротивления ПКМ в сравнении с эталонными образцами и последующим вычислением значения теплопроводности исследуемого образца по формуле:

λ=l_(X)/(R_X S)

где l_(X) – длина исследуемого; S – площадь поперечного сечения образца;

R_X – тепловое сопротивление исследуемого образца.

Сначала проанализируем изменение электропроводящих свойств пленочных нитей в зависимости от концентрации УНВ (рис. 1).

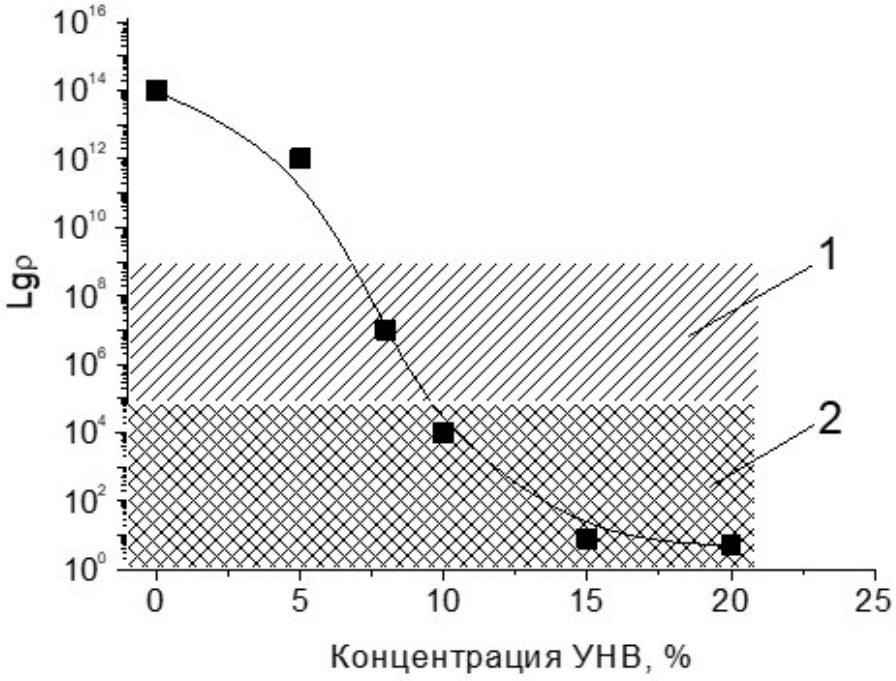


Рис. 1 Зависимость удельного электрического сопротивления пленочных нитей на основе ПП матрицы в зависимости от содержания УНВ: 1 – область антистатических материалов, 2 – область материалов со средней проводимостью

Как видно из рис. 1 зависимость удельного электрического сопротивления от концентрации углеродных нановолокон носит пороговый характер, т.е. при увеличении концентрации наполнителя наблюдается резкое (на несколько десятичных порядков) снижение ρ. Порог протекания электрического тока лежит в диапазоне ϑУНВ=5-10 мас.%,Так для исходной полипропиленовой матрицы ρ ~ 1014 Ом·м, а при введении 10мас.% УНВ сопротивление ПНК снижается до значений 104 Ом·м, при увеличении содержания нановолокон до 20 мас.% ρ композита снижается еще на 4 порядка. Таким образом, при концентрациях углеродных нановолокон ϑУНВ ~ 6-9 мас.% можно получить пленочные нити на основе ПП с антистатическими свойствами (рис. 1, обл.1), при более высоких концентрациях наполнителя (рис. 1, обл. 2) – со средней проводимостью [3, 4].

Поскольку технический текстиль может использоваться в различных температурных условиях, одним из интересующих нас аспектов является исследование поведения электропроводящих свойств полученных пленочных нитей в широком диапазоне температур. Для этих исследований были выбраны ПНК, наполненные ϑУНВ=15, 20 мас.%, поскольку именно такие материалы интересны для технических применений [3, 4]. Для указанных образцов были получены ВАХ в диапазоне температур 80÷373 К. Характер этих зависимостей оказался близок к линейному [5]. По полученным ВАХ были определены значения удельного электрического сопротивления (рис. 2) для исследуемых ПНК. Как видно, зависимости ρ(Т) имеют несколько особенностей. На всех графиках можно выделить температурную область, меняющую характер зависимости ρ(Т). Так при низких температурах в диапазоне от 80 до 260 К повышение температуры приводит к спаду удельного электрического сопротивления. В диапазоне температур 260-373 К наблюдается возрастание удельного электрического сопротивления с увеличением температуры. Критическим значением температуры, приводящей к изменению поведения зависимости ρ(Т) является Т ~ 260 К. Эта температура соответствует температуре стеклования полипропиленовой матрицы. Таким образом, можно предположить, что выше температуры стеклования, происходит частичный обрыв перколяционных цепочек в ПНК за счёт

повышения сегментальной подвижности полимерной матрицы. Однако этот вопрос требует более глубокого изучения.

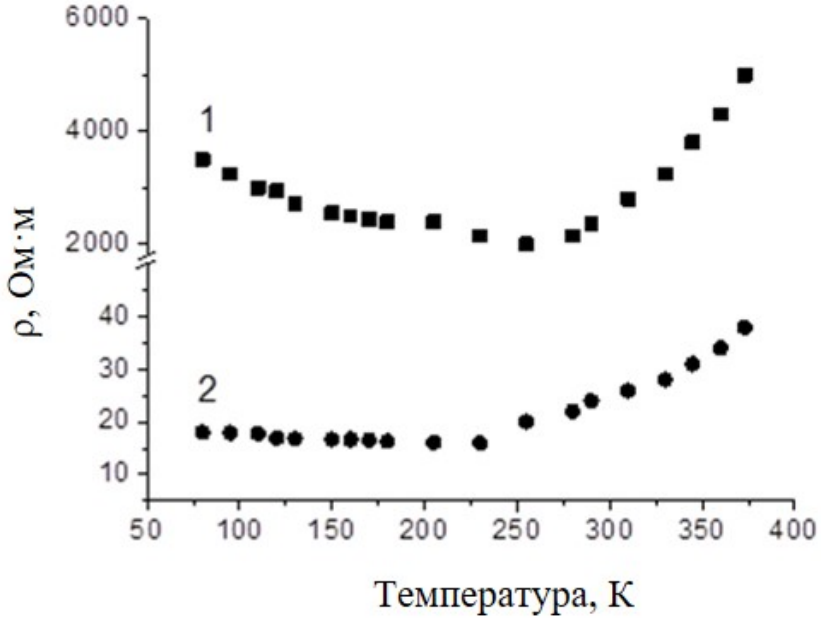


Рис. 2 Зависимость удельного электрического сопротивления от температуры ПНК с содержанием УНВ ϑУНВ = 15мас.% (линия 1) и ϑУНВ = 20 мас.% (линия 2)

Теперь проанализируем зависимость теплопроводности от концентрации углеродных нановолокон в ПНК. На рис. 3 представлены зависимости коэффициента теплопроводности образцов с различным содержанием углеродных частиц в диапазоне температур от 283 до 343 К. Как видно из рис. 3 с увеличением концентрации УНВ коэффициент теплопроводности нанокомпозитов линейно возрастает. Так теплопроводность исходной ПП матрицы (λ = 0,22 Вт/(м·К)) при максимальном содержании углеродных нановолокон (ϑУНВ=20 мас.%), увеличивается до значения λ = 5,5 Вт/(м·К). Именно данные материалы представляют наибольший интерес для технического применения. Поскольку такие ПНК имеют λ не менее 5 Вт/(м·К), то они могут использоваться при создании теплоотводящих элементов конструкций и составить перспективную замету традиционным теплоотводам (керамика, алюминий и медь). Конечно, коэффициент теплопроводности создаваемых теплоотводящих ПНК намного ниже, чем у алюминия. Однако, при естественном охлаждении, при котором работает большинство устройств, этих значений вполне достаточно для того, чтобы алюминий можно было заменить на данный композит. Возможность такой замены обусловлена существованием так называемых предельных эффективных значений коэффициента теплопроводности (λ = 5-10 Вт/(м·К)), превышение которых уже практически не приводит к увеличению эффективности охлаждения, что подтверждено экспериментально в работе [6]. Так же стоит отметить, что помимо теплоотводящих свойств полученные ПНК, наполненные 20 мас.% УНВ, обладают так же и средней проводимостью. Таким образом, при использовании анизотропного углеродного нанонаполнителя (УНВ) можно улучшить комплекс проводящих свойств пленочных нитей, т.е. придать материалом определенный требуемый уровень электро- и теплопроводности одновременно.

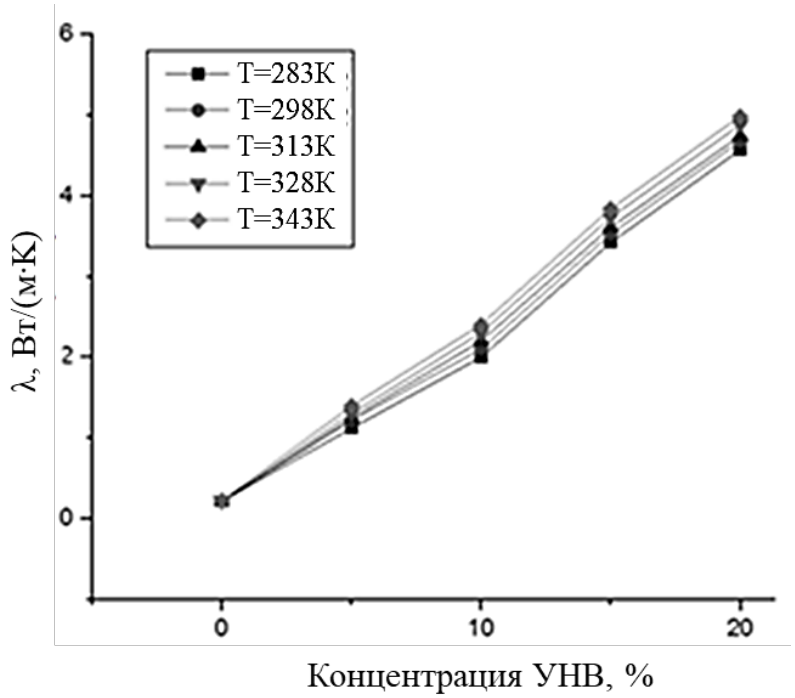


Рис. 3 Зависимость коэффициента теплопроводности ПНК от концентрации углеродных нановолокон

Стоит обратить особое внимание на различный характер зависимостей электрического сопротивления и коэффициента теплопроводности от концентрации углеродных нановолокон. Как было показано выше (рис. 1), зависимость ρ(ϑ) носит перколяционный характер, зависимость λ (ϑ) – близкий к линейному. Объяснение этому может быть следующим. Во-первых, значения электропроводности полимерной матрицы и углеродных частиц отличаются на 17-18 порядков (у ПП ρ =1014 Ом·м, а у УНВ - 10-4 Ом·м). В то время как коэффициенты теплопроводности матрицы и наполнителей различаются на 2 порядка. Другая причина может быть связана с различием механизмов передачи электрической и тепловой энергии. Носителями заряда в ПКМ являются электроны, а передача тепла осуществляется в основном за счёт тепловых колебаний атомов (ионов) – фононами.

В дальнейшем будет проводиться разработка моделей для описания и прогнозирования тепло- и электропроводящих свойств ПНК, в зависимости от типа и концентрации углеродных наночастиц. Поскольку, использование именного данного наполнителя проставляется перспективным при разработке новых материалов с комплексом уникальных характеристик для применения их, в том числе при создании изделий технического текстиля, а также позволит расширить и углубить знания в области физических процессов в полимерных нанокомпозитах, наполненных функциональными дисперсными наночастицами.

- по расплавной технологии получены пленочные нити из нанокомпозитов на основе полипропиленовой матрицы и углеродных нановолокон;

- исследованы зависимости электрического сопротивления и коэффициента теплопроводности полимерных нанокомпозитов от концентрации углеродных наночастиц. Показано, что зависимость электрического сопротивления от концентрации наполнителя носит перколяционный характер, а зависимость коэффициента теплопроводности от концентрации углеродных наночастиц – близкий к линейном;

- установлено, что при введении углеродных нановолокон можно снизить электрическое сопротивление пленочных нитей до уровня, достаточного для их использования в качестве антистатических (при ϑУНВ=6-9 мас.%) или материалов со средней проводимостью (при ϑУНВ=10-20 мас.%);

- исследованы зависимости удельного электрического сопротивления пленочных нитей из полимерных нанокомпозитов от температуры. Показано, при низких температурах наблюдается спад удельного электрического сопротивления с повышением температуры, а в диапазоне температур 260-373 К наблюдается возрастание удельного электрического сопротивления с увеличением температуры;

- показано, что при введении ϑУНВ=10-20 мас.% можно получить пленочные нити из нанокомпозитов с уровнем теплопроводности достаточным для их использования в качестве теплоотводящих текстильных материалов;

- выявлено, что использование углеродных нановолокон представляется перспективным при создании пленочных нитей из нанокомпозитов, одновременно обладающих тепло- и электропроводящими свойствам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Василенок, Ю.И. Предупреждение статической электризаций полимеров / Ю.И. Василенок. - Л.: Изд. 2-е. Химия, 1981. - 195 с.

2. Ковенский, В., Савельев, А. Информационный бюллетень «Поверхностный монтаж» [электронный ресурс].

3. Simon, R.M. Thermally and electrically conductive flake filled plastics / R.M. Simon. // Polymer News. – 1985. – 11. – P. 102 -117.

4. Zallen, R. The Physics of Amorphous Solids / R. Zallen. - New York: John Wiley & Sons, 2008. - 318 p.

5. Степашкина, А.С. Влияние температуры на вольт-амперные характеристики композитных материалов, полученных на основе полипропиленовой матрицы и углеродных наполнителей, разной геометрической формы / А.С. Степашкина, А.Н. Алешин, П.П. Рымкевич // Физика Твердого Тела. – СПб, 2015 – том 57, вып. 14. – С. 814-818.

6. Zhidong, Han. Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A review/ Zhidong Han, Alberto Fina. // Progress in Polymer Science. – 2011. - 36. – P. 914-944.

УДК 541.64:539.2: 537.5

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНОГО РАСТВОРА НА ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ ВОЛОКОН ПОЛИ-3-ГИДРОКСИБУТИРАТА

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS POLYMERS SOLUTION ON ELECTROSPINNING OF POLY-3-HYDROXYBOUTYRATE FIBERS

А.А. Ольхов [1,2,3], О.В. Староверова [2], А.Л. Жулькина[2], Е.Л. Кучеренко [2],
Ю.Н. Зернова [2], А.Л. Иорданский [2]
A.A. Olkhov [1,2,3], O.V. Staroverova [2], A.L. Zhul'kina[2], E.L. Kucherenko [2],
Yu.N. Zernova [2], A.L. Iordanskii [2]

[1] Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, (Москва)
[2] Институт химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской академии наук, (Москва)
[3] Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля
Российской академии наук, (Москва)
[1] Plekhanov Russian University of Economics, (Moscow)
[2] Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, (Moscow)
[3] Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences, (Moscow)
E-mail: aolkhov72@yandex.ru

В настоящей работе изучено влияние технологических параметров раствора поли-3-гидроксибутирата на процесс электроформования ультратонких волокон. Установлено, что электропроводность и вязкость полимерного раствора в значительной степени определяют геометрию и морфологию ультратонких волокон. Модификация растворов ионогенным электролитом и гидролитическим агентом снижает исходную молекулярную массу полимера и приводит к возрастанию вязкости системы. Полученные волокна найдут применение в биомедицине.

Ключевые слова: электроформование, волокно, поли-(3-гидроксибутират), полимерный раствор, вязкость, электропроводность.

In the present work, the influence of technological parameters of a solution of poly-3-hydroxybutyrate on the process of electroforming of ultrathin fibers has been studied. It is established that the electrical conductivity and viscosity of a polymer solution largely determine the geometry and morphology of ultrathin fibers. Modification of solutions with ionic electrolyte and hydrolytic agent reduces the initial molecular weight of the polymer and leads to an increase in the viscosity of the system. The obtained fibers will find application in biomedicine.

Key words: electrospinning, fiber, poly-(3-hydroxybutyrate), polymer solution, viscosity, electrical conductivity.

Одним из экономически целесообразных и технологичных методов формования наноразмерных и ультратонких полимерных волокон является метод электроформования (ЭФ) [1]. К основным преимуществам ЭФ относятся сравнительно низкая стоимость аппаратуры и простота инструментального оснащения, вариабельность условий получения волокон, а также многообразие различных типов волокон и изделий на их основе [2]. Формование полимерных нановолокон в условиях электродинамических взаимодействий и вязкоэластичных деформаций позволяет варьировать их разнообразные структурно-морфологические характеристики, создавать высокую удельную поверхность, регулировать механические свойства и пористость, а также использовать широкий диапазон диффузионных параметров.

В работе использовали поли-(3-гидроксибутират) (ПГБ) с молекулярной массой 300 и 460 кДа фирмы BIOMER (Германия) Тетрабутиламмоний йодид $\{[CH_3(CH_2)_3]_4N\}$ применяли в процессе электроформования в качестве добавки для увеличения электропроводности

формовочного раствора. Муравьиную кислоту добавляли для регулирования вязкости и электропроводности.

ЭФВ нетканых волокнистых материалов на основе ПГБ осуществляли на опытной лабораторной установке ЭФВ-1 (Россия) при динамической вязкости раствора 9 Пз (0,9 Па*с), удельной объёмной электропроводности ~ 10^{-3} $(Ом·м)^{-1}$, объемном расходе формовочного раствора 10-12·10^{-5} г/сек, напряжении электрического поля 15 кВ, расстоянии между электродами 18 см, диаметре капилляра 0,1 мм.

Распределение волокон из раствора полигидроксибутирата (ПГБ) в ХФМ/МК (0.9:0.1) с ТБАИ по диаметрам исследовано методом световой микроскопии (оптический микроскоп МБИ-6). Теплофизические и термические (температуры начала термо- и термоокислительной деструкции) характеристики волокон на основе ПГБ получены с помощью дифференциально сканирующих калориметров ДСМ-2 (Россия) и Perkin Elmer Pyris 6 DSC (США).

Большое число факторов, ответственных за различные стадии электроформования, ставит перед исследователями и технологами задачу выявления среди них наиболее значимых, доминирующих характеристик, изменение которых в наибольшей степени сказывается на структуре, морфологии, пористости и геометрии волокна. В процессе ЭФ высоковольтное электрическое поле создает свободные ионные заряды, мигрирующие вдоль струи полимерного раствора от одного электрода к другому. В органических неионогенных полимерных растворах с низкой диэлектрической проницаемостью концентрация таких ионов крайне мала, что определяет низкие значения электропроводности формовочной системы. К подобным системам относятся растворы ПГБ [3].

Предварительно нами было изучено влияние электропроводности и вязкости на процесс ЭФ бинарного раствора ПГБ в хлороформе (ХФМ) [4]. В частности, было установлено, что низкая электропроводность раствора ПГБ препятствует образованию однородных по толщине волокон, что достаточно наглядно демонстрируется на рис.1 А,Б.

В связи с неоднородностью диаметра волокна и его характерными утолщениями, представляющими спорадически возникающие элипсо-подобные структуры, для увеличения электропроводности в полимерный раствор вводили соль тетрабутиламмоний иодида (ТБАИ), что позволило получить цилиндрические волокна без заметных узлов и утолщений. Однако высокое содержание электролита относительно концентрации полимера в растворе приводило к изменению свойств ПГБ и росту дефектности формируемых волокон ПГБ. Чтобы снизить концентрацию ТБАИ в качестве дополнительной модифицирующей добавки в формовочный полимерный раствор была добавлена муравьиная кислота (МК), что позволило снизить содержание соли в системе приблизительно в 5 раз. В данном случае введение МК, как органического электролита, приводило не только к возрастанию электропроводности раствора, но и создавало сольватирующий эффект, который усиливал диссоциацию соли и повышал электропроводность системы более чем на 400%, см. рис. 1.

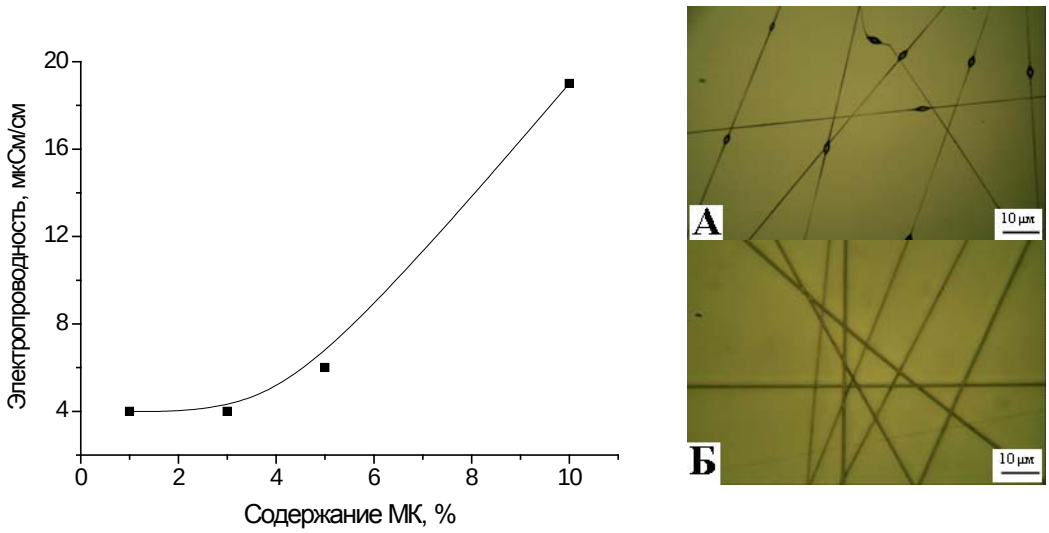


Рис. 1. Зависимость электропроводности раствора ПГБ в хлороформе от содержания муравьиной кислоты. Оптические микрофотографии волокон ПГБ, полученных методом ЭФВП из 4 масс. % раствора полимера в хлороформе как в отсутствии (А), так и в присутствии тетрабутиламоний иодида, 5 г/л (Б).

Однако следует учесть, что введение кислоты, как гидролитического агента, в полимерный раствор приводит к развитию кислотного гидролиза ПГБ, разрыву основной цепи и, следовательно, к изменению его молекулярной массы. Для получения однородного по сечению волокна необходима оптимизация значений электропроводности путем подбора соответствующего электролита и его концентрации в формуемом растворе полимера, что было продемонстрировано нами на примере пары электролитов ТБАИ-МК.

На рис. 2 представлена зависимость диаметра волокна ПГБ от его электропроводности в хлороформе в присутствии электролита ТБАИ. В качестве агента, усиливающего электропроводность, использовалась МК. Для двух различных концентраций кислоты на кривых 1 и 2 наблюдаются минимумы зависимости среднего диаметра волокна от электропроводности, где наблюдается наиболее совершенная, цилиндрическая форма волокна с наименьшим диаметром.

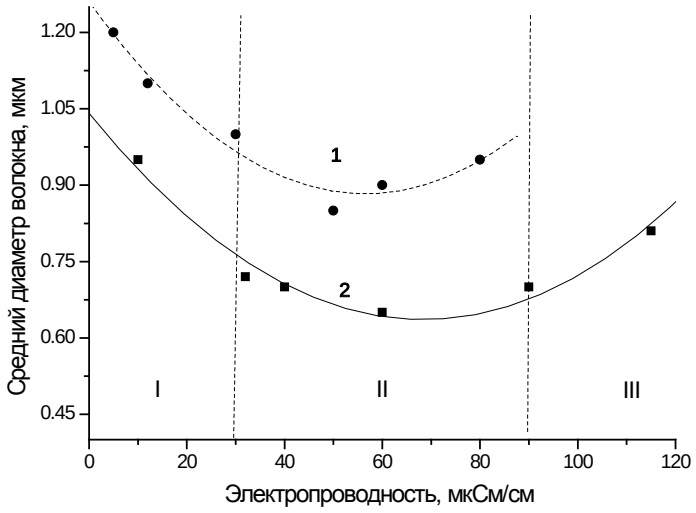


Рис. 2. Зависимость среднестатистического диаметра ультратонких волокон от электропроводности формовочного раствора ПГБ-хлороформ-электролит (ТБАИ) в присутствии МК: 1 – 3.2 % и 2 – 5.3%

Область значений электропроводности, расположенная слева от минимума < 30 мкСм/см (I), не позволяет получить строго цилиндрическую геометрию волокна, тогда как область значений этой характеристики справа от минимума > 90 мкСм/см (III) характеризуется формированием волокон ПГБ деформированного извилистого вида. Область значений электропроводности вблизи максимума для обоих кривых 50 и 70 мкСм/см (II), соответственно, обеспечивает формирование однородных по толщине волокон с минимальным количеством дефектов.

Одной из ключевых характеристик процесса является вязкость формовочного раствора [5]. При низких значениях вязкости, в области концентраций ниже 4 мас. %, в процессе ЭФ образовывалась смесь волокон и сферических частиц, тогда как повышение вязкости, соответствующей концентрации 10 мас. % приводило к прекращению процесса ЭФ. При использовании в качестве дополнительного электролита, муравьиной кислоты (МК), следует учитывать ее гидролитическое действие на ПГБ даже в условиях неводной среды, т.е. в органическом растворителе с низкой диэлектрической проницаемостью. Действительно, рис .3 показывает достаточно резкое снижение вязкости раствора ПГБ в присутствии МК. Как и следовало ожидать, в отсутствии данного гидролитического агента вязкость ПГБ в хлороформе остается постоянной в течение более 1200 часов (кривые 4 и 5).

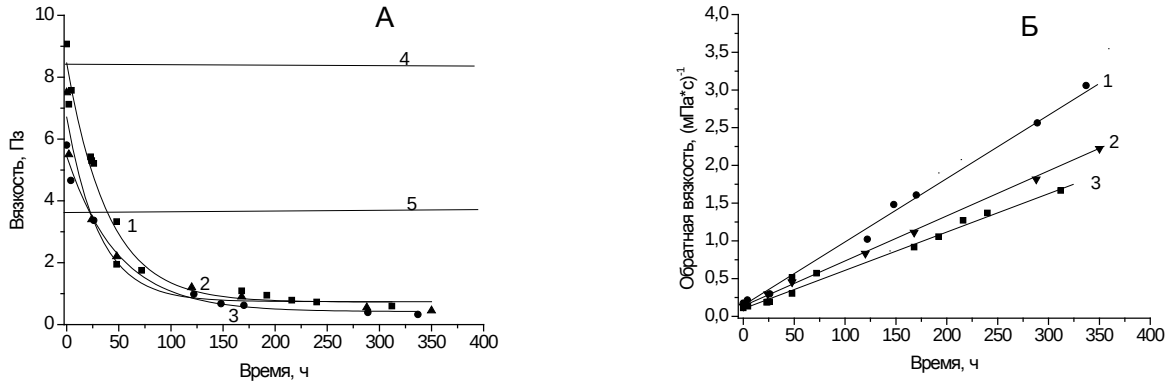


Рис. 3. Зависимость динамической вязкости (а) и ее обратной величины (б) от времени для раствора ПГБ в ХФМ-МК-ТБАИ смеси (1 – ММ=350 кДа, 2 – ММ=450 кДа и 3 – 850 кДа) и в ХФМ (4 – 850 кДа и 350 кДа).

Кинетические кривые падения вязкости системы позволяют с учетом конечного времени получения волокна (от 30 до 45 минут) оценить падение средневязкостной молекулярной массы полимера, при завершении процесса ЭФ, т.е. к моменту времени, когда ультратонкие волокна уже сформировались, а летучие компоненты, в том числе и гидролитический агент (МК), удалены в результате их испарения. Остаточное содержание ХФМ и МК в ультратонких волокнах составляло 0,011 и 0,014 мас %, соответственно.

Линейный характер обратной величины зависимости вязкости от времени (Рис. 3 Б) показывает, что кинетика гидролитической деструкции ПГБ в присутствии МК подчиняется уравнению 1-го порядка, что достаточно часто наблюдается при кислотном катализе расщепления сложноэфирных связей, принадлежащих природным и синтетическим полиэфирам в квазигомогенной среде. В процессе разрыва сложноэфирных связей в поли-α-гидроксикислотах (ПЛА, ПГА, ПЛГА) и в поли-β-гидроксикислотах (ПГБ, ПГБВ) молекулярная масса уменьшается, в частности, в соответствии с уравнением (1):

$$\frac{1}{M_n} = \frac{1}{M_{n0}} + \frac{1}{M_0} kt \qquad (1)$$

где M_n и M_{n0} – среднечисловая молекулярная масса полиэфира в момент времени t и в начальный момент времени, соответственно, k – константа, связаная с константой гидролиза

полиэфира в гомогенной среде, M_0 – коэффициент перехода от средневязкостной к среднечисловой молекулярной массе. Падение молекулярной массы ПГБ связано с изменением динамической вязкости непосредственно через уравнение Марка – Хаувинка – Куна. Для исследуемого раствора ПГБ в хлороформе это соотношение имеет вид степенного уравнения с показателем, приближающимся к 1 (0,82±0,14).

$$[\eta] = 7{,}7 \cdot 10^{-5} x M_{\eta}^{0{,}82} \quad (2)$$

Путем подстановки уравнения 2 в уравнение 1 можно получить близкую к линейной зависимость между обратной величиной вязкости и временем контакта полимера с раствором МК в хлороформе, что и наблюдается на рис. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характеристики полимерного раствора в значительной степени определяют геометрию и морфологию ультратонких волокон ПГБ, полученных методом ЭФ. Переход от капле-подобного продукта к фибриллярным структурам зависит от таких важных свойств формовочного раствора как электропроводность и вязкость. Для получения цилиндрических волокон в раствор ПГБ в хлороформе вводили ряд модифицирующих низкомолекулярных добавок, таких как ТБАИ и МК, увеличивающих электропроводность системы. Кроме того, возрастание вязкости растворов путем увеличения концентрации и/или ММ полимера также приводит к улучшению однородности волокон по толщине и влияет на диаметр и ширину распределения ультратонких волокон по диаметру. Модификация растворов ионогенным электролитом (ТБАИ) и гидролитическим агентом (МК) снижает исходную ММ полимера и приводит к возрастанию вязкости системы как отклик на гиролитический процесс. Полученные волокна нашли свое применение в биомедицине.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РЭУ им. Г.В. Плеханова и государственного задания (ИХФ РАН), тема 0082-2014-0009 "Разработка методов создания наноструктурированных полимерных, биополимерных и композиционных материалов и их целевой модификации с широким спектром практического применения ", АААА-А17-117040610309-0.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kim I.-D. // Macromol. Mater. Eng. 2013. V. 298. P. 473.

2. Ольхов А.А., Карпова С.Г., Иорданский А.Л., Староверова О.В., Роговина С.З., Берлин А.А. // Химические волокна. 2014. №5. С. 50.

3. Terada M., Marchessault R.H. // Intern. J. Biol. Macromol. 1999. V. 25. P. 207.

4. Ol'khov A.A., Staroverova O.V., Filatov Yu.N. et al. // Research progress in chemical physics and biochemical physics: pure and applied science / Eds. Zaikov G.E., Berlin A.A., Majewski K., Pimerzin A.A. N.Y.: Nova Science Publishers, 2014. P. 319.

5. Nezarati R.M., Eifert M.B., Cosgriff-Hernandez E. // Tissue Eng Part C Methods. 2013. V. 19. № 10. P. 810.

УДК 677.027.56

ОСОБЕННОСТИ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПЕЧАТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

SINGULARITES OF THE TEXTILE PRINTING WITH USING DIGITAL TECHNOLOGIES

Н.А. Тихомирова[1], А.В. Захарова[1], П.В. Трофимов[1], А.А. Павлов[2]
N.A. Tikhomirova[1], A.V. Zakharova[1], P.V. Trofimov[1], A.A. Pavlov[2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
[2]ООО «Мануфактура Павлова», (Санкт-Петербург)
[1] St. Petersburg state University of industrial technologies and design,
[2] LLC " Pavlov Manufacture», (St. Petersburg)
E-mail: tixomirova@bk.ru, anaszachar@gmail.com, color_textiles@mail.ru

Рассмотрены особенности струйной технологии печати текстильных материалов, с целью определения оптимального режима и предпечатной подготовки электронной версии рисунка. Определены возможности получения тонких графических элементов рисунка разных цветов с высокой четкостью на текстильных материалах с различными характеристиками.

Ключевые слова: струйная печать (inkjet), линиатура изображения, четкость линий графических элементов, текстильные материалы из хлопкового волокна.

The features of jet printing technology of textile materials, in order to determine the optimal mode and prepress the electronic version of the picture. The possibilities of obtaining thin graphic elements of the pattern of different colors with high clarity on textile materials with different characteristics are determined.

Keywords: inkjet printing (inkjet), image lineature, clarity of lines of graphic elements, textile materials made of cotton fiber.

Широкое применение цифровых технологий в текстильной практике требует объективной оценки технологических возможностей, особенно при воспроизведении текстильных орнаментов на основе тонких графических элементов. Современные подходы в создании текстильных орнаментов заключаются в применении ряда компьютерных программ (Adobe Photoshop, CorelFhotoPaint) для получения электронной версии рисунка. Если воспроизведение окраски дизайн - проекта на текстильном материале достигается в результате применения существующих объективных закономерностей связывающих цветность эталона и свойства красителей, то прогнозирование воспроизведения графических элементов рисунка, особенно максимально тонких линий, с учетом свойств текстильного материала требует изучения. Известна взаимосвязь размера линий в электронном файле и на бумаге, но свойства текстильных полотен значительно отличаются от свойств бумаги.

В ряде публикаций рассмотрено влияние структуры ткани, типа чернил, свойств волокна и типа предварительной обработки ткани на качество прямой струйной печати [1,2,3]. Целью данного исследования явилось определение закономерностей, позволяющих прогнозировать получение четких разноцветных линий с минимальной шириной на текстильном материале с учетом характеристик полотна. Для выполнения экспериментов были выбраны текстильные полотна из хлопковой пряжи, в том числе крученой (Маркизет), свойства, которых представлены в таблице 1.

В качестве критерия оценки оптимальности линиатуры были выбраны одинаковая ширина по трем направлениям (основа, уток, диагональ) и четкость линий. Для оценки возможности воспроизведения максимально тонких линий на текстильном материале струйным способом, была напечатана серия образцов с геометрической фигурой, позволяющей оценить четкость линий по основе, утку и диагонали полотна (рис.1). Макет создан в цветовой модели CMYK, с разрешением печати 300 dpi в программе Adobe

Photoshop CS6 и представляет серию треугольников с толщиной линий цифрового оригинала соответственно 1, 2, 3, 6, 9, 12, 15 пикселей. DPI – это количество реальных точек, которое

Таблица 1

Характеристики текстильного материала

Текстильный материал (100% хлопок)	Число нитей на 10 см		Поверхностная плотность г/м^2	Линейная плотность пряжи, текс	
	Основа	Уток		Основа	Уток
Маркизет	318 ±6	254±8	72	12,0	12,0
Батист	374±7	298±9	68	10,0	10,0
Бязь	260±5	240±7	135	25.0	25,0
Трикотажное полотно	-	-	212	14.6	

может напечатать принтер на единичном отрезке длиной 1 дюйм (2,54 см). Количество растровых точек, приходящихся на единицу длины (шаг сетки растра), также имеет свою единицу измерения, называемую линиатурой. Линиатура измеряется в линиях на дюйм (lpi, lines per inch). Линиатура макета составляла 150 lpi, т.к на один растр приходится до двух линий.

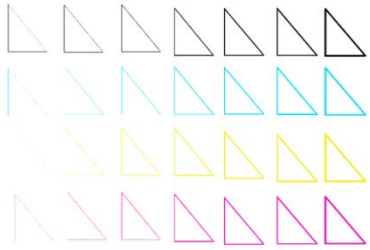


Рис. 1. Электронный макет графических элементов с шириной линий в ряду соответственно 1, 2, 3, 6, 9, 12, 15 пикселей

Цифровой оригинал наносился на текстильные материалы составами, содержащими текстильные пигменты на принтере Kornit Avalanche 951 на режиме Whiet 454. После печати проводилась фиксация при температуре 140 °С в течении 5 минут в туннельной сушилке Chiossi e Cavazzuti Asso 950.

Оценка взаимосвязи структуры текстильного материала и качества прямой струной печати (ширина, размытость линий) осуществлялась с помощью оптического микроскопа на установке Microcolor 2000 250B-LAB при 20-кратном увеличении.

На первом этапе было проведено сравнение толщины и четкости линий на текстильных материалах, полученных с электронной версии в 1 пиксель. Надо отметить, что получаемая толщина линии на ткани в несколько раз превышает толщину линии на бумаге, которая прогнозируется при печати в соответствии с известными нормами. Было обнаружено, что чернильные составы разного цвета при одинаковой ширине линии в электронной версии рисунка и одинаковых условиях нанесения на текстильный материал (режим) имеют разную интенсивность окраски. Голубой и желтый цвета при печати минимально возможной линии толщиной в 1 пиксель практически визуально не

обнаруживаются на тканях, в отличие от черного и красного, но на трикотажном полотне линии всех цветов сравнительно различимы.

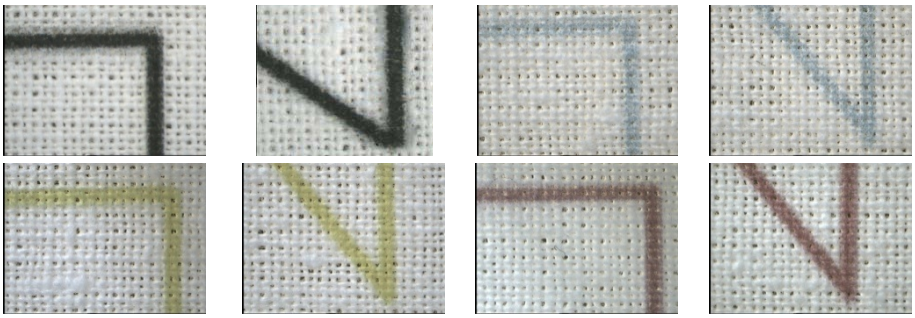
Для определения настройки ширины линий в пикселях в цифровом оригинале, при которой будут достигаться одинаковые значения ширины линий в мм по трем направлениям структуры ткани - основа, уток и диагональ, был напечатан ряд графических элементов в соответствии с электронным макетом (рис.1) на образцах тканей: Бязь, Батист, Маркизет и трикотажное полотно. Печать осуществлялась составами чернил черного, красного, синего и желтого цветов. Среднее значение получали при измерении ширины линий в 10 точках по каждому направлению на отрезке 2 см. Среднестатистические оптимальные данные для всех цветов представлены в таблице 2 и на рис. 2,3,4,5.

Таблица 2

Оптимальное соотношение ширины линий цифрового оригинала и фактической минимально возможной и одинаковой ширины линий, в трех направлениях на текстильном полотне для всех цветов

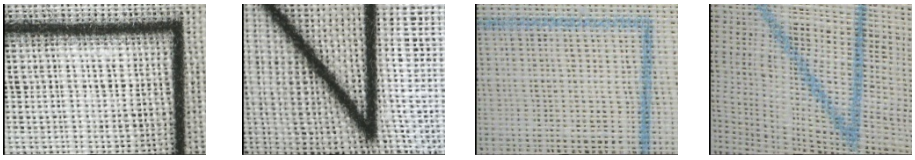
№ п/п	Текстильный материал	Ширина линий в цифровом оригинале, пикс.	Минимальная ширина линий на текстильном материале, мм
1	Бязь	9	1,0 – 0,9
2	Батист	6	0,6 – 0,7
3	Маркизет	6	0,6 – 0,7
4	Трикотажное полотно	9	0,8 – 0,9

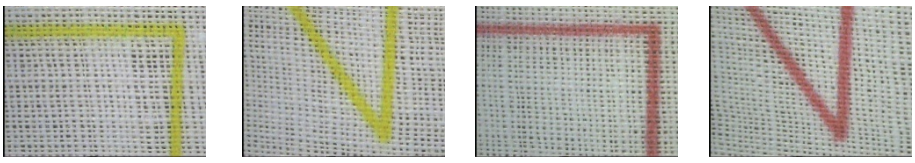
Проведенные эксперименты показали, что ширина линий получаемых на текстильном материале с полотняным переплетением в большой степени зависит от линейной плотности пряжи и в меньшей степени от структуры пряжи (крутка). Можно отметить, что максимально тонкие линии одинаковой ширины 0,6 – 0,7мм могут быть получены на ткани с линейной плотностью пряжи менее 12 текс и поверхностной плотности 70±2 г/м^2. Увеличение в два раза данных характеристик приводит к тому, что минимально-возможная ширины линий увеличивается на 30% и для выполнения условия равнозначности их по трем направлениям необходимо в электронном файле иметь ширину линий 9 пикселей (Бязь). Для трикотажного полотна «ластик», линейная плотность пряжи которого на 20 % выше, чем у Маркизета, минимально возможная ширина линий составляет 0,8 – 0,9 мм, что в среднем больше на 30% по сравнению с полотняным переплетением ткани.



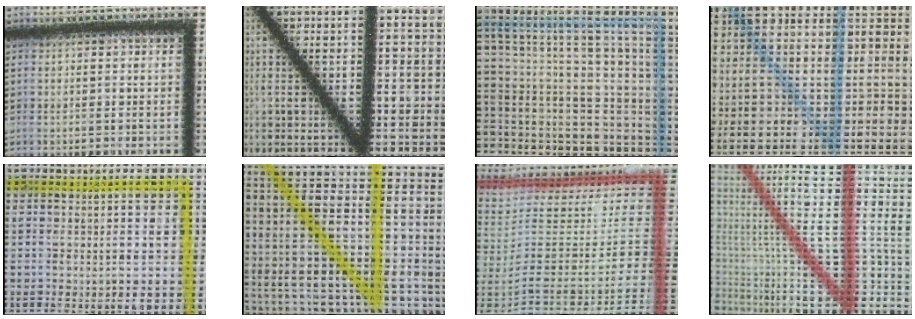
горизонтальные линии – основа, вертикальные – уток

Рис.2 Фотографии линий по трем направления на Бязи при оптимальном значении ширины линий цифрового оригинала – 9 пикселей





горизонтальные линии – основа, вертикальные – уток
Рис.3 Фотографии линий по трем направления на Батисте при оптимальном значении ширины линий цифрового оригинала – 6 пикселей



горизонтальные линии – основа, вертикальные – уток
Рис.4 Фотографии линий по трем направления для Маркизета при оптимальном значении ширины линий цифрового оригинала – 6 пикселей

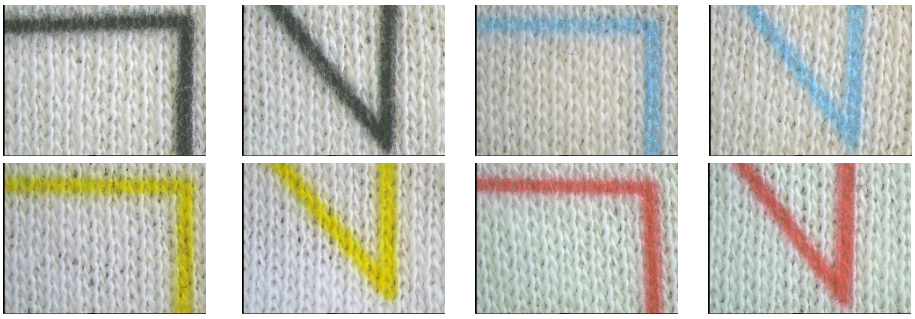


Рис.5 Фотографии линий по трем направления для трикотажного полотна при оптимальном значении ширины линий цифрового оригинала – 9 пикселей

Данный результат дает основание считать, что структура текстильного полотна, даже при относительно гладкой поверхности, в большей степени определяет ширину линий при воспроизведении их на текстильном изделии струйным способом.

Кроме рассмотренных факторов, на ширину линий и интенсивность окраски будет влиять также режим, определяющий количество красящего состава, наносимого за один проход. По ряду характеристик, в текстильной практике преимущественно применяются широкоформатные принтеры с пьезоэлектрическими печатающими головками. Достоинством данных устройств является возможность регулирования количества наносимого красящего состава на текстильный материал посредством изменения объема капли [4].

Для оценки влияния режима печати на качество воспроизведения текстильного орнамента с тонкими графическими элементами были напечатаны образцы ткани Батист (Рис. 6).

Анализируя полученные образцы можно отметить, что оптимальное качество достигается при режиме Whiet 454, так как в полной мере воспроизводится авторский вариант рисунка. Увеличение количества красящего состава незначительно повышает интенсивность окраски, но при этом увеличивается толщина линий по сравнению с

оригиналом и снижается качество прорисовки мелких элементов рисунка, увеличивается расход чернил.

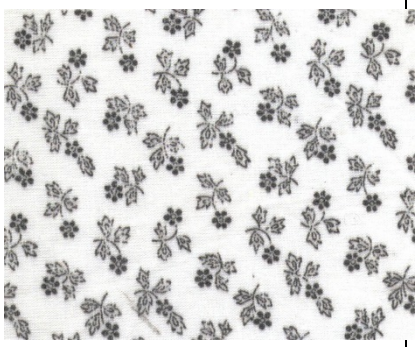
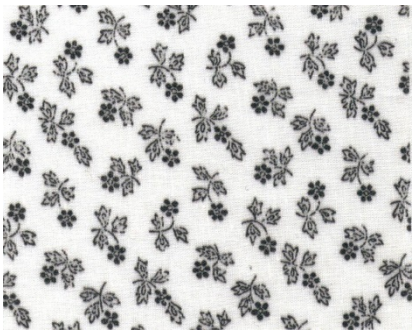
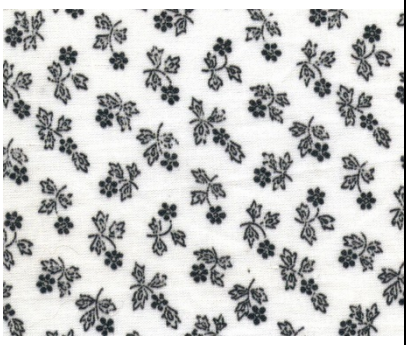
		
Режим Whiet 363	Режим Whiet 454	Режим Whiet 636

Рис.6 Влияние режима печати на качество графических элементов текстильного орнамента на ткани Батист

Таким образом, установленные закономерности позволяют прогнозировать точность воспроизведения дизайн - проекта на текстильных материалах из хлопкового волокна полотняного переплетения при оптимальном режиме печати. Полученные закономерности для тканых полотен нельзя в полной мере перенести на трикотажные полотна.

Выводы:

1. При художественном проектировании текстильных орнаментов в электронном виде необходимо учитывать как структуру текстильных изделий, так и режимы, реализуемые на широкоформатных текстильных принтерах, исключая возможность искажения геометрических фигур, особенно тонких графических элементов для максимально точного воспроизведения авторского варианта,
2. Установлено, что на хлопчатобумажных тканях полотняного переплетения из пряжи с линейной плотностью менее 12 текс и поверхностной плотностью 70±2 г/м^2 при струйной технологии печати возможно получение четких линий одинаковой ширины, как черных, так и цветных по трем направлениям (основа, уток, диагональ) не менее 0,6 – 0,7 мм при ширине линий в электронном файле 6 пикселей; увеличение линейной плотности пряжи и поверхностной плотности в два раза приводит к получению минимально возможной ширины линий 0,9 – 1,0 мм при 9 пикселях в электронном файле.
3. Показано, что структура текстильного полотна, даже при относительно гладкой поверхности, в большой степени определяет ширину линий при воспроизведении их на текстильном изделии струйным способом, особенно в случае полихромных графических элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. John C. Briggs Measuring Print Quality of Digitally Printed Textiles // John C. Briggs, Ming-Kai Tse and, Yong K. Kim, and Armand F. Lewis – Paper presented at the IS&T's NIP14 International Conference on Digital Printing Technologies,October 18-231998 – 1998г,Toronto, Ontario, Canada – С. 25-27
2. Park, H., Carr, W.W., Ok, H., & Park, S. Image quality of inkjet printing on polyester fabrics.// Park, H., Carr, W.W., Ok, H., & Park, S. – Textile Research Journal, №76, 2007 - с. 720–728
3. Mhetre, S On the relationship between ink-jet printing quality of pigment ink and the spreading behavior of ink dropsn. // Mhetre, S, Carr, W., Radhakrishnaiah, P. – The Journal of the Textile Institute; №5(101), 2010 г – С. 423-430
4. Джефф Бертен. Струйные печатающие головки: основы технологий// Publish. №6.- 2013 [Электронный ресурс] – http: www.publish.ru/aticles/201306_20013073.

УДК 677.02

СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ФУНЦИОНАЛЬНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

CREATION OF EXPERIMENTAL STAND FOR OBTAINING VIRTUAL MODELS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR MANUFACTURING FUNCTIONAL TEXTILE MATERIALS

Д.С. Королев, О.И. Одинцова, С.В. Королев
D.S. Korolev, O.I. Odintsova, S.V. Korolev

«Объединение «Специальный Текстиль» (г. Шуя)
Ивановский государственный химико-технологический университет
Ltd. "Association «Special textile"(Shuya)
Ivanovo State University of Chemistry and Technology
E-mail: koroliovds@mail.ru

Создание виртуальных моделей репеллентно - акарицидной обработки текстильных материалов.
Ключевые слова: клещ, репеллент, виртуальная модель, микрокапсулирование, цифровая фабрика.

Creation of virtual models to repellent acaricide processing textile materials.
Key words: harvest bug, repellent, virtual model, microencapsulation, digital factory.

Текстильная и легкая промышленность вместе с другими промышленными отраслями мировой экономической системы стоят у истоков четвертой промышленной революции – «Индустрия 4.0» [1], которая радикально изменит всю нашу жизнь, включая и условия производства инновационных, современных и перспективных функциональных текстильных материалов (ФТМ), полуфабрикатов и готовых изделий. По масштабу, всеохватности и сложности происходящих и предстоящих преобразований «Индустрия 4.0» не имеет аналогов во всем предыдущем историческом опыте человечества. Нам всем еще только предстоит узнать и осознать всю глубину предстоящих преобразований, в том числе и в области промышленных текстильных технологий. В формируемом технологическом укладе «Индустрии 4.0» сумеют выжить и выиграют те промышленные компании, которые будут иметь гибкое оборудование и технологии, способные быстро перестраивать свои производства под новые задачи.

Шуйско-Тезинская фабрика «Тезинка», входящая в состав Объединения «Специальный текстиль», готовится к освоению перспективных цифровых технологий производства ФТМ. Эти технологии найдут самое широкое распространение на будущих цифровых фабриках, которым предстоит работать в рамках «Индустрии 4.0». В настоящее время на «Тезинке» создается лабораторно - промышленный экспериментальный стенд, на котором будут отрабатываться методы получения математических моделей различных технологических процессов производства «умных» текстильных материалов, полуфабрикатов и готовых изделий.

В результате проведения предварительных теоретических и лабораторных исследований, выполненных Ивановским государственным химико-технологическим университетом (ИГХТУ) совместно с «Тезинкой», разработана новая оригинальная технология производства ФТМ, содержащих различные инкапсулированные активные вещества (АВ), включая биологически-активные (БАВ) и другие вещества [2, 3, 4]. Инкапсулирование АВ происходит в процессе их эмульгирования, путем сочетания

возможностей двух методов - коацервации и электростатической самосборки полиэлектролитных нанослоев («Layer-by-Layer» синтез).

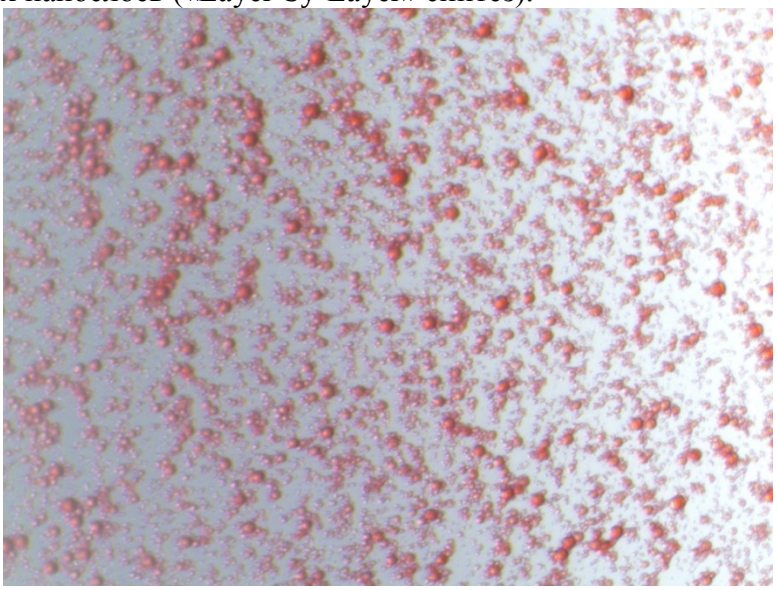


Рис. 1 Типичная фотография получаемых микрокапсул.

Из представленной на рис.1 фотографии видно, что получаемые микрокапсулы имеют различные размеры (от 7.5 до 870 нм) и случайным образом дислоцированы в пространстве. Лабораторные исследования физико-химических закономерностей технологического процесса получения ФТМ проводятся в ИГХТУ с помощью прибора PhotocorCompact-Z. На рис. 2 представлен типичный вид получаемых зависимостей.

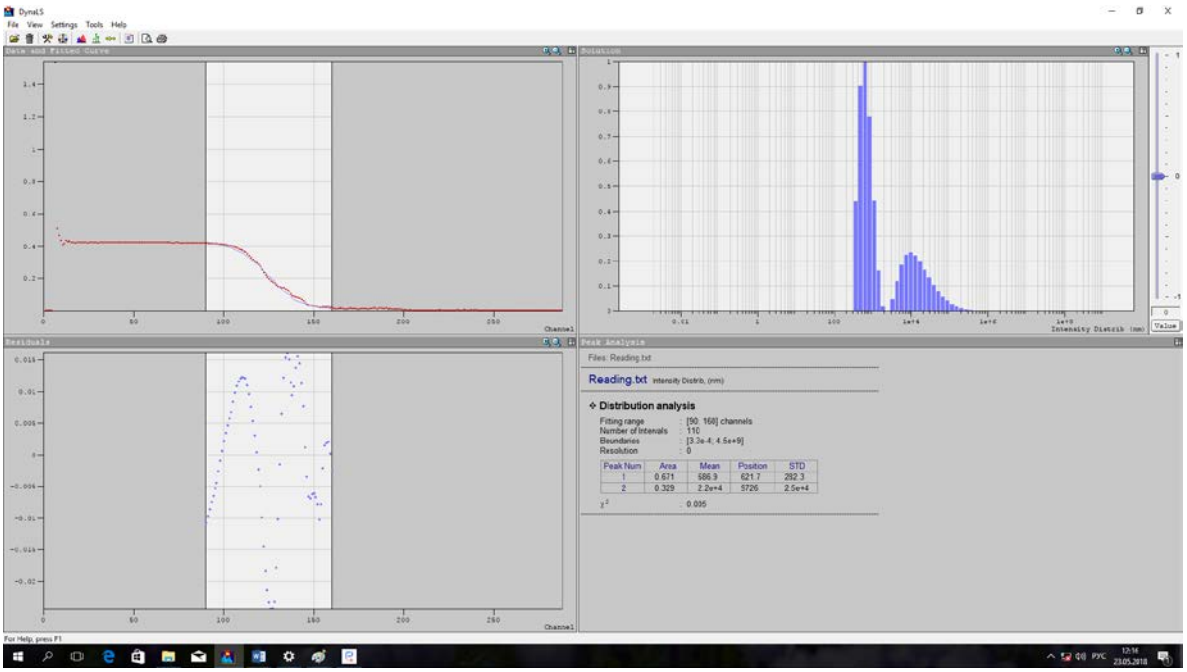


Рис. 2 Типичный вид результатов лабораторного эксперимента, полученных с помощью прибора PhotocorCompact-Z.

Здесь:

1. Окно Data and Fitted curve -исходная корреляционная функция измерения размеров микрокапсул (точки) и функция обработанная (сплошная красная линия) выбранной моделью

2. Окно Residuals – расхождение экспериментальных данных с выбранной моделью обработки

3. Окно Solution – результаты обработки в графическом представлении – пики с различной амплитудой и шириной распределения, положение которых на шкале абсцисс (на оси x) соответствует гидродинамическому радиусу частиц, нм.

4. Окно Peak Analysis (Distribution Analysis) – результаты обработки измерений в виде таблицы, основную информацию о размерах содержат окно Mean, где указан средний преобладающий размер микрокапсул, с учетом погрешностей и окно Area, содержащее их процентное распределение.

По результатам предварительных исследований можно сделать вывод о том, что технологический процесс получения ФТМ с инкапсулированными АВ, является сложным многопараметрическим стохастическим процессом, не имеющим в настоящее время строгого аналитического описания. Поэтому для выбора оптимальных параметров не только самого технологического процесса, но и функциональных текстильных материалов, полуфабрикатов и готовых изделий, получаемых с помощью этой технологии, необходимы дополнительные разносторонние модельные исследования.

Возможны два подхода к построению математических моделей подобных сложных исследуемых объектов:

1. Аналитический - в котором построение моделей сопряжено с проведением длительных дорогостоящих исследований. В рассматриваемом случае эти исследования необходимы для выявления, природы физико-химических процессов, лежащих в основе технологических операций производства ФТМ. Аналитические модели представляются в виде сложных систем уравнений (алгебраических, обыкновенных, дифференциальных, в частных производных). Эти уравнения позволяют описать исследуемые явления, процессы и изделия в широких пределах варьирования факторного пространства, но распространения в реальных производственных условиях не получили в силу ряда причин, основными из которых являются высокая трудоемкость и стоимость моделей, получаемых в течение длительного времени, их недостаточная адекватность исследуемым стохастическим процессам и т.п.

2. Функциональный - в котором физико-химические закономерности процессов не рассматриваются, исследуемый объект – технологический процесс, или изделие представляется в виде «чёрного ящика», обладающего набором входных и выходных переменных. Изучение объекта сводится к получению описания поведения объекта в виде статистических функциональных моделей – регрессионных зависимостей.

Как отмечалось выше, сложность таких многокомпонентных гетерогенных материалов, как ФТМ с инкапсулированными репеллентно – акарицидными АВ, и технологических процессов их производства, в том числе и производства самих микрокапсул не позволяет на современном этапе развития науки решать задачи разработки ФТМ и технологических процессов их производства строгим математическим путём. Проблема осложняется ещё и тем, что размеры микрокапсул и место их дислокации на ФТМ имеют вероятностный характер распределения.

Решение поставленных задач в случаях отсутствия или невозможности применения строгих математических методов требует обращения к эксперименту, как единственному способу получения достоверного знания об объекте исследования. При этом следует учитывать, что экспериментальные исследования в условиях реального производства требуют значительных временных затрат, материальных и человеческих ресурсов.

Создаваемый экспериментальный стенд позволит существенно сократить эти расходы. Стенд предназначен для проведения на нем нескольких серий полномасштабных лабораторных, а затем и опытно-промышленных работ с целью получения набора адекватных регрессионных моделей и последующей линейной или нелинейной оптимизации параметров, как самого технологического процесса, так и получаемых посредством этого процесса ФТМ, полуфабрикатов и готовых текстильных изделий. Полученные регрессионные модели, адекватно описывающие технологический процесс производства,

послужат основой для организации опытно-промышленного участка, как составной части цифровой фабрики будущего первого поколения.

На первом этапе будет выполнена серия исследований технологического процесса производства ФТМ, обладающего репеллентно – акарицидными свойствами. Актуальность первоочередного создания репеллентно - акарицидных текстильных изделий [5,6] обусловлена неблагоприятной эпидемиологической ситуацией в России, вызванной повышенной активностью лесных иксодовых клещей. Только в Ивановской области, которая не является лидером по эндемии данных заболеваний, в течение эпидемиологического сезона 2017 года зафиксировано 3231 обращений за медицинской помощью по поводу присасывания лесных клещей, что превысило аналогичные показатели 2016 года. В том числе медицинская помощь потребовалась 821 ребенку. При этом выявлено 229 положительных результата на клещевой боррелиоз, 59 положительных результата на моноцитарный эрлихиоз и 2 – на гранулоцитарный анапламоз.

Методические приемы, предлагаемые для создания адекватных виртуальных моделей технологического процесса производства ФТМ и оптимизации их параметров, неоднократно апробированы при разработке многопараметрических стохастических технических систем специального назначения. Опыт, приобретенный авторами при выполнении указанных работ, а так - же публикации других исследователей, занимающихся прикладными исследованиями в различных областях науки, техники и технологий, показывает, что регрессионные модели, формируемые в результате правильно спланированного, грамотно проведенного и обработанного эксперимента на конкретном технологическом оборудовании, являются не только самыми экономичными, но и наиболее адекватными.

Статистические регрессионные модели обладают следующими преимуществами:

1. Достаточно простая структура модели в виде линейных, или нелинейных полиномов;
2. Построение модели выполняется за сравнительно небольшое время, с использованием ограниченных ресурсов, в условиях промышленного производства;
3. Имеются всесторонне апробированные программные продукты для построения регрессионных моделей;
4. Регрессионные модели адекватно отражают исследуемый технологический процесс, или полученное изделие и могут служить основой для управления процессом и выбора оптимальных параметров создаваемого изделия;
5. Построенные адекватные математические модели производства ФТМ позволят создать прототип технологического участка цифровой фабрики будущего.

В дальнейшем будут предприняты попытки сформировать единый физико - статистический подход, в котором вначале создается физико-химическая модель технологии производства ФТМ, а уточнение модели ведётся функциональным способом. В обоих подходах в основе лежит эксперимент в реальном технологическом процессе, который позволяет оценить влияние на него различных факторов, определить оптимальные условия его протекания, найти его математическую модель и т.д. Натурный эксперимент позволяет целенаправленно создавать условия и в заданных диапазонах контролировать их изменения, необходимые для изучения заданного объекта.

При описании такого стохастического объекта исследования, как технология получения ФТМ, будет использовано понятие кибернетической модели «Чёрный ящик», в которой устанавливается связь между независимыми переменными на «входе» x_i и зависимыми переменными на «выходе» y_j исследуемой системы.

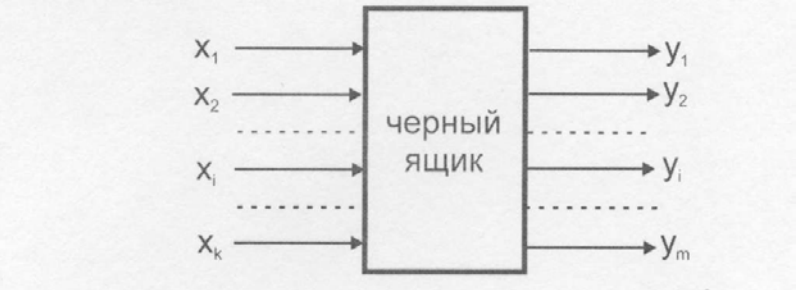


Рис. 3 Кибернетическая модель «Черного ящика»

Независимые переменные x_i (концентрации исходных препаратов, температура, скорость вращения диспергатора, время обработки и т.п.) технологического процесса, реализуемого на экспериментальном стенде, будут управляемыми и контролируемыми. В качестве зависимых переменных y_j (целевых функций) могут быть выбраны показатели качества ФТМ, геометрические размеры и свойства получаемых микрокапсул, концентрация АВ и динамика их выделения из микрокапсул и т.п.

Проведение лабораторно - промышленного эксперимента требует определённых затрат времени, сил и средств. Поэтому очень важными становится правильная, научно обоснованная программа планирования и проведения эксперимента, объективная оценка результатов эксперимента. Работа на экспериментальном лабораторно-промышленном стенде будет разбита на два важных этапа:

1. Организация и проведение непосредственно эксперимента: выбор измеряемых параметров, размер выборки, на которой проводится эксперимент, порядок проведения измерений, план эксперимента и т.п.

2. Обработка полученных экспериментальных данных, построение регрессионных моделей технологического процесса производства ФТМ и самих ФТМ.

На экспериментальном стенде в основном будут проводиться активные эксперименты, при которых вначале строится план эксперимента таким образом, чтобы при проведении минимального количества экспериментов получить больше адекватной количественной информации для ее последующего регрессионного анализа.

Активный эксперимент — такой, в котором планирование и анализ результатов основаны на математико-статистических методах. Все методы активного эксперимента объединяются под названием методы планирования эксперимента. Активный эксперимент наиболее эффективен в специально организованных лабораторно - промышленных условиях, когда можно варьировать технологические факторы в широких пределах. Следовательно, активный эксперимент эффективнее применять на этапе оптимального проектирования новых ФТМ.

Итогом планируемых работ станет получение виртуальных моделей и программного обеспечения, для оптимизации процесса создания новых ФТМ, полуфабрикатов и готовых изделий, позволяющих снизить себестоимость производства и повысить функциональные показатели при эксплуатации ФТМ. Разработанные инструменты и методики могут быть использованы и для «оцифровки» иных технологий текстильной и легкой промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клаус Шваб, «Четвертая промышленная революция», изд-во «Эксмо», 2018

2. Кузьменко В.А., Одинцова О.И., Русанова А.И., Малышева К.А. Современное состояние и перспективы развития ароматной отделки текстильных материалов (обзор) // Химия растительного сырья. 2015. № 1. С. 15-27.

3. Одинцова О.И., Козлова О.В. Межмолекулярные взаимодействия в водных растворах синтетических полиэлектролитов и ПАВ // Глава 6 в монографии: Растворы в химии и технологии модифицирования полимерных материалов: новое в теории и практике – отв. ред. А. Ю. Цивадзе. – Сер. Проблемы химии растворов. – Иваново: ИХР РАН, 2014

4. Прохорова А.А., Петрова Л.С., Владимирцева Е.Л., Одинцова О.И. Использование метода микроэмульсионного капсулирования для придания текстильным материалам акарицидных свойств// Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности, № 1, 2017
5. Способ производства текстильного материала, содержащего нано - и микрокапсулированные биологически активные вещества с замедленным высвобождением: пат. № 2596452 Рос. Федерация. Заяв. № 2015122221 / Одинцова О.И., Королев С.В., Кузьменко В.А., Владимирцева Е.Л., Козлова О.В., Королев Д.С., Крутских Е.В., Муратова Н.Н., Одинцова Л.С., Прохорова А.А., Никифорова Т.Е.;заявл. 10.06.15; опубл. 10.09.16, Бюл. № 25
6. Одежда для защиты человека от кровососущих клещей и летающих кровососущих насекомых: пат. № 2625432 Рос. Федерация. Заяв. № 2016129496/ Королев Д.С., Королев С.В., Козлова О.В., Крутских Е.В., Муратова Н.Н., Одинцова О.И., Петрова Л.С., Прохорова А.А.;заявл. 19.07.16; опубл. 13.07.17, Бюл. № 20

УДК 677.05-791

ИННОВАЦИОННЫЙ ЦИФРОВОЙ МЕТОД ТЕСТИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ МАХРОВЫХ И ТРИКОТАЖНЫХ ТКАНЕЙ

INNOVATIVE DIGITAL METHOD OF TESTING THE THICKNESS OF VELVETS AND KNITTED FABRICS

Д.А. Пирогов[1], Э.А. Эльнашар [2], Р.В. Шляпугин[1]
D.A. Pirogov[1], E.A Elnashar [2], R.V.Shljyapugin[1]

[1]Ивановский государственный политехнический университет
[2]Университет г.Кафрэльшейх (Египет)
Ivanovo State Polytechnic University
[2]Kaferelsheikh University, Egypt.
E-mail: pirogov81@mail.ru, Smartex@kfs.edu.eg

В работе предлагается новое цифровое устройство для тестирования толщины бархатной и трикотажной тканей в целом, утка и трехмерных петель. Принцип действия предложенного устройства основан на воздействии давлением на исследуемый материал. Устройство может быть полезным при исследовании свойств тканей в текстильной и легкой промышленности. Прототипом данного метода является разработка сотрудников университета г. Кафр-Эль-Шейх, Египет.

Ключевые слова: измерение толщины; цифровой метод; махровая ткань; трикотажная ткань.

A new digital device is proposed for testing the thickness of velvet and knitted fabrics in general, duck and three-dimensional loops. The principle of operation of the proposed device is based on the effect of pressure on the test material. The device can be useful in studying the properties of fabrics in the textile and light industries. The prototype of this method is the development of employees of the University of Kafr- El-Sheikh, Egypt.

Key words: thickness measurement; digital method; velvet; knitted fabric.

A prototype is model of apparatus for testing thickness of fabrics, is generally used to evaluate a new design to enhance precision by system analysts and users velvets and knitting clothes. In some design workflow models, creating a prototype is the step between the formalization and the evaluation of an idea. According that Fabrics are designed to fit different projected demands in order to be suitable for their end use of fabric constructor it is essential that the relationships

between the constructional parameters of fabrics and their individual properties,[1]. We consider orthotropic structure properties of the yarn with three level of pile modules[2,3]. Objectives of prototype smart digital thickness test method for velvets and knitting fabrics measurement is invention to meet the requirements of knitting fabrics with other equivalent standards and customer specific written practice for training and certification in this method of non-destructive testing personnel. During this digital thickness test method for knitting fabrics measurement give us examination in general theory, Specification and practical high-frequency velvets and knitted fabric structure of geometrical surfaces.

Proof of principle prototype of smart digital thickness test method® for velvets and knitting clothes , this particular prototype serves to test the design without providing an exact visual match. Mechanical testing, product architecture, and materials may all effectively be tested using a proof of principle prototype, they are intended to provide the manufacturer with feedback regarding design in the science and practice of metrology, a prototype is a human-made object that is used as the standard of measurement of some physical quantity to base all measurement of that physical quantity. The only prototype remaining in current use is the international prototype digital thickness of velvets and knitting clothes, and computing means for calculating the property of the fabric from such measurement.

The process prototype is essentially a development of the parallel, integrated processes in which the technology of technological change is itself changing networking process. The warp-knitted patterned velvet fabrics are classified into single-bar velvet and doublebar velvet according to warp-knitting machines. Hence, plush yarn is assumed to be a translucent non-rigid cylinder composed of multi-layer textured layers. 2D color and transparency of pile yarns on each textured layer is computed by analyzing pile yarn's properties and underlaps length. Then texture mapping algorithm, relating to yarn's inclination, is researched for simulating 3D texture on pile yarns. Warp-knitted patterned velvet is mostly formed into a rectangle piece of fabric with evenly distributed loops. Number of loops knitted by same needle in one repeat equals to pattern length and number of wales equals to pattern width. Coordinate origin starts bottom right, the same location where driven device is equipped. Fig. 3(b,c): structure weft knitted fabrics(b) as normal at left, (c) with light pressure.

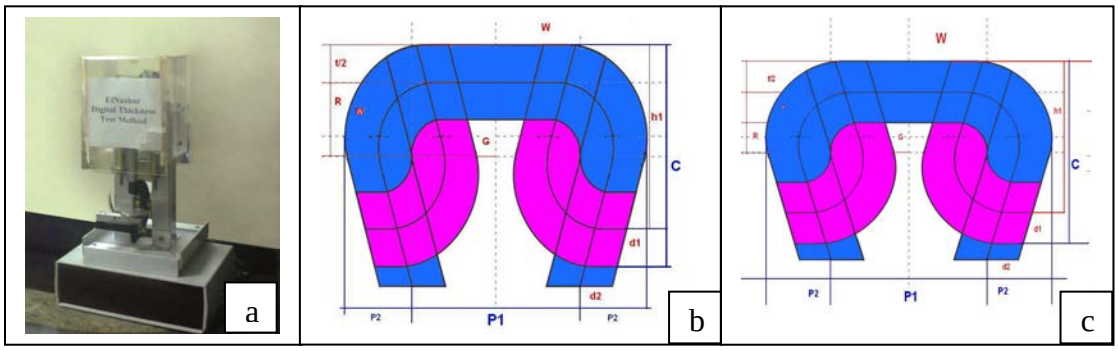


Figure 3: ElNashar Digital Thickness Test Method (a) and structure knitted fabrics(b,c).

Pressure and torsion of yarn cross-section

Digital thickness test method pressure is a stress and torsion of velvets and a single jersey fabric. It is a scalar of course-spacing, the wale-spacing given the thickness of single jersey fabric by the pressure on yarn cross-section of the force per unit area. With initial restricted contact area between them, it is the force per unit area exerted by the change of momentum of the molecules impinging on the surface. a change in the direction of motion requires a resultant force. The impact of a loop formation on a fabric surface is an elastic impact so that its pressure on yarn cross-section and and torsion energy are conserved. However, because its direction of motion course-spacing , wale-spacing changes on impact, a resultant torsion force must have been exerted by the fabric surface on a single jersey fabric. When we consider the forces acting on a torsion, for example, the

lift force is proportional to the average pressure difference acting over the lower and upper surface of the wing. This pressure difference is caused by the fact that the average velocity over the upper surface of the fabric is somewhat greater than the average velocity over the lower surface . The pressure differences are usually small, but wings have a large surface area so that the total lift force can be very large. For low mach number flow, the pressure difference and the lift force are proportional to the difference in the dynamic pressures between the upper and lower surfaces.

The thickness (with the unit of mm) of each sample is tested using a thickness testing Instrument according to ASTM D1777-64.8. Each sample is also weighed on ElNashar-digital thickness-test method balance to determine its basis weight or areal density (g/m2). It was assumed that in the case of idealized (isotropic) test material of fabrics at the initial stages of extraction process, the outer contour of the specimen force and obtains the shape, which reminds the curve down rush. It was defined that in the case when the experimental and calculated number of fabrics density practically coincides for most of the materials, complex criterion is defined on the basis of polar diagram in which eight parameters are laid in a strict order. This order in clockwise direction is always the same, Thus, criterion depth of rush enables to compare different fabrics according to their total counters reader evaluations. pressure measurement N/cm2, maximum force, reseat force, diameter of rush, diameter of road, time, depth of rush, and fabric thickness are defined. The dangerous zone in which the specimen can be jammed during its extraction locates at the outer contour of the pads rush. The jamming phenomenon is related with the thickness and the radius of the specimen. Tester device the size of the specimen is similar to those used in other devices of the same type: *h = 0.3 cm.* for heavy fabrics, *h = 0.5 cm.* for medium fabrics , *h = 0.4 cm.* for light fabrics, which allow to observe and to capture the variations of specimen's shape during the extraction. The rating is given by the three digital counters processing based system for thickness in the specimens. Scale which is used in the subjective assessment of fabric thickness varied from 1 to 3.5 cm. In order of their superiority geometrical weft knitted fabric structure model are: loop width Ωr , loop height Δr , loop length ℓpi,

$$\ell pi = \pi \Delta r - \Omega r \tag{1}$$

$$p_1 = 2d\ p_i\ + d_2 \tag{2}$$

$$p = 4d\ p_i\ + 3d_2 \tag{3}$$

Where: ℓ- is loop length [mm], Δr - is loop height , p_1-space between wefts of loop fasted , p- widths repeat, $d\ p_i$ - is weft knitted fabric structure, yarn thickness[mm].

The loop length is influenced by the yarn input tension, weft knitted fabric structure take-down tension, velocity, materials friction in the weft knitted zone, yarn structure and properties, yarn linear density, etc. The weft knitted vertical density W:is defined by the plain weft structure density and the yarn input tension; it changes only slightly with the change of the yarn input tension for conventional yarns for elasticized. The vertical density of the plain structure changes with depth change. The loop length increases and simultaneously the vertical density is reduced. The relaxation shrinking can easily be monitored through the changes of the vertical and horizontal density and the mass per unit area repeated. The determination of the shrinking is very Important when planning the materials quantity of the fabric to be weft knitted fabric structure to the main structural parameters of weft knitted fabric structure are: the head of loop-spacing (*p*): widths repeat. The weft knitted fabric structure vertical density (w) and the thickness of the weft knitted fabric structure , yarn ($d\ p_i$). The rest of the geometrical parameters required for the complete description of the structure derive analytically from them. Thus the yarns are represented as homogenous cylinders of constant diameter for weft knitted fabric structure and ground, with initial restricted contact area between them.

The thickness properties can be measured by digital counters processing system. Canny edge direction technique is used for the measurement of durability in fabric. And edge is a property

attached to an individual force for depth and is calculated from the digital counter function behavior having magnitude of the gradient and direction. The direction of depth should be oriented perpendicular to the edge. If the digital counters is the normal to the edge is estimated as due to the symmetry of the unit cell the length of the weft knitted fabric structure is received by the equation 4.

$$T_C = N_{Fs^2}\left(\frac{\pi(d_1+h_1)}{180\sqrt{d_1^{\,2}+2d_1d_2}}+N_{Rs^2}(\pi\Delta r-\Omega r)\cos^{-1}\frac{Cd_1}{(d_1+d_2)}\right)-1 \quad ..(4)$$

W

here: $d1$ - diameter of horizontal yarn , $d2$ - diameter of vertical yarn , N_{Fs^2} - maximum force, N_{Rs^2} - force after rest, ℓ - is loop length [mm], Ωr -is loop width [mm], Δr - is loop height [mm], R - distance pleated circumference , r - distance of road circumference, T_1 - time for depth in rush, T_2 - time of reset in rush, h - depth of loop, T_C - thickness of fabrics, C - total of loop.

For detection of geometric characteristics of structure of the weft knitted fabric structure of cotton, polyester, viscose rayon, blended (polyester/cotton), for weft of cotton (the same fabric as used for measuring of bending rigidity) and hysteresis, under bending load, the method of direct research of inner structure of fabric was used. The evaluation of the geometrical model is based initially on the comparison of the experimentally defined thickness of given fabric to the respective calculated by the geometrical model for the same main parameters single jersey fabric. The main structural parameters of a fabric can be defined after a microscopic observation and the thickness can be measured using the new tester. The main parameters, the measured fabrics thickness, and the geometrically calculated thickness for twenty randomly selected fabrics. In order to determine the agreement among the digital counters thickness and weight, the coefficient of concordance. The difference between them is essential. Intermediate shapes between mentioned are obtained for fused textile systems for woven and knitted fabrics. Fig. 4: structure weft knitted fabrics(b) as normal at left, (c) with light pressure, medium in(d), and heavy pressure in(e).

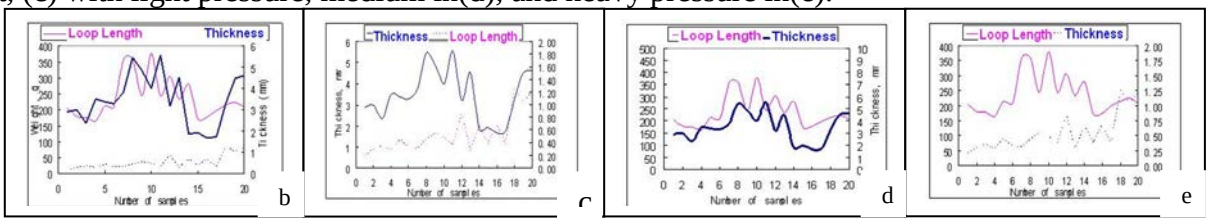


Figure 4 (b,c,d,e): relationship between thickness and loop length

In the case of restrained extraction when rounded specimen for knitted fabrics are pulled through the rush of the pad an interesting transformation of specimens shape are taking part. These changes become significant when outer contour of specimen approaches the rush of the pad, i.e. approaches the value of thickness for knitted fabrics, the analysis of specimens projections at different stages of deformation have shown that geometrical shapes of fabrics can be mathematically approximated with sufficient accuracy using the expressions of shortened epicycloids. While the shapes of thickness of knitted fabrics are using the expressions of «Cassini» ovals and shortened epicycloids. The results of distance measurements from specimen's contour to its centre showed close relationship with the above mentioned models and that parameters can approximate the outer contour of knitted specimen with sufficient accuracy.

Conclusion

Functional prototype of smart digital thickness test method® for velvets and knitting clothes unlike a visual and a form study prototype, a bears the highest resemblance to the actual component insomuch as it can be used to test the actual function of the component of digital thickness test method. Although they are often made at a reduced scale to save money on materials, a final true-to-scale prototype should be made and checked for design flaws before ordering a product run of the component. This prototypes serves a different role in pre-production process, prototypes vary

from the final component in several key ways. First of all, the production for velvets and knitting clothes methods used in creating a prototype often substantially differ from those used to create the final component. Whereas expensive quality materials are often used in a production run, materials that bear a resemblance to the final product's desired look and feel are often used instead. This yields a prototype that is fine for visual inspection, but not well-suited to performing the intended component function.

Smart Sustainable Development of Digital Thickness Test Method is the concept of sustainable development will be overviewed where its effect as an Innovation in the Supply Chain Management will be highlighted of Sustainable development. In order to grasp the subtleties of Digital Thickness Test Method the concept, it is important, in the first part, to understand the notion of development, often assimilated to growth, and sustainability, referring to a long-term element. In a second part, the idea is to transpose the concept to the business world through previous research and then in the last part, to describe the interface between innovation Digital Thickness Test Method and sustainable development in order to consolidate the problematic of this research.

ЛИТЕРАТУРА

1. ElNashar, ElSayed.; DUBROVSKI, Polona;. The Influence of the Weave and the Method of Stitching on Selected mechanical Properties of Woven Double Fabrics.' AUTEX Research Journal, Vol. 8, No2, June (2008).
2. ElNashar, ElSayed.; representative volume of design elements and mathematical of pile woven fabrics,. International workshop "physics of fibrous materials: structure, properties, science intensive technologies and materials" (SMARTEX-2008) that take place in the Ivanovo State Textile Academy (Russia) 26-27 May, (2008)
3. ElNashar, ElSayed.; "A unified tests theory of nonstiffability clothes with using digital method®", 1st SMARTEX-Egypt (World Textiles Conference), Nov,22–24 2011, Kaferelsheikh University, Egypt.(2011).

УДК 544.70.023.2:544.722.132:677.8

ГИДРОФОБНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРСОДЕРЖАЩИХ ТКАНЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ РАСТВОРОМ ТЕЛОМЕРОВ ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

HYDROPHOBIC PROPERTIES OF POLYESTER-CONTAINING TISSUES, MODIFIED BY SOLUTION OF TETRAFLUOROETHYLENE TELOMERS

Т.Ю. Кумеева, Н.П. Пророкова
T.Yu. Kumeeva, N.P. Prorokova

Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук, (г. Иваново)
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of Russian Academy of Science, (Ivanovo)

Рассмотрена возможность придания гидрофобных свойств текстильному материалу с помощью теломеров тетрафторэтилена. Охарактеризованы гидрофобные свойства модифицированных теломерами тетрафторэтилена полиэфирсодержащих тканей.

Ключевые слова: гидрофобность, Гидрофобизация, тетрафторэтилен, полиэфирная ткань

The possibility of imparting hydrophobic properties to textile material using tetrafluoroethylene telomers is considered. The hydrophobic properties of polyether-containing tissues modified by telomeres of tetrafluoroethylene have been characterized.

Key words: hydrophobicity, hydrophobization, tetrafluoroethylene, polyester fabric

Гидрофобные текстильные материалы, обладающие способностью не смачиваться водой, пользуются высоким спросом. Первостепенным показателем гидрофобности материала считается краевой угол смачивания. Для гидрофобных материалов эта характеристика должна превышать 90°. Но наибольший интерес представляют высокогидрофобные материалы, для которых краевой угол смачивания > 120° [1]. Задачу получения волокнистых материалов с высокой гидрофобностью можно решить, нанося на них препараты с низкой поверхностной энергией, которые способны сформировать на каждой нити низкоэнергетическую поверхность, не затрагивая при этом капиллярно-пористую систему текстильного материала. Таким образом сохраняется также воздухо- и паропроницаемость волокнистого материала [2].

В качестве объекта исследования нами была выбрана полиэфирная ткань. Полиэфирное волокно известно как гидрофобное, но ткани, выработанные из него, имеющие сложную капиллярно-пористую структуру, не обладают свойствами водооталкивания: капли жидкости, попавшие на них, моментально проникают в межволоконные пространства.

Полиэфирные (ПЭФ) текстильные материалы широко представлены на потребительском рынке, являются относительно недорогими и используются в разных сферах. Кроме того, зачастую требуется придание гидрофобных свойств материалам, состоящим из хлопчатобумажных и полиэфирных составляющих, такие материалы составляют ассортимент тканей для изготовления галантерейных изделий, декорирования помещений и т.п. Поэтому в данной работе были проанализированы возможности придания гидрофобности хлопкополиэфирным тканям с разным соотношением компонентов, разной плотности и переплетения.

Перспективным материалом для создания ультратонких покрытий являются растворы теломеров тетрафторэтилена (ТФЭ) в ацетоне (торговая марка «Черфлон»), разработанные и получаемые в ИПХФ РАН с использованием радиационно-химического инициирования реакции теломеризации мономеров тетрафторэтилена (γ-излучение ^{60}Co) [3]. В результате процесса образуется гомологическая смесь низкомолекулярных соединений, содержащая более 90% теломеров состава $R_1\text{-}(C_2F_4)_n\text{-}R_2$, где R_1 и R_2: H, CH_3 или $COCH_3$ и CH_2COCH_3, а среднее значение n более 5 [4].

При использовании в качестве растворителя ацетона схема образования теломеров ТФЭ выглядит следующим образом:

1. Инициирование цепей радикалами (R•), образующимися при радиолизе растворителя (H, CH_3, CH_2COCH_3).

2. Рост цепи $R\bullet + C_2F_4 \rightarrow \bullet R\text{-}CF_2\text{-}CF_2$

3. Передача цепи через растворитель

$$\bullet R\text{-}(C_2F_4)_n + CH_3COCH_3 \rightarrow R\text{-}(C_2F_4)_nH + CH_2COCH_3\bullet$$

Возникающий радикал CH_2COCH_3• вновь инициирует цепь теломеризации.

4. Обрыв цепи происходит при квадратичной рекомбинации радикалов $\bullet R\text{-}CF_2\text{-}CF_2$, $\bullet CH_3$, $\bullet CH_2COCH_3$.

В результате образуется смесь гомологических низкомолекулярных соединений состава $R_1\text{-}(C_2F_4)_n\text{-}R_2$, где R_1 и R_2: H, CH_3 или $COCH_3$ и CH_2COCH_3. Значение n зависит от условий проведения реакции (исходной концентрации мономера в растворителе) и изменяется в пределах 3-20 [5,6].

Нанесение препарата «Черфлон» на текстильный материал осуществляли при помощи пульверизатора, количество нанесенного теломера варьировалось за счет кратности (одно-, двух-, трехкратного, в отдельных случаях четырех- и пятикратного) нанесения. В отдельных случаях (для нанесения бо́льшего количества модификатора) использовали метод окунания.

Краевые углы смачивания определяли методом проецирования капли на экран. Смачивание количественно характеризовали краевым углом Θ или $\cos\Theta$. Краевой угол определяли как угол между касательной, проведенной к поверхности смачивающей жидкости, и смачиваемой поверхностью твердого тела, при этом его отсчитывали от

касательной в сторону жидкой фазы. Касательную проводили через точку соприкосновения трех фаз.

Для оценки гидрофобных свойств поверхности текстильного материала использовали экспресс-метод, заключающийся в определении времени впитывания капли. Каплю воды наносили на обработанный текстильный материал и по секундомеру определяли время впитывания. Появление ореола вокруг капли считали за окончание испытания. Проведение испытаний более 30 мин. считали нецелесообразным в связи с потерей массы капли из-за испарения.

Водопоглощение тканей определяли в соответствии с ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81). Водопоглощение характеризует количество поглощенной материалом воды при непосредственном и полном погружении его в воду в течение 60 мин.

Факт осаждения теломеров на поверхности ПЭ волокнистого материала подтвержден методом ИК-спектроскопии МНПВО, энергодисперсионным анализом в работах, опубликованных ранее [7,8].

Комплексные характеристики водоотталкивающих свойств образцов полиэфирной костюмной ткани, обработанных 1,5%-ным раствором теломеров тетрафторэтилена в ацетоне представлены в таблице 1.

Краевой угол смачивания полиэфирной ткани, обладающей, за счет сложной структуры, макро- и микрошероховатостью, после обработки раствором теломеров тетрафторэтилена имеет практически те же значения, что и при использовании гидрофобизатора Nuva TTH (фирма «Клариант»). Истирающее воздействие на ткань, подвергнутую однократной или двукратной обработке теломерами, приводит к дополнительному и весьма существенному (на 10 – 16 град.) повышению краевого угла смачивания. Краевой угол смачивания подвергнутой истиранию ткани с защитной покрытием на основе препарата «Черфлон» достигает значений краевого угла смачивания ткани, обработанной используемым в промышленности эффективным гидрофобизатором Nuva TTH (фирма «Клариант»).

Поскольку за счет истирания происходит удаление с ткани избыточного количества теломеров, и сформированное после истирания теломерное покрытие становится очень тонким, а также приобретает наношероховатость, следует предположить, что дополнительное повышение краевого угла смачивания проявляется за счет совместного влияния на смачивание макро- и микрошероховатости рельефа ткани, который повторяет пленка гидрофобизатора за счет своей малой толщины, и собственной наношероховатости теломерного покрытия.

Таблица 1

Комплексные характеристики водоотталкивающих свойств образцов полиэфирной костюмной ткани, обработанных 1,5%-ным раствором теломеров тетрафторэтилена в ацетоне

Вид обработки	Удельное поверхностное содержание препарата, г/м^2	Θ, град.		Время впитывания водяной капли, мин.	
		до истирания	после истирания	до истирания	после истирания
Исходная ткань	-	-	-	-	-
Однократная	0,278	127±5	143± 5	5	15
Двукратная	0,445	127±5	137± 5	5	>30
Трехкратная	1,259	129±4	129± 4	>30	>30
Четырехкратная	1,308	129±4	130±4	>30	>30
Пятикратная	1,442	129±4	129± 4	>30	>30

Продолжение таблицы 1

Дисперсия препарата Nuva ТТН (30 г/л)	1,55	132±4	129±4	>30	>30

Зависимость водопоглощения модифицированной ПЭФ ткани и удельного содержания модификатора на ее поверхности от кратности нанесения модификатора представлено на рис 1. Для сравнения приведены данные по препарату Nuva.

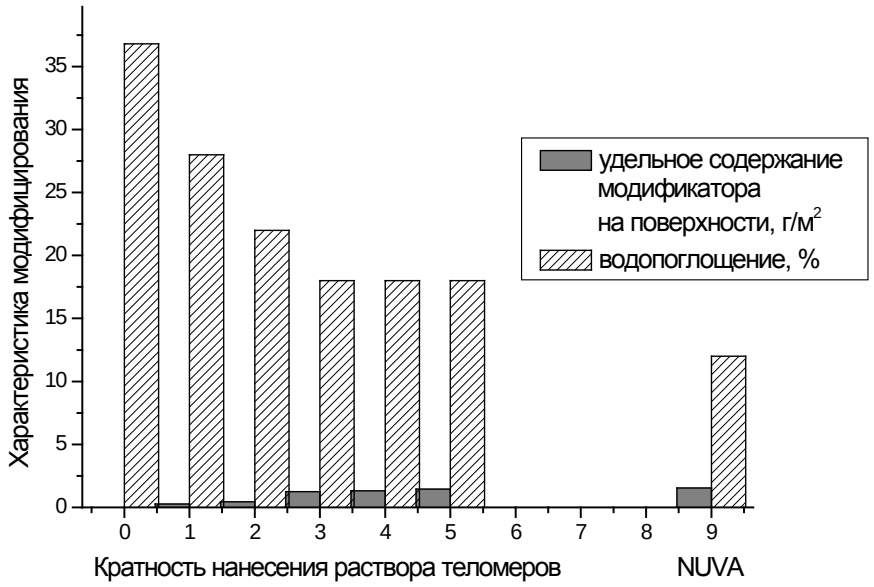


Рис.1. Зависимость водопоглощения модифицированной ПЭФ ткани от количества модификатора

В таблице 2 представлены данные по изменению водопоглощения ПЭФ ткани, обработанной растворами теломеров ТФЭ, синтезированных в ацетоне, в зависимости от удельного содержания теломеров и от интенсивности процедуры истирания. Испытания истиранием представляют сложно – напряженное деформирование покрытия.

Таблица 2

Влияние на водопоглощение полиэфирной ткани, обработанной растворами теломеров ТФЭ, синтезированных в ацетоне, удельного поверхностного содержания теломеров ТФЭ и сложно – напряженного деформирования (истирания) различной интенсивности

Вид обработки ткани	Водопоглощение (%) при удельном поверхностном содержании препарата, г/м^2				
	0,38	0,99	1,40	3,12	6,40
Покрытие без дефор-мирования	25,2 ± 0,2	22,8 ± 0,2	19,5 ± 0,2	20,8 ± 0,2	22,8 ± 0,2
Покрытие, подвергнутое деформированию, в циклах:					
10х	22,8 ± 0,2	20,7 ± 0,2	19,3 ± 0,2	20,6 ± 0,2	22,6 ± 0,2
20х	21,6 ± 0,2	18,9 ± 0,2	19,1 ± 0,2	20,6 ± 0,2	22,2 ± 0,2
30х	17,8 ± 0,2	16,7 ± 0,2	18,4 ± 0,2	20,3 ± 0,2	21,9 ± 0,2
40х	20,3 ± 0,2	17,5 ± 0,2	18,7 ± 0,2	20,3 ± 0,2	22,5 ± 0,2
50х	22,4 ± 0,2	19,3 ± 0,2	18,9 ± 0,2	20,5 ± 0,2	23,1 ± 0,2

Из таблицы следует, что водопоглощение образцов обработанной теломерами ТФЭ ПЭФ ткани зависит от их удельного поверхностного содержания, причем минимальное значение водопоглощения достигается при средних значениях удельного поверхностного содержания препарата (1,4 г/м^2), которое, по – видимому, является необходимым и достаточным для формирования сплошного покрытия на каждой нити, образующей ткань.

Истирание покрытия способствует снижению количества препарата, которое требуется для формирования непрерывного покрытия. Как видно из таблицы, наиболее низкие значения водопоглощения достигаются при нанесении на ткань малого количества теломеров (0,38 – 0,99 г/м^2) с последующим тридцатицикловым деформированием. Увеличение интенсивности деформирования, по – видимому, приводит к снижению равномерности и качества покрытия, следствием чего является возрастание водопоглощения образца. Следует отметить, что происходящие изменения не связаны с удалением теломеров ТФЭ при сложно – напряженном деформировании, т.к. изменение массы образца в процессе эксперимента составляло ± 0,01%.

В практическом аспекте интерес представляют хлопкополиэфирные ткани с гидрофобными свойствами. Их эстетические свойства определяют использование этих тканей для аксессуаров, декора и пр., поэтому в отдельных случаях гидрофобная отделка становится целесообразной. В таблице 3 представлены характеристики гидрофобности полиэфирной и хлопкополиэфирной тканей, обработанных растворами теломеров. Выбранные ткани имеют разное соотношение волокнистых составляющих и разное переплетение.

Таблица 3

Характеристики гидрофобности тканей полиэфирной и смесовой, обработанных растворами теломеров

Вид ткани	Краевой угол смачивания, град		Время впитывания капли, мин	
	Ткань обработанная	Ткань обработанная (с истиранием)	Ткань обработанная	Ткань обработанная (с истиранием)
Полиэфирная,костюмная, полотняное переплетение	128 ± 4	128 ± 4	>30	>30
Хлопкополиэфирная, сорочечная (50/50), полотняное переплетение	92 ± 4	92 ± 3	5	5
Хлопкополиэфирная, сорочечная (67/33), полотняное переплетение	96 ± 4	96 ± 4	1	1,25
Хлопкополиэфирная, плащевая (67/33), сатиновое переплетение	132 ± 3	128 ± 3	1,75	1,25
Хлопкополиэфирная, плащевая (20/80), сатиновое переплетение, полиэфир на лицевой стороне	135 ± 3	136 ± 4	24	29

Из данных таблицы следует, что придание устойчивой гидрофобности хлопкополиэфирным тканям с использованием растворов теломеров, синтезированных в ацетоне, достаточно проблематично [7,9]. Без дополнительных обработок можно повысить их гидрофобные свойства лишь незначительно [7,10].

Применение теломеров тетрафторэтилена может обеспечить хорошие результаты гидрофобизации тканей, однако для их продуктивного использования необходимо учитывать состав и структуру текстильного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. // Успехи химии, 2008. т.77. № 7. С. 619 – 638.
2. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов. Т.3. М.: РосЗИТЛП, 2001. 298 с.
3. Кирюхин Д.П., Ким И.П., Бузник В.М. Патент РФ 2381237 С2. Фторteломеры алкилкетонов, способы их получения (варианты) и способ получения функциональных покрытий на их основе. Опубл.2010.
4. Большаков А.И., Кичигина Г.А., Кирюхин Д.П. // Химия высоких энергий. 2009. Т. 43, №6. С. 512-515.
5. Кирюхин Д.П., Ким И.П., Бузник В.М., Игнатьева Л.Н.. Курявый В.Г., Сахаров С.Г. Российский химич химич. журнал, 2008, т. LII, № 3, с. 66 –72.
6. Кирюхин Д.П., Ким И.П., Бузник В.М. Химия высоких энергий, 2008, т. 42, №5, с. 393-400.
7. Prorokova N.P., Kumeeva T.Yu., Kiryukhin D.P., Buznik V.M. // Russian Journal of Applied Chemistry. 2013. Т. 86. № 1. С. 69-75.
8. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Кирюхин Д.П., Никитин Л.Н., Бузник В.М. // Российский химический журнал. 2011. Т. LV. № 3. - С. 14-23. (Prorokova N.P., Kumeeva T.Y., Kiryukhin D.P., Nikitin L.N., Buznik V.M. // Russian Journal of General Chemistry. 2012. Т. 82. № 13. - С. 2259-2269).
9. Кумеева Т.Ю., Пророкова Н.П., Кичигина Г.А. // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2015. Т. 51. № 4. С. 428-435. (Kumeeva T.Y., Prorokova N.P., Kichigina G.A. // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2015. Т. 51. № 4. С. 579-586).
10. Кирюхин Д.П., Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Кичигина Г.А., Большаков А.И., Кущ П.П., Бузник В.М.// Перспективные материалы. 2013. № 7. С. 73-79

УДК 677.014 – 615.468

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ НОВЫХ ВИДОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

USE OF HIGHER SCHOOLS POTENTIAL FOR CREATION OF MANUFACTURING PRODUCTION NEW TYPES OF TEXTILE MATERIALS

А.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян
A.G. Khosrovyan, G.A. Khosrovyan

Ивановский государственный политехнический университет
Ivanovo State Politechnical University
E-mail: khosrovyan_haik@mail.ru, ti@ivgpu.com

Рассмотрены возможности использования потенциала высшей школы в решении проблем производства текстильной продукции. Приведены примеры консультативной и практической помощи при разработке, запуске и повышении эффективности работы технологических линий по выпуску текстильных материалов.

Ключевые слова: консультативная и практическая помощь, текстильное предприятие, текстильные материалы, разработка технологических линий и оборудования.

The possibilities of using the potential of higher education in solving the problems of textile production are considered. Examples of advisory and practical assistance are provided in the development, launch and improvement of the efficiency of technological lines for the production of textile materials.

Keywords: advisory and practical assistance, textile development, textile materials, development of technological lines and equipment.

Одной из основных задач ученых высшей школы является оказание консультативной и практической помощи производственникам и бизнесменам текстильной промышленности, в том числе, в создании предприятий по изготовлению новых текстильных материалов. Этот процесс предполагает создание производств и повышение их конкурентоспособности на основе технологической и технической модернизации, повышение эффективности производства и разработку новых видов высокотехнологичной продукции.

Так как в настоящее время отмечается значительный рост спроса на новые текстильные материалы, к которым предъявляются требования высокого качества и доступной цены, отмечается также положительная тенденция по созданию малых и средних предприятий по их изготовлению. Однако бизнесмены и даже производственники не обладают достаточными знаниями в технике и технологии изготовления новых текстильных материалов. Недостаток этих знаний влияет на неправильный подбор технологических параметров в зависимости от состава и качества сырья, технических характеристик используемого технологического оборудования, температурно-влажностного режима и т.д., что является причиной снижения производительности оборудования и качества выпускаемой продукции.

Это наблюдается не только в России, но и в странах ближнего зарубежья.

С аналогичными проблемами мы сталкивались на текстильном предприятии Узбекистана при изготовлении хлопчатобумажной пряжи на современных кольцепрядильных машинах, на текстильных предприятиях Владимирской, Ивановской, Новгородской, Калининградской областях при изготовлении химических волокон, пряжи и различных видов нетканых и других видов текстильных материалов из хлопковых, льняных, шерстяных, химических волокон и их смесей.

В наибольшем объеме консультативная и практическая помощь производственникам была оказана при создании технологических линий по изготовлению текстильных материалов в ООО «ИВТКАНЬ», ООО ТПГ «Объединенные мануфактуры», ООО «ТЕКСПРОМ», ОАО «Камешковский текстиль», ООО «ЮЖА-ТЕКСТИЛЬ», ООО ТД «Классик+», ООО СП «RUSO'ZBEKS» и др., которая заключалась в разработке проектов производства новых видов волокон, пряжи, ткани, трикотажа, нетканых материалов, обтирочных материалов, отделки текстильных материалов, а также разработке бизнес-планов. Кроме того, помощь была оказана во внедрении в производство наших теоретических и технических разработок, подборе отечественного и импортного технологического оборудования, его размещении и наладке, разработке и изготовлении части недостающего оборудования, обучении обслуживающего персонала, выработке требований к исходному сырью, готовой продукции и ее упаковке и маркировке, в оформлении документов на получение права на интеллектуальную собственность и т.д.

Так, например, для ООО ТПГ «Объединенные мануфактуры» были разработаны проект производства нетканых материалов способом термоскрепления и бизнес-план. Был произведен подбор отечественного технологического оборудования, его размещение и наладка, разработка и изготовление части недостающего оборудования, обучение обслуживающего персонала, выработка требований к исходному сырью, готовой продукции и ее упаковке и маркировке и т.д. Разработанная технологическая линия обеспечивает возможность выпуска на ней различных видов нетканых материалов в зависимости от исходного сырья, в том числе, синтепона, холлофайбера, наполнителя для матрасов и др.

Целесообразность и эффективность установленной линии привели к принятию решения об установке второй технологической линии по изготовлению нетканых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красик, Т.Я. Общая теория движения волокнистых материалов в шахте бункерных питателей [Текст] / Т.Я. Красик, А.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011. – №1, С. 75 – 79.

2. Хосровян, И.Г. Разработка теории выравнивающей способности устройства для получения многослойных волокнистых материалов/ И.Г. Хосровян, А.Г. Хосровян, Т.Я Красик., Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №6. С. 79…82.

3. Тувин, М.А. Математическое моделирование процесса движения волокнистой смеси в бункерном питателе с переменной площадью поперечного сечения шахты/ М.А. Тувин, И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян, А.А. Тувин //Изв. вузов. Технология текстильной промышлен-ности. – 2015, №2. С. 83…87.

4. Красик, Т.Я. Методика определения линейной плотности настила на выходе из бункерного питателя, оснащенного системой обеспыливания [Текст] / Т.Я. Красик, А.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011. – №5. – С. 79 – 82.

5. Хосровян, А.Г. Математическая модель движения волокна при его съеме ускоряющимся воздушным потоком с гарнитуры вращающегося пильчатого барабана/А.Г. Хосровян, М.А. Тувин, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян, А.А. Тувин// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017. - № 2. - С. 185-188.

6. Тувин, М.А. Математическое моделирование аэродинамической рассортировки волокон в устройстве для получения многослойных нетканых материалов/М.А. Тувин, И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015. - № 6. - С. 119-122.

7. Хосровян, И.Г. Общая теория динамики волокнистых комплексов в процессе их взаимодействия с рабочими органами разрыхлителя / И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012. - № 6. - С. 194-197.

8. Хосровян, И.Г. Математическое моделирование движения волокнистого комплекса на колке барабана разрыхлителя / И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013. - № 4. - С. 85-88.
9. Хосровян, И.Г. Результаты математического моделирования процесса столкновения волокнистого комплекса с колком разрыхлителя-очистителя/ И.Г. Хосровян, М.А. Тувин, Г.А. Хосровян, А.А. Тувин, В.И. Роньжин// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №6. С. 136-140.
10. Хосровян, А.Г. Математическая модель для расчета линейной плотности настила на выходе из дозатора-смесителя/ А.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян, Р.М. Алоян, А.П. Башков// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №3. С. 131-135.

УДК 677.017.63

ЧИСЛЕННОЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ В МАТРИЦЕ КОМПОЗИТА

NUMERICAL 3D-MODELING OF THE FILLER MOVEMENT IN THE COMPOSITE MATRIX

С.В. Ершов, О.В. Блинов, В.Б. Кузнецов, Е.Н. Калинин
S.V. Ershov, O.V. Blinov, V.B. Kuznetsov, E.N. Kalinin

Ивановский государственный политехнический университет
Ivanovo State Polytechnic University
E-mail: kuznetsovtex@gmail.com

Рассмотрены вопросы движения жидкого наполнителя через структуру условной тканой матрицы различной архитектуры при создании композитных материалов. Получены зависимости скорости движения и давления наполнителя от плотности нитей в матрице. Предложено использовать программный продукт SolidWorks для численного 3D-моделирования процессов распределения наполнителя в тканой матрице.

Ключевые слова: композитные материалы, тканая матрица, наполнитель, численное 3D-моделирование, программный продукт SolidWorks.

The problems of the motion of the liquid filler through the structure of a conventional woven matrix of various architectures for creating composite materials are considered. Dependences of the velocity of motion and pressure of the filler on the density of filaments in the matrix are obtained. It is proposed to use the software product SolidWorks for numerical 3D modeling of processes of filler distribution in a woven matrix. **Keywords: composite materials, woven matrix, filler, numerical 3D modeling, software product SolidWorks.**

Современные отрасли промышленности, такие как автомобилестроение, кораблестроение, авиационная и космическая, мостостроение и многие другие уже немыслимо представить без использования композитных материалов. Они обладают незаменимыми качествами – легкостью и прочностью, устойчивость к высоким и низким температурам, воздействию агрессивных сред, высокими триботехническими свойствами, что дает им неоспоримое преимущество перед традиционно используемыми металлическими конструкциями или различными сплавами.

Армирующей основой в таких материалах, как правило, является тканая матрица из природных синтетических волокон или их смесей, а также стекло- и углеродных нитей или минеральных волокон. Кроме того, используются также и нетканые материалы.

Одним из условий обеспечения качества подобных материалов является равномерное распределение наполнителя в структуре матрицы, что частично отражено в работе [1].

С другой стороны, исследователи продолжают заниматься разработкой программного обеспечения, которое позволяло бы осуществлять компьютерное моделирование гидродинамических процессов распределения наполнителя в структуре матрицы [2].

При этом, принимая во внимание сложную структуру ткани, целесообразно учитывать различные пространственные факторы материала такие как форма поперечного сечения нитей, промежутки между ними и между слоями в случае их многослойности [3,4].

В настоящей работе сделана попытка использования программного продукта SolidWorks для численного 3D-моделирования процессов распределения наполнителя в зависимости от архитектуры тканой матрицы, скорости его проникновения в структуру материала и оказываемого давления.

В качестве объекта исследования была выбрана условная тканая матрица площадью 12×12 мм^2, имеющая различное количество нитей основы и утка, что, в свою очередь, приводит к изменению площади промежутков между ними и, как следствие, оказывает существенное влияние на параметры движения наполнителя в ее структуре. Количество нитей основы и утка составляло 3, 4 и 5, а расстояние между ними 6, 4 и 3 мм, соответственно. Поперечное сечение нитей представляло собой круг диаметром 1 мм.

На рис.1 представлена модель расчета движения жидкости через структуру тканой матрицы. Аналогичные модели получены и для двух других вариантов условной тканой структуры. При моделировании процесса движения жидкости в текстильной матрице была задана начальная скорость ее движения 5 м/с и давление на выходе соответствующее нормальному давлению окружающей среды (110325 Pa).

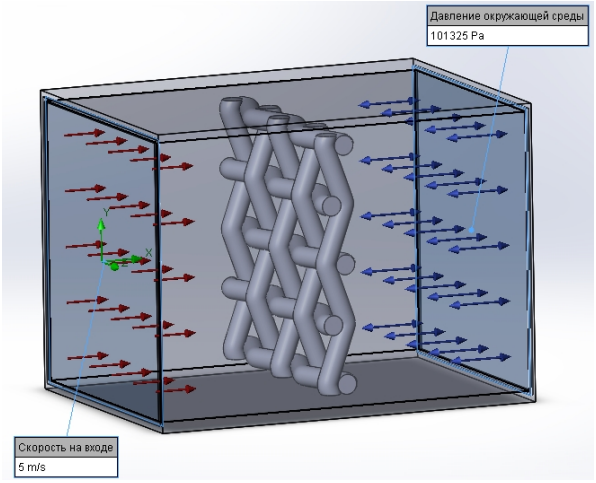


Рис.1. Модель расчета движения жидкости через структуру тканой матрицы

На рис.2 приведены цветовые диаграммы для расчета изменения скорости потока и давления наполнителя в процессе его движения свозь структуру матрицы. Кроме того, рисунок позволяет осуществить визуальную оценку возникающим местным сопротивлениям движению жидкости, обусловленным архитектурой тканой матрицы.

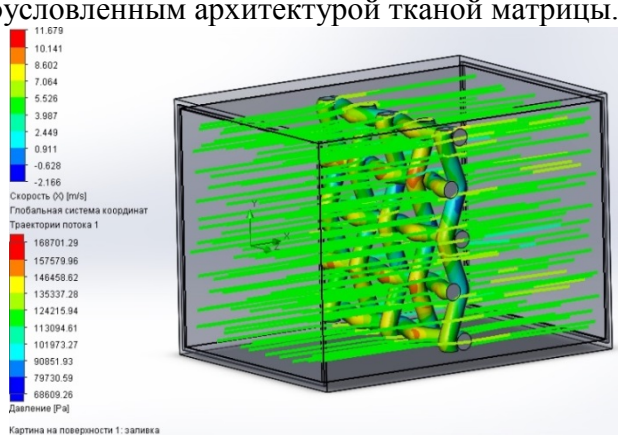
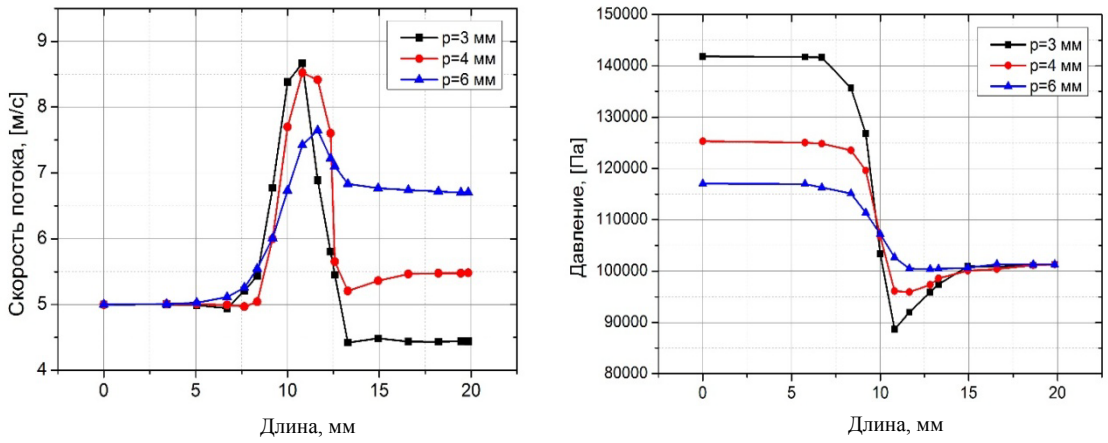


Рис.2. Результаты вычисления в программном комплексе SolidWorks

В результате выполнения численного 3D-моделирования получены зависимости изменения скорости потока (рис.3а) и давления наполнителя (рис.3б) при движении жидкости для всех трех вариантов тканой матрицы.

Представленные на рис.3а данные свидетельствуют о том, что скорость потока возрастает по мере его приближения к поверхности матрицы и достигает максимума при прохождении сквозь структуру образца, после чего наблюдается ее монотонное снижение.

Следует отметить, что увеличение количества нитей в основе и утке с 3-х до 4-х и, соответственно, уменьшения расстояния между ними с 5 до 4 мм практически не отражается на изменении скорости потока при прохождении его через тканую матрицу. В обоих случаях она составляет 8,5 м/с. В тоже время уменьшение количества нитей в основе и утке до 3 и увеличения расстояния между ними до 6 мм вызывает резкое падение скорости потока до 7.5 м/с, что примерно на 15% ниже, чем в первых двух случаях.



а б

Рис.3. Изменение скорости потока и давления жидкости при движении ее в тканой матрице

Представленные на рис.3б данные по изменению давления потока наполнителя при движении через тканую матрицу демонстрируют явную конгруэнтность с результатами, представленными на рис.3а.

Однако, необходимо обратить внимание на то, что в данном случае прослеживается более ярко выраженное влияние такого параметра матрицы как расстояние между нитями.

Так наибольший перепад давления жидкости наблюдается при ее движении через образец, имеющий по 5 нитей в основе и утке и расстоянии между ними 3 мм и составляет 36%. При уменьшении количества нитей в матрице до 4-х и увеличении расстояния между ними до 4 мм перепад давления составляет 24%. И, наконец, для последнего варианта с 3 нитями в основе и утке он не превышает 13%.

Полученные результаты позволяют осуществлять качественную и количественную оценку влияния архитектуры ткани на параметры движения жидкости в ее структуре.

Таким образом, использование программного продукта SolidWorks может быть с успехом использовано для численного 3D-моделирования процессов распределения наполнителя в тканой матрице при создании композитных материалов различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1.Endruweit A., Zeng X., Matveev M., Long A.C. Effect of yarn cross-sectional shape on resin flow through inter-yarn gaps in textile reinforcements // Composites: Part A. – 2018, №104, P. 139 – 150.

2.Nazarboland M.A., Chen X., Hearle J.W.S., Lydon R., Moss M. Modelling and simulation of filtration through woven media // International Journal of Clothing Science and Technology. – 2008, Vol. 20, Iss. 3, pp. 150 – 160.

3.Ершов С.В., Кузнецов В.Б., Калинин Е.Н. К вопросу о пропитке тканой матрицы наполнителем при создании композитных материалов // Молодые ученые — развитию текстильно-промышленного кластера (Поиск — 2018). Сборник материалов. – 2018.
4.Суворов И.А., Ершов С.В., Кузнецов В.Б.Компьютерное моделирование как инструмент в создании композитных материалов // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС - 2018). Сборник материалов – 2018, Часть 1, С. 17 – 19.

УДК 678.023:66

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРУЮЩЕГО САМОСПАСАТЕЛЯ

FEATURES OF DESIGN OF THE STRUCTURE OF THE FILTERING SELF-RESCUER

О.В. Метелева, М.В. Сурикова, С.В. Леппяковская
O.V. Meteleva, M.V. Surikova, S.V. Leppyakovskaya

Ивановский государственный политехнический университет
Ivanovo state polytechnical university
E-mail: olmet07@yandex.ru, surikovsm@mail.ru, leppya@mail.ru

Рассмотрена актуальность проектирования и совершенствования бытового фильтрующего самоспасателя. Выполнен анализ существующих систем крепления самоспасателей, выявлены основные недостатки, влияющие в целом на стабильность посадки, удобство пользования. Предложены элементы конструкции, обеспечивающие надежность посадки изделия, эффективность защиты самоспасателя.
Ключевые слова: самоспасатель, базовая конструкция, система крепления

Analytical estimate substantiations of the person parameters and a head for designing of the self-rescuer construction are received. The analysis of the existing systems of fastening of self-rescuers is made, the main shortcomings influencing in general stability of using, convenience of use are revealed. The design elements providing reliability of using of a product, efficiency of protection of the self-rescuer are offered.
Keywords: the self-rescuer, a base construction, system of fastening

Для защиты населения при пожаре и других чрезвычайных ситуаций разработаны десятки видов средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД). Человек не может планировать тип возможной чрезвычайной ситуации, поэтому в бытовой портативный самоспасатель должны быть заложены универсальные защитные свойства, обеспечивающие возможность его применения на пожаре, техногенной аварии, террористическом акте [1]. Некоторые существующие фильтрующие самоспасатели имеют небольшой вес (минимально 250-300 гр.), в карман или сумочку такой не положишь в силу его неудобных габаритов. Немаловажное значение имеет стоимость (самый дешевый от 2000 рублей). Защитные свойства СИЗОД не дают 100 % гарантии на спасение жизни людей до прибытия первой помощи (в течении 8-10 минут). Поэтому задача разработки мобильного бытового самоспасателя с приемлемым уровнем защитных свойств для населения является весьма актуальной.

В результате аналитических расчетов обоснованы размерные признаки лица и головы, необходимые для проектирования конструкции самоспасателя [2], минимальные параметры смотрового окна с учетом угла поля зрения по горизонтали [3]. Однако до сих пор остается открытым вопрос обеспечения плотности прилегания самоспасателя в области шеи и органов дыхания, а также стабильности посадки самоспасателя во время эксплуатации.

Целью настоящего исследования является разработка и исследование бытового компактного самоспасателя с улучшенными характеристиками надежности и эффективности защиты головы и органов дыхания человека за счет обеспечения стабильности посадки

изделия в области дыхательных органов, шеи и головы, в т. ч. с учетом их индивидуальных особенностей строения.

Проведенный анализ имеющихся на сегодняшний день самоспасателей выявил ряд недостатков систем крепления. Недостатком модели [4] является соскальзывание шнура оголовья в процессе эксплуатации и невозможность поправить его, поскольку он находится внутри капюшона, а вход в капюшон, расположенный снизу, дополнительно зафиксирован тесьмой. Это приводит к сползанию подмасочника, нарушению плотности прилегания, и, следовательно, к снижению защитных свойств капюшона в целом.

Недостатком системы крепления модели [5] является дискретность регулировки, что уменьшает возможность точной индивидуальной подгонки, так как в конструкции устройства отсутствуют эластичные элементы для обеспечения максимального прилегания. Размещение на лице, плотность и точность прилегания, обеспечиваемые за счет передних ремешков, могут вызывать захват волос пользователя, в случае не захвата волос – расстегивание головного крепления. Регулировка ремешков спрятана внутри шлема самоспасателя, осложнена и даже практически не осуществима внутри объема шлема.

В модели [6] возможность использования защитного шлема пользователями с различными антропометрическими данными головы и индивидуальными особенностями внешности может быть обеспечена только в случае выполнения его с параметрами, заведомо существенно превышающими размерные признаки головы потребителя. При таких размерах защитный самоспасатель, первоначально надетый на голову с расположением очкового узла напротив глаз, съезжая в результате движений пользователя, неизбежно будет занимать на голове положение, при котором смотровое окно будет смещено относительно глаз пользователя. Это приводит к сужению и без того ограниченного поля обзора, что в условиях плохой видимости при нахождении пользователя в зоне пожара, аварии или катастрофы, воздух которой содержит дым, пыль и затуманен, существенно усложняет эксплуатацию защитного самоспасателя. Еще одним недостатком описанного устройства является сложность регулирования плотности прилегания маски, осуществляемая изнутри капюшона, и невозможность обеспечения плотности прилегания по голове и к лицу при наличии очков и объемной сложной прически.

Спроектирован самоспасатель, который выполнен из двух видов огнестойкого материала: верхняя часть капюшона самоспасателя – из прозрачной полиимидной пленки, а нижняя часть – из тканого материала. Конструкция самоспасателя в области подмасочника повторяет его контуры, обеспечивая однозначность посадки самоспасателя в нижней части лица, шеи и головы, исключает сдвиги самоспасателя в процессе ориентации на голове при надевании и препятствует сползанию самоспасателя в результате движений пользователя, а значит, повышает надежность посадки.

Сзади и сбоку нижней части на уровне подмасочника на внешней поверхности капюшона самоспасателя расположено средство крепления самоспасателя в виде кулисы с эластичным элементом внутри, охватывающим голову в нижней затылочной части, и фиксатором для регулирования плотности затягивания. Система крепления подмасочника в виде кулисы конфигурирована для обеспечения плотного прилегания ко рту и носу пользователя, при этом ее легко надевать. Конструктивно кулиса располагается максимально близко (встык, внахлест) к подмасочнику. Эластичный элемент (в виде эластичной тесьмы или полоски тонкой резины) внутри кулисы имеет ширину порядка 3…5 см, что усиливает его надежность и долговечность и устраняет давление на голову при ношении самоспасателя, минимизирует дискомфорт и перекручивание в процессе одевания, повышает удобство, обеспечивает достаточно плотное прилегание подмасочника ко рту и носу пользователя. Эластичный элемент имеет ширину, достаточную для продевания в регулятор. Это может быть эластичный или неэластичный шнур. Между собой два разных по ширине эластичных элемента кулисы соединены неразъемным швом.

Надежная посадка самоспасателя может регулироваться индивидуально в зависимости от размера головы, индивидуальной прически. Конструкция кулисы и наличие

регулятора (фиксатора), расположенного сзади на внешней поверхности нижней части самоспасателя обеспечивают возможность простой регулировки и быстрой индивидуальной подгонки изделия для разных размеров головы и контуров лица, быстрое надевание/снятие капюшона в чрезвычайной ситуации. Оно может быть выполнено при первом тренировочном надевании самоспасателя и храниться в таком состоянии в течение срока годности.

В области шеи выполнен эластичный или неэластичный хлястик для фиксации самоспасателя и обеспечения его герметичности. Спереди его концы застегиваются на ленту велкро. Фиксация хлястика сзади нижней части самоспасателя обеспечивает его быстрое обнаружение в момент надевания. Отсутствие свободных концов хлястика спереди самоспасателя при надевании и последующее застегивание их на ленту велкро создает удобство и безопасность в момент использования самоспасателя.

В области лба самоспасателя между боковыми швами размещены две горизонтальные светоотражающие полосы, а по центру передней панели, исключая область зрения, – вертикальная полоса. Наличие светоотражающих полос позволяет сделать пользователя более заметным спереди и сбоку в условиях повышенной задымленности.

Достаточный объем пространства в волосистой части головы и глаз способствует удобству пользования самоспасателем для людей с очками, с объемными прическами (косами, бантами и т.п.).

Разработанный самоспасатель обладает герметичностью за счет плотности прилегания в нижней части головы и стабильности посадки, а также герметизации всех швов универсальным самоклеющимся пленочным материалом с внутренней стороны. Швы самоспасателя обладают достаточной прочностью в продольном и поперечном направлениях в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

Огнестойкость самоспасателя обеспечивается комбинированным применением огнестойких тканей, пленочных материалов, фильтрующих нетканых материалов. Важной составляющей разработки является мобильность самоспасателя в сложенном виде [7]. Предлагается способ складывания самоспасателя путем скручивания боковых сторон с последующим вкладыванием их в подмасочник. Это обеспечит компактность при хранении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брушлинский, Н. Н. О статистике пожаров и пожарных рисках / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. – № 4. – С. 40–48.

2. Антропометрическое исследование лица и головы и обоснование параметров для проектирования конструкции самоспасателя. / Коваленко Е.И., Метелева О.В., Сурикова М.В. // Известия вузов. Технология легк. пром-сти. – С-ПбУТД. – 2012. том 15. – № 1. – С. 51-55.

3. Экспериментальное определение параметров иллюминатора самоспасателя / Сурикова М.В., Метелёва О.В., Коваленко Е.И. // Известия вузов. Технология текст. пром-сти. – 2013. – № 1. – С. 113-116.

4. Пат. № 4382 Республика Беларусь, МПК A 62 B 15/00, A 62 B 17/00. Защитный капюшон / Астахов В.С.; Коробейникова А.; Подплетнева Г.В.; Астахов А.С.; Астахов А.М. (РФ); патентообладатель: Закрытое акционерное общество "Северо-Западный научно-технический центр "Портативные средства индивидуальной защиты" имени А.А. Гуняева" (РФ). – № 20070724, заявл. 17. 10.2007 опубл. 30. 06.2008. – 8 с.

5. Пат. 2523998 Российская Федерация, МПК A 62 B 18/02. Головной гарнитур респиратора со складывающимся головным креплением / Кастиглионе Д.М. (США), Миттелстадт У.А. (США), Холмквист-Браун Т.В. (США); патентообладатель: 3М Инновейтив Пропертиз Компани (США). – № 2012137181/12; заявл. 02.03.2011; опубл. 20.04.2014, Бюл. № 21.

6. Пат. 2289461 Российская Федерация, МПК A 62 B 18/00, A 62 B 17/00. Устройство защитное дыхательное / Фатхутдинов Р.Х. и др.; патентообладатель: ОАО "КазХимНИИ" (РФ). – № 2005101191/12, заявл. 19.01.2005; опубл. 20.12.2006, Бюл. № 35.

7. Разработка рекомендаций по применению материалов при изготовлении самоспасателя / Метелева О.В., Сурикова М.В., Леппяковская С.В. // Известия вузов. Технология текст. пром-сти. – 2016. – № 6 (366). – С. 166-172.

УДК: 677.076.4:677.494

ГЕОРЕШЕТКА С ГРАНУЛАМИ ПОЛИАКРИЛАТА НАТРИЯ

GEOCELL WITH GRANULES OF SODIUM POLYACRYLATE

Ю.А. Щепочкина
Ju.A. Shchepochkina

Ивановский государственный политехнический университет
Ivanovo State Politechnical University
E-mail: julia2004ivanovo@yandex.ru

Предложена георешетка не только выполняющая свои традиционные функции по укреплению грунтов, но и способствующая поглощению излишней влаги при обильном увлажнении почвы, и поступлению влаги к корневым системам растений в сухой почве за счет закрепленных на ее поверхности гранул полиакрилата натрия.
Ключевые слова: георешетка, полиакрилат натрия

The geogrid not only performs its traditional functions of soil strengthening, but also contributes to the absorption of excessive moisture in abundant soil moisture, and the flow of moisture to the root systems of plants in dry soil due to attached to its surface granules of sodium polyacrylate.
Keywords: geogrid, sodium polyacrylate

Задачи городского озеленения подразделяют на три основные группы: выращивание посадочного материала и цветов, создание новых объектов озеленения, уход за городскими зелеными насаждениями [1]. Все процессы озеленения непосредственно связаны с выращиванием разнообразных растений, остро реагирующих на неблагоприятные условия окружающей среды и нуждающихся в достаточном количестве влаги и питательных веществ. В городах для укрепления склонов и других подлежащих озеленению участков часто используют георешетки.

Для изготовления георешеток применяются разнообразные (полиэфирные, полиамидные, полипропиленовые, льняные и др.) текстильные волокна [2, 3]. Поверхность георешеток в большинстве случаев имеет покрытие гидрофобными веществами, продлевающими срок их службы. Георешетки в значительной мере препятствуют размыванию грунта дождями, вымыванию корневой системы растений, осыпанию склонов. Однако в жаркую и сухую погоду зеленые насаждения не всегда получают достаточное количество необходимой им влаги.

Нами предлагается [4] георешетка, не только выполняющая свои традиционные функции по укреплению грунтов, но и способствующая поглощению излишней влаги при обильном увлажнении почвы, и поступлению влаги к корневым системам растений в сухой почве.

Для получения такой георешетки за основу может быть взята выпускаемая промышленностью решетка, производимая на традиционном ткацком оборудовании. В частности, нами была использована крупноячеистая георешетка «Ультранит» на основе полиэфирных волокон, изготовленная ООО «Ультрастаб» (г. Тейково), рис.1. Поверхность ребер георешетки по принятой на предприятии технологии обработана гидрофобным составом на основе поливинилхлорида.

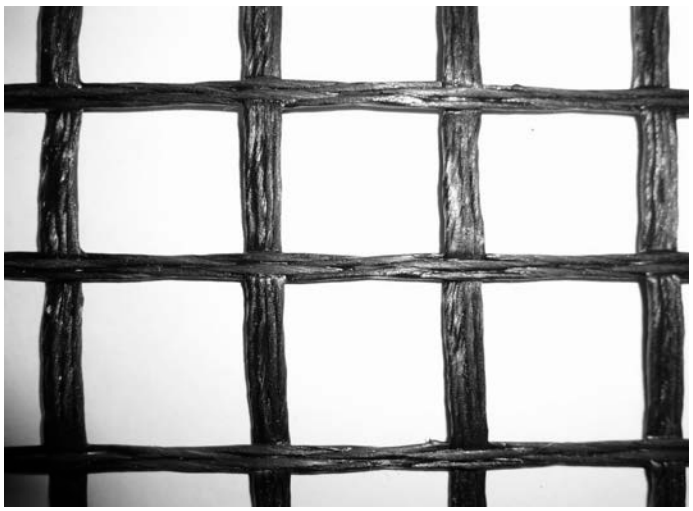


Рис.1. Фрагмент георешетки, изготовленной ООО «Ультрастаб»

Образцы георешетки укладывали на горизонтальную поверхность, после чего наносили на одну ее сторону слой (толщиной около 1 мм) клеящего вещества на основе модифицированного крахмала. В качестве клеящего вещества может быть использовано любое другое экологически безопасное водорастворимое или водонерастворимое клеящее вещество, не оказывающее отрицательного влияния на рост корневой системы растений и обладающее достаточной адгезией к поверхности георешетки и гранул полиакрилата натрия. Затем, на влажный слой клеящего вещества наносили гранулы полиакрилата натрия и отверждали слой клеящего вещества сушкой на воздухе. Для нанесения гранул полиакрилата натрия на другую сторону решетки, ее переворачивали и повторяли вышеуказанные операции.

Подготовленную георешетку (рис.2) укладывали в грунт, присыпали слоем почвы, вносили семена растений (травосмесь) после чего выполняли заделку семян на глубину 2 см и увлажнение. Допустимо также вносить семена растений непосредственно поверх уложенной в почву георешетки (при той же глубине заделки семян).

Отметим, что гранулы полиакрила могут быть непосредственно внесены в почву и без георешетки, например, вместе с семенами растений, однако при этом их распределение хаотично.



Рис.2. Фрагмент георешетки с нанесенным слоем клеящего водорастворимого вещества и гранулами полиакрилата натрия

Закрепленные на георешетке гранулы полиакрилата натрия впитывают избыточную воду из почвы при поливе растений, увеличиваясь в объеме (рис.3), и сохраняют влагу. Затем гранулы постепенно отдают влагу в почву, обеспечивая влагой корневую систему растений. При этом почва увлажняется равномерно. Этот процесс повторяется многократно и в течение длительного времени.



Рис. 3. Уложенный в грунт опытный образец георешетки

Подобная георешетка может быть рекомендована к использованию не только для укрепления подлежащих озеленению склонов, но и устройства декоративных, «мавританских» и спортивных газонов.

Выводы

1. Закрепленные на георешетке гранулы полиакрилата натрия впитывают избыточную воду из почвы при поливе растений, увеличиваясь в объеме, и сохраняют влагу. Затем гранулы постепенно отдают влагу в почву, обеспечивая влагой корневые системы растений. При этом почва увлажняется равномерно.

2. Георешетка с пропиткой может быть рекомендована к использованию не только для укрепления подлежащих озеленению склонов, но и устройства декоративных, «мавританских» и спортивных газонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гостев В.Ф., Юскевич Н.Н. Проектирование садов и парков. – М.: Стройиздат, 1991. – 340 с.

2. Карева Т.Ю., Толубеева Г.И., Шейнова Т.И. Новые структуры тканей для геотекстиля и анализ возможности их формирования на отечественном оборудовании / «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» (SMARTEX 2016): сб. материалов XIX Междунар. науч.-практ. форума, 23-27 мая 2016 года. – Иваново: ИВГПУ, 2016. – Ч. 1. – С.172-176.

3. Грузинцева Н.А., Овчинников А.А., Лысова М.А., Гусев Б.Н. Совершенствование номенклатуры показателей и оценки качества геотекстильных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 3. – С. 28-32.

4. Способ изготовления геосетки для грунта; пат. № 2649670 Российская Федерация. № 2017115116; заявл. 27.04.2017; опубл. 04.04.2018, Бюл. № 10. – 2 с.

УДК: 677.076.4:677.494

ГЕОРЕШЕТКА С ПРОПИТКОЙ ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ УДОБРЕНИЙ

GEOGRID IMPREGNATED WITH SOLUTIONS OF FERTILIZERS

Ю.А. Щепочкина
Ju.A. Shchepochkina

Ивановский государственный политехнический университет
Ivanovo State Politechnical University
E-mail: julia2004ivanovo@yandex.ru

Предлагается георешетка, вносящая питательные вещества в почву, стимулирующая развитие зеленых насаждений. Георешетка может быть использована для укрепления и озеленения слабых грунтов, склонов, устройства спортивных площадок, газонов.
Ключевые слова: георешетка, пропитка, удобрение

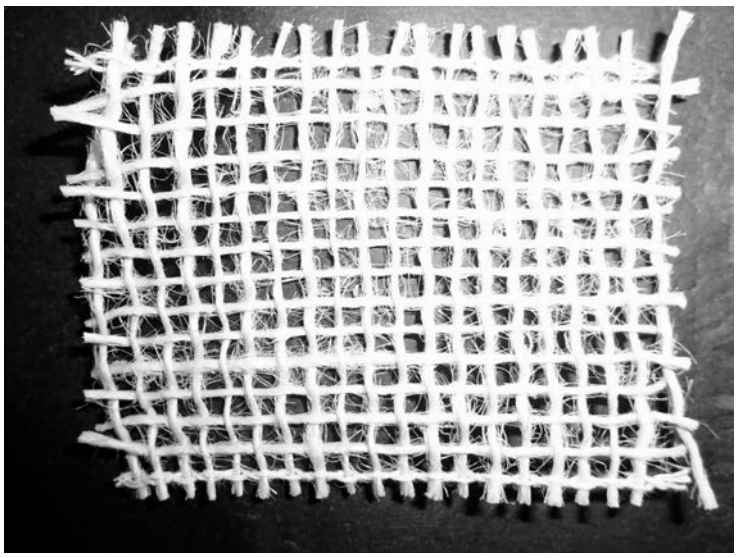
The geogrid is proposed, which brings nutrients into the soil, stimulating the development of green spaces. Geogrid can be used to strengthen and landscaping of weak soils, slopes, sports grounds, lawns.
Keywords: geogrid, impregnation, fertilizer

Все процессы озеленения непосредственно связаны с выращиванием разнообразных растений, остро реагирующих на неблагоприятные условия окружающей среды и нуждающихся в достаточном количестве питательных веществ. Почти на всех озелененных объектах нужны открытые пространства, на которых густо растет трава – газоны, луга (поляны, лужайки) [1,2]. С целью укрепления склонов, устройства газонов используются георешетки, которые могут быть изготовлены на основе разнообразных (полиэфирных, полиамидных, полипропиленовых, льняных и др.) текстильных волокон [3].

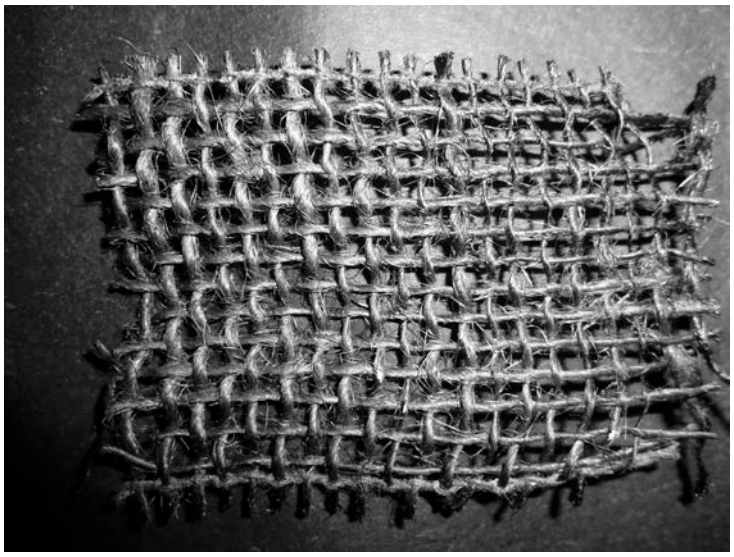
Современные георешетки изготавливаются как с защитными покрытиями, препятствующими их разложению в почве, и без таковых, разлагающиеся со временем в почве. Последние в начальный период их эксплуатации укрепляют грунт, а затем разлагаются в почве не нанося ущерба окружающей среде.

Нами предлагается георешетка [4], не только первоначально выполняющая свои традиционные функции по укреплению грунтов, но и вносящая питательные вещества в почву, стимулирующая развитие зеленых насаждений.

Для получения такой георешетки за основу может быть взята выпускаемая промышленностью тканая решетка, изготовленная, например, на основе льноволокнистых отходов. Для получения требуемого эффекта образцы (рис. 1) тканой георешетки пропитывали водными растворами удобрений и высушивали на открытом воздухе.



а)



б)

Рис. 1. Фрагмент разлагающейся в почве георешетки:
а) пропитанной раствором комплексного минерального удобрения «Агрикола»;
б) пропитанной раствором гумата

Для пропитки могут быть использованы водные растворы как минеральных (азотистых, фосфорных, калийных), так и органических удобрений.

Георешетку, пропитанную растворами удобрений, укладывают в грунт, присыпают слоем почвы, вносят семена растений (например, травосмесь) и выполняют их заделку на требуемую глубину. Допустимо также вносить семена растений непосредственно поверх уложенной в почву георешетки (при той же глубине заделки семян). При поливе растений питательные вещества постепенно вымываются из георешетки и поступают к корневой системе растений, стимулируя их рост.

Подобная георешетка может быть использована не только для укрепления и озеленения слабых грунтов, склонов, но и устройства партерных и обыкновенных газонов.

Выводы

1. Георешетка, пропитанная водными растворами минеральных и органических удобрений, постепенно выделяет питательные вещества (удобрения) в почву, что улучшает подкормку корневой системы растений.

2. Для пропитки георешетки могут быть использованы водные растворы как минеральных (азотистых, фосфорных, калийных), так и органических удобрений.

3. Георешетка с пропиткой может быть использована для укрепления и озеленения слабых грунтов, склонов, устройства спортивных площадок, газонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гостев В.Ф., Юскевич Н.Н. Проектирование садов и парков. – М.: Стройиздат, 1991. – 340 с.
2. Оформление ландшафта / Пер.с англ. – Челябинск: Урал, 1998. – 128 с.
3. Грузинцева Н.А., Овчинников А.А., Лысова М.А., Гусев Б.Н. Совершенствование номенклатуры показателей и оценки качества геотекстильных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 3. – С. 28-32.
4. Способ изготовления геосетки для грунта; пат. № 2640216 Российская Федерация. № 2017108227; заявл. 13.03.2017; опубл. 27.12.2017, Бюл. № 36. – 2 с.

УДК 677.074.3/5:665.9

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ТКАНЕЙ НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

INFLUENCE OF FABRICS SURFACE ROUGHNESS ON THE GLUE CONNECTIONS ADHESIVE DURABILITY

А.В. Баранов, О.В. Метелева, Л.И. Бондаренко, С.В. Леппяковская
A.V. Baranov, O.V. Meteleva, L.I. Bondarenko, S.V. Leppyakovskaya

Ивановский государственный политехнический университет
Ivanovo State Polytechnic University
E-mail: abaranov_52@mail.ru, olmet07@yandex.ru, bondarenko.ivanovo@yandex.ru, leppya@mail.ru

В работе проведен анализ влияния шероховатости поверхности полиэтилентерефталатных субстратов на процесс смачивания. Использованы жидкости различной природы, и также акрилатный «постоянно липкий адгезив». Установлен метастабильный гетерогенный характер смачивания субстратов акрилатным адгезивом. Показано, что реологическая теория адгезии может правомерно использоваться для объяснения получаемых результатов.

Ключевые слова: адгезия; смачивание; тестовая жидкость; краевой угол.

The analysis a surface roughness influence of polietilentereftalatny substrata on wetting process is carried out in this work. Liquids of various nature, and akrilatny "constantly sticky adhesive" are used also. The metastable heterogeneous nature of substrata wetting by akrilatny adhesive is established. It is shown that the rheological adhesion theory can legally be used for an explanation of the received results.

Keywords: adhesion; wetting; test liquid; regional corner.

В настоящее время широкое применение в различных сферах деятельности человека получили адгезивы, чувствительные к давлению (АЧД). Главной отличительной чертой АЧД является то, что они находятся в вязкотекучем состоянии в процессе формирования адгезионного соединения и в условиях эксплуатации. Вторым отличительным признаком АЧД является то, что они сохраняют свою липкость и после разрушения соединения, поэтому их часто называют «постоянно липкие адгезивы» [1], [2].

Одним из направлений использования АЧД является технология получения клеевых швов при изготовлении швейных изделий. Клеевые соединения, получаемые с помощью

АЧД, имеют ряд преимуществ по сравнению с другими видами неразъемных соединений: получение эластичного, прочного, надежного соединения различных материалов между собой и в различных сочетаниях; атмосферостойкость и стойкость клеевого шва к температурным воздействиям; герметичность соединения; возможность соединения тонких материалов и материалов различного волокнистого состава [3]. Основным недостатком, сдерживающим использование АЧД в технологии швейного производства, является сравнительно низкая прочность соединения.

Известно, что на прочность клеевого соединения влияет много факторов, в т. ч. свойства адгезива и склеиваемых материалов (субстратов). Среди них до сих пор малоисследованным фактором является влияние шероховатости поверхности субстрата на качество соединения. Управление параметрами адгезива (толщина, вязкость клеевого слоя) и образования клеевого соединения (давление и продолжительность его воздействия), учитывающими шероховатость субстрата (ткани), позволит обеспечить необходимую прочность получаемых клеевых соединений на его основе.

Целью данной работы являлось исследование влияния шероховатости поверхности субстратов на смачиваемость их жидкостями различной природы и на адгезионную прочность, получаемых с использованием АЧД клеевых соединений, для разработки метода оценки рельефа поверхности текстильных материалов и обеспечения их требуемой адгезионной прочности.

В качестве объектов исследования в работе были использованы: полиэтилентерефталатная (ПЭТФ) пленка толщиной 0,6 мм, обработанная наждачными бумагами с разным размером зерен; плащевые полиэфирные (ПЭф) ткани; тестовые жидкости (дистиллированная вода, глицерин, этанол, диметилформамид, диоксан, толуол); клеевая композиция на основе акриловой дисперсии Лакротэн Э-52.

В работе использовали *следующие* методы исследования: метод измерения краевого угла смачивания с использованием цифровой видеокамеры, метод исследования шероховатости поверхности материала с помощью профилометра модели 130, принцип действия которого основан на электрическом преобразовании механических колебаний алмазной иглы, возникающих при перемещении ее по неровностям исследуемой поверхности посредством индуктивного датчика. Оценку параметров шероховатости (рельефа) поверхности материалов осуществляли согласно ГОСТ 25142-82 [4]. Измерение адгезионной прочности осуществлялась методом расслаивания на универсальной испытательной машине ИР 5081-10 с программно-техническим комплексом, включающим IBM совместимый персональный компьютер. С помощью профилометра определяли все основные характеристики шероховатости исследуемых поверхностей. Анализ влияния шероховатости субстратов на величины краевого угла смачивания и адгезионную прочность проводили на основании среднего арифметического отклонения профиля *Ra*, определяемого как среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины [4]. Для каждого вида субстрата проводилось не менее пяти повторных измерений профиля поверхности. В качестве иллюстрации на рис.1 представлена профилограмма поверхности ПЭТФ – пленки.



Рис.1. Профилограмма поверхности ПЭТФ – пленки

Проведенное исследование на примере ПЭТФ – пленки показало, что все использованные в работе тестовые жидкости разделяются на две группы (рис. 2). Для одной группы жидкостей (вода, глицерин), обладающих «аномально» высокими значениями вязкости и поверхностного натяжения, наблюдается увеличение краевого угла смачивания ПЭТФ – пленки с ростом шероховатости, что свидетельствует об ухудшении смачиваемости поверхности.

Рис.2. Влияние шероховатости ПЭТФ-пленки на смачиваемость
ее тестовыми жидкостями

Для другой группы растворителей, обладающих низкими параметрами вязкости и поверхностного натяжения, наблюдается прямо противоположная картина, т. е. уменьшение краевого угла с ростом шероховатости поверхности субстрата. В данном случае имеет место хорошее смачивание, т. е. жидкость быстро заполняет микро- и нанонеровности и поэтому наблюдается гомогенный режим смачивания. Равновесное состояние в этом случае называют «состоянием Венцеля». При таком режиме смачивания краевой угол смачивания подчиняется уравнению Венцеля-Дерягина [5]:

$$\cos\theta_{В} = r \cdot \cos\theta_{Ю}\ , \qquad (1)$$

где r – коэффициент шероховатости, равный отношению полной площади всех граней шероховатости к площади граней шероховатостей в проекции на основание; $\theta_{Ю}$ – угол смачивания, определенный по закону Юнга для данного материала поверхности.

Увеличение краевого угла с ростом шероховатости в случае смачивания поверхности водой или глицерином обусловлено гетерогенным механизмом смачивания, при котором внутри впадин шероховатой поверхности находится воздух, т. е. фактически капли жидкости располагаются на дискретной воздушной подушке. Энергия границы раздела фаз «жидкость – газ» намного меньше энергии границы «твердое – жидкость», поэтому краевой угол при смачивании таких поверхностей также будет сильно отличаться от краевого угла Юнга и будет зависеть от соотношения площадей контактов «жидкость – газ» и «твердое – жидкость» в видимом контакте жидкости с поверхностью. Впервые такая модель была предложена Касси и Бакстером [6], [7]. Равновесное состояние в этом случае называют «состоянием Касси» (или «состоянием Касси-Бакстера»):

$$cos\,\theta_{К} = -1 + (1 - \varphi) \cdot \theta_{Ю}, \qquad (2)$$

где φ – доля площади смоченной поверхности (в проекции на основание).

Таким образом, для шероховатых поверхностей существует два основных режима смачивания: состояние Венцеля, в котором все полости рельефа поверхности заполнены жидкостью, и граница раздела фаз действительно представляет собой раздел фаз «жидкость – твердое», и состояние Касси, в котором внутри полостей рельефа поверхности стабилизированы пузырьки газа, и видимый контакт «жидкость – твердое» на самом деле представляет собой гетерогенную границу раздела фаз «жидкость – твердое – газ». Следует отметить, что состояние Венцеля термодинамически устойчиво и краевой угол с ростом шероховатости поверхности будет согласно формуле (1) либо снижаться при $\theta_{Ю} < 90°$, либо увеличиваться $\theta_{Ю} > 90°$.

В отличие от состояния Венцеля состояние Касси термодинамически устойчиво лишь для гидрофобных поверхностей ($\theta_{Ю} > 90°$). В случае гидрофильных поверхностей ($\theta_{Ю} < 90°$), как например с ПЭТФ–субстратом (см. рис. 2 и рис. 3) состояние Касси является метастабильным и с течением времени неминуемо должен произойти переход в состояние Венцеля, т. е. режим гомогенного смачивания.

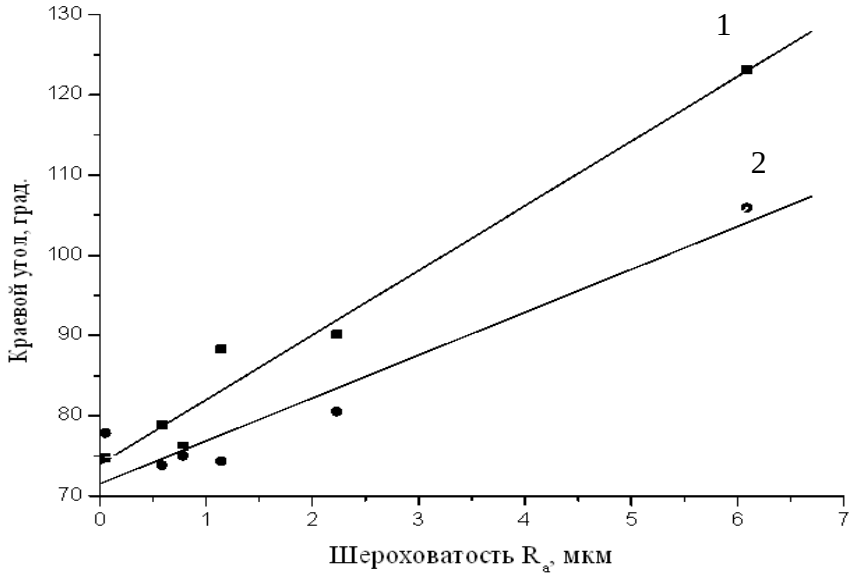


Рис.3. Влияние шероховатости материалов (пленка, ткань) на краевой угол смачивания дистиллированной водой (1) и клеевой композицией на основе акрилатной эмульсии (2)

Изучение влияния шероховатости на краевой угол смачивания субстратов и адгезива (ткани, пленка) клеевой композицией на основе Лакротэн Э-52 показало (см. рис. 3), что режим смачивания данным адгезивом является гетерогенным, и это обстоятельство приводит в свою очередь к появлению ярко выраженной кинетики нарастания адгезионной прочности клеевого соединения (рис. 4). Прочность адгезионного соединения увеличивается во времени, асимптотически приближаясь к некоторому предельному значению. Увеличение адгезионной прочности клеевого соединения во времени свидетельствует о постепенном переходе гетерогенного смачивания поверхности ткани адгезивом к гомогенному, т. е. состоянию Венцеля. Время достижения максимального значения адгезии зависит, в первую очередь от вязкости адгезива, а также от шероховатости субстрата [8]. Согласно реологической теории адгезии прочность соединения определяется величиной площади контакта адгезива с субстратом.

1 – ткань Action Mistral
2 – ткань Action Jaguar
3 – ткань с отделкой лаке (лицевая сторона)
4 – ткань с отделкой лаке (изнаночная сторона)
5 – ткань Таффета

Рис.4. Кинетика нарастания адгезионной прочности клеевой композиции к ПЭф – тканям

В рамках подхода Уошборна в работе [9] предложено уравнение, описывающее кинетику изменения площади контакта субстрата с адгезивом в процессе формирования соединения:

$$S = \pi^2 d^2 \sqrt{\frac{Pt}{\eta}}, \quad (3)$$

где η − вязкость адгезива, d – средний диаметр пор, t – время контакта, P – давление сжатия адгезионного соединения.

Согласно выражению (3) кинетические кривые нарастания адгезионной прочности должны линеаризоваться при использовании $t^{0,5}$. Представленные на рис. 5 анаморфозы кинетических кривых свидетельствуют о том, что реологическая теория может служить основой для объяснения механизма образования клеевых соединений, получаемых с использованием «постоянно липких адгезивов».

Рис. 5. Кинетика нарастания адгезионной прочности клеевой композиции к ПЭф - тканям в координатах уравнения (3) (обозначения согласно рис. 4)

Таким образом, на основании полученных данных установлен гетерогенный характер смачивания на начальной стадии ПЭТФ-субстратов акрилатным адгезивом «постоянной липкости». Показана правомерность использования для объяснения полученных результатов по влиянию шероховатости поверхности субстрата на прочность клеевых соединений реологической теории адгезии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чалых, А.А. Влияние деформационно-прочностных характеристик полимеров на их адгезионные свойства: дис. канд. хим. наук : 02.00.04 / А.А.Чалых. – М.: ИОНХ РАН, 2003. – 170с.

2. Бовальдинова, К.А. Получение и свойства «умных» чувствительных к давлению адгезивов на основе интерполимерных комплексов: дис. … канд. хим. наук : 02.00.06 /К.А. Бовальдинова. – М.: ИНЭОС РАН, 2018. – 165с.

3. Сурикова, М.В. Соединение защитных материалов при использовании самоклеющегося пленочного материала / М.В. Сурикова, О.В. Метелева, Е.И. Коваленко // Известия вузов. Технология текст. пром-сти. – 2013. – № 5 (347). – С. 101 – 104.

4. ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения. – Введен 01.01.1983. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 22 с.
5. Wenzel, R.N. Resistance of solid surfaces to wetting by water / R.N. Wenzel // Ind. Eng. Chem. – 1996. – № 28(8). – P. 988–994.
6. Cassie, A.B.D. Large contact angles of plant and animal surfaces / A.B.D. Cassie, S. Baxter // Nature. – 1995. – № 155(3923). – P. 21–22.
7. Бойнович, Л. Б. Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применение / Л. Б.Бойнович, А. М. Емельяненко // Успехи химии. – 2008. – №77 (7). – С. 619-638.
8. Щербина, А.А. Переходные зоны в полимерных адгезионных соединениях. Фазовые равновесия, диффузия, адгезия : дис. … канд. хим. наук : 02.00.06 / А.А.Щербина. – М.: ИФХЭ РАН, 2016. – 411с.
9. Гуль, В.Е. Адгезия полимеров / В.Е. Гуль, Л.Л. Кудряшова. − М.: Изд. АН СССР, 1968. − С. 134−136.

УДК 677.021.051+678.7

ВЛИЯНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ДИССИПАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

INFLUENCE OF CELLULOSIC FILLERS ON DISSIPATIVE PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITE MATERIAL

С.А. Кокшаров
S.A. Koksharov

Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук (г. Иваново)
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences (г. Ivanovo)
E-mail: ksa@isc-ras.ru

В сообщении приведены результаты оценки площади удельной поверхности льняной костры в сравнении с параметрами для хлопковых и льняных волокнистых материалов и древесных опилок. Прослежена взаимосвязь с эффективностью использования льняной костры в качестве тиксотропной добавки к нефтебитумной вибропоглощающей композиции.

Ключевые слова: целлюлозные материалы, удельная поверхность, полимерные композиты, наполнители, демпфирование.

The report presents data on the specific surface area of flax shive in comparison with cotton and linen fibrous materials and wood sawdust. The results correlate with the effectiveness of the use of a flax shive as a thixotropic additive to the oil-bituminous damping composite materials.

Keywords:cellulose materials, specific surface area, polymer composites, fillers, damping.

Программа реализации проекта межрегионального кластера по выращиванию и глубокой переработке льноволокна в период с 2018 по 2022 годы предполагает восстановление полной технологической цепочки льняного производства, от выращивания льна до выпуска конечной продукции из льняных и полульняных тканей. Выпуск льноволокна должен достичь уровня 100 тыс. тонн в год, что обеспечит объем реализации текстильной продукции на сумму порядка 8200 млн. рублей в год. Масштабность проекта можно оценить в сопоставлении с аналитической информацией крупнейшей в мире статистической базы данных в области продовольствия и сельского хозяйства FAOSTAT [1], согласно которой объем мирового производства льняного волокна в 2015 и 2016 г.г. составил 750-800 тыс. тонн в год.

Наряду с задачами рационального использования льноволокна возрастает актуальность поиска эффективных методов переработки отделяемой древесной части льняного стебля – костры, удельный выход которой составляет более 2,5 тонн на 1 т полученного волокнистого сырья. Часто льняную костру используют на постилку скоту, либо прессуют в топливные брикеты. Техническое применение костра находит в производстве строительных материалов: древесных плит, древесно-цементных композитов. Имеются рекомендации по применению костры для получения сорбционных и фильтрующих материалов. В настоящем исследовании проводится оценка перспективности использования костры в качестве наполнителя полимерных композиций при получении вибропоглощающих материалов.

Производство вибропоглощающих материалов – это активно развивающаяся сфера создания полимерных композитов, применяемых для защиты технических объектов во всех сферах производственной деятельности, включая объекты машиностроения (автопром, авиа-, судо-, станко-, лифто-, вагоностроение, сельскохозяйственная техника), промышленного и жилищного строительства, инженерных коммуникаций и т.д. Самый емкий сектор применения вибропоглощающих материалов – это автомобильная промышленность. По данным Grand View Research, емкость рынка средств защиты от вибраций в автомобильной промышленности оценивается в 8 млрд. долл. США ежегодно [2]. Суммарная емкость отечественного рынка в машиностроении оценочно составляет 16,2 млрд. руб. в год. Спрос на звуко- и вибропоглощающие материалы в строительной отрасли может достигать 700 млн. рублей.

Существует много видов виброматериалов, которые объединяет одно общее качество: в их состав обязательно входит вязкий материал, изготовленный из битума, синтетического каучука и т.п. Благодаря наличию в них большого внутреннего трения, а соответственно и механических потерь, они хорошо гасят колебания. Используя вибропоглощающие изделия, можно достичь уменьшения уровня шумов до 85% в диапазоне частот от 20 до 2000 Гц. Не смотря на то, что диссипация энергии обеспечивается непосредственно полимерным компонентом, его содержание в композиции, как правило, не превышает 30 масс.%, а эффективность вибропоглощения во многом определяется комплексом добавок минеральной и органической природы. Более половины массы приходится на наполнители, преимущественно твердые неорганические материалы: мел, слюда, тальк, графит, каолин и проч. Согласно представлениям [3], имеется три механизма проявления благоприятного воздействия наполнителя на диссипативные свойства композита:

– трение между контактирующими частицами наполнителя, например, в агрегатах частиц;

– трение между полимером и наполнителем при отсутствии адгезии между ними;

– повышение механических потерь в зоне границы раздела вследствие изменения структуры вяжущего в поле действия поверхностных сил наполнителя.

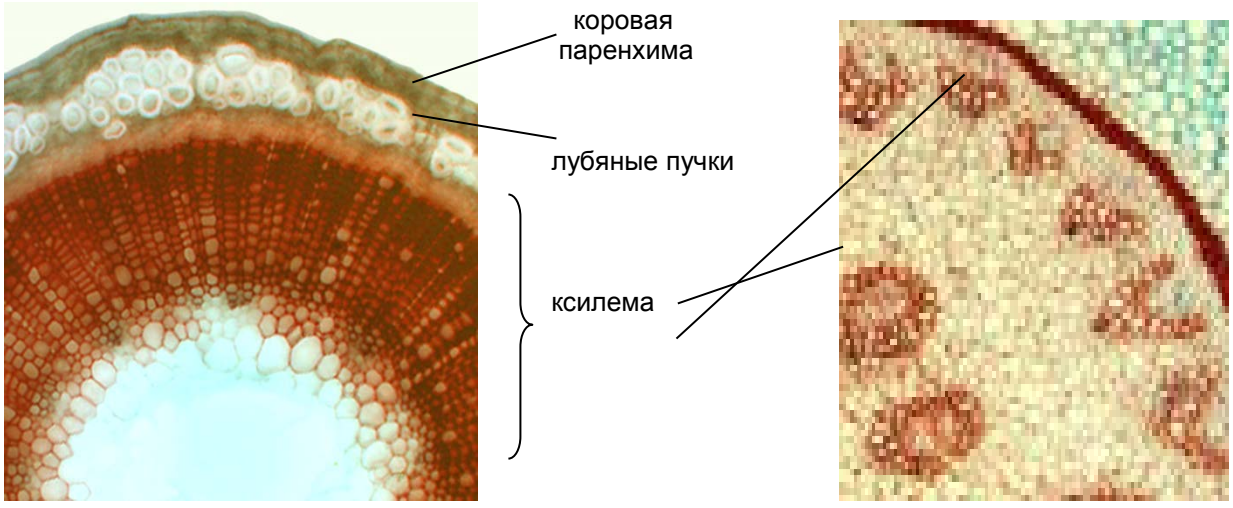
Наибольшее усиление диссипативных свойств обеспечивают чешуйчатые наполнители и волокнистые. Добавки волокнистых наполнителей (в т.ч. минеральных и органических) имеют особое значение, поскольку обеспечивают ряд дополнительных ценных качеств, связанных с повышением пластичности вибропоглощающих покрытий. Это определяет их функцию тиксотропной добавки, расширяющей возможности применения материалов для монтажа на поверхности со сложным рельефом (острые углы, изгибы, неровности и др.), а также обусловливает их пригодность к переработке заготовок с закрепленным демпфирующим покрытием (глубокой вытяжке, штамповке, профилированию). Немаловажное значение имеет расширение частотного и температурного диапазона проявления диссипативной активности материалов, модифицированных древесными опилками [4], и повышение морозостойкости покрытий, содержащих в рецептуре вязкоупругого слоя отходы производства хлопка [5].

Важной структурообразующей характеристикой наполнителя является величина площади его удельной поверхности $S_{уд}$. Согласно принятой градации активности наполнителя [6] вещества с $S_{уд}$ до 10 м^2/г считаются инертными, до 60 м^2/г – полуактивными,

свыше 60 м^2/г – высокоактивными. В частности, широко используемые препараты слоистых силикатов, например, цеолита в природной немодифицированной форме характеризуются значениями $S_{уд}$ на крайне низком уровне 0,05…0,23 м^2/г. Величина показателя для гипса строительного с размером частиц 80 мкм составляет 0,13 м^2/г, для талька с длиной пластинок 4,7 мкм – 8,1 м^2/г. Целлюлозные тиксотропные добавки также не относятся к числу активных наполнителей. Согласно данным [7] внутренняя поверхность хлопка, определенная по данным адсорбции азота, составляет 0,72 м^2/г, а для древесных опилок величина $S_{уд}$ колеблется в диапазоне от 2 до 6 м^2/г [8].

Для повышения активности минеральных наполнителей весьма продуктивными могут стать освоенные нами методы ультрадиспергирования и получения стабильных нанодисперсных форм, которые многократно превосходят влияние микродисперсных аналогов в эффективности структурной модификации связующего в полимерно-волокнистых композитах и полимер-цементных материалах [9, 10]. В частности, уменьшение размера частиц хлорида кальция с 20 мкм до 100 нм обеспечивает увеличение величины $S_{уд}$ с 0,02 до 67,3 м^2/г. Это позволяет в 30 раз сократить количество упрочняющей добавки для обеспечения эквивалентного возрастания предела прочности силикатного композита [11]. Аналогично снижение размера частиц упрочняющей добавки с 500 нм до 3-5 нм позволяет увеличить прирост модуля упругости полимерно-волокнистых композитов с 1,9 до 7 раз при одинаковой массовой доле модификатора [12]. Перспективными могут стать применение полимерных наполнителей с высокоразветвленной структурной организацией, а также методы локальных изменений микрорельефа синтетических волокон, которые с успехом применены для регулирования упругодеформационнных свойств полимерно-волокнистых композитных материалов [13-15].

Применение льняного сырья позволяет существенно усилить роль целлюлозных наполнителей. Даже в исходном, не подготовленном виде льноволокнистые материалы характеризуются удельной поверхностью более 15 м^2/г по данным адсорбции азота [16] и 11,7 м^2/г по сорбции йода [17]. Еще более высоким «потенциалом активности» обладает льняная костра, основу которой, как показано на рисунке (фрагмент «а»), составляет ксилема – проводящая ткань, обеспечивающая движение впитываемой из почвы влаги в процессе онтогенеза растения. В отличие от большинства травянистых растений с пучковым типом расположения проводящих тканей в структуре стебля (фрагмент «б»), стебель льна имеет характерный для древесных растений непучковый тип строения, в котором ксилема образует мощный сплошной слой, образованный правильными рядами полых трахеальных элементов (трахеи и трахеиды).



а) б)

Рис.1. Микроснимки поперечного среза льняного стебля (а) и клевера (б)

Средние значения радиального диаметра гистологических элементов ксилемы льна варьируют от 15 до 30 мкм, а толщина клеточных стенок составляют от 2 до 5 мкм. В стенках трахеид имеется большое количество поровых отверстий для радиального перераспределения влаги и питательных веществ к живым клеткам периферийных слоев. Специфика строения льняной ксилемы предопределяет наличие высокоразвитой внутренней поверхности.

Оценка параметров поровой структуры сравниваемых целлюлозных материалов проведена в сопоставимых условиях методом низкотемпературной адсорбции-десорбции азота на автоматическом анализаторе Nova Series 1200e с программным обеспечением NOVA Win-2.1 для расчета площади удельной поверхности материалов методом Brumauer–Emmett–Teller (BET). Результаты измерений формируют следующий ряд по нарастанию $S_{yд}$ ($м^2/г$):

2,4 (хлопковые угары) < 6,1 (древесные опилки) < 14,7 (льняные угары) < 33,1 (костра).

Модельные эксперименты по оценке влияния целлюлозных наполнителей проведены на примере битумной композиции по патенту [18], содержащей (масс. ч.): битум нефтяной БН 90/10 -100; графит – 10; каолин – 70; тальк – 50; целлюлозный наполнитель – 0 / 45. Экспериментальные образцы композитов получали путем калибрования жгута нагретой до размягчения композиции с помощью валковой пары в лист толщиной 2 мм. Определение коэффициента механических потерь осуществляли методом вынужденных резонансных колебаний [19] на установке для измерения динамического модуля упругости консольно зажатого составного стержня (стальная демпфируемая пластина толщиной 1 мм с вибропоглощающим материалом).

Между упруго-деформационными свойствами полимерно-волокнистых композитов и их вибродемпфирующей способностью существует прямо пропорциональная взаимосвязь. В общем виде она вытекает из известного соотношения коэффициента механических потерь демпфируемой пластины с нанесенным слоем вибропоглощающего материала [20]:

$$\eta_{12} = \eta_2 \frac{\alpha\chi}{1+\alpha\chi} \times \frac{3+6\chi+4\chi^2+\alpha\chi^3+\alpha^2\chi^3}{1+2\alpha\chi(2+3\chi+2\chi^2)+\alpha^2\chi^4}, \quad (1)$$

где η_{12} – коэффициент механических потерь многослойного образца, η_2 – коэффициент механических потерь полимерной композиции; $\alpha = E_2/E_1$, где E_2 и E_1 – динамические модули материала вибропоглощающего слоя и демпфируемой пластины соответственно; $\chi = h_2/h_1$, где h_2 и h_1 – толщины материала и демпфируемой пластины соответственно.

Для условий проведения эксперимента соотношение $h_2/h_1=2$ является постоянной величиной, а динамические модули стали (демпфируемой пластины) и вибропоглощающего слоя имеют порядок 10^{11} и 10^8 $Н/м^2$ соответственно. В этом случае выражение (1) упрощается до соотношения [21]:

$$\eta_{12} = 62\eta_2 E_2 / E_1 . \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что при равной толщине материала вибропоглощающего слоя его эффективность прямо пропорциональна произведению коэффициента потерь вибропоглощающего материала η_2 на его динамический модуль E_2. Результаты экспериментального определения характеристических параметров исследуемых образцов приведены в таблице.

Таблица 1

Сопоставление влияния целлюлозных наполнителей на динамические свойства нефтебитумной композиции и вибропоглощение демпфируемой пластины

Наполнитель	η_2, у.е.	$E_2 \cdot 10^{-8}$, Н/м^2	η_{12}, у.е.
-	0,37	6,5	0,074
хлопковые угары	0,38	6,9	0,081
древесные опилки	0,42	6,9	0,09
льняные угары	0,50	7,6	0,118
льняная костра	0,62	8,2	0,158

Следует обратить внимание, что хлопковый наполнитель и древесные опилки практически одинаково изменяют показатель E_2, характеризующий способность полимерной композиции воспринимать колебательную энергию и передавать ее по объему. Вместе с тем возрастающие значения коэффициента механических потерь η_2 показывают, что за исключением хлопка другие виды целлюлозного наполнителя способствуют увеличению количества энергии, которую полимерный слой может рассеять (перевести в тепловую энергию колебательных движений термопластичной полимерной основы). Для льняных материалов прирост наблюдается для обеих характеристик динамических свойств битумной композиции, что определяет совокупное увеличение коэффициента механических потерь составного образца с демпфируемой пластиной в 1,6 и 2,1 раза для рецептурных вариантов с добавками льняного волокна и льняной костры соответственно.

Для всех характеристик диссипативной способности наполненных полимерных вибропоглощающих материалов наблюдаются удовлетворительные корреляции с показателем удельной поверхности целлюлозного модификатора:

$$\eta_2 = 0{,}365 + 0{,}0095 \cdot S_{уд} - 5 \cdot 10^{-5} S_{уд}^2; \quad R^2 = 0{,}9988;$$

$$E_2 = (6{,}6356 + 0{,}056 \cdot S_{уд} - 0{,}0001 \cdot S_{уд}^2) \cdot 10^{-8}; \quad R^2 = 0{,}9848;$$

$$\eta_{12} = 0{,}0745 + 0{,}0028 \cdot S_{уд} - 6 \cdot 10^{-6} S_{уд}^2; \quad R^2 = 0{,}9985.$$

Таким образом, результаты проведенных исследований демонстрируют возможность эффективного применения малоиспользуемого сырьевого ресурса - льняной костры - в производстве вибропоглощающих материалов. Преимущества данного вида наполнителя в сравнении с хлопковыми и льняными угарами или древесными опилками обусловлены повышенным уровнем внутренней удельной поверхности целлюлозного наполнителя. Выявленные корреляции позволяют предполагать, что, добиваясь при модификации целлюлозного наполнителя повышения $S_{уд}$ до 60 м^2/г и более, можно достичь трехкратного увеличения показателя η_{12}.

ЛИТЕРАТУРА

1. Flax fibre and tow production in 2015-2016; Crops/Regions/World List/Production Quantity (from pick lists). UN Food and Agriculture Organization, Statistics Division // Электронный ресурс. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC. (Дата обращения 28.05.2018).

2. Automotive Noise, Vibration & Harshness Materials Market Analysis By Product (Molded Rubber, Metal, Foam & Film Laminates, Molded Foam, Engineering Resins) By Application (Absorption), By End-use & Segment Forecasts, 2018–2025 // Электронный ресурс. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/automotive-nvh-materials-market). (Дата обращения 04.05.2018).

3. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. М.: Химия, 1978. 301 с.

4. Черкасов, В. Д. и др. Влияние наполнителей на диссипативные свойства полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы // Региональная архитектура и строительство. 2016. № 2. С. 10-16.

5. Патент РФ №2542291. Невысыхающая резиновая смесь / Воскун М.Д. и др.- Заявл. 23.07.2013. Опубл. 20.02.2015.
6. Nushak L., Lytin P., Bachiany B. Light filler for polymer // Gumml-Asbast-Kunstoffe. 1984. Vol. 42. N11. P. 584–592.
7. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. - М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1962. 712 с.
8. Просвирников Д. Б. и др. Исследование процесса делигнификации древесины, предварительно активированной паровзрывной обработкой // Вестник технологического университета. 2015. Т.18. №22. С. 103-106.
9. Koksharov S.A. et al. Condition of the Mechanoactivated Calcium Chloride Solution and its Influence on Structural and Mechanical Characteristics of Cement Stone // Eurasian Chemico-Technological Journal. 2015. Vol. 17. N4. P. 327-333.
10. Кокшаров С.А. О применении метода динамического светового рассеяния для оценки размера наночастиц в бикомпонентном гидрозоле // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2015. № 1. С 33-36.
11. Кокшаров С.А. и др. Анализ влияния дисперсности хлорида кальция в механоактивированном растворе на структуру и свойства цементного камня // Строительные материалы. 2016. №1-2. С. 55-61.
12. Кокшаров С.А., Корнилова Н.Л., Федосов С.В. Получение армированных композиционных материалов с нанопористым текстильным носителем и щеточным строением полимерного межфазного слоя // Российский химический журнал. 2015. Т. 59. №3. С. 112-123.
13. Koksharov S.A., Kornilova N.L., Fedosov S.V. Development of reinforced composite materials with a nanoporous textile substrate and a brush-structured polymer interfacial layer // Russian Journal of General Chemistry. 2017. Vol. 87. N6. P. 1428-1438.
14. Kornilova N., Koksharov S., Arbusova A. et al. Development of reinforced interlining materials to regulate elastic properties // Indian Journal of Fibre & Textile Research. 2017. Vol. 42. P. 150-159.
15. Кокшаров С.А., Корнилова Н.Л., Федосов С.В. Модификация полиэфирного волокна для создания композитных материалов с регулируемой жесткостью // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2016. Т. 59. № 6. С. 105-111.
16. Nikiforova T.E., Kozlov V.A. Regularities of the effects of the nature of polysaccharide materials on distribution of heavy metal ions in a heterophase biosorbent-water solution system // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2016. Vol. 52. N3. 399–424.
17. Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А. Технологические подходы к биомодификации структуры льняного волокна для получения сорбционных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. №1. С. 319-324.
18. Патент РФ 2188214. Виброшумопоглощающий листовой материал и способ его получения / Воскун М.Д. и др.- Заявл. 01.11.2000; Опубл. 27.08.2002
19. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция.- Л.: Судостроение. 1986, 386 с.
20. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики. СПб.: Политехника. 2000. 482 с.
21. Милонова Н.А.и др. Применение полимерных волокон для регулирования вибропоглощающих свойств композиционных материалов // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2003. Т. 46. № 1. С. 74–76.

УДК 677.021.051+678.7

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЛЬНЯНОЙ КОСТРЫ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЯЗКОУПРУГИХ ДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

APPLICATION OF MODIFIED FLAX SHIVE TO GAIN THE DYNAMIC PROPERTIES OF VISCOELASTIC DAMPING MATERIAL

С.А. Кокшаров
S.A. Koksharov

Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук (г. Иваново)
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences (г. Ivanovo)
E-mail: ksa@isc-ras.ru

В сообщении прослежено влияние химической и ферментативной модификации льняной костры на изменение содержания полимерных компонентов и площади удельной поверхности материалов. Показаны преимущества биохимической аморфизации лигнина для использования льняной костры в качестве тиксотропной добавки к нефтебитумным вибропоглощающим композиционным материалам.

Ключевые слова: льняная костра, биомодификация, удельная поверхность, полимерные композиты, наполнители, демпфирование.

The report traces the influence of chemical and enzymatic treatments of a flax shive on the change in the content of polymer components and the surface area of material. The advantages of biochemical amorphization of lignin for the use of flax shive as a thixotropic additive to the oil-bituminous damping composites.

Keywords: flax shive, biomodification, specific surface area, polymer composites, fillers, damping.

Термин «умные материалы» в расширенном его понимании предполагает, прежде всего, высокий уровень интеллектуальной проработки технологии их создания, что обусловливает достижение новой совокупности функциональных свойств, новых качественных критериев потребительской ценности продукции. В этой связи одним из ключевых направлений в создании прогрессивных материалов, отвечающих современным требованиям экологической безопасности и обладающих уникальными функциональными свойствами, является неуклонное расширение использования армированных полимерных композиционных материалов (АПКМ), историческое начало которому было положено в 40-х годах XX века на базе организуемого промышленного производства компонентов стеклопластика. Главными преимуществами применения материалов на основе стекло- и углепластиков для замены металлических конструкций, прежде всего, являются снижение массы и материалоемкости деталей в сочетании с сопоставимой совокупностью физико-механических характеристик. В числе важных достоинств использования АПКМ в сознании сложных технических объектов следует отметить возможности получения конструктивных элементов любых пространственных форм и замены нескольких деталей одной (т.е. уменьшения узлов соединения, что актуально в плане обеспечения герметичности), простоту ремонта и исключение операции покраски, коррозионную стойкость, радиопрозрачность, магнитную инертность и др.

Вместе с тем практика создания и целенаправленного изменения структуры и свойств АПКМ позволяет выявлять новые их функции. В качестве примера можно привести разработки ЦНИИ КМ «Прометей» по созданию перспективных видов триботехнических материалов [1]. Созданные композитные антифрикционные материалы для использования в узлах трения вместо бронзы или баббита не только снизили вес деталей, но и обеспечили переход с масляной смазки на водную, что является практическим шагом в удовлетворении возрастающих экологических требований к среде обитания. Примером успешного применения АПКМ для решения задач снижения уровня шума и вибрации в машинном отделении судов является создание специалистами ФГУП «Крыловский государственный

научный центр» композиционных соединительных муфт большой мощности (крутящий момент до 230 кН/м), которые позволяют компенсировать расцентровки соединяемых валов до 10 мм [2].

Характерные для полимерных композитов уровни диссипации энергии превосходят аналогичные показатели для металлов и сплавов на 1-2 десятичных порядка. В связи с этим в настоящее время при замене традиционных материалов композитными демпфирование рассматривается уже не как полезный вторичный эффект, а как один из основных параметров проектирования конструкций [3–4]. Наличие устойчивого интереса к проблеме рассеяния энергии слоистыми композитными конструкциями подтверждается в ряде обзоров, содержащих анализ работ на данную тему [5–9].

В настоящее время наибольшее практическое применение находят угле- и стеклопластики. Однако и они не лишены технологических недостатков. В частности, отсутствие отечественной сырьевой базы для получения углеродного волокна и известные трудности его переработки, обусловленные высокой жесткостью и хрупкостью волокон, дополняются отсутствием шумо- и вибропоглощающей способности композитов на его основе, а также невозможностью их повторной переработки и связанными с этим экологическими проблемами утилизации. Стеклопластики в результате поглощения морской воды в течение 1-2 месяцев снижают механическую прочность на 10-15 %. Это обусловлено наличием в структуре стекловолокна значительного количества пор и микротрещин, не заполненных полимерным связующим в связи с отсутствием химических взаимодействий на границе раздела фаз.

С учетом острых задач, связанных с необходимостью повышения экологичности полимерных композитов, большое внимание уделяется использованию волокнистых наполнителей из возобновляемых природных ресурсов и, прежде всего, льноволокнистых материалов. Весьма показательны приведенные в табл. 1 данные западноевропейской компании NATEX, которая достигла немалых успехов в разработке и изготовлении АПКМ с использованием натуральных волокон как по препреговой, так и по инфузионной технологиям [10], а также сведения о сравнительной стоимости наполнителей [11].

Таблица 1

Свойства АПКМ на основе армирующих волокон (45^{o}C)

Удельные показатели		Лен	Стекло
предел прочности, МПа/(г·см^3)	при изгибе	44,6	40
	при растяжении	25,4	29,2
модуль упругости, ГПа/(г·см^3)		2	1,9
стоимость	долл. США/кг	0,40	1,87
	долл. США/м^3	600	4850

К важным природным качествам льняного наполнителя, позитивно отличающим его не только от стекловолокнистых, но и от углеволокнистых материалов, причисляют малую деформируемость при удлинении (не более 2 %). Это обеспечивает снижение деформационных напряжений на межфазной границе с полимерным связующим и вероятность образования усталостных дефектов при многократных нагрузках. Кроме того развитая внутренняя поверхность волокна и обилие реакционноспособных группировок благоприятны для химических взаимодействий и прочных адгезионных контактов с полимерным связующим.

Льноволокнистые наполнители превосходят влияние хлопковых и синтетических волокнистых добавок и в эффективности повышения диссипативных свойств вибропоглощающих вязкоупругих композитов. Одной из вероятных причин этого является присутствие в льняных материалах в большем количестве полимерных спутников целлюлозы с разветвленным строением макромолекул и множеством функциональных группировок, способных к поглощению энергии внешнего воздействия за счет индуцированных вращательных или колебательных движений. Вместе с тем древесная часть льняного стебля (ксилема) превосходит компоненты лубяной части (склеренхимы) как по параметрам внутренней поверхности, так и по содержанию нецеллюлозных

компонетов, что и обусловливает научно-практический интерес к результатам настоящего исследования.

В своих исследованиях изменения полимерного состава волокнистого сырья в процессах первичной обработки селекционных сортов льна-долгунца [12-15] мы отмечали максимальное содержание нецеллюлозных полимеров в образцах механически выделенного луба без предварительной стадии биологической обработки тресты и их сокращение при переходе к стланцевому или моченцовому волокну. В табл. 2 приведены результаты параллельного анализа содержания нецеллюлозных полисахаридов в древесной части стебля до и после росяной мочки льносоломы. Они отражают факт миграции в структуру ксилемы полиуронидных соединений, желируемых в процессе биологической мацерации паренхимных тканей в окружении лубяных пучков. Удаление слабосвязанных полиуглеводов при обработке костры слабокислыми растворами способствует восстановлению исходного уровня показателя площади удельной поверхности ($S_{уд}$). Это благоприятно отражается на эффективности применения костры в качестве наполнителя вибропоглощающих материалов, оцениваемой по показателям E_2 - динамический модуль модельного образца нефтебитумной композиции, η_2 – коэффициент механических потерь полимерной композиции; η_{12} – коэффициент потерь составного образца (стальной пластины с вибропоглощающим полимерным слоем).

Таблица 2.

Влияние технологических обработок льняного сырья на содержание нецеллюлозных полисахаридов и удельную поверхность отделяемой костры и на изменение диссипативных свойств наполненного кострой нефтебитумного вибропоглощающего композита

Стадия отбора контрольного образца		Содержание в костре, масс.%		$S_{уд}$, $м^2/г$	Диссипативные свойства композита		
		пектин	глюканы		$E_2.10^{-8}$, $Н/м^2$	η_2, у.е.	η_{12}, у.е.
до росяной мочки		3,6	19,3	36,0	8,3	0,63	0,166
после росяной мочки		7,6	19,3	33,1	8,2	0,62	0,158
обработка костры	$H_2C_2O_4$ (0,25 %)	3,3	19,3	35,9	8,25	0,63	0,166
	HCl (1,5 %)	2,5	15,5	38,7	8,3	0,65	0,199
	NaOH (0,5 %)	2,5	9,3	27,5	8,1	0,57	0,149
	биохимическая модификация	3,1	14,7	**57,4**	**9,4**	**0,74**	**0,216**

Интенсивное удаление прочносвязанных гликанов в условиях щелочной варки при относительно небольшом снижении величины модуля E_2, отражающего способность полимерной композиции воспринимать колебательную энергию и передавать ее по объему, ощутимо понижает коэффициент демпфирования вязкоупругого материала η_2, характеризующего количество энергии, которую полимерный слой может рассеять (перевести в тепловую энергию колебательных движений термопластичной полимерной основы). В результате, при том же остаточном содержании пектиновых веществ, что и после обработки соляной кислотой, щелочная варка костры дает худший вариант наполнителя вибропоглощающих материалов с уменьшением коэффициента демпфирования металлической пластины η_{12} в 1,34 раза.

Осуществляя подбор условий биохимической модификации льняной костры, мы базировались на фундаментальных знаниях и опыте практической реализации прорывных направлений использования ферментативного катализа в технологии переработки льняных волокнистых материалов [16-18]. При решении задач развития

внутренней поверхности субстрата учитывалась необходимость обеспечения максимальной сохранности в структуре материала разветвленных глюканов, а также специфическая особенность ксилемы льна, сформированной, как показано на рис. 1, плотными рядами полых трахеальных элементов.

В отличие от большинства травянистых растений ксилема льна выполняет не только проводящие (перенос впитываемой влаги), но и механические функции, поскольку в ее структуре отсутствуют древесинные волокна (либриформ), которые обеспечивают необходимый уровень прочности тканям древесных растений. Аномально высокая степень лигнификации клеточных стенок ксилемы льна-долгунца генетически предопределяется необходимостью обеспечения достаточного уровня прочности стеблю растения, для которого характерно 500-600-кратное превышение параметра высоты над толщиной. Лигниновые одревеснения, зарождаясь на начальном этапе развития растения в виде кольцевых и спиралевидных образований (см. рис. 2а), к моменту спелости формируют сплошной каркас, который препятствует набуханию целлюлозы клеточных стенок ксилемы в условиях постоянного контакта с впитываемой почвенной влагой. При обработке раствором красителя сафронин лигнин дает практически сплошное окрашивании стенок ксилемы (см. рис. 2б).

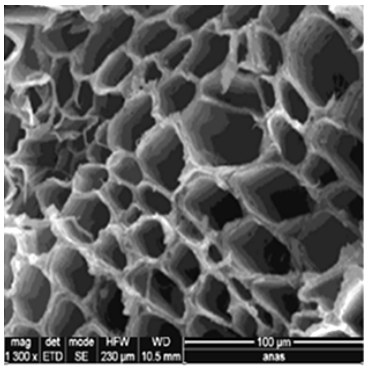
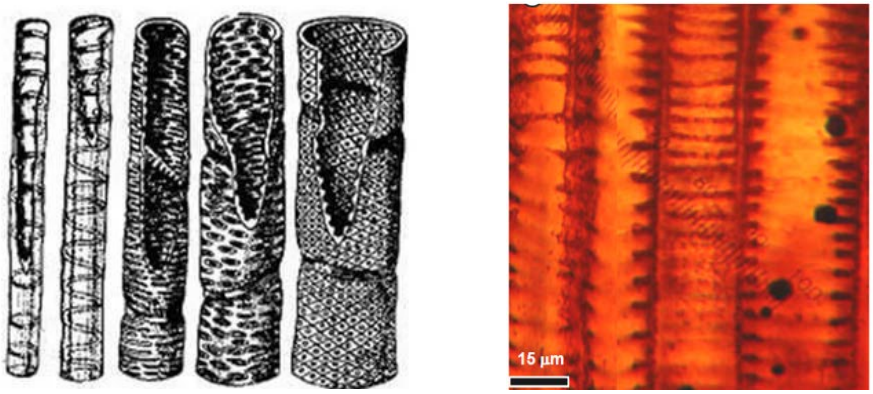


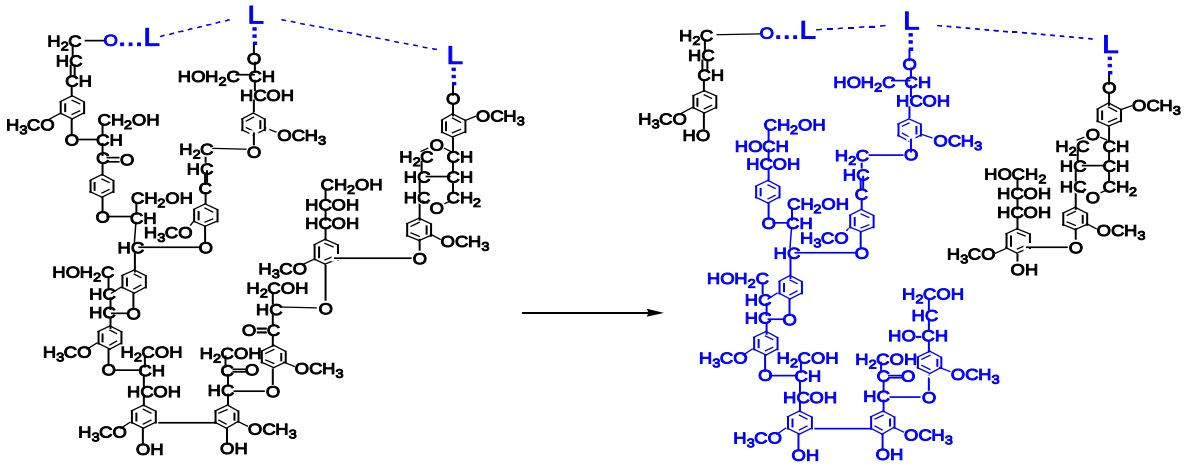
Рис. 1. СЭМ-изображение поперечного среза ксилемы льна



а) б)

Рис. 2. Схема возрастания степени одревеснения клеточных стенок ксилемы льна (а) и подкрашивание лигнина красителем сафранин на продольном срезе ксилемы (б)

Для достижения эффекта аморфизации лигнина ксилемы льна адаптированы методы биохимической подготовки высоколигнифицированных льноволокнистых материалов в условиях подготовки ровницы к прядению и беления тканых полотен [19-21]. На схеме представлена классическая модель строения лигнина по Адлеру [22], которая проецирует на плоскость фрагмент пространственной сетчатой структуры фенилпропановых звеньев полимера, объединенных с помощью различных видов ковалентных связей. Некоторые из этих связей удается регулируемо разрушить, как это проиллюстрировано в изображении продукта реакции.



С помощью обозначения **L** на схеме отражается привязка каждого из фрагментов к макроструктуре лигнинового образования. В результате трансформации полимера цельность исходного фрагмента нарушается и создаются разрозненные ответвления, обеспечивая тем самым доступность функциональных группировок к взаимодействию с вяжущим полимерной композиции.

Определено, что при оптимальных условиях протекания химических превращений разрыву может быть подвержено 25-30 % простых эфирных связей между структурными звеньями полимера. Благодаря этому достигается перевод лигнина в аморфизованное состояние и показатель удельной поверхности материала (см. табл. 2) удается повысить в 1,7 раза. Применение биомодифицированной костры в составе битумной вибропоглощающей композиции повышает динамический модуль вязкоупругого материала в 1,15 раза, а величины коэффициентов механических потерь η_2 и η_{12} возрастают в 1,2 и 1,37 раза в сравнении с немодифицированной кострой и в 3 раза относительно уровня показателей для композита без добавки волокнистого наполнителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антифрикционные углепластики марок УГЭТ, ФУТ и теплостойкие углепластики марки УПФС [Электронный ресурс] <http://www.crism-prometey.ru/science/nonmetallic/ugleplastik-uget-fut.aspx>.
2. Лысенко А.П., Ярцев Б.А. Композитные упругие муфты // Труды Крыловского государственного научного центра 2018. № 1(383) [Электронный ресурс] <URL:http://dx.doi.org/10.24937/2542-2324-2018-1-383-13-28> .
3. Gibson R.F. Dynamic mechanical properties of advanced composite materials and structures: a review // Shock & Vibration Digest. 1987. Vol. 19. N7. P. 13–22.
4. Зиновьев П.А., Ермаков Ю.Н. Характеристики рассеяния энергии при колебаниях в элементах конструкций из волокнистых композитов. М.: ЦНИИнаучно-техн. информации. 1989. 76 с.
5. Benchekchou B., Coni M., Howarth H., White R. Some aspects of vibration damping improvement in composite materials // Composites. Part B: Engineering. 1998. Vol. 29. N6. P. 809–817.
6. Chandra R., Singh S.P., Gupta K. Damping studies in fiber-reinforced composites – a review // Composite Structures. 1999. Vol. 46. P. 41–51.
7. Finegan I.C., Gibson R.F. Recent research on enhancement of damping in polymer composites // Composite Structures. 1999. Vol. 44. N2–3. P. 89–98.
8. Treviso A. et al. Damping in composite materials: properties and models // Composites: Part B. 2015. Vol. 78. P. 144–52.
9. Рябов В.М., Ярцев Б.А. Собственные затухающие колебания композитных конструкций // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Серия 1. Математика, механика, астрономия. 2012. № 4. С. 32–38.
10. Донецкий К.И., Хрульков А.В. Применение натуральных волокон при изготовлении полимерных композиционных материалов // Электронный научный журнал "ТРУДЫ ВИАМ" 2015. №2. <http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=779 (dx.doi.org/ 10.18577/2307-6046-2015-0-2-9-9)>
11. Мухаметов Р.Р. и др. Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 38–42.
12. Кудряшова Т.А. и др. Влияние условий выращивания льна-долгунца сорта «Алексим» и первичной обработки льнотресты на свойства трепаного волокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2008. №2. С. 31-34.
13. Кокшаров С.А. и др. Свойства льняного волокна селекционного сорта льна-долгунца «А-93» с опытных участков в Тверской и Костромской областях // Химия растительного сырья. 2008. №3. С. 51-54.

14. Кудряшов А.Ю., Кокшаров С.А., Пашин Е.Л. Влияние селекционного сорта, способа получения тресты и зоны по длине стебля на изменчивость химического состава льняного волокна // // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. №5. С. 3-5.
15. Кокшаров С.А. и др. Полимерный состав трепаного льняного волокна селекционных сортов льна-долгунца «Зарянка» и «Могилевский-2» // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2011. Т.54. №6. С. 93-96.
16. Алеева С.В., Кокшаров С.А. Химия и технология биокатализируемого наноконструирования льняных текстильных материалов // Российский химический журнал. 2011. Т. LV. № 3. С. 46-58.
17. 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. N3. P. 215-225.
18. Aleeva S.V., Koksharov S.A. Chemistry and technology of biocatalyzed nanoengineering of linen textile materials // Russian Journal of General Chemistry. 2012. Vol. 82. N13. P. 2279-2293.
19. Lepilova O.V., Aleeva S.V., Koksharov S.A. Comparison of the reducing power of aldose solutions // Russian Journal of Organic Chemistry. 2012. Vol. 48. N1. P. 83-88.
20. 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.
21. Lepilova O. et al. Study of the ability of reducing saccharides to chemically transform lignin // Eurasian Chemical-Technological Journal 2017. Vol. 19. N1. P. 31-40.
22. Upton B.M., Kasko AM. Strategies for the conversion of lignin to high value polymeric materials: review and perspective. // Chemical reviews. 2016. Vol.116. N4. P. 2275–2306.

УДК 677.37.024.82.001

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СУММАРНОГО ЧИСЛА ЦИКЛОВ ИСТИРАНИЯ ОСНОВНЫХ НИТЕЙ НА ТКАЦКОМ СТАНКЕ ВСЛЕДСТВИЕ ПРИБОЯ

THE ANALYTICAL EXPRESSION NUMBER OF CYCLES OF ABRASIONS OF THE MAIN THREADS ON A LOOM DUE TO THE BEAT WAS OBTAINED

О.А. Ахунбабаев
O.A. Axunbabayev

Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон
(г. Маргилан)
Uzbek scientific-research institute of natural fibers (Margilan)
E-mail: margilon_shoyi@yahoo.com

Получена аналитическая зависимость суммарного числа циклов истираний основных нитей на ткацком станке вследствие прибоя, которая зависит от раппорта ткани по утку, величины уработки основы и ряда других факторов, и может использоваться при поиске оптимальных заправочных параметров ткацкого станка.

Ключевые слова: истирание нитей, раппорт ткани, уток, оптимальные параметры, ткацкий станок, технология, натуральный шелк, качество.

The analytical expression number of cycles of abrasions of the main threads on a loom due to the beat was obtained, which depends on several factors such as the fabric pattern according to the weft, amount of shrinking of the warp, and it can be used to find the optimal filling parameters of the loom.

Keywords: abrasion of yarns, rapport fabrics, ducks, optimal parameters, loom, technology, natural silk, quality.

Повышение эффективности выработки тканей из натурального шелка на современных бесчелночных ткацких станках является одной из важных задач, стоящих перед работниками науки и шелковой промышленности. Разработка новых теоретических положений, достаточно реально описывающих процессы происходящие при формировании ткани, разработка на их основе механизмов станка и его параметров позволят получить высококачественные ткани, увеличить и расширить рынок их сбыта.

Получим аналитическую зависимость суммарного числа циклов истираний основных нитей вследствие прибоя на ткацких станках с дополнительным скалом [1, 2] при использовании ценовых прутков.

Суммарное количество истирающих воздействий на нити основы ν вследствие прибоя будет

$$\nu = \nu_H + \nu_{ДС} + \nu_C + \nu_{П2} + \nu_{П1} + \nu_3 + \nu_P + \nu_4 + \nu_Б + \nu_У, \quad (1)$$

где ν_H - число циклов истирания нити на намотке навоя;

$\nu_{ДС}$ - число циклов истирания нитей основы на дополнительном скале;

ν_C - число циклов истирания нитей основы на скале;

$\nu_{П2}$ - число циклов истирания нитей основы на заднем (2-ом) от опушки ткани ценовом прутке;

$\nu_{П1}$ - число циклов истирания нитей основы на переднем (1-ом) от опушки ткани ценовом прутке;

ν_3 - число циклов поперечного истирания нитей основы о соседние нити при смене зевов в зоне ценовый пруток - ремизки;

$\nu_Р$ - число циклов истирания нитей основы в галеве ремизки;

ν_4 - число циклов поперечного истирания нитей основы в зоне ремизки-опушка ткани;

$\nu_Б$ - число циклов истирания нитей основы бердом;

$\nu_У$ - число циклов истирания нитей основы прибиваемыми уточными нитями.

Из условия

$$K_1 = \tau e^{f_Н \gamma_Н} \tag{2}$$

определим центральный угол, соответствующий деформируемому участку нити на намотке навоя

$$\gamma_Н = \frac{1}{f_Н} \ell n \frac{K_1}{\tau}, \tag{3}$$

где τ - натяжение нити основы в намотке навоя.

Учитывая (2) и (3), получаем число циклов истирания нити на намотке навоя вследствие прибоя

$$\nu_Н = \frac{10 P_У \rho \gamma_Н}{1 + 0{,}01 a_0}, \tag{4}$$

где ρ - радиус намотки навоя, м.

Нити основы на дополнительном скале под действием циклически изменяющегося натяжения перемещаются за один цикл на $\eta_{ДС}$, поэтому

$$\nu_{ДС} = \frac{10 P_У \left(r_{ДС} \cdot \gamma_{ДС} + \eta_{ДС} \right)}{1 + 0{,}01 a_0}. \tag{5}$$

Соответственно получим: число циклов истирания нитей основы на скале при их перемещении за один цикл на $\eta_С$:

$$\nu_С = \frac{10 P_У \left(r_С \cdot \gamma_С + \eta_С \right)}{1 + 0{,}01 a_0}; \tag{6}$$

число циклов истирания нитей основы на заднем (2-ом) от опушки ткани ценовом прутке при их перемещении за один цикл на $\eta_{П2}$:

$$\nu_{П2} = \frac{10 P_У \left(r_{П2} \cdot \gamma_{П2} + \eta_{П2} \right)}{1 + 0{,}01 a_0}; \tag{7}$$

число циклов истирания нитей основы на переднем (1-ом) от опушки ткани ценовом прутке при их перемещении за один цикл на $\eta_{П1}$;

$$\nu_{П1} = \frac{10P_У\left(r_{П1}\cdot\gamma_{П1}+\eta_{П1}\right)}{1+0{,}01a_0}; \tag{8}$$

На расстоянии L_3 нити основы в зоне ценовый пруток – ремизки подвергаются поперечным истирающим воздействиям между собой при смене зевов. Количество таких воздействий

$$\nu_3 = \frac{10P_У L_3}{1+0{,}01a_0}\left(1-\frac{n}{R_У}\right), \tag{9}$$

где n - число оборотов главного вала станка, во время которых ремизка не меняет положения;

$R_У$ - число нитей утка в раппорте переплетения ткани.

Нити основы в глазке галева ремизки за один цикл перемещаются на ζ, тогда

$$\nu_P = \frac{10P_У\zeta}{1+0{,}01a_0}. \tag{10}$$

При движении от ремизки до опушки ткани элемент нити испытывает

$$\nu_4 = \frac{10P_У L_4}{1+0{,}01a_0}\left(1-\frac{n}{R_У}\right) \tag{11}$$

поперечных истирающих воздействий о соседние нити при зевообразовании.

Нить основы испытывает трение о зубья движущегося при прибое берда. При этом

$$\nu_Б = \frac{10P_У S_Б}{1+0{,}01a_0}, \tag{12}$$

где $S_Б$ - ход берда.

При перемещении нити утка бердом к опушке ткани нити основы подвергаются истирающим воздействиям со стороны перемещаемой между ними уточины. Это истирание происходит в одну сторону. Число истирающих воздействий здесь зависит от переплетения ткани по утку.

Так как $R_У$ - число нитей утка в раппорте переплетения ткани и n - число оборотов главного вала станка, во время которого ремизка не меняет положения (по раппорту переплетения по утку), то число циклов истирания основы со стороны прибиваемых уточин будет

$$\nu_У = \frac{10P_У S_У}{1+0{,}01a_0}\left(1-\frac{n}{R_У}\right), \tag{13}$$

где $S_У$ - расстояние от уточины, проложенной в зев, до опушки ткани.

С учетом (4) – (13) формула (1) будет иметь вид

$$\nu = \frac{10P_У}{1+0{,}01a_0}\Big[\rho\gamma_Н + r_{ДС}\gamma_{ДС} + \eta_{ДС} + r_С\gamma_С + \eta_С + r_{П2}\gamma_{П2} +$$

$$+ \eta_{П2} + r_{П1}\gamma_{П1} + \eta_{П1} + \zeta + S_Б + (L_З + L_4 + S_У)\left(1 - \frac{n}{R_У}\right)\Big] \qquad (14)$$

Таким образом, на основании проведённой работы можно сделать следующие выводы:

1. Получена аналитическая зависимость суммарного числа циклов истираний основных нитей вследствие прибоя, учитывающая истирания нити основы на навое, дополнительном скале и скале, в ценовых прутках, глазке галева ремизки, истирания нитей основы о соседние нити при смене зевов, истирания бердом и прибиваемыми уточными нитями.

2. Аналитическое определение суммарного количества циклов истирания нити основы вследствие прибоя зависит от раппорта ткани по утку, величины уработки основы и ряда других факторов, и может использоваться при поиске оптимальных заправочных параметров станка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахунбабаев О.А. Новые бесчелночные ткацкие станки типа СТБУ-ШН для выработки тканей из натурального шелка // Проблемы текстиля. – 2011. – № 1. – С. 38-43.
2. Ахунбабаев О.А., Валиев Г.Н. Бесчелночный ткацкий станок // Патент Республики Узбекистан № FAP 00431. – 2008. – Бюл. № 12.

УДК 677.37.08.002.001.5

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ШЕЛКА-СЫРЦА ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА ИЗ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА

INNOVATIVE TECHNOLOGY OF OBTAINING RAW SILK FROM QUALITY INCREASED SILKWORM COCOONS

У.О. Ахунбабаев[1], Г.Г. Асраров[2], И.И. Туйчиев[1]
U.O. Axunbabayev[1], G.G. Asrarov[2], I.I. Tuychiyev[1]

[1]Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон (г. Маргилан)
[2]Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (Узбекистан)
[1]Uzbek Research Institute of natural fibers (Margilan)
[2]Tashkent institute of textile and light industry (Uzbekistan)
E-mail: margilon_shoyi@yahoo.com

В статье приводятся вопросы повышения качества продукции с доведением уровню 4А-3А при производстве шёлка-сырца на современном кокономотальном оборудовании и повышения экономической эффективности в результате его реализации по высоким ценам на международном рынке.

Ключевые слова: шёлк-сырец, запарка коконов, оболочка кокона, коконные нити, линейная плотность, шелковая нить.

The article presents the issues of improving the quality of products with finishing level 4A-3A in the production of raw silk reeling on modern equipment and increase economic efficiency as a result of its implementation for high prices in the international market.

Keywords: raw silk, cocoon cooking, cocoon shell, cocoon threads, linear density, spun silk.

В Республике Узбекистан проводится ряд мероприятий для обеспечения в широком масштабе кормовой базы тутового шелкопряда, развития шелководства и выработки шелка-сырца, соответствующих показателям качества международных стандартов и производство конкурентоспособных шелковых тканей различного ассортимента.

Для выполнения поставленных задач актуальным является внедрение в производство текстильной промышленности новых инновационных научных проектов, разработанных новейшими технологиями в перспективе науки и техники в отрасли шелководства. В составе ассоциации «Узбекипаксаноат» Республики Узбекистан на сегодняшний день 35 шт. кокономотальных предприятий оснащены новейшими кокономотальными автоматами для выпуска качественной продукции отвечающей требованиям международных стандартов.

Несмотря на высокую степень механизации и автоматизации в технологическом процессе качества выпускаемой продукции на показатели 4А-3А класса относительно общего объема выпускаемой продукции составляет всего 10 %, а это значит очень низкий уровень по качеству продукции. В производстве шелка-сырца очень большая проблема это удельный расход сырья, который для выработки 1кг шелка-сырца расходуется 3-3,2 кг коконного сырья, что влияет на производительность и качество выпускаемой продукции.

Известно когда расход сырья и ресурсов превышает своими показателями, в итоге влияет на себестоимость и качество продукции.

Для решения проблем необходимо в технологическом процессе, начиная от сырья до готовой продукции, проводит технико-технологические режимы определять паспортизацию сырья тщательно разработать режимы по размоту, освоение технологических параметров технологического оборудования проводить экспериментально испытательные работы по сырью и продукции.

Спрос на мировом рынке на шелк-сырец большой, в 2017 году цена 1 кг шелка-сырца достигала до 55,5 долларов США, эта цена определена по качественному показателю 3-А класса, соответствующего требованиям германизированного O'z DSt 3313:2018 «Шёлк-сырец». Технические требования», который разработан специалистами Узбекского научно-исследовательского института натуральных волокон.

По всем видам шелка-сырца по сортам установлено 7 классов – это 4А, 3А, 2А, А, В, С, Д, самый высший сорт шелка-сырца – 4А. Самый низкий сорт шелка-сырца – Д.

Для выработки качественного шелка-сырца очень большое значение имеет подготовка сырья и запарка коконов для размота.

На сегодняшний день актуальной задачей является изучение коконов исследование и анализ всех видов сортовых коконов по показателям его свойств.

Специалистами Узбекского научно-исследовательского института натуральных волокон совместно с Ташкентским институтом текстильной и лёгкой промышленности разработаны научно-исследовательские проекты для внедрения новых технологий в производство, целью которых является повышение качества продукции.

Ряд исследований, которые проводились по подготовке сырья запарки коконов для размота.

При изучении и исследовании для полного получения шелковой нити из коконов необходимо улучшение режима запарки коконов. Для этого проведены исследования по пропитке коконов воздействием горячей воды и пара по результатам 3-4 вариантов определения оптимальных вариантов. По результатам экспериментально научно-практических работ определено, что качество продукции по новой технологии запарка коконов намного повышается и размот коконов улучшается.

Таблица

Показатели размота коконов

Показатели размота коконов	Контроль	Опыт
Выход шелковой продукции, %	35,71	32,26
Удельный расход коконов, кг	2,80	3,10
Длина непрерывно разматывающейся коконной нити, м	1100	850
Размотано коконов, кг	30	30
Полная пропитка коконов водой, %	95-97	30-75

Gokse Capar на основе нанотехнологии проводил исследования обогащения серицина для отделения белков шелковых червей.

Серицин путем нанофильтризации можно добиться эффективности, но, однако нужно оптимизировать максимальную отделенность.

Выводы разработки научно-исследовательской работы проведены научно-исследовательские практические экспериментальные работы и выбраны оптимальные технологии.

Внедряя новую инновационную технологию в производство можно за счет улучшения качества продукции в шелковой отрасли достичь экономического эффекта в развитии экономики республики.

Запарка коконов по новой технологии.

- Температура воды в баке, °С – 60-65.
- Периодичность запарки, мин – 5-6.
- Степень вакуума в запаренной емкости, Мра – 0,095.
- Температура воды в тазу собранных запаренных коконов, °С – 48-53.

Показатели размота

- Скорость размота, м/мин – 120.
- Линейная плотность вырабатываемого шелка-сырца, тех – 3,23.
- Система сбора шелка – двухприёмный.

- Изучена механика воздействия воды и пара различных температурных параметров на оболочку кокона. При этом особое внимание уделяется умеренному запариванию по толщине и поперечному сечению оболочки кокона.

- Изучены факторы воздействия на одновременное запаривание оболочки коконов, в этом процессе определено влияние каждого фактора.

- Отобраны варианты степени запаренности коконов.

- Отобраны оптимальные варианты запарки коконов.

- Разработана инструментальная система наблюдения запаривания коконов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелк-сырец. Технические требования. O'z DSt 3313:2018. – Тошкент. – 2018. – С. 9-12.
2. Асраров Г.Г., Ахунбабаев О.А. "Современное состояние техники и технологии кокономотания на шелкомотальных предприятиях Республики Узбекистан". Маргилан – 2007. – С. 15-17.
3. Capar, Goksen Separation of silkworm proteins in cocoon cooking wastewaters via nanofiltration: Effect of solution pH on enrichment of sericin [Text] / Capar Goksen // JOURNAL OF MEMBRANCE SCIENCE Volulme: 389 Published: Feb 1 2012. – Pages: 509-521.

УДК 677.023.233.371.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ КРЕСТОВОЙ НАМОТКИ НА ЕЁ ОСНОВАНИЕ

THEORETICAL DEPENDENCE OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF PRESSURE CROSS REELING AT ITS INCEPTION

Г.Н. Валиев[1], Ж.И. Орипов[2]
G.N. Valiyev[1], J.I. Oripov[2]

[1]Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон (г. Маргилан)
[2]Ферганский политехнический институт (Узбекистан)
[1]Uzbek scientific-research institute of natural fibers (Margilan)
[2]Fergana politechnikal institute (Uzbekistan)
E-mail: gnvaliev@mail.ru, oripov_jaurbek@mail.ru

На основе ранее полученной нами аналитической зависимости распределения нормального давления крестовой намотки на её основание вдоль оси паковки, получена аналитическая зависимость пространственного распределения давления крестовой намотки на её основание 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 теоретических и 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 of the spatial distribution of the pressure of a of cross-wound on its base 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 theoretical and 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.

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.

В работе Schwarz I. G, Kovacevic S., Dimitrovski K. исследованы механические и деформационные свойства одиночной нити, определены области упругих, вязкоупругих и пластических деформаций нитей [1]. В работе Bandurin, N.G. исследованы динамические смещения и деформации растяжимой нити в движущейся среде. Получены нелинейные дифференциальные уравнения, описывающие деформацию массивной расширяемой нити в движущейся среде [2].

Ранее нами были получены аналитические зависимости распределения нормального давления намотки на её основание в осевом направлении паковки для параллельной [3] и крестовой [4] намотки. Аналитическая зависимость распределения нормального давления крестовой намотки на её основание вдоль оси паковки [4] описывается сложным интегралом, нижняя граница которой задана функцией поверхности паковки, а верхняя граница – функцией поверхности намотки:

$$q_x = \frac{1000 \cdot F_x \cdot \gamma_x \cdot Cos^3\alpha_x}{T} \int_{f_1(x)}^{f_2(x)} \frac{d\rho_x}{\rho_x}. \qquad (1)$$

А также получено аналитическое определение зависимости распределения нормального давления крестовой намотки на её основание вдоль оси паковки [4], которую можно определить следующим образом:

$$q_x = \frac{1000 \cdot F_x \cdot \gamma_x \cdot Cos^3\alpha_x}{T} \ell n \frac{f_2(x)}{f_1(x)}; \qquad (2)$$

где: $f_1(x)$ - функция линии сечения основания намотки (поверхности паковки), $f_2(x)$ - функция линии сечения поверхности намотки, γ_x - плотность намотки в некоторой точке x, F_x - натяжение нити в точке x, α_x - угол подъема витка намотки в некоторой точке x, T – линейная плотность нити.

На основе вышеприведённой зависимости получена аналитическая зависимость пространственного распределения давления некоторого отдельно взятого слоя крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки и разработана методика её определения [5], а также распределение нормального давления крестовой намотки на её основание по мере увеличения её толщины и формирования паковки в целом [6].

Определим в первом приближении пространственное распределение нормального давления крестовой намотки на её основание. 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 толщина намотки, давление которой следует определить, нарастает начиная с верхнего слоя к нижнему по мере приближения к основанию намотки. Для определения распределения давления и других параметров намотки

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 $\Delta r_н$ - 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, ξ - 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 $\Delta r'_н$ слоя намотки в нормальном направлении:

$$\Delta r'_н = \Delta r_н Cos\xi \,. \tag{3}$$

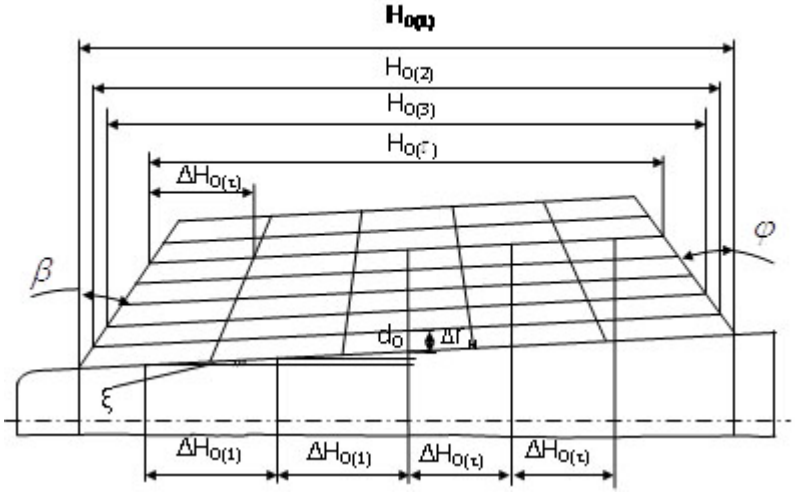


Рис.1. Схема послойного наматывания нити при нечетном количестве секторов в слое намотки.

Так как угол ξ небольшой, для упрощения принимаем $Cos\xi \approx 1$. Тогда следует, что:

$$\Delta r'_н \approx \Delta r_н \,. \tag{4}$$

Из схемы послойного наматывания нити при нечётном количестве секторов (рис.1), на основе проведённого анализа, обобщения результатов и сделанных преобразований следует, что:

при $W \le \overline{W}$, где W - номер сектора:

$$f_{1W(j)} = 0{,}5d_0 + (j-1)\Delta r_н - (\overline{W} - W)\Delta H_{0(j)} tg\xi; \tag{5}$$

$$f_{2W(j)} = 0{,}5d_0 + j_{\max}\Delta r_н - (\overline{W} - W)\Delta H_{0(j)} tg\xi; \tag{6}$$

при $W > \overline{W}$:

$$f_{1W(j)} = 0{,}5d_0 + (j-1)\Delta r_н + (W - \overline{W})\Delta H_{0(j)} tg\xi; \tag{7}$$

$$f_{2W(j)} = 0{,}5d_0 + j_{\max}\Delta r_н + (W - \overline{W})\Delta H_{0(j)} tg\xi. \quad (8)$$

Номер среднего сектора, соответствующий серединной части слоя намотки, то есть половине высоты намотки:

$$\overline{W} = (W_{\max} + 1)/2; \quad (9)$$

$$\Delta H_{0(j)} = \frac{H_{0(j)}}{W_{\max}}. \quad (10)$$

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:

$$H_{0(j)} = H_0 - (j-1)\Delta r_н (tg\beta + tg\varphi). \quad (11)$$

Подставляя (11) в (10) получим:

$$\Delta H_{0(j)} = \left[H_0 - (j-1)\Delta r_н (tg\beta + tg\varphi)\right]/W_{\max}, \quad (12)$$

где: H_0 - начальная высота намотки; β, φ - углы наклона торцов паковки, образованные между нормалями 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:

$$q_{W(j)} = \frac{1000 \cdot F_{W(j)} \cdot \gamma_{W(j)} \cdot Cos^3\alpha_{W(j)}}{T} \cdot$$
$$\cdot \ell n \frac{0{,}5d_0 + j_{\max}\Delta r_н + (W - \overline{W})tg\xi \cdot \left[H_0 - (j-1)\Delta r_н (tg\beta + tg\varphi)\right]/W_{\max}}{0{,}5d_0 + (j-1)\Delta r_н + (W - \overline{W})tg\xi \cdot \left[H_0 - (j-1)\Delta r_н (tg\beta + tg\varphi)\right]/W_{\max}}. \quad (13)$$

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Получена теоретическая зависимость пространственного распределения давления крестовой намотки на её основание 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schwarz, I.G. Analysis of changes in mechanical and deformation properties of yarn by sizing [Text] / Schwarz, Ivana Gudlin; Kovacevic, Stana; Dimitrovski, Krste // Textile research journal. – 2011. - № 5. – P. 545-555.

2. Bandurin, N. Large dynamic displacements and deformations of a massive extensible thread in a moving medium [Text] / N.G. Bandurin, // Journal of Applied Mathematics & Mechanics. – 2003. - № 2. – P. 237-242.

3. Валиев Г.Н. К вопросу распределения давления намотки в осевом направлении паковки // Современные наукоёмкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс-2007): сборник материалов Международной научно-технической конференции (Иваново, 29-31 мая 2007 г.). Часть 1. – Иваново: Ивановская Государственная текстильная академия, 2007. – 268 с, с. 72.

4. Валиев Г.Н. К вопросу распределения давления крестовой намотки в осевом направлении паковки // Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль-2009): тезисы докл. Международной научно-технической конференции (Москва, 24-25 ноября 2009 г.). – М.: Московский Государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина, 2009. – 371 с., с. 113-114.
5. Валиев Г.Н. Аналитическая зависимость пространственного распределения давления слоя крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки // 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.
6. Валиев Г.Н. Теоретическая зависимость распределения давления крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы (SMARTEX – 2016): сборник материалов XIX международного научно-практического форума (Иваново, 23-27 мая 2016 г.). – Иваново: ИВГПУ, 2016. – Часть 1, 404 с., с. 257-261.

УДК 677.023.233.371.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ НИТЕНАТЯЖНЫХ ПРИБОРОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАШИН

METHOD OF DETERMINING THE TECHNOLOGICAL ADVANTAGE OF DEVICE FOR TENSIONING YARN OF TEXTILE MACHINES

Г.Н. Валиев[1], В.О. Хомидов[2], М. Турдиев[2]
G.N. Valiyev[1], V.O. Khomidov[2], M. Turdiyev[2]

[1]Узбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон (г. Маргилан)
[2]Ферганский политехнический институт (Узбекистан)
[1]Uzbek scientific-research institute of natural fibers (Margilan)
[2]Fergana politechnikal institute (Uzbekistan)
E-mail: gnvaliev@mail.ru, vohidhomidovfar@mail.ru

Разработаны устройство для испытания натяжителей нити на импульсную нагрузку и способ определения технологичности нитенатяжных приборов текстильных машин. Предложены формулы для определения коэффициента технологичности нитенатяжного прибора. Устройство и способ можно использовать для испытания различных видов и конструкций натяжных приборов, оптимизации различных технологических процессов, а также при разработке новых машин и механизмов с использованием натяжителей нити.

Ключевые слова: натяжение нити, импульсная нагрузка, натяжитель нити, устройство, способ, перематывание, снование, формула, технологичность, оптимизация.

A device for testing thread tensioners for impulse load has been developed and method of determining the technological advantage of device for tensioning yarn of textile machines. Developed formulas for of determining coefficient the technological advantage of device for tensioning yarn. The device and method can be used for testing various types and designs of tensioning devices, optimization of various technological processes, as well as in the development of new machines and mechanisms using thread tensioners.

Keywords: thread tension, impulse load, yarn tensioner, device, method, rewinding, warping, formula, technological advantage, optimization.

Эффективность применения современных текстильных машин и станков во многом определяется качеством подготовки нитей к ткачеству, которое зависит от качества сырья, условий технологического процесса и параметров паковки [1-2], особенно при переработке нитей натурального шелка [3].

Снование является одним из важных и ответственных процессов при подготовке нитей к ткачеству. Структура намотки входной паковки является одним из существенных факторов, оказывающих влияние на натяжение нитей при сматывании в процессе снования, их обрывность и качество основы.

Натяжение нитей при сновании имеет большое значение для последующего технологического процесса ткачества, в значительной степени определяет качество ткани. Различное натяжение нитей и неравномерность намотки входной паковки ухудшают эффективность дальнейших технологических процессов.

Обрывность нитей при сновании значительно снижает производительность сновальной машины, так как обрыв одной нити вызывает прекращение процесса снования большого числа нитей. Сновальщица затрачивает много времени на ликвидацию каждого обрыва нити. В отдельных случаях приходится отыскивать конец нити на сновальном барабане и переходить от машины к шпулярнику, чтобы заправить нить в нитепроводники.

Качество полученных при сновании основ определяется равномерностью натяжения нитей, сходящих со шпулярника. Натяжение нити при сновании во многом зависит от конструкции натяжных приборов и качеством их изготовления. Натяжные приборы применяют также и в других оборудованиях по переработке текстильных нитей.

Натяжные приборы должны обеспечивать заданное среднее натяжение нитей в соответствии с технологическим режимом, неравномерность натяжения должна быть минимальной [4].

Известны различные средства и способы испытания натяжителей нити [4-7].

Разработано устройство для испытания натяжителей нити (рис. 1), включающее установленный на оси 1 держатель 2 паковки 3, монтированный на ступице 4 нитенаправляющий элемент 5, установленный соосно направляющему элементу 5 нитенапрвляющий глазак 6, средство для торможения нити, выполненное в виде прутка 7 с тормозной лапкой 8 на конце, датчик 10 натяжения нити, соединенный с регистрирующим устройством 11. Нитенатяжитель 9 устанавливают на выходе нити с нитенапрвляющего глазка 6.

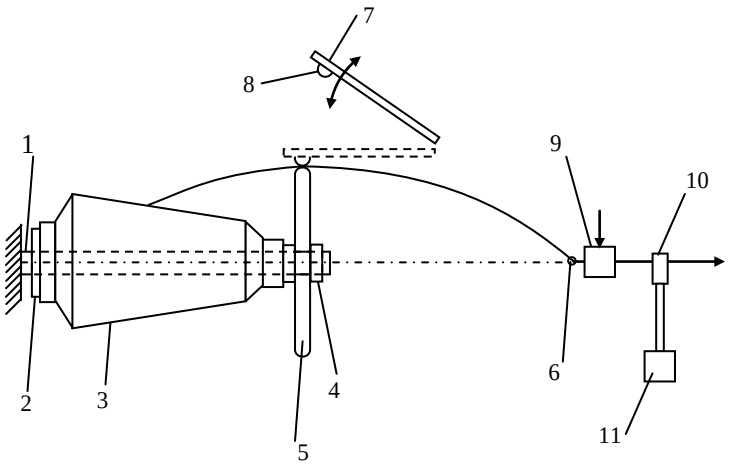


Рис.1 – Устройство для испытания натяжителей нити

Для проведения испытания натяжителя нити, на держатель 2 (рис. 1) устанавливают паковку 3, на ось 1 устанавливают монтированный на ступице 4 нитенаправляющий элемент 5, далее заправляют нить через установленный соосно направляющему элементу 5 нитенапрвляющий глазак 6, нитенатяжитель 9, датчик 10 натяжения нити, который соединён с регистрирующим средством 11 и приёмную паковку наматывающего механизма устройства для испытания натяжителей нити.

После пуска, при установившемся режиме, тормозную лапку 8 средства для торможения нити опускают на нитенаправляющий элемент 5. Нить, скользящая по нитенаправляющему элементу 5, в момент встречи с тормозной лапкой 8 испытывает

динамический удар, который посредством датчика 10 натяжения нити фиксируется регистрирующим средством 11 и таким образом определяется реакция испытуемого конкретного нитенатяжителя на импульсную нагрузку при прохождении через него конкретного ассортимента нити.

Устройство допускает различные варианты заправки и режимы испытаний согласно конкретной цели и плана испытаний.

Технологичность нитенатяжного прибора определяют по величине предлагаемого нами коэффициента технологичности K_{TP} или K_{TF}, который определяется по формуле:

$$K_{TP} = \frac{F_1}{P_p}; \tag{1}$$

где: F_1 – величина импульсного натяжения нити в зоне до натяжного прибора;

P_p – величина разрывной нагрузки нити при растяжении,

или по формуле:

$$K_{TF} = \frac{F_1}{F_2}; \tag{2}$$

где: F_1 – величина импульсного натяжения нити в зоне до натяжного прибора;

F_2 – величина импульсного натяжения нити на выходе с натяжного прибора.

При этом, чем больше и близко к 1 (единице) значение коэффициента технологичности K_{TP} или K_{TF}, тем более высокие импульсные нагрузки выдерживает натяжной прибор без обрыва нити, тем выше технологичность нитенатяжного прибора.

Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Разработано устройство для испытания натяжителей нити на импульсную нагрузку.
2. Разработан способ определения технологичности нитенатяжного прибора текстильных машин.
3. Предложены формулы для определения коэффициента технологичности нитенатяжного прибора текстильных машин.
4. Выявлено, что, чем больше и близко к 1 (единице) значение коэффициента технологичности, тем более высокие импульсные нагрузки выдерживает натяжной прибор без обрыва нити, тем выше технологичность нитенатяжного прибора.
5. Устройство для испытания натяжителей нити на импульсную нагрузку и способ определения технологичности нитенатяжного прибора могут быть применены для испытания различных видов и конструкций натяжных приборов, решения практических задач с применением натяжителей нити, оптимизации различных технологических процессов, а также при разработке новых текстильных машин и механизмов с использованием натяжителей нити.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валиев Г. Н. Аналитическая зависимость пространственного распределения давления слоя крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки // 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.

2. Валиев Г. Н. Теоретическая зависимость распределения давления крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы (SMARTEX – 2016): сборник материалов XIX международного научно-практического форума (Иваново, 23-27 мая 2016 г.). – Иваново: ИВГПУ, 2016. – Часть 1, 404 с., с. 257-261.
3. Валиев Г. Н. Повышение устойчивости намотки мотальной паковки нитей натурального шелка // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и лёгкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2014): сборник материалов Международной научно-технической конференции (Москва, 18-19 ноября 2014 г.). Часть 1. – М.: Московский Государственный университет дизайна и технологий, 2014. – 271 с., с. 101-105.
4. Grekov D. Serikulture trainingmanual / Dimitar Grekov, Evripidis Kipriotis, Panomir Tzenov. - Sofia, -2003. - 453 p.
5. Валиев Г. Н. Пространственное распределение угла подъёма витка намотки мотальной паковки // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и лёгкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2016): сборник материалов Международной научно-технической конференции (Москва, 15-16 ноября 2016 г.). Часть 1. – М.: Московский Государственный университет дизайна и технологий, 2016. – 311 с., с. 36-40.
6. Валиев Г. Н. К вопросу параметров намотки мотальной паковки и теоретических зависимостей их определения // Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль-2012): тезисы докл. Международной научно-технической конференции (Москва, 13-14 ноября 2012 г.). Часть 1.–М.: Московский Государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина, 2012 г. – 140 с., с. 53-54.
7. Николаев С. Д., Сумарукова Р. И., Юхин С. С, Власов П. В. Теория процессов, технология и оборудование подготовительных операций ткачества. – М.: Легпромбытиздат, 2006. – 301 с.
8. Гордеев В. А., Волков П. В. Ткачество. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 488 с.
9. Оников Э. А. Натяжные и контрольно-очистительные устройства одиночных нитей. – М.: Гизлегпром, 1963. – 103 с.
10. Вакс Е. Э. Измерение натяжения нитей. – М.: Легкая индустрия, 1966. – 232 с.

УДК 681.021

ИМИТАЦИОННОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕХОВОЙ ОДЕЖДЫ

IMITATIONAL FORM FORMATION OF SURFACE OF FUR GARMENTS

М.А. Гусева, Е.Г. Андреева
M.A. Guseva, E.G. Andreeva

Российский государственный университет им. А.Н.Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), (Москва)
The Kosygin State University of Russia (Moscow)
E-mail: guseva_marina67@mail.ru, elenwise@mail.ru

В статье рассмотрен процесс виртуального проектирования меховых изделий. Представлены общие теоретические положения по описанию процесса формообразования внешней и внутренней поверхностей меховой одежды. Исследован процесс визуализации волосяного покрова меха. С целью повышения достоверности виртуального представления волосяного покрова различных видов меха проведен анализ визуальной информаций, получаемой с различных портативных сканирующих устройств.

Ключевые слова: волосяной покров меха, визуализация меховых изделий, имитационная модель.

The article describes the process of virtual design of fur products. The general theoretical provisions on the description of the process of shaping the outer and inner surfaces of fur clothing are presented. The process of visualization of fur hair is investigated. In order to improve the reliability of the virtual representation of the hairs of different types of fur, the analysis of visual information obtained from various portable scanning devices was carried out.

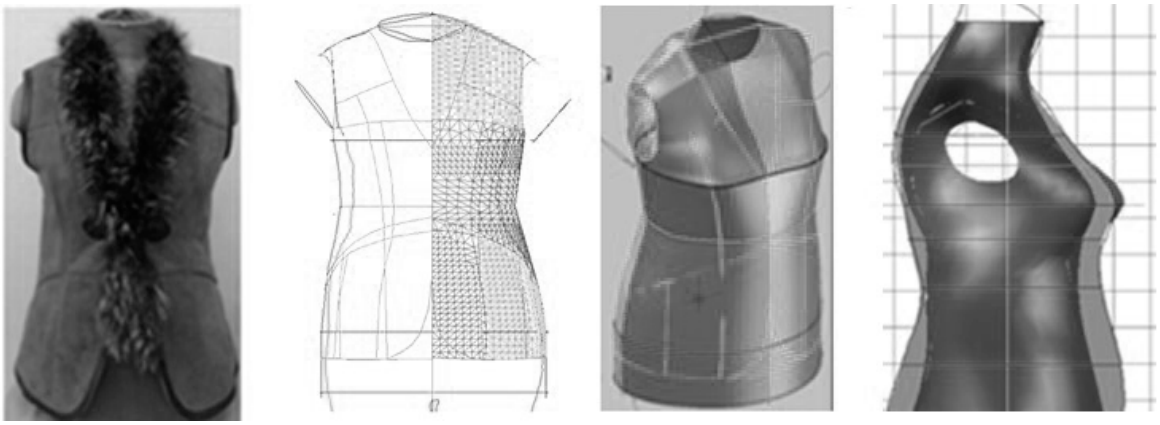
Key words: fur hair, fur products visualization, simulation model.

Современное проектирование одежды из текстиля успешно выполняется в графической среде 2D и 3D систем автоматизированного проектирования (САПР), при этом трехмерные модули используют для визуализации проектируемой поверхности изделия [1] с целью исключения промежуточных примерок (в «одевающих САПР»), и для проектирования достоверной трехмерной формы с последующей разверткой деталей на плоскость (в «развертывающих» САПР) [2]. Для описания процесса моделирования поверхности одежды в трехмерной среде в рамках теории формообразования швейных изделий [3] применяют различные алгоритмы, основанные на представлении ткани в виде сетчатой оболочки [4] с набором деформационных свойств [5]. Отличительной особенностью трехмерного проектирования одежды из пушно-мехового полуфабриката является наличие различий в конфигурации внешней и внутренней поверхностей мехового изделия [6] при изменяющейся длине и направлении роста волосяного покрова по видам меха и невозможность внутрипроцессного формообразования деформацией шкурки.

Обобщенное описание процесса проектирования внешней формы меховой одежды

Весь ассортимент одежды из меха можно объединить в две глобальные группы – это изделия с расположением волосяного покрова по внешней либо внутренней стороне [7]. В основу теории трехмерного проектирования меховой одежды с расположением волосяного покрова внутрь изделия успешно может быть положена имитационная модель процесса формообразования одежды из текстиля [8]. Трехмерная поверхность такой меховой одежды, проектируется как дискретная оболочка переменной толщины, изменяющейся от опорных зон к участкам свободного провисания в результате неравномерной сминаемости волосяного покрова под действием сил всемирного тяготения [9]. Поскольку в изделиях из меха не применяется технологическая деформация «посадка по срезам», то для формообразования по граничным линиям оболочки проектируют сшивание вытачек в деталях или множественные

членения. В зависимости от сложности пространственной формы и размера пушно-мехового полуфабриката количество элементарных звеньев оболочки (деталей изделия) может различаться (рис. 1).



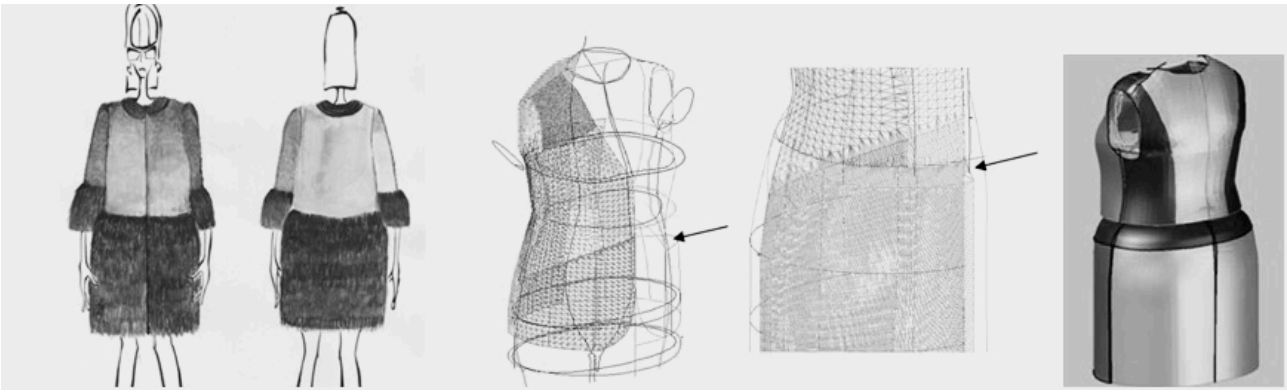
а б в г

Рис.1 Иллюстрация получения трехмерной поверхности мехового изделия с расположением волосяного покрова по внутренней стороне: а – модель женского мехового жакета; б – 3D оболочка внешней формы с элементарными звеньями; в – 3D тонированная оболочка внешней формы виртуального аналога, г – центральное сагиттальное сечение изделия с визуализацией неравномерности высоты волосяного покрова

Процесс трехмерного проектирования меховой одежды с расположение волосяного покрова по внешней стороне целесообразно выполнять последовательно в два этапа:

- проектирование внутренней формы виртуального изделия [10];
- визуализация волосяного покрова.

Разведывательный эксперимент по проектированию 3D формы внешней поверхности изделия из пушнины в универсальных и специализированных САПР показал, что для достоверности виртуального образа недостаточно тонированного изображения обеих поверхностей изделия. Наружная поверхность виртуального мехового изделия показывает внешние границы (рис.2) и проектируется как касательные к максимальному количеству концевых точек волос меха (при отсутствии выравнивания покрова по высоте стрижкой). При комбинировании нескольких видов меха в изделии необходимо учитывать разность наклона волосяного покрова к кожевой ткани. Визуализация различия в высоте волосяного покрова меха норки в верхней части пальто (модель на рис. 2 а) и лисицы в нижней части представлена как ступенчатый переход, который отмечен стрелками (рис. 2 б, в, г).



а б в г

Рис. 2 Иллюстрация получения трехмерной поверхности мехового изделия с расположением волосяного покрова по внешней стороне: а – модель женского мехового пальто, комбинированного из двух видов меха (норка и лисица); б – 3D проектирование

внутренней и внешней сторон виртуальной модели, в – участок ступенчатого перехода поверхностей с разной высотой волосяного покрова; г – тонированная модель 3D, вид сзади

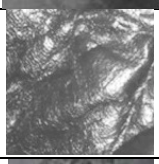
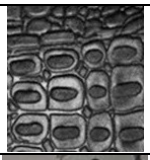
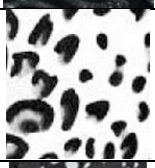
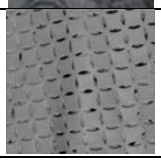
Инновации в виртуальном моделировании свойств волосяного покрова меха

Проработка процесса визуализации внешней поверхности мехового изделия с расположением волосяного покрова по внутренней стороне проводится по аналогии с изделиями из текстиля. Для этого выполняют прорисовку фактуры поверхности кожевой ткани (табл.1):

- с естественной нешлифованной лицевой поверхностью – гладкие и тисненные;
- с естественной подшлифованной поверхностью – гладкие и тисненные;
- с шлифованной поверхностью - гладкие;
- нарезные и перфорированные;
- велюр.

Таблица 1

Матрица вариантов фактуры поверхности кожевой ткани в меховом изделии (фрагмент) [11]

Вид отделки	Вид со стороны кожевой ткани			
	1	2	3	4
Велюр				
Напалланово покрытие				
Глянец				
Декор				
Перфорация				

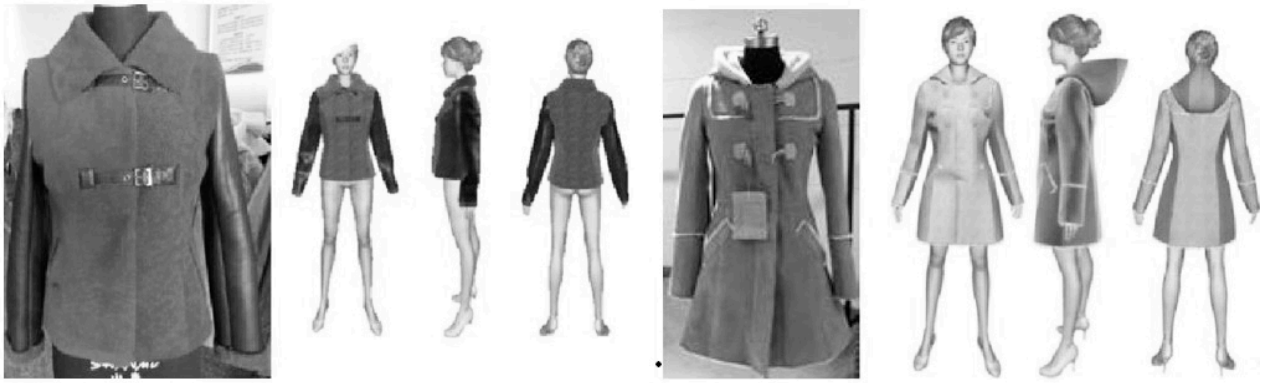
Потребителю для визуального представления 3D модели меховой одежды, у которой волосяной покров располагается с внешней стороны, необходимо видеть детально проработанное изображение отдельных волос, достоверно отображающего цветовую и тоновую окраску с учетом топографии участков шкурки, наклон разных категорий волос, изменения в густоте и толщине волос, их извитость и т.д.

Вопросы достоверности виртуального изображения поверхности меха интересуют представителей не только меховой промышленности, но и киноиндустрии. Имитационное моделирование сложной поверхности меха для анимационных проектов осуществляют с помощью техники рендеринга, когда фактура поверхности меха создается многократным наложением изображения текстуры одиночного волоса с учетом его длины, направления роста, спектрального изменения цвета и тона [12]. Такая техника рендеринга успешно реализуется для изображения волосяного покрова у животных в мультипликационных фильмах [13]. Дорогостоящий и длительный способ рендеринга волосяного покрова может быть заменен эффективным методом трассировки лучей (ray-traced) [14], позволяющим

получить виртуальный объемный объект с четкими геометрическими границами отслеживанием пути светового пучка через пиксели в плоскости изображения.

Разработчики программ, реализующих процесс виртуального моделирования свойств волосяного покрова меха, столкнулись с проблемой достоверности представления таких характеристик, как длина, жесткость, цвет, физико-механические свойства. Для ее решения предлагается использовать технику рисования ломанными линиями [15]. Чтобы достоверно отобразить разные категории волос (остевых или пуховых) можно варьировать параметры освещения и использовать такие графические примитивы как одиночная линия, полилиния, нерегулярные и неравномерные рациональные би-сплайн кривые и поверхности.

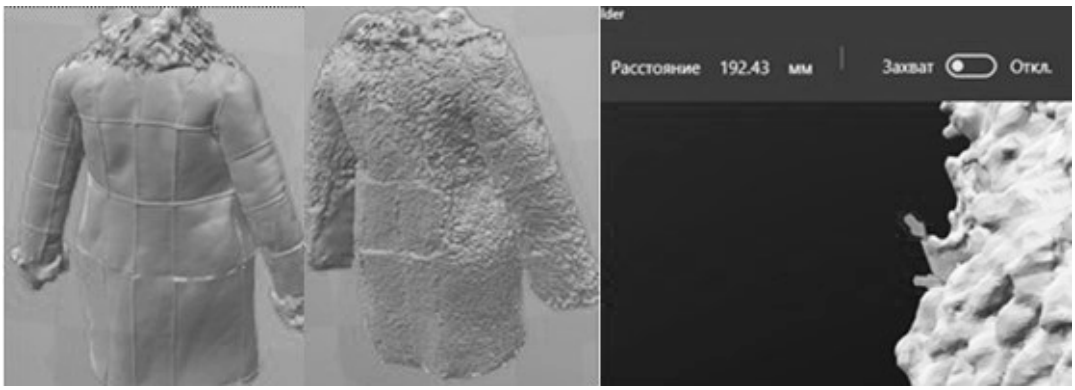
Разработчики программного обеспечения District Collectorate (DC Suite) предложили в 3D виртуальной среде моделировать посадку меховой одежды [16], чтобы проводить виртуальные примерки проектируемых моделей, симулируя физико-механические и оптические свойства волосяного покрова, который может располагаться как по внешней стороне изделия (на примере коротко стриженой овчины) (рис. 3а), так и по внутренней стороне (рис. 3б). Виртуальное проектирование пространственной формы меховых изделия выполняют по аналогии с процессом 3D моделирования изделий из формоустойчивых текстильных материалов (кожа, драп, плотный хлопок, лен и т.п.).



а б

Рисунок 3 Иллюстрация виртуального моделирования меховой одежды в программе District Collectorate (DC Suite): а – модель с расположением волосяного покрова по внешней поверхности; б – модель с расположением волосяного покрова изнутри изделия

Результаты эксперимента по применению портативной и стационарной сканирующей техники для получения визуальных и параметрических характеристик волосяного покрова меховой одежды свидетельствуют о недостаточности проработки выходной информации с современных устройств. Так, сканирование поверхности меховых изделий портативным Artec 3D EVA [17] показало, что визуализация волосяного покрова получается однородной, отсутствуют подробные детали на поверхности (рис.4), при этом данные о величине угла наклона и длины волос не достоверны [18].



а б в

Рис. 4 Иллюстрация выходной информации визуализации портативным сканером Artec 3D EVA поверхности меховых изделий: а – «дубленка» с расположением волосяного покрова изнутри изделия; б – пальто из стриженной овчины с волосяным покровом наружу, в – параметризация графического образа волосяного покрова в среде Artec 3D

Заключение. Для виртуального формообразования меховой одежды важно отметить характер расположения волосяного покрова снаружи или внутри изделий. При проектировании 3D пространственной формы изделий из мехового велюра целесообразно использовать принципы трехмерного моделирования одежды из текстильных материалов. Для достоверного виртуального отображения волосяного покрова важно учитывать свойства разных видов меха, в том числе драпируемость, жесткость, текстуру, блеск и цвет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sayem A.S.M., Kennon R., Clarke N. 3D CAD systems for the clothing industry// International Journal of Fashion Design, Technology and Education. - 2010, Vol.3, Is.2, No.7. - P.45-53.
2. Рогожин А.Ю., Гусева М.А. Концепция идеальной системы автоматизированного проектирования одежды// Дизайн и технологии. – 2017, № 52 (94). - С.67-75.
3. Рогожин А.Ю., Гусева М.А., Андреева Е.Г. Моделирование процесса формообразования поверхности одежды// Дизайн и технологии. – 2017, № 60 (102). - С.25-34.
4. Hardaker C.H., Fozzard G. Трехмерные компьютерные оболочки для проектирования одежды // В мире оборудования. – 2001, №2. - С.16-17.
5. Yu M., Wang Y., Wang Y., Li J. Correlation between clothing air gap space and fabric mechanical properties// Journal of the Textile Institute. – 2013, Vol.104, Is.1. - P.67-77.
6. Guseva M.A., Andreeva E.G., Getmantseva V.V., Lunina E.V., Petrosova I.A. Actuality of fur clothes automated design in univesal and special CAD-systems// Znanstvena Misel. – 2017, №5-2. - С.45-47.
7. Гусева М.А., Андреева Е.Г. Систематизация требований к пушно-меховому полуфабрикату для управления качеством процесса проектирования меховой одежды// Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2017, №1 (1). - С.301-307.
8. Рогожин А.Ю., Гусева М.А., Андреева Е.Г. Имитационная модель процесса формообразования поверхности одежды// Дизайн и технологии. - 2018, № 63 (105). - С.47-57.
9. Корячихина М.А., Калинина Л.М., Гусева М.А., Андреева Е.Г. Трехмерные исследования сминаемости волосяного покрова в меховой одежде// В сб. «Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2017)». – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. - С.162-165.
10. Гусева М.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А., Гетманцева В.В., Корячихина М.А. Предпосылки для автоматизированного проектирования 3D поверхности меховой одежды в универсальных и специализированных САПР// В сб. «50-я Международная научно-техническая конференция». – Витебск: ВГТУ, 2017. - С.150-152.

11. FURNATUR. Меховая компания. Интернет-магазин. URL.: https://meha-shkurki.ru (дата обращения 30.05.2018)
12. Lengyel J., Praun E. Finkelstein A., Hoppe H. Real-time fur over arbitrary surfaces// In SI3D ’01 Proceedings of the 2001 symposium on Interactive 3D graphics. New York, NY: ACM, 2001. P.227-232.
13. Goldman D.B. Fake fur rendering// Proceedings of «SIGGRAPH 97», 1997. P.127-134.
14. Kajiya J.T., Kay T.L. Rendering fur with three dimensional textures// Computer Graphics. - 1989, Vol.23. - P.271-280.
15. Gelder A.V., Wilhelms J. An interactive fur modeling technique// In: Proceedings of the Graphics Interface 1997 Conference. - Kelowna: Canadian Human-Computer Communications Society, 1997.- P.181-188.
16. Guan Ju., Yu X., Chen F. Feasibility study of three-dimensional virtual fitting on fur clothing based on DC suite // Proceedings of Digital Fashion Conference 2015.- Seoul, Korea: Digital Fashion Society, 2015. – P.36-41.
17. Artec 3D. URL: https://www.artec3d.com/ru/3d-models#eva (дата обращения 06.05.2017)
18. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Анализ 3D визуализации процесса формообразования одежды со сложной топографией поверхности// Международный научно-исследовательский журнал. – 2017, №7-3 (61). - С.26-30.

УДК 677.074.166.7

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ПОД ЭЛАСТОМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ

ANEWGENERATIONOFTECNIKALFABRICS FORELASTOMERICCOATING

С.Г. Керимов, Л.Н. Попов
S.G. Kerimov, L.N. Popov

АО «Научно-исследовательский институт технических тканей», (г. Ярославль)
SC «Research Institute forindustrial fabrics», (Yaroslavl)
E-mail: niitt@rambler.ru

Приведены описания конструкций, технические характеристики и рисунки переплетений новых структур технических тканей под эластомерное покрытие.
Ключевые слова: новый ассортимент технических тканей, многослойные переплетения, эластомерные покрытия композитов, биаксиизотропные структуры тканей.

The descriptions of structures, technical characteristics and drawings of interlacing of new structures of technical fabrics for elastomeric coating are given. New fabrics.
Key words: new assortment of technical fabrics, multilayer interweaving, elastomeric coatings of composites, biaxisotropic fabric structures.

В настоящее время требования к показателям качества и безопасности работы изделий, изготовленных с применением тканей технического и специального назначения значительно ужесточены. Значительно повышены технические требования к тканям под эластомерное покрытие. В связи с этим появилась потребность в создании новых тканей под эластомерное покрытие обладающих:

- разрывной нагрузкой по основе до 600 кгс/см;

- разрывной нагрузкой по утку, составляющей не менее 50 % от разрывной нагрузки по основе, для обеспечения качественной и надежной стыковки концов конвейерной ленты, исключения раздвижки и последующее разрушение механических стыковочных швов;

- оптимально-развитой рельефной поверхностью, обеспечивающей высокую адгезию изготовленным на её базе конвейерным лентам высокую (не менее 5,0 кгс/см), преимущественно к резине, исключающей случаи расслоения лент;

- низкой поперечной жесткостью, придающей конвейерной ленте оптимальную степень лоткобразования.

В целях расширения и обновления ассортимента технических тканей с одновременным совершенствованием их структур на уровне изобретений с участием авторов работы разработаны полутора- и двухслойные технические ткани нового поколения, которые могут быть использованы в качестве армирующей прокладки технических изделий с полимерным покрытием, преимущественно в качестве защитного слоя – брекера резинотросовых конвейерных лент средней и тяжелой серий, резинотканевых рукавов и других резинотехнических изделий. Эти же ткани без полимерного покрытия могут быть использованы для изготовления специальной защитной спортивной одежды фехтовальщиков, бронежилетов и бронепластин, деталей обуви, фильтрующих перегородок промышленных фильтров для фильтрации жидкостей и газо-воздушных масс.

Разработано два вида новых технических тканей: биаксиизотропные и каркасные.

Биаксиизотропными считаются ткани, выполненные из одинаковых по сырьевому составу и линейной плотности нитей основы и утка, с одинаковыми раппортами переплетений по основе и утку. Эти ткани, как правило, имеют близкие по величине (отличающиеся не более чем на ± 15 %) или равные показатели физико-механических свойств и структурно-геометрические параметры строения в направлениях основы и утка. Такая структура биаксиизотропных тканей вызвана необходимостью воспринимать в процессе их эксплуатации воздействие одинаковых или близких по величине рабочих нагрузок одновременно в направлении основы и утка.

Впервые в практике технотканества биаксиизотропные технические ткани нового поколения выполнены полутора- и двухслойными переплетениями. Слои тканей в них соединены между собой одновременно всеми нитями основы и утка, переходящими из слоя в слой. Технические характеристики разработанных биаксиизотропных тканей приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Техническая характеристика полутораслойных биаксизотропных тканей под эластомерное покрытие

Наименование показателей	Фактические значения для тканей марок*	
	ТАР-300/300	ТАР-400/400
Поверхностная плотность, г/м2	500	650
Ширина, мм	150	150
Толщина, мм	1.26	1.41

Продолжение таблицы 1

Разрывная нагрузка полоски ткани размером 50 х 200 мм, кгс: по основе по утку	 1708 1685	 2245 2187
Устойчивость ткани на продавливание стальным шариком диаметром 8 мм, кгс	454	587
Коэффициент связности ткани	3,4	9,95
Коэффициент уплотненности ткани по основе	0,55	0,96
Сырьевой состав нитей основы и утка	Нить арамидная	
Вид переплетения	Полутораслойное с перевязкой слоёв одновременно всеми нитями основы и утка	
*). Сокращенное обозначение структур тканей: ТАР – ткань арамидная равнопрочная; 300/300, 400/400 – номинальные разрывные нагрузки ткани по основе и утку, кгс/см.		

Таблица 2

Техническая характеристика двухслойных биаксизотропных тканей под эластомерное покрытие

Наименование показателей	Фактические значения для тканей марок*				
	ТПБР-150/150	ТПБР-200/200	ТПБР-300/300	ТПБР-400/400	ТПБР-500/500
Поверхностная плотность, г/м2	640	864	1287	1680	1975
Ширина, мм	1350	1320	1250	1250	1200
Толщина, мм	1,81	2,03	2,40	2,72	3,04
Разрывная нагрузка полоски ткани размером 50 х 200 мм, кгс: по основе по утку	 1610 1660	 2170 2240	 3230 3320	 4320 4410	 5410 5540

Продолжение таблицы 2

Удлинение при разрыве полоски ткани размером 50 х 200 мм, %: по основе по утку	 32 34	 33 35	 34 36	 36 37	 38 39
Изменение размеров ткани в горячем воздухе при температуре 150оС и выдержке 30 минут, %: по основе по утку	 7,5 7,6	 7,8 7,7	 7,6 7,8	 7,9 8,0	 8,2 8,4
Коэффициент связности ткани	3,03	3,4	5,35	7,59	9,95
Коэффициент уплотненности ткани по основе	0,50	0,55	0,71	0,85	0,96
Сырьевой состав нитей основы и утка	нить полиамидная (капроновая) высокой прочности для резинотехнических изделий				
Вид переплетения	двухслойное с перевязкой слоёв одновременно всеми нитями основы и утка				
*). Сокращенное обозначение структур тканей: ТПБР – ткань полиамидная брекерная, равнопрочная; 150/150, 200/200, 300/300, 400/400, 500/500 – номинальные разрывные нагрузки ткани по основе и утку, кгс/см.					

На рис. 1 и рис. 2 приведены раппорты переплетений двух модификаций предлагаемой тканой прокладки и совмещенные с ними схемы расположения нитей основы и утка в сечении вдоль нитей утка. На рисунках приняты следующие условные обозначения нитей: $О_1$ … $О_8$ – нити основы с порядковыми номерами от 1 до 8, $У_1$ … $У_8$ – нити утка с порядковыми номерами от 1 до 8.

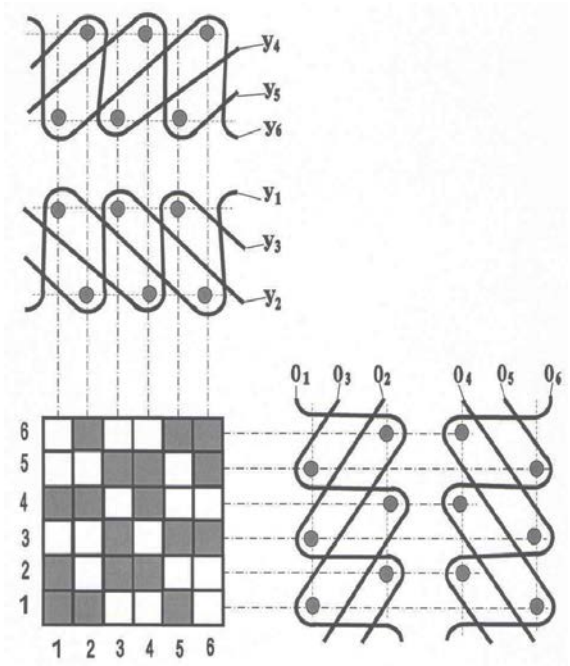


Рис. 1

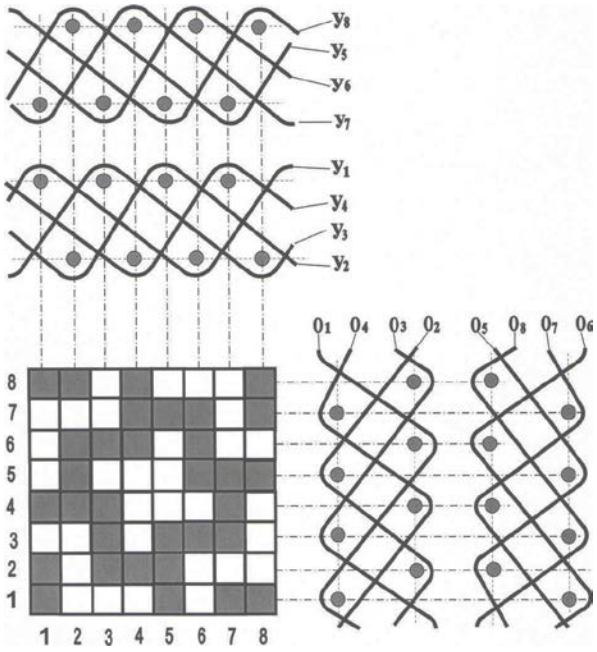


Рис. 2

Разработанные каркасные ткани предназначены для армирования эластомерами конвейерных лент. Структура этих тканей содержит две одинаковые параллельно расположенные один над другим двухслойные фоновые тканые конструкции, соединенные между собой нитями наполнительного утка, переходящими из верхней тканой конструкции в нижнюю. Полные раппорты переплетений каждой составной тканой конструкции состоят из двух раппортов базового двухслойного переплетения и примыкающего к нему справа или слева «пустого» раппорта без основных нитей, состоящего только из уточных нитей. Базовые раппорты тканых конструкций верхнего и нижнего уровней сдвинуты относительно друг друга по горизонтали на величину раппорта по основе, образуя на обеих поверхностях тканой прокладки выступающие продольные полосы, чередующиеся с углубленными продольными канавками. В местах расположения выступов на одной стороне полотна на другой стороне располагаются впадины и наоборот.

Расположение в двух уровнях тканых элементов базового переплетения вдвое повышает плотноёмкость тканой прокладки по утку и тем самым обеспечивает возможность достижения разрывной нагрузки по утку, равной более 50 % от разрывной нагрузки по основе. Наличие на обеих поверхностях тканого каркаса чередующихся выступающих полос и канавчатых углублений из «пустых» раппортов обуславливает повышение адгезии поверхности каркаса к эластомерному покрытию конвейерной ленты и одновременно с этим оптимизирует степень её лоткобразования. Соединяемые тканые конструкции располагаются пораппортно, при этом каждая соединяемая конструкция может содержать в себе от 1 до 4 полных раппортов базового переплетения по основе.

Технические характеристики разработанных каркасных тканей марок ТЛК-400-КП и ТЛК-500-КП приведены в таблице 3.

Таблица 3

Техническая характеристика каркасных тканей под эластомерное покрытие

Наименование показателей		Марка тканого каркаса	
		ТЛК-400-КП	ТЛК-500-КП
Поверхностная плотность, г/м^2		1340 ± 40	1450 ± 40
Толщина, мм		2,6 ± 0,2	2,8 ± 0,2
Количество нитей на 10 см	по основе	132 ± 2	140 ± 2
	по утку	92 ± 2	95 ± 2
Разрывная нагрузка полоски ткани размером 50 х 200 мм, кгс	по основе	2090 ± 40	2540 ± 40
	по утку	1100 ± 40	1300 ± 40
Удлинение при разрыве полоски ткани размером 50 х 200 мм, %	по основе	15 ± 1	16 ± 1
	по утку	26 ± 1	27 ± 1
Удлинение полоски ткани по основе размером 50 х 200 мм при рабочей нагрузке равной 10% от разрывной, %		3,9	4,0
Линейная усадка ткани в горячем воздухе при температуре 150 ^{o}С и выдержке 30 мин., %	по основе	5,7	5,9
	по утку	6,6	7,0
Степень связи поверхности ткани с резиновыми обкладками (адгезия к резине), кгс/см		6,0	6,5
Вид сырья и линейная плотность нитей	основы	Нить полиэфирная (лавсановая) малоусадочная адгезионная	
		675 текс	675 текс
	по утка	Нить полиамидная (капроновая) светостойкая	
		187 текс х 2	93,5 текс х 5
Вид переплетения		Двухслойное комбинированное	

Данные таблицы 3 показывают, что данная тканая прокладка, в сравнении с аналогами, имеет разрывную нагрузку по утку более 50 % от разрывной нагрузки по основе, что обеспечит качественную и надежную стыковку концов конвейерной ленты, исключающую раздвижку и последующее разрушение стыковочных швов. Кроме того конструкция предлагаемой тканой прокладки обеспечивает более высокую прочность связи с покрытием, в частности с резиной 5,5 - 7,2 кгс/см, против 4,6 кгс/см у аналогов, а по всем остальным показателям соответствует требованиям, предъявляемым к тканым каркасам конвейерных лент.

На рис. 3 и рис. 4 приведены раппорты переплетений двух модификаций предлагаемой тканой прокладки и совмещенные с ними схемы расположения нитей основы и утка в сечении вдоль нитей утка. На рисунках приняты следующие условные обозначения

нитей: нити основы – цифрами от 1 до 6, нити утка с порядковыми номерами от 1 до 6 - $У_1$ … $У_6$.

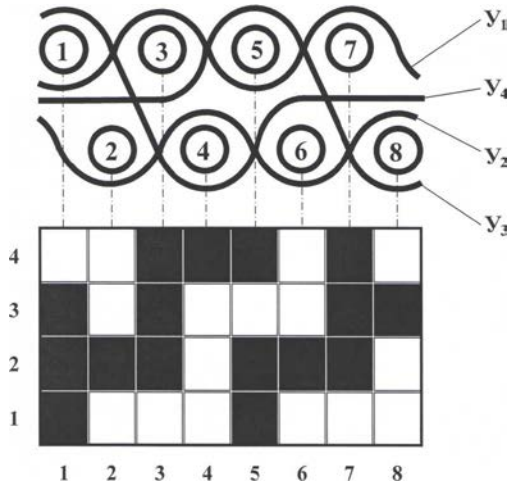


Рис. 3

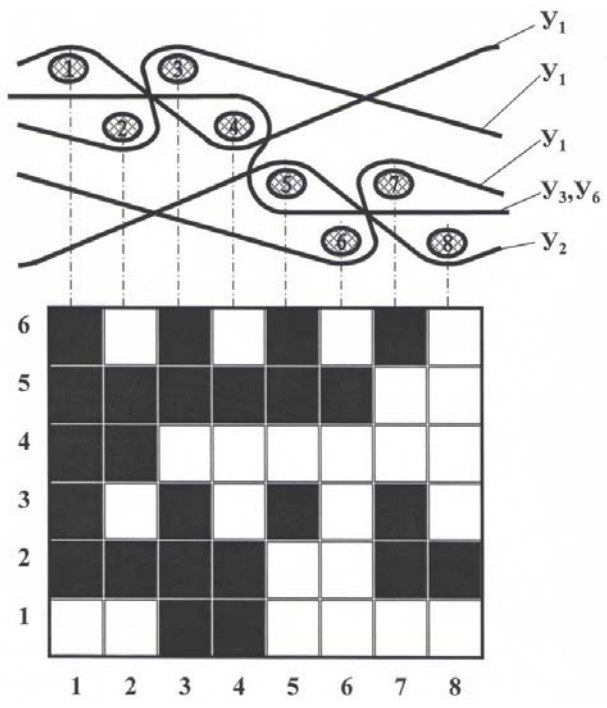


Рис. 4

По результатам проведенных испытаний разработанные новые ткани рекомендованы к серийному выпуску.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ на изобретение № 2507324 «Двухслойная армирующая ткань под эластомерное покрытие», опубл. БИ 2014, № 5 / Керимов С. Г., Попов Л. Н, Жеглов В. В. и др.

2. Патент РФ на изобретение № 22525813 «Рукавная ткань для армирования бесконечных приводных ремней», опубл. БИ 2014, № 23 / Керимов С. Г., Попов Л. Н, Бабаева О. Л.

3. Патент РФ на изобретение № 22589535 «Биаксиизотропная энергопоглощающая техническая ткань порогового срабатывания», опубл. БИ 2016, № 19 / Керимов С. Г., Попов Л. Н, Уточкин М. А., Целикова Н. Л.

4. Патент РФ на изобретение № 2619922 «Биаксиизотропная техническая ткань под эластомерное покрытие», опубл. БИ 2017, № 14 / Керимов С. Г., Попов Л. Н.

5. Патент РФ на изобретение № 2655296 «Прокладка конвейерной ленты с эластомерным покрытием», опубл. БИ 2018, № 15 / Керимов С. Г., Шелкошвейн П. А., Фомичев Н. М.

УДК 677. 064.001.2

МЕТОД РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ПОДОБНЫХ СТРУКТУР

THE METHOD OF CALCULATION OF THE TECHNOLOGICAL DENSITY TECHNICAL FABRICS SUCH STRUCTURES

С.Г. Керимов
S.G. Kerimov

АО «Научно-исследовательский институт технических тканей», (г. Ярославль)
SC «Research Institute forindustrial fabrics», (Yaroslavl)
E-mail: niitt@rambler.ru

Предложен аналитический метод расчета технологических плотностей тканей подобных структур с учетом вида их переплетения. Метод основан на равенстве наполнений тканей подобных структур.
Ключевые слова: технологическая плотность ткани, раппорт переплетения, расчетный диаметр нити, наполнение ткани, подобие структур.

The proposed analytical method for calculation of the technological density of the tissues such structures with regard to the type of their weave. The method is based on the equality of tissue filling of such structures.
Key words: technological density of fabric, rapport of weave, calculated diameter of thread, filling of fabric, similarity of structures.

Одним из основных структурно-геометрических параметров строения технических тканей, существенно влияющих на показатели их физико-механических и эксплуатационных свойств, является технологическая плотность (число нитей на 1 или 10 см по основе или утку). Вопрос выбора оптимальной плотности при проектировании технических тканей решается обычно на основании практических данных. Однако иногда допускаются ошибки, выражающиеся в создании структур тканей с излишней плотностью нитей по основе или утку. Поэтому для предотвращения подобных ошибок выбору плотностей при проектировании тканей необходимо уделять особое внимание. Сравнительная оценка технологических плотностей тканей, вырабатываемых различными переплетениями из нитей разной линейной плотности, в основном производится по показателям наполнения, так как только одна величина плотности, без учета диаметров и взаимного расположения нитей в раппорте переплетения, не может в полной мере характеризовать строения этих тканей.

Из числа известных показателей строения тканей коэффициент наполнения наиболее соответствует понятию уплотненности. Расчет коэффициента наполнения тканей производится относительными методами, как отношение фактической плотности к плотности ткани «квадратного строения», в которой нити под перекрытиями вплотную прилегают друг к другу, а в местах пересечения раздвинуты на величину диаметра нитей противоположной системы.

В практике проектирования ассортиментного ряда технических тканей одного вида и целевого назначения возникает необходимость перерасчета технологических плотностей подобных структур, отличающихся сырьевым составом, видом переплетения, линейными плотностями исходных нитей основы и утка. В этом случае в качестве основного объективного критерия подобия структур тканей можно принять равенство коэффициентов их наполнения по основе и утку с учетом вида переплетения.

В таблице 1 приведены технические характеристики ассортиментного ряда подобных по структуре полиамидных технических тканей, отличающихся видом переплетения. В

качестве базовых тканей приняты серийно изготавливаемые полиамидные технические ткани для конвейерных лент ТК-100 и ТК-200-2 по ГОСТ 18215-87.

Таблица 1

Наименование параметров ткани	Переплетение тканей											
	базовых		рассчитываемых структур (подобных базовым)									
	полотняное $R_O = 2$ $R_y = 2$		репс уточный 2/2 $R_O = 4$		репс основной 2/2 $R_O = 2$		рогожка 2/2 $R_O = 4$ $R_y = 4$		рогожка 3/3 $R_O = 6$ $R_y = 6$			
Результирующая линейная плотность нитей основы и утка, текс	190	380	190	380	190	380	190	380	190	380		
Расчетный диаметр нитей основы и утка, мм	0,654	0,801	0,654	0,801	0,654	0,801	0,654	0,801	0,654	0,801		
Поверхностная плотность ткани, г/м^2	325	590	380	720	360	630	410	715	465	840		
Технологическая плотность ткани, н/дм	по основе	98	104	131	139	98	104	131	139	147	157	
	по утку	62	40	62	40	83	53	83	53	93	60	
полоски ткани размером, 50 х 200 мм, приходящаяся на 1 см, кгс/см, не	по основе	100	220	130	290	100	220	132	290	150	330	
	по утку	66	80	66	80	87	106	87	106	99	120	
Удлинение полоски ткани размером 50 х 200 мм при разрыве, %	по основе	24	36	24	36	22	34	20	32	18	30	
	по утку	20	24	18	22	20	24	18	22	17	21	
Линейное заполнение ткани, %	по основе	64,09	83,31	85,46	11,07	64,09	83,31	85,46	111,8	96,14	125,0	
	по утку	40,55	32,04	40,55	32,04	54,06	42,72	54,06	42,72	60,82	48,06	
Коэффициент наполнения ткани (поверочный расчет)	по основе	1,282	1,667	1,282	1,667	1,282	1,667	1,282	1,667	1,282	1,667	
	по утку	0,811	0,641	0,811	0,641	0,811	0,641	0,811	0,641	0,811	0,641	

Сравнительный анализ данных таблицы **1** позволяет сделать вывод о правомочности применения расчета технологической плотности тканей подобных структур исходя из равенства их наполнений.

Записав известные аналитические формулы для определения наполнений двух подобных друг другу структур тканей и преобразовав их, находим искомые технологические плотности:

$$H_{O1} = H_{O2} = \frac{П_{O1}(R_{O1}d_{O1} + t_{У1}d_{У1})}{R_{O1}} = \frac{П_{O2}(R_{O2}d_{O2} + t_{У2}d_{У2})}{R_{O2}}; \quad (1)$$

$$H_{У1} = H_{У2} = \frac{П_{У1}(R_{У1}d_{У1} + t_{O1}d_{O1})}{R_{У1}} = \frac{П_{У2}(R_{У2}d_{У2} + t_{O2}d_{O2})}{R_{У2}}, \quad (2)$$

откуда:

$$П_{O2} = П_{O1}\frac{R_{O2}(R_{O1}d_{O1} + ty_1d_{y1})}{R_{O1}(R_{O2}d_{O2} + t_{У2}d_{У2})}; \quad П_{У2} = П_{У1}\frac{R_{У2}(R_{У1}d_{У1} + t_{O1}d_{O1})}{R_{У1}(R_{У2}d_{У2} + t_{O2}d_{O2})}, \quad (3)$$

где: H_{o1} , H_{o2} , H_{y1}, H_{y2} – коэффициенты наполнения по основе и утку исходной (базовой) и подобной ей по структуре (проектируемой) тканей; $П_{O1}$, $П_{O2}$, $П_{y1}$, $П_{y2}$ – технологические плотности по основе и утку исходной и подобной ей по структуре ткани;

R_{o1} , R_{o2} , R_{y1} , R_{y2} - раппорт переплетения ткани по основе и утку; t_{o1} , t_{y1} , t_{o2} , t_{y2} – число пересечек (изгибов) нитей основы и утка в пределах раппорта переплетения исходной и подобной ей по структуре ткани; d_{o1} , d_{y1} , d_{o2}, d_{y2} – расчетный диаметр нитей основы и утка исходной и подобной ей по структуре ткани.

Для расчета технологических плотностей тканей подобных структур одинакового переплетения критерием подобия может служить равенство их линейных заполнений по основы и утку:

$$П_{O2} = П_{O1}\frac{d_{O1}}{d_{O2}}; \qquad П_{У2} = П_{У1}\frac{d_{У1}}{d_{У2}} \quad (4)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутепов О. С. Строение и проектирование тканей. – М.: Легпромбытиздат, 1988. с. 197-201.
2. Керимов С. Г. Расчет максимальной технологической плотности ткани с учетом вида переплетения. //Ж. «Текстильная промышленность», 1987, № 5, с. 69.

УДК 677.052.683, 677.026.75

АССОРТИМЕНТНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ШНУРОПЛЕТЕЛЬНЫХ МАШИН

ASSORTMENT OPPORTUNITIES OF CORD BRAIDING MACHINES

С. Г. Керимов
S. G. Kerimov

АО «Научно-исследовательский институт технических тканей», (г. Ярославль)
SC "Research Institute for industrial fabrics", (Yaroslavl)
E-mail: niitt@rambler.ru

Даны возможные варианты алгоритмов расстановок веретен на шнуроплетельных машинах и описаны схемы расположения нитей оплетки на поверхности плетеных шнуров в зависимости от их расстановки. Приведены аналитические формулы для расчета диаметров плетеных шнуров, вырабатываемых при различных расстановках веретен на шнуроплетельной машине.

Ключевые слова: шнуроплетельная машина, расстановка плетельных веретен, наружный и внутренний диаметр плетеного шнура, класс плетельной машины, расчетный диаметр нити оплетки.

The possible variants of algorithms for the placement of spindles on corded machines and describes the scheme of the location of the braid threads on the surface of braided cords, depending on their arrangement. The analytical formulas for the calculation of the diameters of braided cords produced in different layouts of spindles on a cord machine are given.

Key words: cord machine, placement of braiding spindles, the outer and inner diameter of the braided cord, the class of the braiding machine, the calculated diameter of the braid thread.

Плетеные шнуры – текстильные изделия нитевидно-трубчатой формы, содержащие несущий сердечник, состоящий из пучка прямолинейно расположенных нитей, находящихся внутри защитной оболочки. Защитная оболочка выполнена в виде нитевидного тела трубчатой формы и образована двухпрядным переплетением четного числа нитей оплетки, разделенных на две равные части, в каждой из которых нити оплетки расположены по спиралям правого и левого направлений. Плетеные шнуры изготавливают на шнуроплетельных машинах различных конструкций и классов.

Конструкции двухходовых шнуроплетельных машин предусматривают 4 возможных алгоритма расстановки плетельных веретен в окнах крылаточных шестерен. В зависимости от алгоритма расстановки на шнуроплетельной машине плетельных веретен они могут быть настроены на выработку шнуров различных структур, отличающихся как внешним видом, так и структурно-технологическими параметрами строения.

Возможные схемы расстановки плетельных веретен в окнах крылаточных шестерен шнуроплетельных машин по заданным алгоритмам приведены на Рис.1, Рис. 2, Рис. 3, Рис. 4.

На этих рисунках цифрами 1 и 2 отмечены веретена с нитями оплетки правого и левого направлений. На схемах приведены также схематичные рисунки внешних видов проекций поверхностей плетеных шнуров, формируемых при соответствующем алгоритме расстановки плетельных веретен – элементы рисунков переплетений, повернутых на угол, равный половине угла скрещивания нитей оплетки.

В таблице **1** приведены выведенные автором аналитические формулы для расчета геометрических параметров плетеных шнуров при различных алгоритмах расстановки плетельных веретен. Формулы прошли широкую практическую апробацию в научно-экспериментальной лаборатории АО «НИИТТ». По этим расчетным формулам с высокой степенью достоверности можно проектировать плетеные шнуры по заданному диаметру.

Таким образом, изменяя алгоритмы расстановки веретен плетельных машин, можно существенно расширить диапазон технологических и ассортиментных возможностей шнуроплетельных машин без дополнительных материальных затрат.

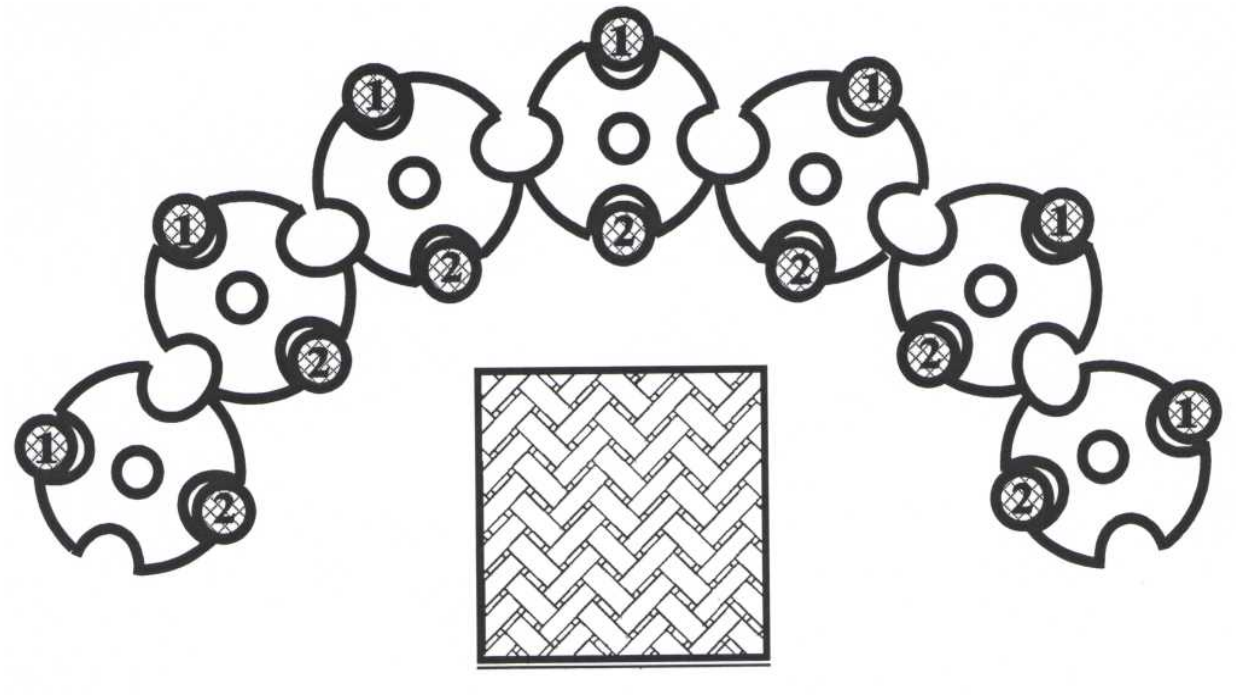


Рис. 1. Схема расстановки веретен плетельной двухходовой машины по алгоритму **1/1 + 1/1**: в одном из направлений – **1** окно занято, **1** окно свободно;
во встречном направлении – 1 окно занято, **1** окно свободно.

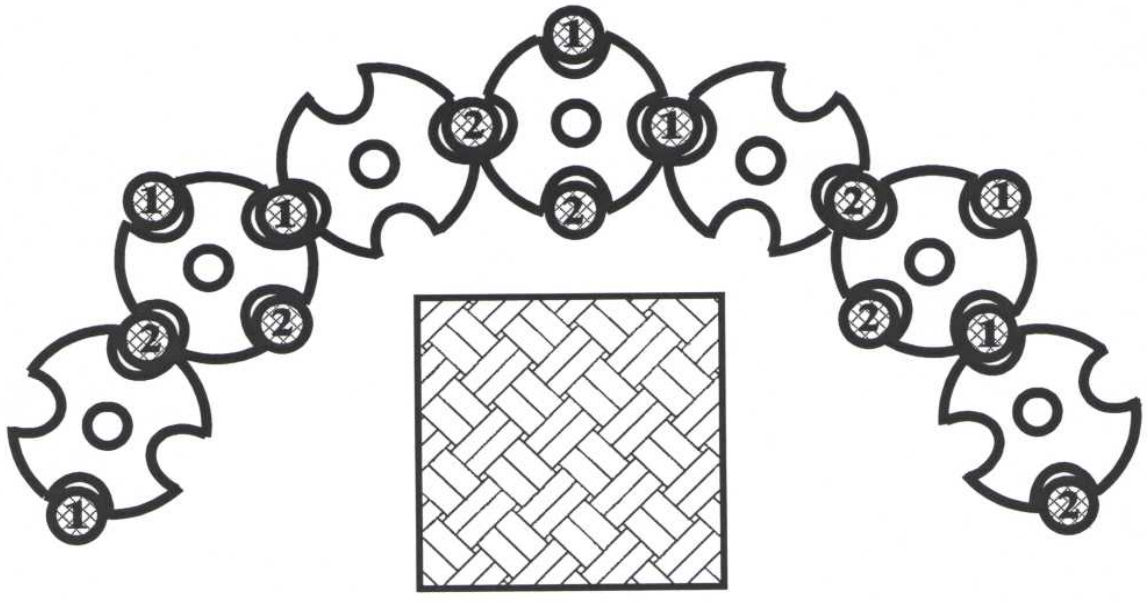


Рис. 2. Схема расстановки веретен плетельной двухходовой машины по алгоритму **2/2 + 2/2**: в одном из направлений – **2** окна заняты, **2** окна свободны;
во встречном направлении – **2** окна заняты, **2** окна свободны.

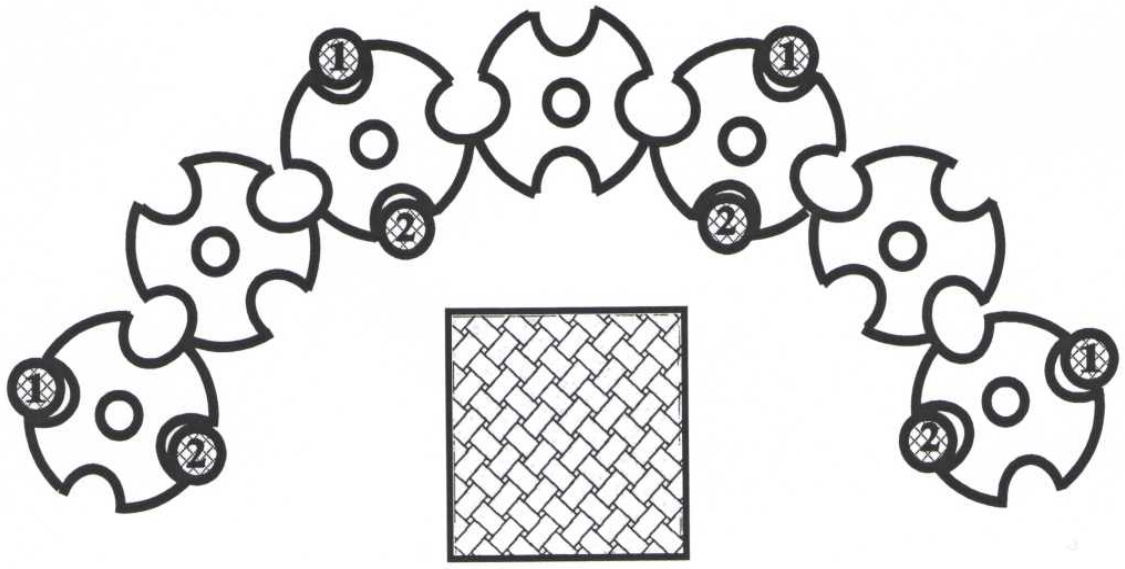


Рис. 3. Схема расстановки веретен плетельной двухходовой машины по алгоритму **1/3 + 1/3**: в одном из направлений – **1** окно занято, **3** окна свободны; во встречном направлении – **1** окно занято, **3** окна свободны.

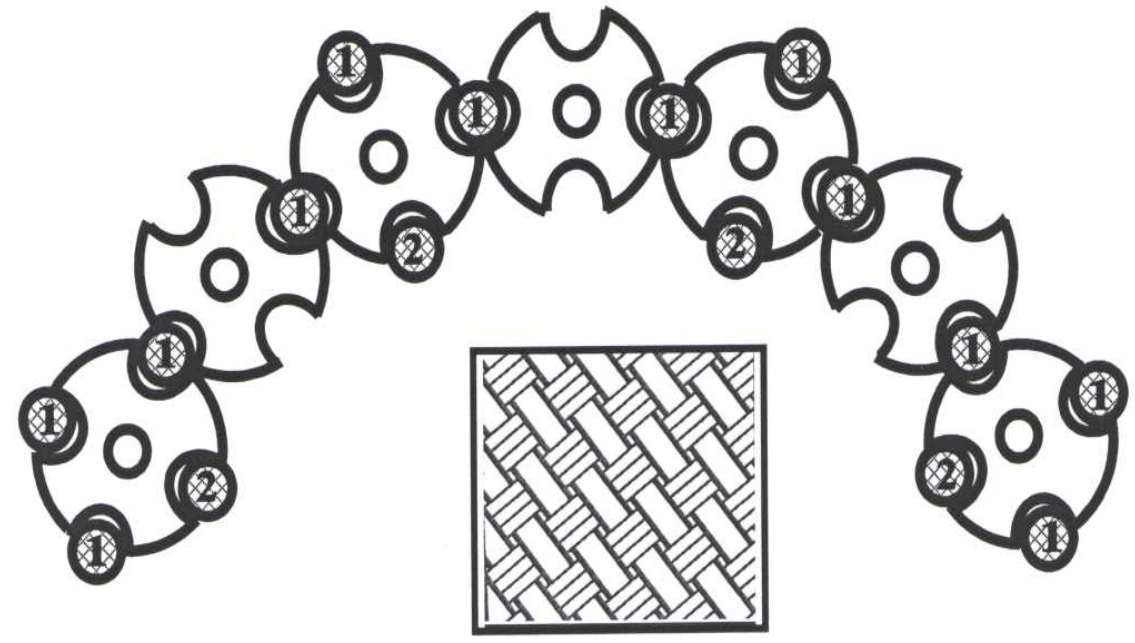


Рис. 4. Схема расстановки веретен плетельной двухходовой машины по алгоритму **3/1 + 1/3:** в одном из направлений – **3** окна заняты, **1** окно свободно; во встречном направлении – **1** окно занято, **3** окна свободны.

Таблица 1

Формулы для расчета диаметров шнуров в зависимости от алгоритма расстановки плетельных веретен на шнуроплетельной машине

Алгоритм расстановки веретен, движущихся		Расчетный диаметр шнура, мм	Примечание
вправо (влево)	влево (вправо)		
1/1	1/1	$D_{ср}= 0{,}307455\ m_o d_o$ $D_{ш}= d_o\ (0{,}3074553\ m_o + 1{,}4)$ $D_{вн}= d_o\ (0{,}307455\ m_o - 1{,}4)$	На поверхности шнура образуются элементы рисунка переплетения «саржа 2/2», повернутого относительно продольной оси шнура на угол плетения.
2/2	2/2	$D_{ср}= 0{,}27565733\ m_o\ d_o$ $D_{ш}= d_o\ (0{,}27565733\ m_o + 1{,}4)$ $D_{вн}= do\ (0{,}275657\ m_o - 1{,}4)$	На поверхности шнура образуются элементы рисунка переплетения «рогожка 2/2», повернутого относительно продольной оси шнура на угол плетения.
1/3	1/3	$D_{ср}= 0{,}30880554\ m_o d_o$ $D_{ш}= d_o\ (0{,}30880554\ m_o + 1{,}4)$ $D_{вн}= d_o\ (0{,}30880554\ m_o - 1{,}4)$	На поверхности шнура образуются элементы рисунка полотняного переплетения, повернутого относительно продольной оси шнура на угол плетения.
3/1	1/3	$D_{ср}= 0{,}238733\ m_o\ d_o$ $D_{ш}= d_o\ (0{,}238733\ m_o + 1{,}4)$ $D_{вн}= d_o\ (0{,}238733\ m_o - 1{,}4)$	На поверхности шнура образуются элементы рисунка полотняного переплетения из пучков нитей оплетки утроенной линейной плотности, повернутого относительно продольной оси шнура на угол плетения.

Условные обозначения:

$D_{ср}$ – средний диаметр оплетки шнура, мм; $D_{ш}$ – наружный диаметр шнура, мм;

$D_{вн}$ – внутренний диаметр шнура, равный диаметру сердечника- наполнителя, мм;

m_o – число нитей оплетки, образующей плетеный шнур (при полной заправке соответствует классу плетельной машины – 16, 24, 32, 40, 48);

d_o – расчетный диаметр нити оплетки (или пучка нитей, образующего нить), мм;

ЛИТЕРАТУРА

1. Ручник И. Г. Плетельное производство. М – Л.: Гизлегпром. 1949. – 115 с.
2. Забелоцкий Л.М., Кузьмин А. Н., Фельдман А. Я. Справочник по текстильно-галантерейному производству (лентоткачество и плетение). М.: Гизлегпром. 1958. – 566 с.
3. Деханова М. Г., Мшвениерадзе А. П. Лентоткацкое и плетельное производства: Справочник. – М. Легпромбытиздат, 1987, - 200 с.

4. Крысько Л. П., Деханова М. Г. Техника и технология плетения. М.: Легпромбытиздат, 1990. 176 с.

УДК 677.026.71, 677.072.686.2

РАСЧЕТ СТРУКТУРНО–ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРОЕНИЯ ПЛЕТЕНЫХ ШНУРОВ

CALCULATION OF STRUCTURAL-GEOMETRIC PARAMETERS STRUCTURES OF PLAIN CORDS

С.Г. Керимов
S.G. Kerimov

АО «Научно-исследовательский институт технических тканей», (г. Ярославль)
SC «Research Institute forindustrial fabrics», (Yaroslavl)
E-mail: niitt@rambler.ru

Приведены аналитические формулы для практических расчетов геометрических параметров строения плетеных шнуров различных конструкций.
Ключевые слова: плетеный шнур, наружный и внутренний диаметры, толщина слоя оплетки, расчетный диаметр нитей оплетки.

Analytical formulas for practical calculations of geometric parameters of the structure of braided cords of various designs are given.
Keywords: braided cord, the outer and inner diameters, the thickness of the layer of braid, the estimated diameter of the filaments of the braid.

Под строением плетеных шнуров понимают взаимное расположение и взаимодействие между собой нитей оплетки, которые характеризуются комплексом различных структурно геометрических, физико-механических, эксплуатационных и других показателей. Закономерность изменения показателей физико-механических свойств и структурно-геометрических параметров строения плетеных шнуров является многофакторной функций.Показатели физико-механических и эксплуатационных свойств плетеных шнуров промышленного применения в основном предопределяются свойствами исходного сырья и структурно-геометрическими параметрами их строения.

Рассмотрим общую схему развертки плетеного шнура, нанесем на неё буквенные размеры и определим основные математические зависимости между структурно-геометрическими параметрами плетеных шнуров (Рис. 1.)

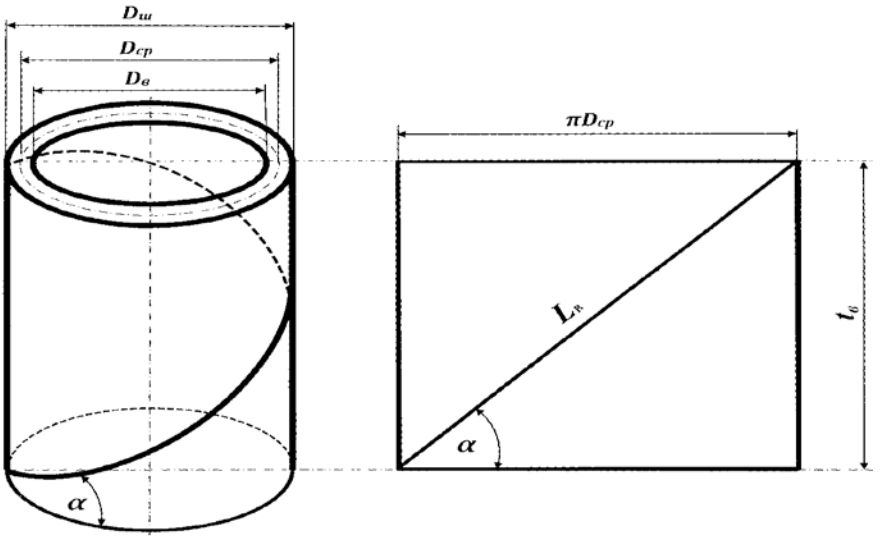


Рис. 1. Схема развертки плетеного шнура

Для двухпрядных шнуров, вырабатываемых на двухходовых шнуроплетельных машинах с расстановкой веретен 1/1 (одно окно каждого из направлений крылаточной шестерни занято, второе окно крылаточной шестерни того же направления - свободно), при которой получаемое переплетение по рисунку подобно повернутой на угол 45° ткани «саржа 2/2»(Рис. 2.).

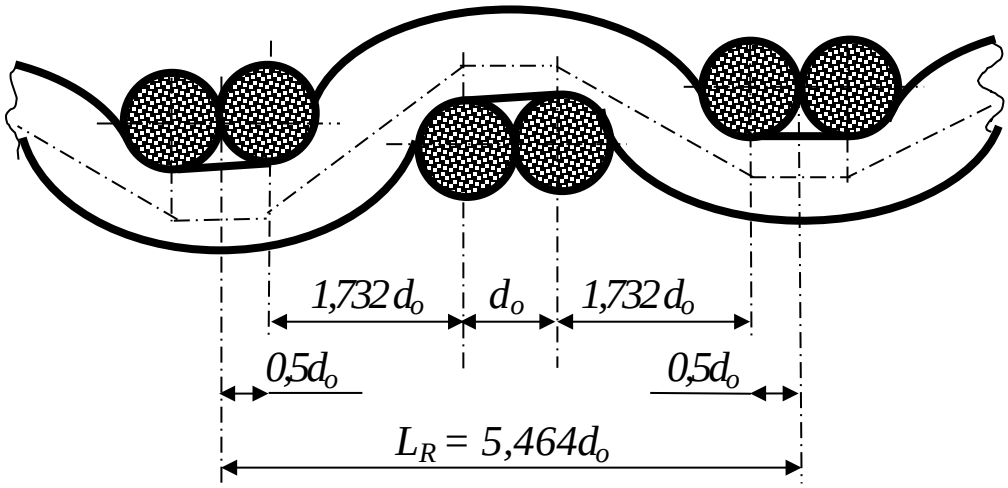


Рис.2.

$$L_в = (m_o/R_o)L_R = 1{,}366\, m_o d_o; \quad (1)$$

$$\pi D_{ср} / L_в = \cos\alpha \text{ откуда } L_в = \pi D_{ср} / \cos\alpha. \quad (2)$$

Приравняв правые части уравнений (1) и (2), получим формулы для расчета структурно-геометрических параметров плетеных шнуров:

$$1{,}366\, m_o d_o = \pi D_{ср} / \cos\alpha, \text{ откуда:} \quad (3)$$

$$D_{ср} \approx 0{,}3075 m_o d_o; d_o \approx D_{ср} / 0{,}3075\, m_o; \quad (4)$$

$$D_ш = D_{ср} + 2d_o \eta_{см} \approx d_o (0{,}0{,}3075 m_o + 1{,}4); \quad (5)$$

$$D_ш \approx A_O\sqrt{T_{OR}}\,(0{,}3075\, m_o + 1{,}4); \quad (6)$$

$$B_{шч} = 0{,}5\pi\, D_ш \approx 0{,}5\pi\, D_ш; \quad (7)$$

$$\tau_{шч} = 4\, d_o\, \eta_{см} \approx 2{,}8\, d_o; \quad (8)$$

$$D_{вн} = D_{ср} - 2d_o\eta_{см} \approx d_o\,(0{,}3075\, m_o - 1{,}4); \quad (9)$$

$$T_{OR} = [D_ш / A_o\,(0{,}3075 m_o + 1{,}4)]^2; \quad (10)$$

где, $L_в$– длина витка нити оплетки, мм; L_R–длина витка нити оплетки в пределах раппорта переплетения, мм; m_o– число нитей оплетки, образующей плетеный шнур (при полной заправке соответствует классу плетельной машины – 16, 24, 36, 40, 48); d_o – расчетный диаметр нити оплетки (или пучка нитей, образующего нить), мм;$\eta_{см}$ – коэффициент смятия нитей (для упрощения расчетов принимаем равным 0,7);$D_ш$–наружный диаметр шнура, мм;$D_{вн}$–внутренний диаметр шнура, равный диаметру сердечника-наполнителя, мм;

A_o–коэффициент для определения расчетного диаметра текстильных нитей;T_{OR}–результирующаялинейная плотность нити оплетки (или пучка нитей, образующих нить), текс;

$B_{шч}$– ширина плетеного шнура-чулка, мм;$\tau_{шч}$– толщина плетеного шнура-чулка, мм.

Для двухпрядных шнуров, вырабатываемых на двухходовых шнуроплетельных машинах с расстановкой веретен 2/2 (два окна заняты, два окна – свободны), при котором получаемое переплетение подобно повернутой на угол 45° ткани «рогожка 2/2» (Рис. 3.).

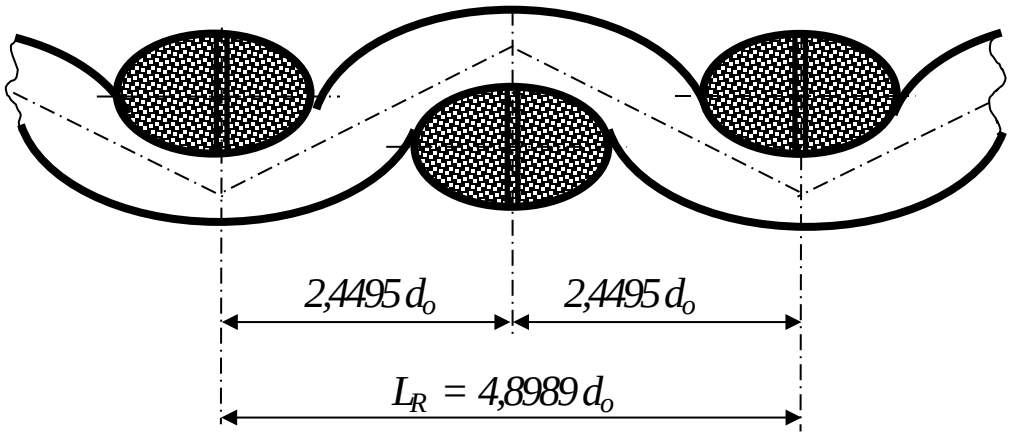


Рис. 3.

$$L_в = (m_o/R_o)L_R = 1{,}2247 m_o d_o; \quad (11)$$

$$\pi D_{ср}/L_в = \cos\alpha \text{ откуда } L_в = \pi D_{ср} / \cos\alpha. \quad (12)$$

Приравняв правые части уравнений (11) и (12) получим формулы для расчета структурно-геометрических параметров плетеных шнуров:

$$1{,}2247 m_o d_o = \pi D_{cp} / \cos\alpha, \text{ откуда: } D_{cp} \approx 0{,}2757 m_o d_o; \quad (13)$$

$$D_ш = D_{cp} + 2 d_o \eta_{см} \approx d_o (0{,}2757 m_o + 1{,}4); \quad (14)$$

$$D_ш \approx \boldsymbol{A_O \sqrt{T_{OR}}} (0{,}2757 m_o + 1{,}4); \quad (15)$$

$$\tau_{шч} = 4\, d_o \eta_{см} \approx 2{,}8\, d_o; \quad (16)$$

$$D_{вн} = D_{cp} - 2 d_o \eta_c \approx d_o (0{,}2757 m_o - 1{,}4); \quad (17)$$

$$D_{вн} = D_{cp} - 2 d_o \eta_c \approx d_o (0{,}2757 m_o - 1{,}4); \quad (18)$$

$$T_{OR} = [D_ш / A_o (0{,}2757 m + 1{,}4)]^2. \quad (19)$$

Для однопрядных шнуров, вырабатываемых на шнуроплетельных машинах с расстановкой веретен 1/3 (одно окно занято, три окна– свободны), а в заправке используется только 50 % веретен, при которой получаемое переплетение внешне подобно повернутой на угол 45^o ткани полотняного переплетения(Рис 4.).

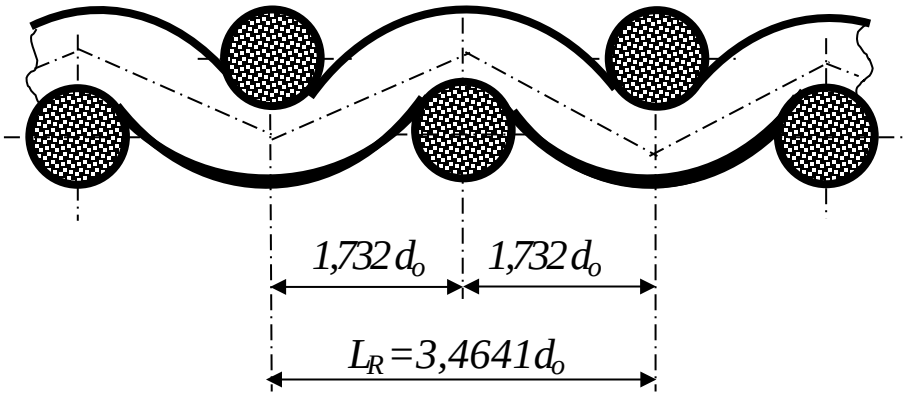


Рис. 4

$$L_в = (m_o / R_o) L_R = 1{,}732 m_o d_o; \quad (20)$$

$$\pi D_{cp} / L_в = \cos\alpha \text{ откуда } L_в = \pi D_{cp} / \cos\alpha. \quad (21)$$

Прировняв правые части уравнений (21) и (22) получим формулы для расчета структурно-геометрических параметров плетеных шнуров:

$$1{,}732 m_o d_o = \pi D_{cp} / \cos\alpha, \text{ откуда: } D_{cp} \approx 0{,}3088 m_o d_o; \quad (22)$$

$$D_ш = D_{cp} + 2 d_o \eta_{см} \approx d_o (0{,}3088 m_o + 1{,}4); \quad (23)$$

$$D_ш \approx \boldsymbol{A_O\sqrt{T_{OR}}}\ (0{,}3088 m_o + 1{,}4); \quad (24)$$

$$B_{шч} = 0{,}5\pi D_ш \approx 0{,}5\pi D_ш; \quad (25)$$

$$\tau_{шч} = 4\ d_o \eta_{см} \approx 2{,}8\ d_o; \quad (26)$$

$$D_{вн} = D_{ср} - 2d_o\eta_{см} \approx d_o (0{,}3898 m_o - 1{,}4); \quad (27)$$

$$T_{OR} = [D_ш / A_o\ (0{,}3898 m_o + 1{,}4)]^2. \quad (28)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Ручник И. Г. Плетельное производство. М – Л.: Гизлегпром. 1949. – 115 с.
2. Деханова М. Г., Мшвениерадзе А. П. Лентоткацкое и плетельное производства: Справочник. –М. Легпромбытиздат, 1987, - 200 с.
3. Крысько Л. П., Деханова М. Г. Техника и технология плетения. М.: Легпромбытиздат, 1990. 176 с.

УДК 677.6/658.628

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СМЕСОВОЙ ПРЯЖИ ИЗ МЕСТНОЙ ШЕРСТИ С ДРУГИМИ ВОЛОКНАМИ

TECHNOLOGY MAKING SPINNING MULTICOMPONENT YARN FROM WOOL AND OTHER MIXED FIBRES

И.А. Набиева[1], И.И. Туйчиев[2], А.О. Ахунбабаев[2]
I.A. Nabiyeva[1], I.I. Tuychiyev[2], U.O. Axunbabayev[2]

[1]Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, (Узбекистан)
[2]Ўзбекский научно-исследовательский институт натуральных волокон,
(г. Маргилан)
[1]Tashkent institute of textile and light industry, (Uzbekistan)
[2]Uzbek Research Institute of natural fibers, (Margilan)
E-mail: margilon_shoyi@yahoo.com

В этой статье представлены инновационные технологии производства пряжи из отечественной шерсти и других волокон. Результаты практических исследований приведены в графике и в рисунках, научно доказано, что показатель качества сырья улучшается в производстве продукции.

Ключевые слова: шерсть; полиэфир; натуральное шелковое волокно; смесь; технологическая цепочка; рациональный метод; разрывное удлинение.

Present article is devoted to technology of development of a polycomponental yarn from the mixed ram 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.

Keywords: a wool, a polyether; natural silk a polycomponent; a mix; technological system; rational a method; explosive lengthenings.

В Республике Узбекистан очень много уделяется внимания для улучшения развития экономики страны. К ним относятся в основном расширение сырьевой базы и умножение

различного ассортимента тканей. Для выполнения поставленной задачи очень важно в производстве продукции использование достижений инновационных научно-исследовательских работ и внедрение в производство продукции. В данное время в республике налажено производство смесовой пряжи и тканей из различных местных натуральных волокон таких, как шелк-сырец, хлопковолокно и др.

Объект исследования и методика: Научными сотрудниками Узбекского научно-исследовательского института совместно с Ташкентским институтом текстильной и легкой промышленности подготовлена на основе научного проекта “Разработка производства смесовой пряжи из местной шерсти с другими волокнами и производство тканей по новой ресурсосберегающей технологии”.

Цель научного проекта исследование и создание новой ресурсосберегающей технологии в производстве смесовой пряжи из местной шерсти с другими волокнами, такие как хлопковолокно, шелк, полиэфир (лавсан), при производстве и крашении тканей различного ассортимента.

Результаты исследования и их анализ: При выполнении научно-исследовательского проекта были изучены свойства местной шерсти и других натуральных и химических волокон, по образцам отдельно приведены научные и практические экспериментальные исследования и получены результаты.

В процессе переработки коконов шелкопряда и прозводстве шелка-сырца, изучены свойства семи видов образующихся отходов (ВМР). Выявлено, что при смешивании местной шерсти с шелковолокном образуются некоторые препятствия, на чесальных машинах в процессе чесания образуются волокнистые отходы в связи с тем, что шерсть и шелковолокно не сразу поддаются смешиванию волокон.

В таблице 1 и в рисунке 1 приведены показатели сырья при прозводстве смесовой пряжи из местной шерсти с полиэфирным волокном (лавсан).

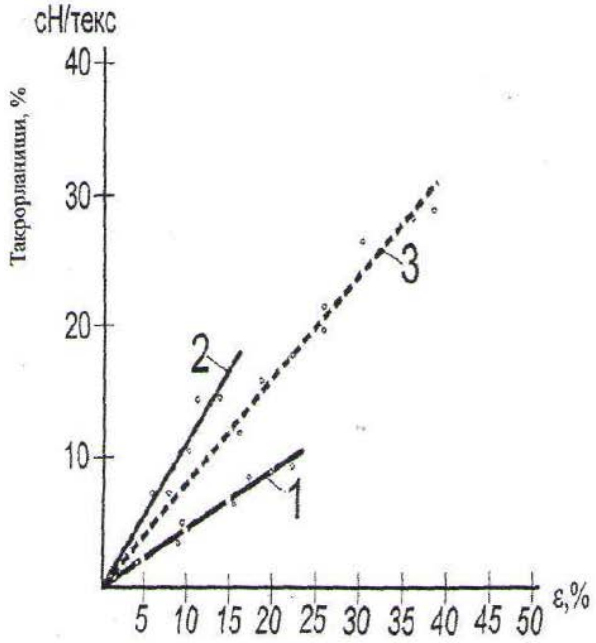


Рис.1. Свойства обрывности волокон
1-местная шерсть; 2-шелк; 3-лавсан.

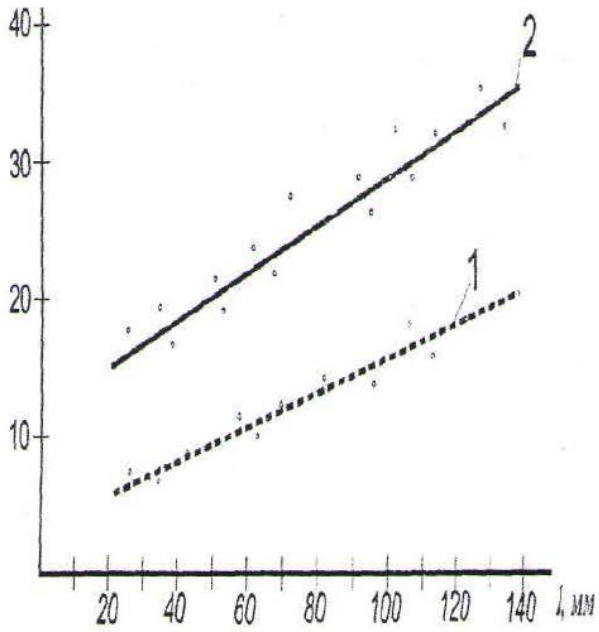


Рис.2. Состояние длины сырья в волокнистой массе,
1-местная шерсть; 2-волокнистый отход шелка.

Таблица 1

Свойства волокон

Показатели	Волокна		
	Шерсть	Шёлк	Полиэфир (лавсан)
Линейная плотность, текс	0,33-0,38	0,11-0,25	0,22-0,27
Относительная прочность, сН/текс	9-12	17-19	29-33
Разрывное удлинение, %	22-25	15-17	30-45

Из показателей таблицы определено то, что в местной шерсти разрывное удлинение на 46 % чем в шелковом волокне, а на лавсановом волокне на 234 % выше. Прочность шелкового волокна относительно местной шерсти на 71 %, а лавсанового волокна на 300 % выше. На практике же, определив рациональную долю линейной плотности и штапельной длины этих волокон при выработке смесовой пряжи, выявлено, что качество нити, полученной в результате влияния положительных свойств волокон улучшается. Длина сырья в массе волокон указана в рисунке 2.

По проведенным анализам в таблице штапельная длина шелковых отходов и шерсти между собой близки по показателям. А лавсановое волокно жгутовое поэтому при подготовке сырья для переработки типовой сортировки, штапель длина должна соответствовать шелковому и шерстяному волокну при отрезе жгута лавсанового волокна.

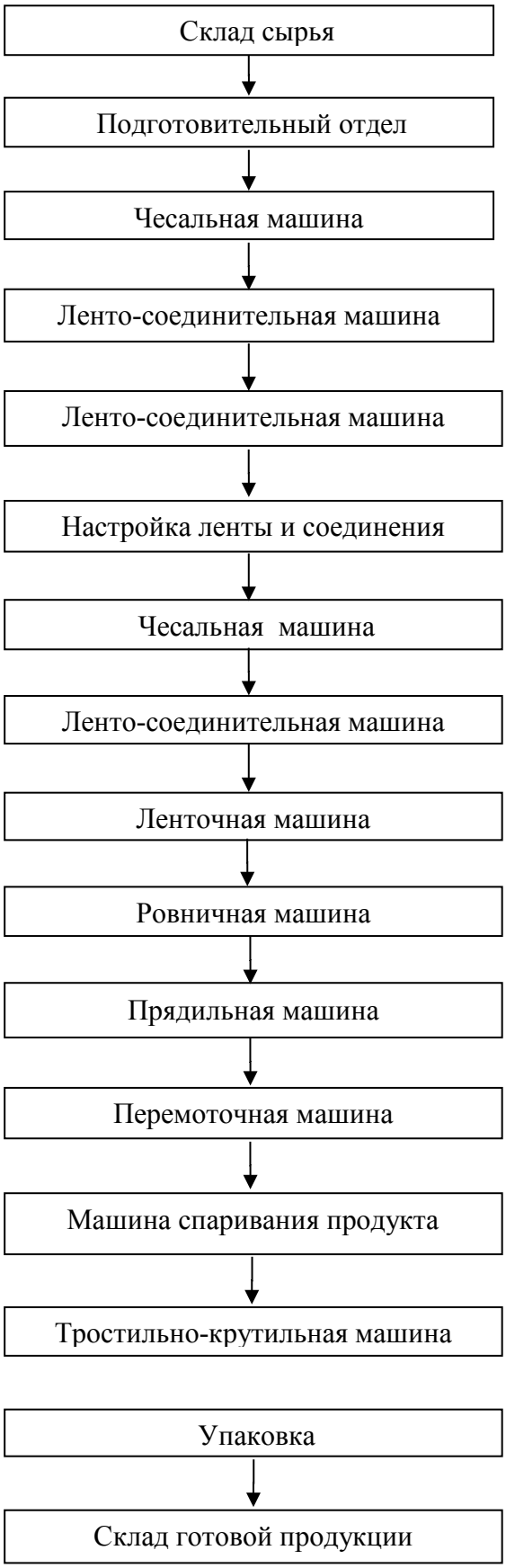


Рис.2. Технологическая цепочка производства пряжи

Таблица 2

Свойства пряжи

Показатели	Пряжа			
	Местная шерсть (100%)	Местные шерсть (50%) Лавсан (25%) шелк (25%)	Местные шерсть (40%) Лавсан(35%) шелк (25%)	Местные шерсть (30%) Лавсан(40%) шелк (30%)
Линейняя плотность, текс	20; 30	31,5	34,5	20
Коэффициент вариации линейной плотности, %	3,8; 4,1	3,6	3,5	3,2
Относительная прочность, сН/текс	16,7; 17,2	27,1	29,6	25,9
Разрывное удлинение, %	26,2; 29	34,7	35,9	39,1
Число крут, бр/м	760; 770	630	650	760
Коэффициент вариации кручения, %	1,7; 1,7	1,2	1,3	1,5
Обрыв нити на 1000 верет.	259; 237	160	157	140

По анализу таблицы 2 видно, что при производстве смесовой пряжи 31,5 текс из 25 % шерсти со смесью шелка и лавсана, чем на 100 % пряжа при сравнении относительная прочность на 57 %, до обрыва на 19 % улучшается, а обрывность пряжи уменьшается на 32 %.

В этом случае в поперечной части пряжи относительно шерсти много образуются тонкие волокна в процессе прядения, а также можно считать, что прочность шелкового и лавсанового сырья больше.

В научной работе проводились исследования в оптимальных условиях смесового состава шерсти, шелковых, полипропиленовых волокон исследование при выработке смесовой пряжи доля сочетания волокон из шерсти, шелка и лавсана приводились в трёх вариантах (70:30, 50:50 и 30:70).

В проведенных экспериментально практических работах если в местную шерсть при добавлении лавсанного волокна более 50 % определено то, что отрицательно влияет на воздухопроницаемость, влагопроницаемость продукции. Поэтому при производстве смесовой пряжи когда добавляется в натуральное волокно лавсан рациональная сумма полиэфира 10-40 % установляется приемлемым вариантом.

На основе экспериментальных практических работ разработана новая система в производстве смесовой пряжи из шерсти, шелка и лавсана с добавлением в местную шерсть лавсана с высокой прочностью и шелка также определены показатели качества в производстве пряжи из шерсти с другими волокнами, в которой рациональная сумма достигает 10-40 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента РУз. “О программе мер по обеспечению структурных преобразований, модернизации и диверсификации производства на 2015-2019 годы” № УП-4707 от 4.03.2015 г.

2. Х.А.Алимова, Д.У.Арипджанова, А.Э.Гуламов, Х.Д.Бастамкулова, Г.А. Юсупходжаева. Способ получения бикомпонентной пряжи из смешанных волокон. № IAP 04949.

УДК 687.11

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ МУЖСКОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ ТКАНЕЙ РАЗЛИЧНОЙ РАСТЯЖИМОСТИ

FEATURES OF DESIGN OF MEN'S CLOTHES FROM FABRICS OF VARIOUS STRETCHABILITY

И.О. Степанов, Е.Г. Андреева, В.С. Белгородский
I.O. Stepanov, E.G. Andreeva, V.S. Belgorodskij

Российский государственный университет им. А.Н.Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), (Москва)
The Kosygin State University of Russia (Moscow)
E-mail: ivan_stepanov@outlook.com; elenwise@mail.ru

В статье рассмотрен процесс проектирования мужских костюмов из костюмных тканей различной растяжимости. На основании результатов исследования растяжимости костюмных тканей с разным содержанием эластичных волокон разработаны конструкции мужских пиджаков особо прилегающего силуэта. Представлены рекомендации по корректировке процедур проектирования для обеспечения надлежащего качества посадки и высокой эргономичности изделий.

Ключевые слова: ткани повышенной растяжимости, мужской костюм.

The article describes the process of designing men's suits from costume fabrics of various extensibility. On the basis of the results of the study of the extensibility of costume fabrics with different contents of elastic fibers, designs for men's suits of a super slim fit have been developed. Recommendations for correcting design procedures for ensuring proper planting quality and high ergonomics of products are presented.

Key words: fabrics of increased extensibility, male suit.

Сегодня классический костюм является основой гардероба большинства мужчин разного возраста и социального статуса. Формирование равноправных гендерных взаимоотношений привело к изменению стилистических и функциональных характеристик мужского костюма [1]. Для мужского классического костюма наряду с традиционной респектабельностью важное значение приобрели комфортность и практичность. Кроме того, современная мужская мода влияет на совершенствование внешнего облика мужчин с помощью отдельных предметов их гардероба, происходит расширение цветовой гаммы и текстуры материалов для мужских костюмов, появляются новые объемно-пространственные формы одежды, предлагается комбинировать ранее несочетаемые элементы костюма, такие как, например, элегантные пиджаки, джинсы, кроссовки, майки и шарфы [2].

С 80-х гг. прошлого века в моду вошёл образ мужчины атлетического сложения, что сказалось на конструкции костюма, повлекло применение более легких материалов и новых методов технологической обработки [3]. Современные тренды здорового питания, занятий спортом, самопрезентации в виртуальной среде подталкивают мужчин больше заботиться о своем внешнем виде и мотивируют их выглядеть подтянутыми и привлекательными. У мужчин, занимающихся спортом, наблюдается динамический прирост размерных признаков спины, обхватов плеча и бедра относительно характеристик типовых фигур (до 10%) [4]. У представителей младшей и средней возрастной групп сформировалась потребность подчеркивать свою фигуру. Все эти факторы привели к появлению нового особо прилегающего силуэта мужских костюмов, получившего у зарубежных производителей название «super slim fit», «extra slim» или «super skinny» (рис.1).



Рис.1 – Модели мужских костюмов особо прилегающего силуэта сезона 2018 г. европейских производителей

Чтобы обеспечить эргономический комфорт потребителям спортивного телосложения для производства мужских костюмов стали применять материалы повышенной растяжимости [5]. Регулировать растяжимость костюмных тканей возможно путем варьирования волокнистого состава и добавления эластичных волокон [6]. Использование таких материалов для изготовления мужских костюмов увеличивает комфортность изделий при эксплуатации [7; 8]. Однако, чем выше процентное содержание эластичных волокон в костюмной ткани [9], тем сложнее проектировать и выполнять ее технологическую обработку при пошиве одежды из-за искажения конфигурации деталей кроя, отсутствия сопряженности срезов деталей и вероятности отклонения параметров внешней формы готового изделия от эталонных [10]. Это обуславливает необходимость разработки обоснованных технологических режимов для изготовления мужских костюмов из материалов, в состав которых входят разные виды эластичных волокон.

В ходе исследования рассматривалась гипотеза о том, что в процессе проектирования мужских костюмов необходимо учитывать степень растяжимости костюмных тканей, имеющих в составе эластичные волокна. Для выявления процедур требуемой корректировки приемов конструирования мужских костюмов были выбраны три образца костюмных тканей осенне-зимнего сезона и экспериментально установлена степень их относительной эластичности [11] (табл.1). Затем отшиты экспериментальные образцы мужского пиджака особо прилегающего силуэта, проведена экспертная оценка качества посадки на этапе примерки и внесены необходимые корректировки в их конструкцию для обеспечения надлежащего качества и достижения заданной внешней формы.

Таблица 1

Растяжимость костюмных тканей с разным содержанием эластичных волокон

Номер образца	Волокнистый состав	Направление исследования	Удлинение при разрыве, %	Общая деформация растяжения, %	Относительная эластичность, %
1	80% шерсти, 20% п/а	основа	62,0±4,3	4,2±0,2	13,7±1,1
		уток	61,0±6,2	7,8±0,3	16,0±1,2
2	44% шерсти, 54% п/э, 3% эластана	основа	133,7±14,5	25,7±0,5	45,5±3,1
		уток	85,5±9,6	24,9±0,6	38,8±2,8
3	43% шерсти, 53% п/э,4% лайкра	основа	117,7±11,8	26,3±0,4	50,8±4,0
		уток	88,0±9,5	22,8±0,5	35,8±3,9

Исходя из полученных характеристик свойств исследуемых костюмных тканей, можно отметить, что показатели деформации растяжения испытуемых образцов тканей с эластичными волокнами превышают нормативные значения данного параметра для костюмных тканей, обеспечивая дополнительное упругое удлинение ткани, полезное для более высоких динамических нагрузок, например, при широкой амплитуде движения рук.

В результате экспериментального исследования процесса конструирования образцов мужской одежды из тканей различной растяжимости сформулированы некоторые рекомендации по конструированию пиджаков особо прилегающего силуэта из эластичных костюмных тканей:

- При конструировании мужских костюмов из материалов повышенной растяжимости целесообразно уменьшить величину прибавок на свободу облегания по всем основным горизонтальным уровням конструкции стана, а именно к основным обхватным параметрам по линиям груди, талии и бедер, в диапазоне от 0 до +4 см.
- С увеличением степени растяжимости костюмной ткани следует уменьшать конструктивную прибавку к ширине спинки, вплоть до минимального значения (возможно до 0 см).
- Следует уменьшить посадку по окату рукава (для базового размероростa от 2,6 см до 1,2 см).
- Для формообразования верхней части спинки в зависимости от степени растяжимости материала могут использоваться как конструктивные приемы (например, вытачка в плечевом срезе или посадка по плечевому шву), так и свойства самого материала (способность изменять углы под воздействием механических сил).
- При раскладке лекал следует иметь ввиду, что показатели растяжимости по основе и утку могут существенно различаться.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что при разработке конструкций и технологии изготовления мужских костюмов из тканей с эластичными волокнами необходимо учитывать степень растяжимости полотен по основе и утку для корректировки типовых процедур и приемов проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлева М.В. Динамика образов "мужественности" и "женственности" в европейском костюме XX века: Гендерный подход: дис. ... канд. культурол.: 24.00.01, СПб., 2003. - 187 с.
2. Fletcher K. Durability, Fashion, Sustainability: The Processes and Practices of Use// Fashion Practice: The Journal of Design, Creative Process & the Fashion Industry.- 2012, Vol.4, Is.2.- P.221-238.
3. Елизаров А.А. Развитие стилистических форм мужского классического костюма и их прогнозирование// Дизайн и технологии. - 2011, № 26 (68). - С.12-24.
4. Андреева Е.Г., Гусева М.А., Петросова И.А., Рогожин А.Ю. Антропометрические исследования для конструирования одежды. Лабораторный практикум по размерной антропологии и биомеханике - М.: МГУДТ, 2015. - 164 с.
5. Gorjanc D.Š., Vili Bukošek V. The behavior of fabric with elastane yarn during stretching// Fibres and Textiles in Eastern Europe. – 2008, Vol.16, Is.3.- P.68
6. Андреева Е.Г. Основы проектирования одежды из эластичных материалов. - М.: МГУДТ, 2004. - 134 с.
7. Eryuruk S.H., Kalaoglu F. Analysis of the performance properties of knitted fabrics containing elastane// International Journal of Clothing Science and Technology. - 2016, Vol.28, Is.4. - P.463-479.
8. Verdu P., Rego J.M., Nieto J., Blanes M. Comfort Analysis of Woven Cotton/Polyester Fabrics Modified with a New Elastic Fiber, Part 1 Preliminary Analysis of Comfort and Mechanical Properties// Textile Research Journal. - 2009, Vol.79, Is.1.- P.14-23

9. Senthilkumar M., Sounderraj S., Anbumani N. Effect of spandex input tension, spandex linear density and cotton yarn loop length on dynamic elastic behavior of cotton/spandex knitted fabrics// Journal of Textile and Apparel, Technology and Management/ - 2012, Vol.7, Is.4
10. Степанов И.О., Ханбекова Н.Д., Андреева Е.Г., Гусева М.А. Проектирование технологии пошива мужских костюмов с учетом свойств эластичных материалов// Вестник молодых ученых, 2018.
11. Бузов Б.А., Алыменкова Н.Д., Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство). - М.: Академия. 2010. – 448 с.

УДК 602.17

СВЕРХПРОЧНЫЕ АРАМИДНЫЕ ПОЛИМЕРЫ И КОМПОЗИТЫ НА ИХ ОСНОВЕ

SUPERPROPRIATE ARAMID POLYMERS AND COMPOSITES BASED ON THEIR BASIS

И.А. Абронин[1], М.А. Молоканов[1], В.А. Ракитина[2], М.В. Шаблыгин[2]
I.A Abronin[1], M.A Molokanov[1], V.A. Rakitina[2], M.V. Shabligin[2]

[1]Московский политехнический университет
[2]НПО «Термиз» (Москва)
Moscow Polytechnic University
SPA «Termiz»
E-mail: iaabr@mail.ru, lebed48@icloud.com, Valeriirelav@bk.ru, spectr32@mail.ru

В работе рассмотрены подходы к теоретическому анализу относительной прочности арамидных полимеров. В частности приведены результаты модельных квантово-химических расчетов влияния водородных связей в ароматических полиамидах в полиамидах типа кевлар, СВМ, РУСАР, РУСЛАН и их композитов на их относительную устойчивость.

Ключевые слова: кевлар; слоисто-тканевые материалы; арамидные полимеры; водородные связи; квантовая химия; молекулярная механика.

The approaches to the theoretical analysis of the relative strength of aramid polymers are considered. In particular, the results of model quantum chemical calculations of the effect of hydrogen bonds in aromatic polyamides in polyamides such as Kevlar, CBM, RUSAR, RUSLAN and their composites on their relative stability are presented.

Key words: Kevlar; layered-fabric materials; aramid polymers; hydrogen bonds; quantum chemistry; molecular mechanics.

Арамидные нити, волокна, пленки товарных знаков РУСАЛ, СВМ, РУСЛАН [1] обладают уникальными физико-механическими свойствами, обусловленными специфическим строением макромолекулярных агрегатов.

Решающим фактором их строения является высокий ориентационный порядок макромолекул и существование специфического межмолекулярного взаимодействия посредством систем водородных связей [2], а также π-π взаимодействием электронных систем бензольных колец соседних макромолекул [3].

Для п-арамидов товарных знаков кевлар, тварон межмолекулярные взаимодействия осуществляются водородными связями бензамидных систем, плоскости которых повернуты относительно бензольных колец.

Существование межмолекулярных Н-связей в ароматических полиамидах, согласно работам является причиной возникновения «самоориентационных» процессов при температурных обработках арамидных нитей РУСАЛ, РУСЛАН,СВМ.

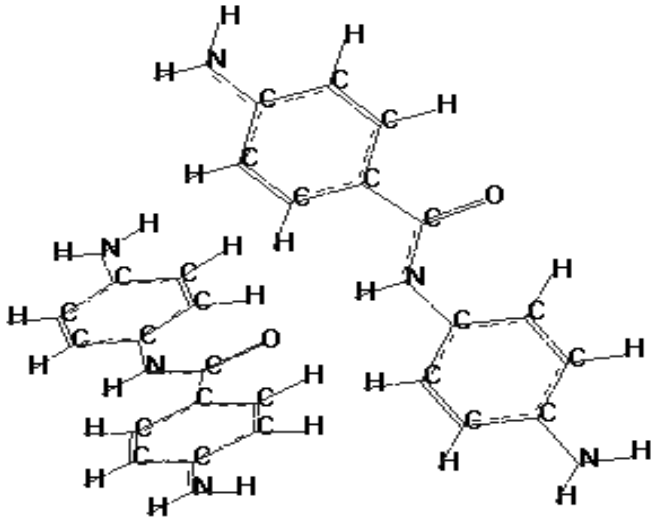
Проведение термохимических исследований и дифференциально-термического анализа мономерных соединений подтвердили ранее опубликованные результаты существования полиморфных форм 5(6)-амино-2(п-амино) фенилбензимидазола с двумя температурами их плавления и нескольких видов кристаллов.[1-3, с 16-24].

Последние исследования показали, что композитные слоистые материалы изготовленные на основе волокон и тканей из РУСАЛа и кевлара обладают даже большей прочностью и эксплуатационными характеристиками. При этом их себестоимость заметно уменьшается в связи с более простой технологией производства кевлара и меньшей стоимостью исходных веществ.

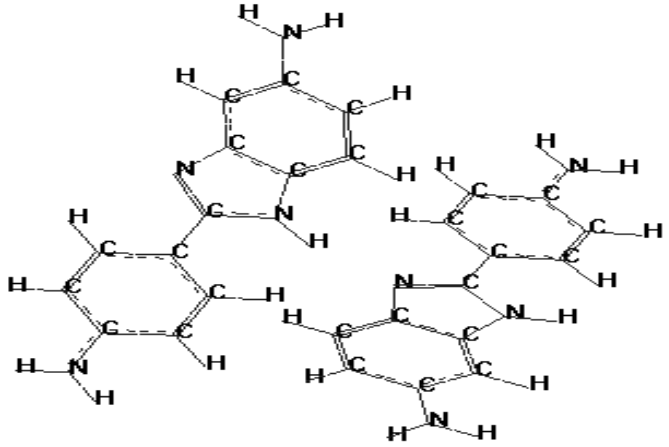
В настоящей работе неэмпирическими квантово-химическими методами с полной оптимизацией геометрических параметров и энергеии компекса образования водородных связей, димерных фрагментов кевлара, РУСАЛа и смешанных фрагментов кевлара и РУСАЛа связанных водородными связями между пиптидной группой фрагмента кевлара и медозольной группой РУСАЛа.

Таблица 1

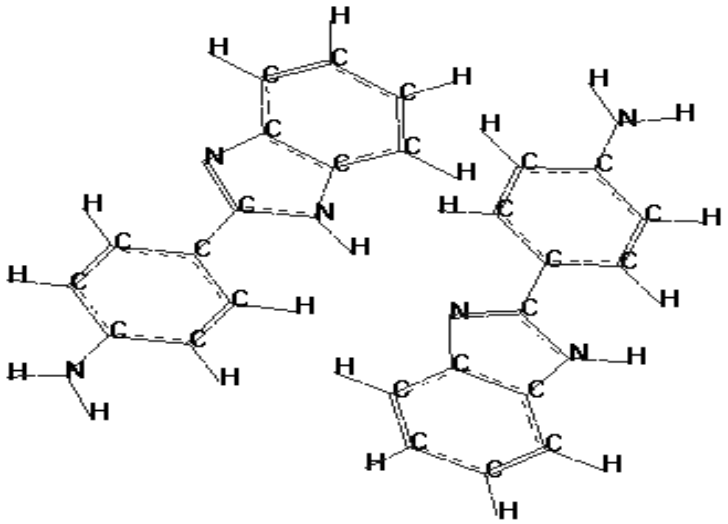
Структура и энергия водородносвязанных комплексов



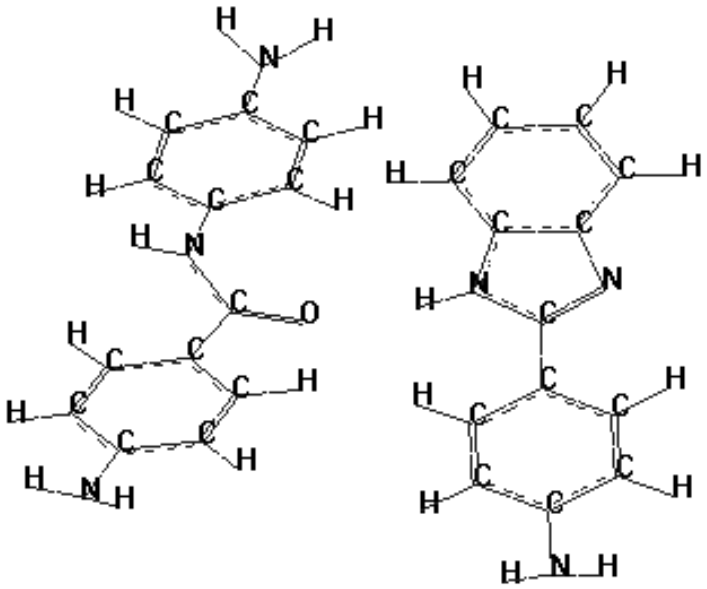
E_H=5,52 ккал/моль (рис.1)



EH=7,96 ккал/моль (рис.2)



EH=8,13 ккал/моль (рис.3)



E_H=8,43 ккал/моль (рис.4)

Из полученных результатов следует, что водородные связи между имидазольными фрагментами полимерных волокон РУСАР, а также комплекса его фрагментов водородносвязанного компелкса между пиптидной связи кевлара и имидазольной группы РУСАРа могут вносить существенный вклад в их стабильность, при этом оказалось, что минимальная энергия водородной связи на рис.1 составляет 5,52 ккал/моль, для фрагмента РУСАРа и кевлара - 8,43 ккал/моль, что явлется максимальным в рассмотренном водородносязанном комплексе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лакунин В.Ю., Шаблыгин М.В., Склярова Г.Б., Ткачева Л.В.// Номенклатура и свойства арамидных нитей, производимых ОАО «Каменскволокно», Хим.волокна, 2010,№3.
2. Шаблыгин М.В.// Межмолекулярные взаимодействия в химии и технологии волокон. Хим. Волокна, 2006, №6.
3. Лакунин В.Ю., Шаблыгин М.В.// Номенклатура и свойства арамидных нитей, производимых ОАО «Каменскволокно», Хим.волокна, 2010,№3.
4. Абронин И.А., Ракитина В.А., Слугин И.В., Шаблыгин М.В. // Квантово-химические исследования структуры фенилбензимидазола.и Хим.волокна, 2004, №4, с 42-46

5. Абронин И.А., Ракитина В.А., Грибанов В.А.// Квантово-химический расчет водородных связей. Хим. волокна,2005,№6,с 81-85
6. И.А. Абронин, А.В. Бандуркин, Л.В.Волкова, М.В. Шаблыгин// Особенности водородных связей в ароматических полиамидах, содержащих бензимидазольные группировки, по данным квантово-химическеих расчетлв ., Хим.волокна, 2015 №5, с 40-43
7. И.А. Абронин, А.В. Бандуркин, В.А. Ракитина, М.В. Шаблыгин.// Модельные квантово-химические расчеты водородных связей между полимерными молекулами в волокнах типа АРМОС. Материалы международного семинара «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы»SMARTEX-2013. Иваново, 2013, с.32-34.
8. И.А. Абронин, А.В. Бандуркин, Л.В.Волкова, М.В. Шаблыгин //Особенности водородных связей в ароматических полиамидах, содержащих бензимидазольные группировки, по данным квантово-химическеих расчетов ., Хим.волокна, 20015 №5, с 40-43

УДК 677.074.1

РАЗРАБОТКА СТРУКТУР ТКАНЕЙ ДЛЯ МЯГКОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКООБЪЕМНЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ НИТЕЙ

DEVELOPMENT OF STRUCTURES OF FABRICS FOR MILD BODY ARMOR WITH THE USE OF HIGH-SIZE AND COMBINED THREADS

П.Е. Сафонов[1], Н.М. Левакова[1], С.С. Юхин[2]
P.E. Safonov[1], N. M. Levakova[1], S.S. Yukhin[2]

[1]ООО «ТЕКС-ЦЕНТР», (Москва)
[2]Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), (Москва)
[1]TEKS-CENTRE Ltd (Moscow)
[2]Russian State University ‘”A.N. Kosygin” (Technology. Design. Art), (Moscow)
E-mail: info@teks-centre.ru, sergeyyukhin@yandex.ru

Представлены результаты разработки защитных арамидных тканей с использованием высокообъемных и комбинированных неоднородных нитей. Подтверждена целесообразность использования высокообъемных нитей для повышения осколочной стойкости арамидных тканей и целесообразность использования комбинированных нитей со стальной оплеткой для защиты от холодного оружия.

Ключевые слова: арамидные нити, текстурированные высокообъемные нити, комбинированные неоднородные нити, противоосколочная стойкость ткани.

The results of the development of protective aramid fabrics using high-size and combined heterogeneous threads are presented. The expediency of the use of high-size threads to increase the fragmentary resistance of aramid fabrics and the feasibility of using combined threads with steel braid for protection against cold weapons is confirmed.

Keywords: aramid threads, textured high-size threads, combination of heterogeneous threads, ballistic resistance of the fabric.

При проектировании рациональных структур защитных тканей на основе высокопрочных и высокомодульных арамидных нитей необходимо иметь четкие представления о механизмах разрушения той или иной структуры при воздействии поражающих элементов определенной формы и с определенной скоростью (энергией).

На основании проведенных ранее исследований [1] показано, что баллистическая эффективность (противоосколочная стойкость) тканевого пакета зависит от структуры использованных нитей (филаментность нити, степень извитости и ориентация филаментов).

Так установлено, что с уменьшением количества кручений комплексной нити наблюдается тенденция к увеличению показателя скорости непробития (V_{50}) осколком, это объясняется увеличением полезной площади нити в структуре ткани, в результате чего в работу деформирования при внедрении поражающего элемента одновременно включается максимальное количество филаментов. Тем самым можно сделать вывод о том, что максимально возможное количество, одновременно участвующих в деформировании ткани филаментов будет в случае, когда комплексная нить имеет крутку 0 кр./м.

Однако существуют предпосылки к дальнейшему увеличению полезной площади комплексной нити в структуре ткани, путем придания ей повышенной объемности. Нити с повышенной объемностью получили название текстурированных, основным признаком, отличающим текстурированные нити от других видов нитей, является извитая форма филаментов. Извитость филаментам в нити придается путем механической деформации или тепловой обработки [2].

Известно [3] об удачном применении высокообъемных текстурированных параарамидных нитей для изготовления структур тканей, защищающих от осколков, пуль и холодного оружия. Авторами предложено сообщать извитость нитям Тварон способом роспуска трикотажного полотна. Однако использованный способ текстурирования является весьма трудоемким, так как необходимо сначала связать трикотажное полотно, термофиксировать его в автоклаве, затем распустить на отдельные нити и потом из полученных извитых нитей выработать ткань. Очевидно, что в результате описанных операций арамидные нити могут значительно повредиться, что не позволит реализовать их свойства в полной степени [4].

Для проверки предположения, согласно которому использование высокообъемных арамидных нитей позволит повысить защитные свойства ткани при воздействии поражающего элемента, рассмотрим более простой способ текстурирования – классический способ.

Классический способ текстурирования заключается в дополнительном кручении комплексной нити в направлении заводской крутки, термической обработке и раскручивании в обратном направлении до 0±20 кр./м. Объект исследования – нить Руслан 29,4 текс с заводской круткой 100 кр./м предложено докручивать до 280…850 кр./м в направлении «Z», затем термообрабатывать и после этого раскручивать в направлении «S» до 0±20 кр./м.

На рис. 1 показана нить Руслан 29.4 текс до и после текстурирования классическим способом. Изменения, произошедшие со структурой нити при текстурировании очевидны – нить приобрела пространственную извитость и увеличенный объем.

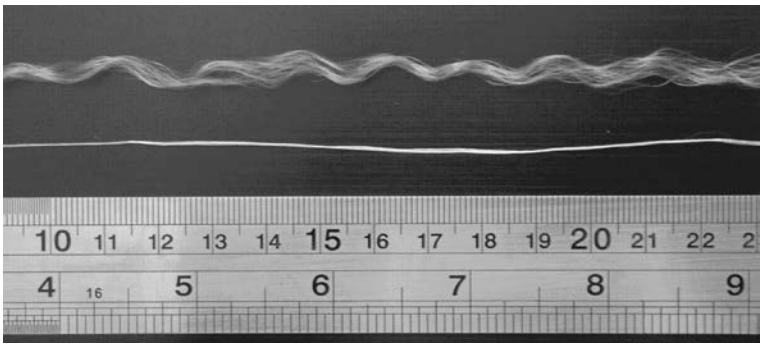


Рис. 1. Текстурированная высокообъемная нить (вверху) в сравнении с нитью Руслан 29.4 текс 0 кр./м (внизу)

В табл. 1 представлены показатели свойств, характеризующие защитную способность ткани: значения усилий вытягивания нитей основы и утка, и показатель противоосколочной

стойкости, выраженный через скорость V_{50}. Для определения целесообразности использования высокообъемных нитей Руслан предложено ввести их в систему утка ткани саржевого переплетения. В табл. 1 принято следующее обозначение нитей: для нетекстурированных нитей указывается величина и направление крутки, например 100 Z или 0 S, а для высокообъемных нитей указывается величина крутки при текстурировании, например Т 280 или Т 500.

Таблица 1

Значения показателей, характеризующих защитные свойства саржевой ткани 150 г/м^2

Образец	Крутка, кр./м		Усилие вытягивания, Н		Скорость V_{50}, м/с
Система нитей	*Осн.*	*Ут.*	*Осн.*	*Ут.*	
С	100 Z	0 S	7,80	6,05	556,7
О-1	100 Z	Т 500	6,29	7,52	545,7
О-2	50 Z	Т 500	6,69	7,78	570,5
О-3	100 Z	Т 280	7,02	5,27	567,0

Примечание: в обозначении образца ткани буквы ***С*** – серийный и ***О*** – опытный.

Из данных табл. 1 следует, что однозначного вывода о целесообразности использования тектурированных арамидных нитей сделать нельзя. При испытаниях осколочной стойкости пакетов из 20 слоев ткани в сухом состоянии установлено, что наиболее высокие показатели скорости V_{50} достигнуты именно для опытных образцов с текстурированными нитями в утке (*О-2* и *О-3*). Но с другой стороны, опытный образец *О-1,* также содержащий текстурированные нити, обнаружил минимальное значение скорости непробития V_{50}.

Возможное объяснение такого разброса в результатах состоит в том, что у процесса текстурирования есть негативная сторона – это снижение свойств нити при растяжении вследствие повреждений филаментов. Удельная разрывная нагрузка текстурированных нитей Руслан 29,4 текс, в зависимости от сообщаемой величины крутки при текстурировании, составляет всего 149-164 сН/текс, а удлинение 2,2-2,4%.

Наряду с высокообъемными текстурированными нитями неожиданный положительный эффект при изготовлении защитных арамидных тканей могут обеспечить различные комбинированные структурно-неоднородные нити.

Среди всего возможного разнообразия комбинированных нитей [5] рассмотрим неоднородные обкрученные (оплетенные) нити, сердечник которых выполнен из арамидной нити Руслан, а оплетка из стальной микропроволоки. Предполагается, что использование подобных нитей в структурах тканей позволит управлять их способностью вытягиваться и раздвигаться при воздействии поражающего элемента.

На рис. 2 представлены фотографии образцов комбинированных нитей с арамидным сердечником и одиночной или двойной стальной оплеткой. Удельная разрывная нагрузка комбинированных нитей составляет 172…215 сН/текс, удлинение 3,5…3,9%, а работа разрыва 35…43 Дж/г.

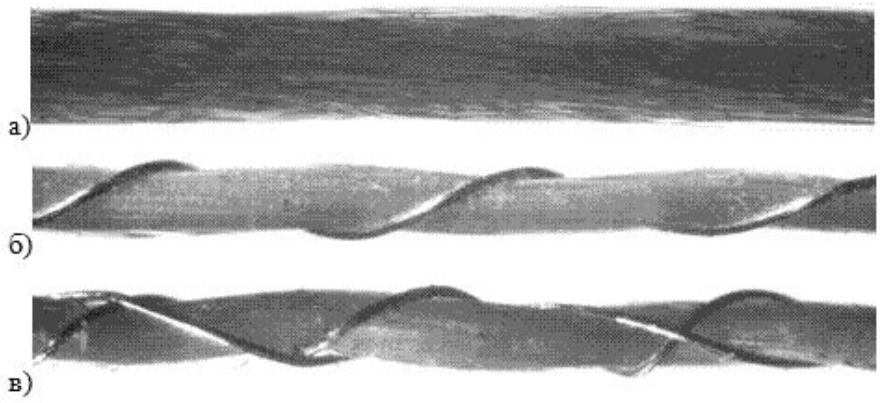


Рис. 2. Варианты комбинированных неоднородных нитей: а) исходная нить Руслан; б) нить Руслан, обкрученная стальной микропроволокой в одном направлении; в) нить Руслан, обкрученная в двух противоположных направлениях

В рамках проводимого исследования предложено ввести комбинированные нити со стальной проволокой в систему утка ткани саржевого переплетения. Прежде всего, исследуем то, как повлияло использование комбинированных нитей на усилие вытягивания основы и утка из ткани, раздвигающую нагрузку вдоль систем нитей и стойкость при прорезании ножом [6]. В табл. 2 представлены значения перечисленных показателей свойств для серийного образца ткани и образца ткани с комбинированными, обкрученными стальной микропроволокой, нитями утка.

Установлено, что после введения в уток комбинированных нитей наблюдается увеличение усилий вытягивания основы и утка в 3,2 и 2,5 раза, соответственно, раздвигающая нагрузка систем нитей также увеличивается – основы относительно утка на 10% и утка относительно основы на 29%. Очевидно, что степень закрепления нитей в структуре ткани существенно увеличилась благодаря использованию комбинированных нитей утка.

Таблица 2

Значения показателей, характеризующих защитные свойства саржевой ткани, содержащей комбинированные нити со сталью

Образец	Усилие вытя-гивания, Н		Раздвигаю-щая нагрузка, Н		Максимальная нагрузка при внедрении ножа, Н		Работа внедрения ножа, Дж/г	
Система нитей	*Осн.*	*Ут.*	*Осн.*	*Ут.*	*Осн.*	*Ут.*	*Осн.*	*Ут.*
Серийный	5.0	5.0	16.9	16.7	116.7	75.7	12.1	9.0
Опытный	16.1	12.6	18.6	21.6	189.4	189.5	15.5	15.1

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для обеспечения эффективной защиты от колющего или режущего оружия необходимо выбирать такие структуры тканей, в которых нити не имеют возможность относительно свободно вытягиваться и раздвигаться, использование разработанных комбинированных нитей со стальной оплеткой позволяет удовлетворить этому условию.

В заключение исследуем противоосколочную стойкость образцов тканей до и после введения комбинированных нитей в систему утка. В табл. 3 представлены результаты испытаний скорости V_{50} по итогам 20 зачетных выстрелов. Испытания проводились следующим образом: в качестве базового образца выбран пакет из 20 слоев серийной ткани

150 г/м^2, далее в рамках эксперимента в пакеты с определенным чередованием были введены слои ткани с комбинированными нитями.

Из данных табл. 3 следует, что при введении в состав пакета опытных слоев тканей происходит снижение осколочной стойкости на 27…37 м/с для всех рассмотренных комбинаций слоев. Снижение осколочной стойкости пакета объясняется именно тем фактом, что опытные ткани с комбинированными нитями в утке препятствуют свободному вытягиванию нитей, т.е. то, что являлось преимуществом при защите от колющего или режущего оружия с точки зрения обеспечения эффективной осколочной стойкости является недостатком тканей из комбинированных нитей.

Таблица 3

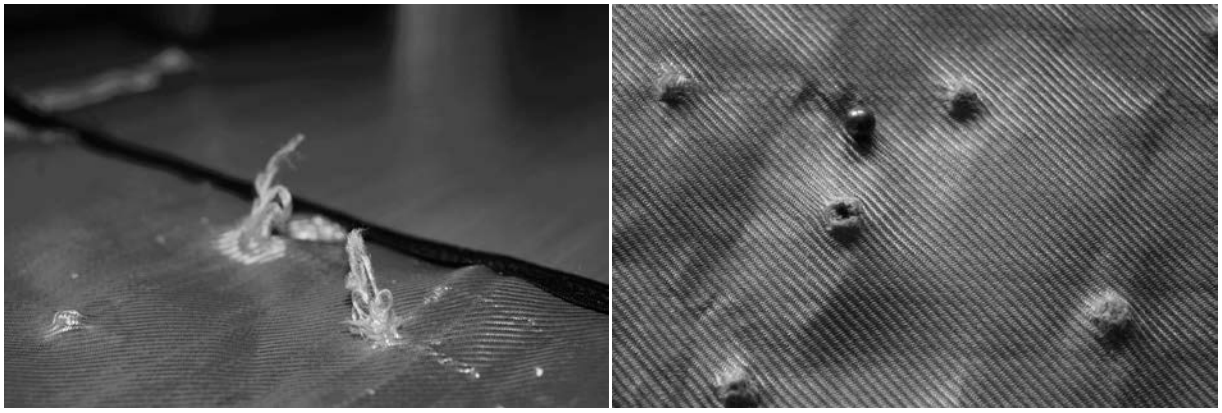
Результаты испытаний осколочной стойкости пакетов ткани

Обозначение пакета	Чередование слоев ткани	Поверхностная плотность пакета, кг/м^2	Скорость V_{50}, м/с	Число пробитий	Число непробитий
Серийный	20 сл.	2,94	559,05	12	8
Опыт 1	19 сл. - 11/**8**	2,99	531,70	15	5
Опыт 2	19 сл. – 8/**4**/7	2,89	529,40	12	8
Опыт 3	19 сл. – 6/**8**/5	2,99	521,73	13	7

Примечание: в обозначениях чередования слоев жирным шрифтом выделены слои ткани, содержащие в утке комбинированные нити со стальной проволокой.

На рис. 3 показаны фотографии пакетов после испытаний, видно, что из пакетов, содержащих слои ткани с комбинированными нитями, нити не вытягиваются осколком.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о создании предпосылок для дальнейшего повышения защитной способности тканей из арамидных нитей Руслан. Для защиты от колющего или режущего оружия предложено использовать комбинированные неоднородные нити с арамидным сердечником и стальной микропроволокой в качестве оплетки, подобные нити позволяют увеличить степень закрепления нитей основы и утка в элементе ткани. Для повышения осколочной стойкости представляется целесообразным использование в структуре ткани высокообъемных нитей, полученных путем текстурирования комплексных нитей. Пространственная ориентация филаментов в текстурированной нити должна способствовать более раннему торможению осколка в пакете.



а) б)

Рис. 3. Фотографии пакетов из ткани: а) серийный пакет; б) в составе пакета слои с комбинированными нитями

ЛИТЕРАТУРА

1. Сафонов П.Е., Левакова Н.М., Буланова М.Е., Юхин С.С. Разработка технологии изготовления и структуры ткани с повышенной противоосколочной стойкостью // Вопросы оборонной техники. Серия 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. – М.: «НТЦ «Информтехника» - филиал ФГУП «НИИСУ», 2015. Вып. 4(179). с. 9-19.

2. Смирнов Л.С., Шавлюк В.Н. Текстурированные нити. – М.: Лёгкая индустрия, 1979. – 232 с.

3. Беттгер К., Хартерт Р. Устойчивое к пробиванию текстильное полотно и изделие, содержащее такое текстильное полотно / Пат. № 2525809 РФ, МПК D02G 3/44; заявка № 2012112958/12; заявл. 27.08.2010; опуб. 20.08.2014 Бюл. № 23.

4. Сафонов П.Е., Левакова Н.М., Юхин С.С., Буланова М.Е. Разработка рациональных структур мягкой баллистической защиты на основе арамидных нитей Руслан // Вопросы оборонной техники. Серия 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. – М.: ФГУП «НТЦ «Информтехника», 2013, Вып. 3(170) – 4(171), с. 27-33.

5. Сафонов П.Е., Левакова Н.М., Юхин С.С. Проектирование структур защитных тканей с применением комбинированных огне- и термостойких нитей // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2017) [Текст]: сб. материалов XX Междунар. науч.-практ. форума, 22-26 мая 2017 года. – Иваново: ИВГПУ, 2017. – с. 328-333.

6. Сафонов П.Е., Юхин С.С. Особенности деформирования арамидных тканей различных структур при низкоскоростном внедрении индентора. Обзор // Химические волокна. 2016, № 6, с. 34-41.

УДК 677.53

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

PERSPECTIVENESS OF OBTAINING AND APPLICATION OF ELECTRODUCING TEXTILE MATERIALS

С.В. Сапожников, В.В. Сафонов
S.V. Sapozhnikov, V.V. Safonov

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), (Москва)
Russian state University A.N. Kosygin (Technology. Design. Art), (Moscow)
E-mail: SVV@staff.msta.ac.ru, Sapozhnikov15@rambler.ru

В статье рассматривается актуальность получения и применения электропроводящих текстильных материалов. Приводятся основные области применения и наиболее известные способы их получения. Описываются физико-механические свойства текстильных материалов. Разработки, связанные с получением электропроводящих материалов являются одним из самых актуальных и перспективных направлений расширения ассортимента инновационных текстильных материалов и изделий.

Ключевые слова: электропроводность; электропроводящие текстильные материалы; нити; ткани; волокна; удельное поверхностное электрическое сопротивление; антистатические свойства.

The article considers the urgency of obtaining and using electrically conductive textile materials. The main application areas and the most known methods for their preparation are given. Physical and mechanical properties of textile materials are described. Developments related to the production of electrically conductive materials are one of the most urgent and promising directions for expanding the range of innovative textile materials and products.

Keywords: electrical conductivity; electroconductive textile materials; threads; fabric; fibers; specific surface electrical resistance; antistatic properties.

В настоящее время промышленное развитие и появление все новых отраслей производства предъявляют к текстильным материалам такие требования, которые природные волокна со своими свойствами удовлетворить уже не в силах. Использование различных видов отделки химических волокон позволяет придавать материалам и текстильным изделиям защитные свойства, необходимые для работы человека в сфере производства (кислото-, огне-, масло-, водостойкость и др.). Бурный технический прогресс в конце XX в., который сопровождался освоением космоса, появлением микроэлектроники и компьютерным бумом, предъявил к текстильным материалам новые требования. Одно из них заключалось в создании и получении текстильных материалов с заданными свойствами, которые необходимы в конкретной сфере человеческой деятельности. Очень важным оказалось их умение изменять свои качества под воздействием внешней среды в нужном человеку направлении, вырабатывать ответную реакцию.

Все большее внимание в мире уделяется исследованиям в области текстильной электроники или электротекстиля. Имеются многочисленные публикации результатов исследований на эту тему [1]. Интерес к этой области обусловлен возможностью развития производства легких, изящных тканей и нитей, которые могут использоваться для изготовления обогреваемых текстильных изделий, жилетов, оснащенных музыкальными приборами, и компьютеров, для производства которых используется электропроводящая пряжа.

Развитие электроники, электро-, радиотехники, машиностроения, авиакосмической промышленности позволило дать мощный импульс для разработки технологии получения

таких текстильных материалов и волокон, как термостойкие и жаропрочные, высокопрочные и высокомодульные, электропроводящие, оптические и сорбционные.

Высокофункциональные волокна с тщательно разработанными и специально подобранными химическими, а также физическими свойствами служат сырьем для так называемых «интеллектуальных» текстильных материалов. Такие материалы открывают самые широкие перспективы перед техническими текстильными изделиями будущего. Они могут применяться в производстве спецодежды, способной надежно защищать человека от вредного СВЧ-излучения, одежды с подогревом, для снятия статического электричества и т.д. В настоящее время электропроводящие металлические нити также находят применение при создании космических антенн.

Все более широкое распространение в настоящее время получает производство электропроводящих текстильных материалов технического назначения. Ткани, нити, нетканые и трикотажные полотна широко используются в качестве текстильных фильтрующих материалов для очистки воздуха в помещениях, воды, промышленных газов и в системах вентиляции кондиционирования. Основными потребителями фильтрующих систем являются металлургические, химические, машиностроительные и нефтегазовые производства.

Электрическая проводимость характеризует процесс перемещения электрических зарядов в результате действия внешнего электрического поля. Проводимость связана с токами и зависит от силы или плотности тока, от времени воздействия и напряженности электрического поля, температуры, состава, строения, размеров и формы волокон, нитей [2].

Среди требований, которые предъявляются к электропроводящим текстильным материалам, - это малая плотность, высокие удельные физико-механические характеристики, возможность широкого варьирования электрофизических характеристик, стойкость к агрессивным средам, высокая адгезия к связующим, малый термический коэффициент линейного расширения.

Электропроводящие нити, вплетенные в структуру материалов, придают им антистатические свойства, которые сохраняются в течение всего срока службы изделий. Такие материалы отличаются долговечностью, высокой комфортностью, являются малоусадочными и малорастягивающимися, удовлетворяют требованиям к технологической одежде для чистых помещений в электронной и химико-фармацевтической промышленности.

Длительное действие статического электричества отрицательно влияет на организм человека, вызывая ряд биологических изменений: чувство подавленности, страха, аллергию, бронхиальную астму и бронхит, отек ног, боли в сердце, варикозное расширение вен и т.д. Данная проблема решается путем введения в ткани или трикотажные полотна электропроводящих волокон и нитей, нейтрализующих статическое электричество.

Электропроводящие волокна и материалы на их основе используются для получения резистивных элементов стеклопластиков и эластичных электронагревателей, применяемые в изделиях промышленного и бытового назначения. Электропроводящие материалы с антистатическим эффектом могут быть использованы для профессиональной одежды работников АЗС, атомщиков, электронщиков в высокоточном машиностроении, профессиональной одежды для энергетиков, обслуживающих высоковольтные линии электропередач.

Ткани, обладающие электропроводностью и антистатическими свойствами, предназначены для изготовления пыленепроницаемой одежды. Основа и уток таких тканей содержат электропроводящие нити, расположенные с интервалами одна от другой, в качестве этих нитей используются синтетические нити, содержащие бикомпонентные электропроводящие элементарные нити, доля которых составляет 20-70 % [3].

Текстильные материалы с низким электрическим сопротивлением используются для создания специальной обуви, защищающей от воздействия электрического поля и

экранирующей электромагнитные волны. На основе электропроводящих волокон получают легкие и гибкие тканые электронагреватели различного назначения.

Кроме того, текстильный материал можно создать как сложную сеть электропроводящих волокон - дорожек, способных иметь множество контактов с кожей. При деформации тканей могут возникать следующие явления: - изменяется число контактов в текстиле; - волокна растягиваются; - поперечные связи между нитями и пряжи ослабевают, уменьшаются.

Электропроводящий текстиль и волокна чувствительны к электрическому сигналу и поэтому могут быть использованы как нагревательные элементы. Охлаждение - более сложная проблема. «Апполо» разработало охлаждающую майку для космонавтов. Тонкие охлаждающие трубки вмонтированы в жакет. Охлаждающая жидкость через центральную охладительную систему (Peltier) циркулирует через эти трубки. Полуактивное тепловое регулирование может быть произведено с помощью микрокапсул, заполненных воском, имеющим точку плавления близкую к необходимой (целевой) температуре (материалы с «памятью формы») [4].

Склонность химических волокон к электростатическому заряжению существенно ухудшает эксплуатационные свойства одежды: при носке наблюдается «прилипание», потеря формы, повышенное всасывание пыли из окружающей среды и, что особенно неприятно, чувствительные электрические удары, треск и искрение. Все химические волокна являются диэлектриками, которые в процессе переработки и носки, соприкасаясь с различными материалами электризуются.

Одним из способов получения металлизированных волокон является электрические осаждение металла [5]. Сегодня электропроводящие ткани благодаря нанотехнологиям нанесения металлов - мягкие и легкие материалы, их можно стирать и подвергать химчистке. Широко применяются в настоящее время в ряде отраслей такие металлы, как золото, серебро, никель, вольфрам, а также их сплавы, которые являются весьма дефицитными и дорогостоящими материалами. В качестве электропроводной подложки могут использоваться волокна с проводящим подслоем, нанесенным по классическому способу химической металлизации диэлектриков или волокна с электропроводящими наполнителями (мелкодисперсными порошками сажи, графита и металлов).

Напыление слоя металла приводит к появлению электропроводимости. В отличие от других способов металлизации, способ магнетронного распыления позволяет достаточно тонко регулировать толщину металлического слоя, а значит и его сопротивление, что очень важно при создании структур с определенной проводимостью. Появление проводимости приводит к тому, что синтетические ткани или нетканые материалы приобретают антистатические свойства.

Следует отметить, что технология нанесения частиц металлов на волокна (нити) считается устаревшей, так как поверхность, покрытая металлом, подвержена износу и коррозии. Кроме того, электропроводность полученных материалов относительно невысока. В настоящее время распространение получают электропроводящие волокна и нити, содержащие наночастицы технического углерода.

На сегодняшний день разработаны электропроводящие покрытия волокон из полимеров (например, полианилина) и композитные покрытия, включающие углеродные нанотрубки. Электропроводящие материалы могут быть получены путем иммобилизации графена (при восстановлении оксида графена) на хлопковой или полиэфирной тканях (нитях). Показатели электропроводности при этом увеличиваются в несколько раз.

Таким образом, разработки, связанные с получением электропроводящих текстильных материалов являются одним из самых актуальных и перспективных направлений расширения ассортимента инновационных текстильных материалов. Электропроводящий текстиль, обладая такими ценными свойствами как малая плотность и вес, эластичность, химическая устойчивость, гигиеничность, а также гибкость, создаёт потенциальные возможности разработки «интеллектуальных» текстильных изделий, которые могут

регулировать давление, температуру и электрические заряды на теле человека. Именно поэтому разработка новых эффективных и экономичных способов получения электропроводящих волокон и текстильных материалов на их основе на сегодняшний день приобретает наибольшую актуальность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков М.Е., Сахарова Т.П. НПЦ «УВИКОМ»: технологии будущего // Технический текстиль. – 2003. – № 7. – С. 26.
2. Замостоцкий Е.Г., Коган А.Г. Комбинированные электропроводящие нити // Монография. – Витебск: ВГТУ, 2012. – 169 с.
3. Абдусаттаров Ш.Ш. Исследование возможности использования электропроводящей ткани в обогреваемой спецобуви. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozmozhnosti-ispolzovaniya-elektroprovodyaschej-tkani-v-obogrevaemoj-spetsobuvi. Дата обращения: 20.05.2018
4. «Умный», «интеллектуальный» текстиль и одежда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusnor.org/pubs/reviews/8077.htm. Дата доступа – 20.05.2018.
5. Гаппаров Х.Г., Хомидов Я.Я., Файзиева Г.К. Виды и способы металлизирования текстильных материалов для пошива специальной одежды // Молодой ученый. – 2016. – №11. – С. 310-313.

УДК: 677.016- 677.075 - 687.14

ИССЛЕДОВАНИЕ АРОМАТИЧЕСКОЙ ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПОРТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

INVESTIGATION OF AROMATIC FINISHING OF TEXTILE MATERIALS FOR DESIGNING SPORTS ON THEIR BASIS

И.Н. Тюрин, В.В. Гетманцева, Е.Г. Андреева
I.N. Tyurin, V.V. Getmantseva, E.G. Andreeva

Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), (Москва)
The Kosygin State University of Russia, (Moscow)
E-mail: iniruyt@gmail.com

Статья посвящена исследованию эффективности трикотажных полотен и тканых материалов с нанесенными ароматическими микрокапсулами методом покрытия. Проанализирована структура пигментов с ароматическими микрокапсулами. Выявлена склонность микрокапсул к агрегации, что делает предпочтительным использование методов нанесения микрокапсул в качестве финишной отделки, вместо инкорпорирования в структуру полотен на стадии прядения. В качестве образцов ароматических веществ выступили масла сандалового дерева и лаванды. Оценку эффективности выделения аромата производили методом экспертных оценок. Установлено, что наибольшей ароматичностью обладает масло сандалового дерева. Проведен сравнительный анализ теоретических и экспериментальных оценок ароматичности образцов материалов со сниженной концентрацией ароматических микрокапсул, в результате чего установлено, что данные материалы облают удовлетворительной ароматичностью при одновременном улучшении эксплуатационных характеристик материалов и изделий, изготовленных на их основе.

Ключевые слова: микрокапсулы; арома-текстиль, умная одежда, спортивная одежда.

The article is devoted to the study of the effectiveness of knitted fabrics and textile materials with applied aromatic microcapsules by the coating method. The structure of pigments with aromatic microcapsules is analyzed. The propensity of microcapsules to aggregate has been revealed, which makes it preferable to use methods of applying microcapsules as finishing finishes, instead of incorporating into the structure of the canvas

at the stage of spinning. As samples of aromatic substances, sandalwood and lavender oils appeared. Evaluation of the effectiveness of the release of aroma was made by the method of expert assessments. It has been established that sandalwood oil is the most aromatic. A comparative analysis of theoretical and experimental aromaticity assessments of samples of materials with a reduced concentration of aromatic microcapsules was made, which resulted in the finding that these materials exhibit satisfactory aromaticity while improving the performance characteristics of materials and products made on their basis.

Key words: microcapsules; aroma-textiles, smart clothes, sportswear.

Лёгкой промышленности особенно важна поддержка курса на инновационное развитие [1]. Внедрение технологии микроинкапсулирования в процесс производства одежды позволит создавать новые виды функциональных изделий, который будут полезны и интересны потребителям на глобальном рынке, что будет способствовать повышению конкурентоспособности отечественных предприятий [2].

Экологически чистые материалы, а также же материалы, производимые в результате экологически настроенного технологического процесса, являются одним из ключевых факторов развития новых рыночных ниш и ответом на растущие запросы потребителей, удовлетворение которых способно сделать отрасль более конкурентоспособной [3, 4].

Среди наиболее актуальных направлений развития новых материалов выделяют текстильные материалы с нанесенными микроинкапсулированными веществами: терморегулирующих материалов, ароматических материалов, материалов с контролируемым высвобождением лекарственных средств и т.д. [5, 6, 7].

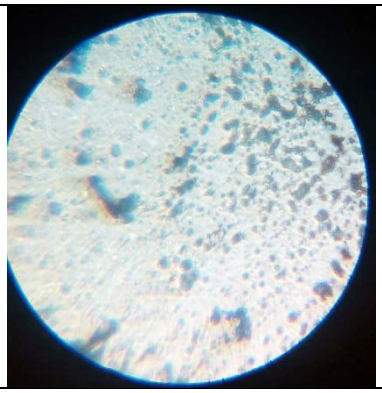
Применения материалов, изготовленных с применением технологии микроинкапсулирования, особенно актуально в сфере проектирования спортивной одежды: терморегулирующих изделий; изделий, способных к мониторингу физического состояния спортсмена (термохромные микрокапсулы); изделий, выделяющих аромат при выполнении физических упражнений низкой интенсивности [8, 9].

В связи с вышесказанным в данной работе поставлена цель исследовать эффективность ароматических микрокапсул (АМ), нанесенных на тканые материалы и трикотажные полотна методом покрытия для последующего проектирования высокофункциональных спортивных изделий, предназначенных для использования в процессе проведения релаксационных тренировок (занятий йогой, пилатес, стретчинг-тренировок).

В качестве микроинкапсулированных ароматических веществ использовали эфирные масла сандалового дерева (Образец 1) и лаванды (Образец 2). В таблице 1 представлены микрофотографии используемых ароматических микрокапсул, а также их размерные характеристики. Фотографии получены путем нанесения на лабораторное стекло тонкого слоя ароматических пигментов толщиной 50 мкм.

Таблица 1

Микрофотографии ароматических микрокапсул и размерные характеристики

№ образца	Изображение	Размеры микрокапсул, мкм	Среднеквадратичное отклонение, мкм
1		12–18 25–34	0,142 0,118

Продолжение таблицы 1

2			8–14	0,115

Анализируя структуру образцов микроинкапсулированных веществ можно сделать вывод о наличии сильной агрегации микрокапсул, особенно в образце микрокапсул с лавандовым маслом. В данном образце агрегации подвержено порядка 60-75 % микрокапсул, поэтому размерные характеристики для них определить представляется невозможным.

В силу достаточно больших размеров микрокапсул и наличия явления агрегации микрокапсул можно сделать вывод о достаточно слабом взаимодействии представленных веществ с микрофибриллами исследуемых образцов тканых материалов (ТМ) и трикотажных полотен (ТП), что является отрицательным фактором для обеспечения устойчивого состояния микрокапсул в структуре швейных изделий в процессе эксплуатации.

Образцами ТМ и ТП служили хлопчатобумажная ткань полотняного переплетения разной плотности и трикотажное полотно переплетений пике и гладь. Структурные характеристики исследуемых образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Структурные характеристики исследуемых образцов трикотажных полотен и тканых материалов

Наименование показателя	**ТО1**	**ТО2**	**ТО3**	**ТО4**
Поверхностная плотность ткани, г/м^2	142,40	109,14	142,37	146,50
Линейная плотность нитей основы, текс	9,5	7,2	13,5	13,2
Линейная плотность нитей утка, текс	11,7	9,6	16,8	14,4
Число нитей основы на100 мм ткани	140	130	-	-
Число нитей утка на100 мм ткани	130	120	-	-
Число петельных рядов на 100 мм, шт	-	-	140	150
Число петельных столбиков на 100 мм, шт	-	-	110	120
Толщина ткани, мм	0,342	0,265	0,221	0,240
Переплетение	Полотняное	Полотняное	Гладь	Пике

Эффективность образцов ТП и ТМ с нанесенными ароматическими микрокапсулами определяли методом экспертных оценок, заменившим метод анализа ароматичности с помощью электронного «носа», являющегося слишком дорогостоящим оборудованием и более подходящим для анализа определенного спектра газов и паров специального назначения (например, опасных токсических газов) [10, 11, 12]. На образцы ТМ и ТП с размерами 5×5 см наносили пигмент, содержащий ароматические микрокапсулы в двух концентрациях. В первой концентрации наносили пигмент без разбавления, во второй - разбавляли акриловой эмульсией в соотношении 1:3. Количество экспертов составило 7 человек. В таблице представлены значения средней оценки ароматичности, выраженной в баллах по шкале от 1 до 10.

Таблица 3

Оценка ароматичности исследуемых образцов ароматических материалов

Наим. и номер образца ТМ/ТП	Вид АМ	Концентрация АМ η, 10^{-3} мл/см^2	Ароматичность, балл	Дисперсия σ2	Доверит. вероятность P	Коэф. конкор. W
ТО1	О1	0.16	8.86	1.67	0.9	0.87
№(1)	О2		5.43	1.04	0.9	
ТО2	О1		7.13	0.80	0.9	
№ (2)	О2		6.57	0.67	0.9	
ТО3	О1		7.29	0.42	0.9	
№ (3)	О2		6.57	0.74	0.9	
ТО4	О1		6.18	1.15	0.9	
№ (4)	О2		5.43	1.42	0.9	
ТО1	О1	0.04	2.43	0.60	0.9	
№ (5)	О2		2.86	0.82	0.9	
ТО2	О1		2.85	0.48	0.9	
№ (6)	О2		2.62	0.78	0.9	
ТО3	О1		3.57	0.29	0.9	
№ (7)	О2		3.14	0.63	0.9	
ТО4	О1		3.40	0.42	0.9	
№ (8)	О2		2.15	0.69	0.9	

Анализируя полученные данные можно сделать вывод о более высокой ароматичности микрокапсул с маслом сандалового дерева по сравнению с маслом лаванды. Влияние вида переплетения и вида ТМ или ТП не обнаружено. На рис.1 представлен график предсказуемой и экспериментальной ароматичности исследуемых образцов ТП и ТМ после снижения концентрации АМ в 4 раза. Предсказуемая ароматичность рассчитывалась по формуле:

$$A_{2k} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \times A_{1k} \qquad (1)$$

где A_{2k} - оценка ароматичности сниженной концентрации в баллах; η_1 и η_2 – сниженная и стандартная концентрации АМ, 10^{-3} мл/см^2; A_{1k} - оценка ароматичности стандартной концентрации.

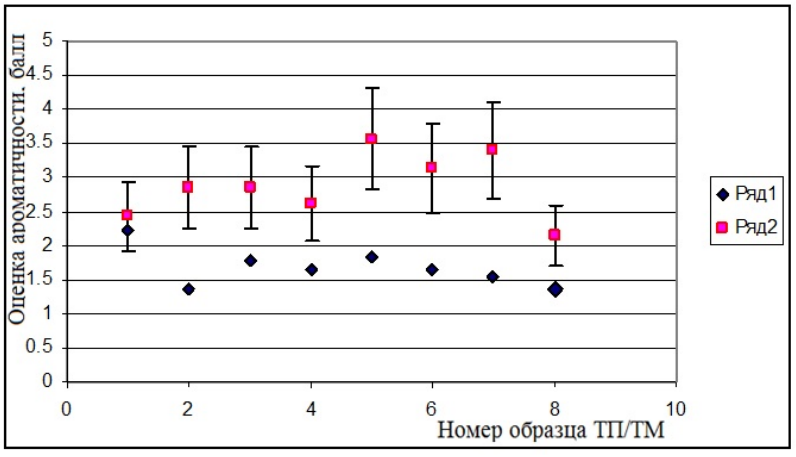


Рис. 1 – График предсказуемой и экспериментальной оценки ароматичности исследуемых образцов ТП и ТМ после снижения концентрации АМ в 4 раза: 1 ряд - теоретические значения; 2 ряд - экспериментальные значения

Установлено, что экспериментальная оценка ароматичности выше предсказуемой. Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности снижения концентрации пигмента

ароматических микрокапсул разбавителями, что обеспечит более экономное расходование АМ, а самое главное – позволит улучшить эксплуатационные характеристики ТП и ТМ, и соответственно качество одежды, изготовленной на их основе.

Результаты, полученные в ходе данного исследования, могут использоваться при проектировании плотнооблегающей спортивной одежды, предназначенной для релаксационных тренировок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белгородский В.С., Генералова А.В. Технологическая платформа легкой промышленности как эффективное инновационное направление развития отрасли // Транспортное дело России. – 2012, № 3. – С.25-26.
2. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В. Новые подходы в современной стратегии развития индустрии моды //Синергия Наук. – 2018, № 22. - С.739-749.
3. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В. Применение экологически чистых материалов в производстве одежды спортивного назначения //Синергия Наук. – 2017, Т.1, №18. - С.624-629.
4. Teixeira C.S.N.R. Microencapsulation of Perfumes For Application in Textile Industry: Dissertation. Porto: Universidade do Porto, 2010.
5. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Анализ инновационных технологий терморегулирующих текстильных материалов //Химические волокна. – 2018, №1. - С.3-11.
6. Бузов Б.А., Жихарев А.П., Мишаков В.Ю., Белгородский В.С., Баранов В.Д., Заметта Б.В. Нанонаука и нанотехнология в производстве и материаловедении волокнистых материалов и изделий //Швейная промышленность. – 2006, №4. - С.46-47.
7. Бузов Б.А., Жихарев А.П., Мишаков В.Ю., Белгородский В.С., Баранов В.Д. Наноматериалы и их применение в производстве антимикробных материалов на волокнистых носителях // Швейная промышленность. – 2007, №3. - С.35-36.
8. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В. Анализ особенностей конструктивного решения спортивной одежды //В сб. Междунар. науч.-техн. конф. «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации-2016)», 2016. - С.242-245.
9. Pan N.C., Samanta K.K., Ammayappan L., Khan A. Aroma finishing of textiles// Man-Made Textiles in India.- 2017, Vol.45, No.3. – P.93-95.
10. Shrimali K., Dedhia E.M., Microencapsulation for Textile Finishing // Journal of Polymer and Textile Engineering. – 2015, Vol.2, Is.2. – P.1-4.
11. Xiao Z, Liu W, Zhu G, Zhou R, Niu Y. A review of the preparation and application of flavour and essential oils microcapsules based on complex coacervation technology // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2014, Vol.94, Is.8. – P.1482-1494.
12. Krishna A., Jyothika M. A review on microcapsules// Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2015, Vol.4, Is.2. – P.26-33.

УДК 630.86:661.183

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА И ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА

RECEIVING THE CARBON FIBROUS SORBENTS BASED ON HYDROLYTIC LIGNIN AND POLYACRYLONITRILE

Н.И. Свердлова[1], Л.Е. Виноградова[1], Л.М. Штягина[1], Ю.Н. Сазанов[2]
N.I. Sverdlova[1], L.E. Vinogradova[1], L.M. Shtyagina[1],Yu.N. Sazanov[2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
[2]Институт Высокомолекулярных соединений РАН, (Санкт-Петербург)
[1]Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
[2]Institute of Macromolecular Compounds RAS, (Saint-Petersburg)

Представленная работа посвящена созданию углеродных материалов из отходов биохимической промышленности гидролизного лигнина и полиакрилонитрила. Получен волокнистый углеродный адсорбент с полидисперсными порами с величиной удельной поверхности, достигающей 540 м^2/г.
Ключевые слова: сорбент, гидролизный лигнин, полиакрилонитрил

The present work is devoted to the creation of carbon materials from biochemical industry waste of hydrolytic lignin and polyacrylonitrile. A fibrous carbon adsorbent with polydispersed pores with a specific surface area of 540 m^2/g is obtained.
Keywords: sorbent, hydrolytic, lignin, polyacrylonitrile

Значительный интерес к углеродным волокнистым материалам, используемым в качестве эффективных сорбентов в различных областях промышленности, в бытовой сфере и медицине, определяет целесообразность исследований по разработке новых технологий получения качественных углеродных сорбентов, обладающих развитой микропористой структурой, регулируемым размером пор и высокими прочностными характеристиками.

Активированные углеродные волокнистые материалы составляют особую группу углеродных волокнистых материалов и характеризуются развитой пористостью, удельной поверхностью, сочетанием в одном материале высоких фильтрующих и сорбционно-кинетических свойств.

Процессы активации химических волокон сравнительно легко могут быть вписаны в технологическую схему их получения. В экономическом плане существенный эффект может быть также получен за счет использовании волокнистых отходов, которые при производстве отдельных видов химических волокон накапливаются в значительном количестве.

Ряд исследований посвящены поиску новых технологических режимов получения эффективных сорбентов на основе лигнина, что в совокупности с простой и малозатратной технологией позволит существенно снизить их стоимость, обеспечить возможность использования без регенерации и значительно расширить масштабы применения сорбционных технологий [1, 2, 3, 4].

Актуальным является изучение процессов получения активированных углеродных волокнистых материалов на основе лигнина и полимерных прекурсоров, в частности, полиакрилонитрила, что позволяет создавать дешевые и эффективные углеродные волокна [5].

Возможно также использование других исходных волокон-прекурсоров (поливинилхлоридных, поливинилспиртовых, полиарамидных, полиоксазольных, фенолформальдегидных и др.), но они не имеют промышленного значения из-за сложной технологии, более низких свойств получаемых углеродных волокон или их более высокой стоимости. Однако из-за специфики технологии переработки нефтяных и каменноугольных

пеков, их канцерогенности и других причин для получения углеродных волокон и углеродных волокнистых материалов с особыми физическими и физико-химическими свойствами используются почти исключительно вискозные и полиакриловые волокна.

В работе исследовались смесевые композиции гидролизного лигнина с раствором полиакрилонитрила и возможность формования из них волокон для получения сорбционно-активных материалов.

Композиционное волокно получали при взаимодействии гидролизного лигнина с полиакрилонитрилом по следующей технологии: полиакрилонитрил (ПАН) в виде мелкодисперсного белого порошка выдерживали в диметилсульфоксиде (ДМСО) до полного набухания полимера (концентрация раствора ПАН в ДМСО составляла 3 % масс.). Затем в содержимое вводили при перемешивании гидролизный лигнин (ГЛ), предварительно измельченный до частиц размером 5-10 мк.

Приготовленные гомогенные смеси со следующими соотношениями ПАН:ГЛ 20:80, 50:50, 30:70 использовали для формования прекурсорных композитных нитей по мокрому способу в осадительную ванну с дистиллированной водой для коагуляции полимерного композитного раствора в форме волокна с последующей карбонизацией его в токе азота в течение 2 ч при температуре 800 ^{o}C и активацией химическим способом.

Технологическая схема получения активированного углеродного волокна состояла из следующих стадий:

- приготовление раствора;
- формование волокна, промывка, сушка;
- предокисление;
- карбонизация;
- активация.

Исследовалась возможность создания сорбционно-активных материалов на основе активированных углеродных волокон, полученных формованием из раствора полиакрилонитрила с максимально высоким содержанием гидролизного лигнина, путем оптимизации условий карбонизации, химической активации углеродных материалов и дополнительного ориентационного вытягивания композитного волокна в осадительной ванне на стадии его коагуляции.

Дополнительное ориентационное вытягивание композитного волокна на величину от 5 до 10 % на стадии коагуляции в осадительной ванне приводит к образованию микропор с монодисперсным распределением от 3 – 18 мкм с каналами, имеющими регулярное сочетание наружных и замкнутых пор удлиненной формы с расширением от центра волокна к его наружной поверхности и анизотропную ориентацию по всей длине композиционного волокна. Последнее происходит за счет постепенного целенаправленного разрушения менее термостойкого, чем полиакрилонитрил, гидролизного лигнина с выделением газообразных продуктов термодеструкции, которые и приводят к образованию в полиакрилонитриле микропор.

Результаты исследований по получению волокнистого углеродного сорбента приведены в таблице.

Для характеристики прекурсорных композиционных волокон и углеродных адсорбционных материалов на их основе использовались различные физико-химические методы анализа: инфракрасная спектроскопия, ядерный магнитный резонанс в твердом теле, пиролитическая газовая хроматография с масс- спектроскопией, термический анализ, электронная микроскопия с элементным анализом, порометрия. Удельную поверхность по методу БЭТ проводили согласно методике [6]. Оценку сорбционно-кинетических характеристик по сорбции красителя метиленового голубого проводили по методике [7].

Результаты исследований по получению волокнистого углеродного сорбента приведены в таблице.

Таблица 1

Основные свойства волокнистых адсорбентов

Показатели	Композитное волокно с содержанием ГЛ : ПАН 80 : 20			Композитное волокно с содержанием ГЛ : ПАН 75 : 25	Композитное волокно с содержанием ГЛ : ПАН 70 : 30
№ примера	1	2	3	4	5
Величина вытяжки	5	7	10	10	10
Волокно до карбонизации					
Диаметр, мм	0,73	0,67	0,60	0,65	0,70
Прочность, МП	61,0	65,5	60,0	66,1	76,7
Общая удельная поверхность (БЭТ), $м^2/г$	470	500	540	430	305
Диапазон полидисперсности, мкм	3 - 18	4 - 16	5 - 12	5 - 17	6 - 18
Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г	153	165	173	163	155

Микроструктура карбонизованного волокна подтверждена методом растровой электронной микроскопии. Исследование выполнено на электронном микроскопе SUPRA 55 VP, позволяющем исследовать поверхность с высоким разрешением (от 200 мкм до 10 нм).

Микрофотография поверхностного изображения композитного волокна с соотношением ГЛ : ПАН 80 : 20, подвергнутого 10 %-ному ориентационному вытягиванию на стадии формования, последующей карбонизации и активации, представлены на рисунке 1.

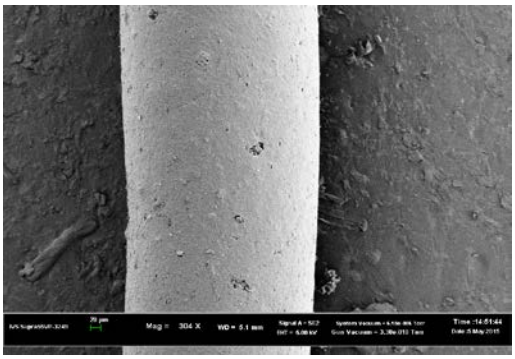


Рис 1. – Фотография поверхностного изображения композитного волокна с соотношением ГЛ:ПАН 80:20

Поверхность волокна карбонизованного в инертной атмосфере показывает характерные поперечные трещины, которые относятся к разрывам поверхности волокна за счет выделения газообразных продуктов термодеструкции ГЛ. При многократном увеличении этого изображения установлено, что поверхностные трещины состоят из ряда хаотически разбросанных отверстий (каверн) с размерами от 2900 до 118 нм (рисунок 2.).

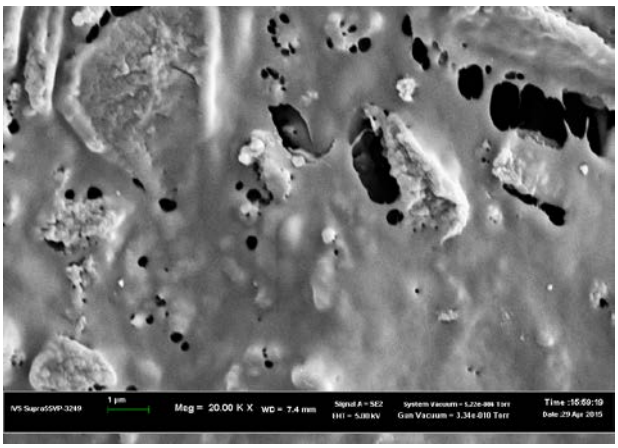


Рис. 2 – Тонкая структура поверхностного слоя волокон

− Разработан процесс карбонизации волокнистых композитов на основе полиакрилонитрила и гидролизного лигнина с максимальным содержанием последнего для использования их в качестве сорбентов.

− Установлено определяющее влияние паровой (вода) активации при карбонизации на морфологию полученного адсорбента.

− Сорбционные характеристики и прочность обеспечивают полученным композитным волокнам комплекс свойств, предоставляющих возможность их переработки в изделия, способные сохранять необходимую структуру фильтрующей поверхности желаемой формы при изготовлении узлов фильтрации, предназначенных для оформления процесса сорбции мелкодисперсных компонентов из различных сред природного и технологического происхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сарканена, К. В. Лигнины [Текст] / К. В. Сарканена, К. Х. Людвига. – М.: Лесная промышленность, 1975. - 632 с.

2. Крутов, С. М. Лигнины [Текст] / С. М. Крутов, М. Я. Зарубин, Ю. Н. Сазанов - СПб.: СПбГЛТА, 2011. – 410 с.

3. Сазанов, Ю.Н. Термохимия лигнина [Текст] / Ю.Н. Сазанов, А.В. Грибанов // Журнал прикладной химии. - 2010. - Т. 83. Вып. 2 – С. 177-203.

4. Сазанов, Ю.Н. Термоаналитическое исследование гидролизного лигнина [Текст] / Ю.Н. Сазанов, Е.Н. Попова, Г.Н. Федорова, В.Е. Юдин// Журнал прикладной химии. - 2011. - Т. 84. Вып.7 – С. 1162 - 1169.

5. Патент РФ № 2526380. Способ получения композитного волокна на основе гидролизного лигнина с полиакрилонитрилом / Сазанов Ю.Н., Добровольская И.П., Спирина Т.Н., Попрядухин П.В., Юдин В.Е., Сапрыкина Н.Н., Попова Е.Н., Федорова Г.Н., Куликова Е.М., Сумерский И.В., Крутов С.М., Новоселова А.В.; МПК D01F6/54, C08L97/00, D01F8/00; опубл. 20.08.2014.

6.Yandex [Электронный ресурс] -Электронный текст. Анализатор поверхности NOVA 4200 e. http://ckp-nano.msu.ru/equipment/149 (Дата обращения: 22.04.2015).

7.Yandex [Электронный ресурс]. - Электронный текст. Аналитический электронный микроскоп Supra55/55 VP. http://www.rusnanonet.ru/equipment/zeiss_supra55/(Дата обращения: 22.04.2015).

УДК 677.02

ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЕ ЗОНАЛЬНОЕ ТРИКОТАЖНОЕ МУЖСКОЕ ТЕРМОБЕЛЬЕ ДЛЯ СИЛОВЫХ СТРУКТУР

HI-TECH ZONAL MEN'S KNITTED THERMAL UNDERWEAR FOR POWER STRUCTURES

И.С. Шадрина[1], Е.П Лаврентьева[1], Е.А. Глебов[2], К.А Сягаев[2]
I.S. Shadrina[1], E.P. Lavrentyeva[1], E.A. Glebov[2], K.A. Syagaev[2]

[1]ОАО «Инновационный научно-производственный центр текстильной и легкой промышленности», (Москва)
[2]ООО «СпецВоенПром», (Москва)
[1]Innovative Research and Production Centre for Textile and Light Industry, (Moscow)
[2]SpetsVoenProm, Ltd, (Moscow)
E-mail: i.shadrina@inpctlp.ru, e.lavrentyeva@inpctlp.ru, genttex@gmail.com

Статья знакомит с научно-исследовательской работой, целью которой являлась разработка ассортимента и технологии производства высокотехнологичного мужского термобелья. Проведен обзор современного рынка термобелья и на основании анализа импортного аналога разработан ассортимент и технология производства отечественного зонального термобелья.

Ключевые слова: термобелье; терморегулирование; влагоотдача; структура трикотажа; переплетения

The article introduces a research project devoted to the development of assortment and production technologies of hi-tech men's thermal underwear. Modern market of thermal underwear has been assessed, and according to the analysis of foreign analogues there has been developed an assortment and production technology of Russian zonal thermal underwear.

Key words: thermal underwear, thermal regulation, dewatering, knit structure, weave.

В настоящее время выпускается термобелье различного назначения: для спортсменов, охотников и рыбаков, военных и спецподразделений, а также для повседневной носки.

Основные функции термобелья –поддерживать комфортный микроклимат тела.

Функциональное термобелье отводит влагу от тела и сохраняет тепло.

Использование в производстве термобелья микрофиламентных синтетических нитей различных структур позволяет добиться этих свойств.

Существуют специальные модели термобелья с различными уровнями компрессии, что особенно необходимо спортсменам для улучшения результатов спорта. Для военных и сил спецназначения, которым приходится находиться в термобелье длительное время было разработано термобелье с антибактериальными свойствами.

В настоящее время разработаны и применяются в производстве современного термобелья инновационные синтетические нити с различными свойствами: антибактериальными, влагоотводящими, антипиллинговыми и др. Термобелье из таких нитей способно быстро отводить влагу от тела, сохраняя тепло, препятствует размножению бактерий, то есть позволяет человеку чувствовать себя комфортно в любых условиях.

Важную роль играет технология изготовления термобелья. При пошиве качественного термобелья используются эластичные плоские швы, которые при контакте с кожей не вызывают неприятных ощущений.

В последнее время появляется цельновязаное термобелье, которое производится на плоскофанговых автоматах. Такое белье облегает тело, как вторая кожа, так как не имеет швов.

На отечественном рынке представлено большое количество зарубежного высокотехнологичного термобелья, импортируемого из Америки, Италии, Швеции, Норвегии и Финляндии.

Комплект армейского термобелья COMBAT Energizer X-BIONIC, выпускаемый итальянской компанией Trereinnovation и швейцарской лабораторией X-Technology, является наиболее близким импортным аналогом разрабатываемого отечественного комплекта термобелья. X-Bionic создает коллекцию термобелья для людей, чья деятельность связана с высокой активностью и сложными погодными условиями. При производстве термобелья применяются инновационные технологии.

На основании анализа импортных аналогов термобелья и с учетом разработанных требований и требований, предъявляемых силовыми структурами, ООО «СпецВоенПром» совместно с ОАО «Инновационный научно-производственный центр текстильной и легкой промышленности» разработало ассортимент отечественных высокотехнологичных комплектов трикотажного мужского термобелья для подразделений силовых структур, включающий 3 вида комплектов: демисезонный комплект термобелья, состоящий из фуфайки с длинными рукавами и кальсон (рис.1); летний комплект термобелья, состоящий из фуфайки с короткими рукавами и трусов; зимний комплект термобелья, состоящий из фуфайки с длинными рукавами с застежкой-молнией и кальсон [1].

Комплект трикотажного термобелья специального назначения разработан с учетом технологических возможностей современных кругловязальных машин фирмы Santoni (Италия), установленных на производственной базе ООО «СпецВоенПром».

На основании проведенного анализа показателей качественных характеристик термобелья X-BIONIC, а также с учетом антропологических особенностей человека были разработано импортозамещающее отечественное высокотехнологичное зональное термобелье для нужд силовых структур с использованием текстурированных полиамидных нитей в сочетании с полиуретановыми нитями.

Для изделий комплектов термобелья на основе выбранного переплетения разработана структура трикотажа с учетом обозначенных зон и заложенных в них функций.

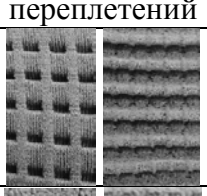
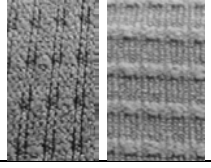
При проектировании купонов и структур трикотажа была использована компьютерная программа DIGRAPH D3p (Италия).

В патронах рисунков купонов разрабатываемого ассортимента были определены места расположения зон, выполняющих необходимые функции: терморегулирование, влагоотведение, защиту и поддержку мышц.

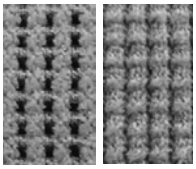
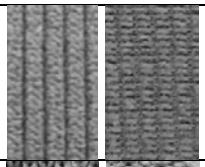
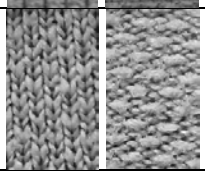
Виды разработанных петельных структур и выполняемые ими функции представлены в таблице 1.

Таблица 1

Разработанная петельная структура трикотажа и выполняемые функции

№ п/п	Структура переплетений	Описание	Наименование функции
1.		участок выполнен переплетением одинарный жаккард	терморегулирование и отведение влаги, циркулирование воздуха
2.		участок выполнен переплетением одинарный жаккард	

Продолжение таблицы 1

3.		участок выполнен комбинированным переплетением одинарный жаккард в сочетании с платированным переплетением	защита от ударов, снижение трения кожи и напряжения мышц, защита от травм и фиксация суставов
4.		участок выполнен переплетением одинарный жаккард	поддержка и стимулирование мышц
5.		участок выполнен переплетением одинарный жаккард	

На рисунке 1 представлен комплект термобелья демисезонный с обозначенными зонами.

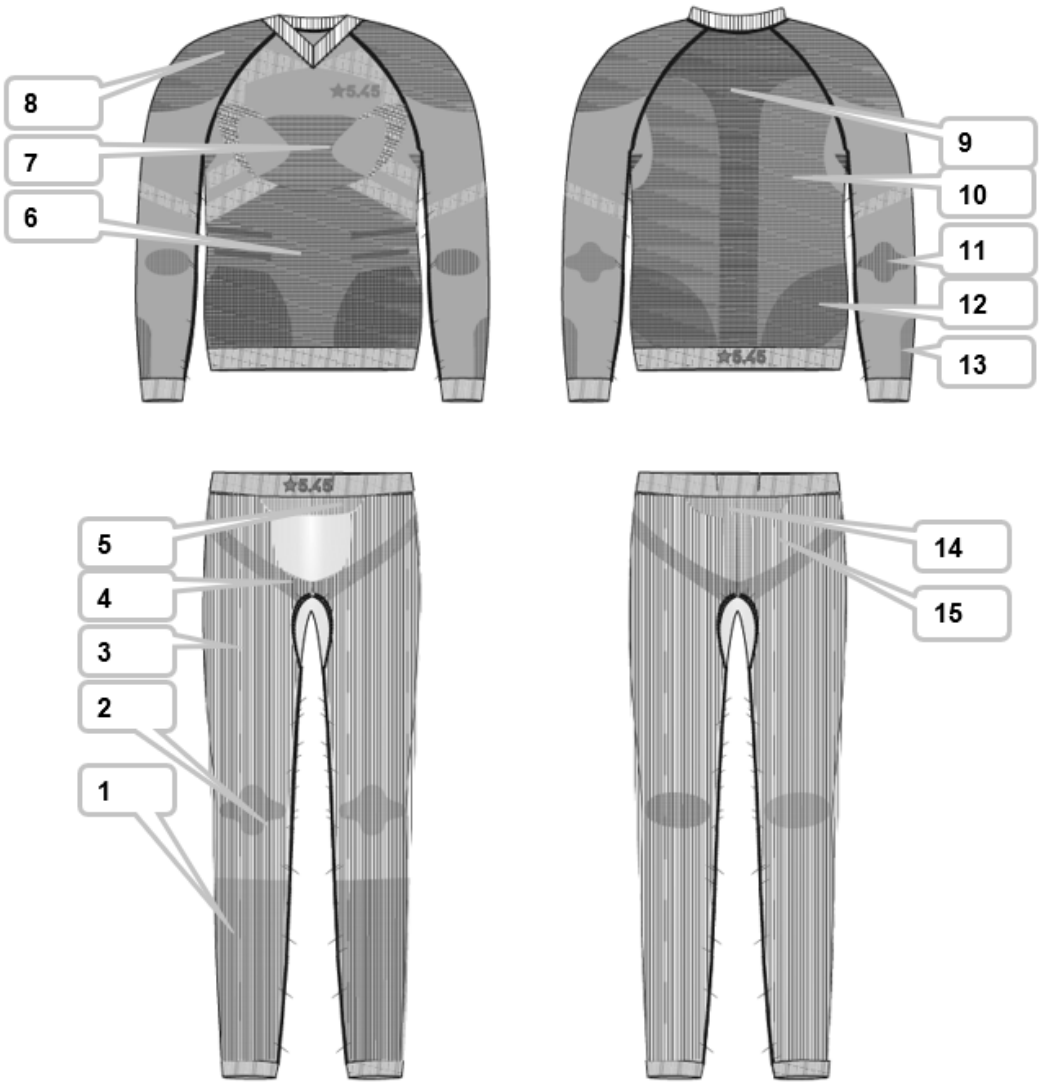


Рис. 1 – Комплект термобелья демисезонный (фуфайка, кальсоны)
а) вид спереди, б) вид сзади

Зоны изделий комплекта термобелья приведены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование и нумерация зон изделий комплектов термобелья

№ п/п	Наименование зон	Нумерация зон на рисунке
1.	Зона груди	7
2.	Зона спины (позвоночника и воротниковая)	9
3.	Зона лопаточная и подлопаточная	10
4.	Зона боковой поверхности спины	12
5.	Зона пояснично-крестцовая	14
6.	Зона предплечья	13
7.	Зона локтя	11
8.	Зона плеча	8
9.	Зона живота	5,6
10.	Зона паха	4
11.	Зона ягодиц	15
12.	Зона бедра	3
13.	Зона колена	2
14.	Зона голени	1

Переплетения, расположенные в указанных зонах термобелья, выполняют следующие заложенные в них функции:

− зона груди – обеспечивает терморегулирование, отведение влаги и облегание грудных мышц;

− зона спины – обеспечивает отведение влаги, терморегулирование по всей зоне позвоночника и поддержку мышц спины;

− зона лопаточная и подлопаточная – обеспечивает терморегулирование и циркулирование воздуха по всей зоне;

− зона боковой поверхности спины – обеспечивает отведение влаги и циркулирование воздуха;

− зона пояснично-крестцовая – обеспечивает терморегулирование, отведение влаги и поддержку мышц поясницы;

− зона предплечья – обеспечивает циркулирование воздуха по всей зоне и облегание мышц предплечья;

− зона локтя – обеспечивает максимальное облегание суставов и их защиту от ударов и трения;

− зона плеча – обеспечивает защиту плеч от излишнего давления и трения;

− зона живота – обеспечивает поддержку мышц живота;

− зона паха – обеспечивает циркулирование воздуха, отведение влаги и поддержку мышц низа живота;

− зона ягодиц – обеспечивает поддержку и облегание мышц ягодиц;

− зона бедра – обеспечивает поддержку и стимулирование мышц бедра;

− зона колена – обеспечивает фиксацию суставов защиту от избыточного давления и травм;

− зона голени – обеспечивает поддержку мышц голени и стимулирование икроножных мышц, а также циркулирование воздуха.

Разработанное термобелье имеет следующие характерные особенности:

– отсутствие боковых швов в изделиях;

– автоматически подшитые на кругловязальной машине двойные участки с высокорастяжимой полиуретановой нитью, в т. ч. низ и манжеты фуфайки, пояс и манжеты кальсон;

– наличие на фуфайке и кальсонах функциональных зон, связанных разнообразными одинарными жаккардовыми переплетениями, которые обеспечивают защитные и гигиенические свойства, в том числе поддержание комфортной температуры тела в различных погодных условиях;

– наличие вывязанной производственной маркировки на изнаночной стороне низа фуфайки и пояса кальсон и логотип на лицевой стороне с использованием окрашенной текстурированной полиамидной нити.

Отечественное высокотехнологичное трикотажное термобелье обладает высокой эластичностью, комфортностью, не стесняет движений человека при плотном облегании, обладает хорошими гигиеническими и эксплуатационными свойствами, имеет высокую стойкость к истиранию, легко стирается. Термобелье хорошо отводит влагу, обладает необходимыми свойствами терморегуляции при активной физической нагрузке и сохраняет тепло во время нахождения человека в состоянии покоя. Разработанное термобелье адаптировано для длительной носки, обладает свойствами поддержки мышц в момент их наибольшей активности.

По испытаниям физико-механических, потребительских и специальных свойств высокотехнологичные комплекты трикотажного мужского термобелья соответствуют разработанным требованиям и не уступают импортным аналогам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврентьева Е.П., Шадрина И.С., Лукин А.С. и др. Отчет о НИР ОАО «ИНПЦ ТЛП» «Разработка технологии производства инновационной утепленной спецодежды и термобелья». Раздел 1, 2017. – 252 с.

УДК 677.025

ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЕ ФЛИСОВЫЕ ТРИКОТАЖНЫЕ ПОЛОТНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ НИТЕЙ

IMPORT-SUBSTITUTING KNITTED FLEECE FABRICS CONTAINING POLYURETHANE YARNS

Е.В. Жиганова[1], И.С. Шадрина[1], Л.М. Хозова[1], Е.П. Лаврентьева[1],
Е.В. Панова[2], Е.А. Кочнова[2]
E.V. Zhiganova[1], I.S. Shadrina[1], L.M. Khozova[1], E.P. Lavrentyeva[1],
E.V. Panova[2], E.A. Kochnova[2]

[1]ОАО «Инновационный научно-производственный центр текстильной и легкой промышленности» (Москва)
[2]ООО «Вышневолоцкий комбинат «Парижская коммуна» (г. Вышний Волочек)
[1]Innovative Research and Production Centre for Textile and Light Industry, OJSC (Moscow)
[2]Vyshnevolotsky factory «Parizhskaya Communa», Ltd (Vyshny Volochek)
E-mail: e.zhiganova@inpctlp.ru, i.shadrina@inpctlp.ru, l.hozova@inpctlp.ru, e.lavrentyeva@inpctlp.ru, texotdelpk@rambler.ru

Статья знакомит с научно-исследовательской работой, целью которой являлась разработка импортозамещающих отечественных флисовых трикотажных полотен на основе применения текстурированных микрофиламентных полиэфирных нитей в сочетании с полиуретановыми нитями.

В ходе работы разработана технология производства флисовых трикотажных полотен, проведены исследования физико-механических, потребительских и специальных свойств разработанных полотен. Проведена опытная носка термобелья из разработанных флисовых полотен.

Ключевые слова: трикотажное флисовое полотно; флис с односторонним; текстурированная микрофиламентная полиэфирная нить; полиуретановая нить.

The article introduces a research project devoted to the development of import-substituting Russian fleece knitted fabrics using textured microfilament polyester yarns in combination with polyurethane yarns.

During the work process there has been developed new production technology of fleece knitted fabrics. Physical, mechanical, consumer and specific properties of the developed materials have been studied and assessed. Thermal underwear of the developed fleece fabrics has been tested.

Keywords: knitted fleece fabric; single-side fleece; textured microfilament polyester yarn; polyurethane yarn.

Многофункциональные трикотажные флисовые полотна с односторонним и двухсторонним ворсом сегодня нашли широкое применение во всем мире.

Флис (от англ. Fleece — шерсть, руно) – это синтетическое трикотажное полотно из полиэфирных нитей или их сочетаний с полиуретановой нитью с односторонним или двусторонним ворсом для изготовления различных видов изделий.

Флисовые трикотажные полотна отличаются легкостью, мягкостью, повышенными теплозащитными свойствами (даже в намокшем состоянии), повышенной износоустойчивостью, высоким коэффициентом влагоотдачи, паропроницаемости и воздухопроницаемости. Изделия из флиса не требуют особого ухода, не подвержены биологическому разрушению и не вызывают аллергии.

Трикотажные флисовые полотна используются для производства широкого спектра гражданской одежды от термобелья до различных видов верхней и спортивной одежды (куртки, брюки, спортивные костюмы, головные уборы, перчатки и др.), домашнего текстиля (пледы, покрывала, халаты), а также в качестве утеплителя.

В России потребность в современных видах многофункциональных флисовых трикотажных полотен удовлетворяется за счет поставок по импорту из США, Турции, Китая, Южной Кореи и некоторых европейских стран.

Развитие производства данного вида продукции в России решает задачу импортозамещения по обеспечению отечественными флисовыми трикотажными полотнами и изделиями из них.

Сырьем для производства флиса является синтетическое волокно, которое может быть как первичным, так и вторичным (переработанные пластиковые бутыли, пленка).

Развитию и увеличению выпуска трикотажных флисовых полотен способствует расширение ассортимента выпускаемых модифицированных микрофиламентных полиэфирных нитей, создание эффективных химических препаратов, в том числе наносодержащих, для придания флисовым трикотажным полотнам защитных антимикробных и улучшенных потребительских свойств.

Изготовление флисовых полотен возможно не только из полиэфирных нитей, но и из их сочетаний с полиуретановыми нитями. Такой флис отличается повышенным показателям растяжимости, благодаря чему его можно использовать для пошива, например, термобелья.

Анализ информационных материалов в области производства трикотажных флисовых многофункциональных полотен, а также исследование российского рынка флисовых трикотажных полотен и изделий показывают, что разработки ведущих зарубежных фирм направлены на изготовление высококомфортных флисовых полотен, в том числе мембранных, с высокими теплоизоляционными, ветронепроницаемыми и влагоотводящими свойствами [1].

Комплекс отличительных свойств флисовых полотен представляет несомненный интерес для обеспечения силовых структур современными видами предметов вещевого имущества. Эти изделия в настоящий момент в основном закупаются по импорту.

В связи с постановлением правительства Российской Федерации №791 «Об установлении запрета на допуск товаров легкой промышленности, происходящих из иностранных государств, в целях осуществления закупок для обеспечения федеральных нужд» Инновационным центром совместно с ООО «Вышневолоцкий комбинат «Парижская коммуна» была проведена работа по разработке ассортимента отечественных флисовых трикотажных полотен для нужд силовых структур.

Впервые в отечественной практике на ООО «Вышневолоцкий трикотажный комбинат «Парижская коммуна» установлена линия для высокотехнологичного производства трикотажных флисовых полотен. Разработка технологии производства флисовых полотен предусматривалась на базе применения текстурированных микрофиламентных полиэфирных нитей и их сочетаний с полиуретановыми нитями.

Опираясь на требования силовых структур к создаваемому ассортименту и на результаты проведенных исследований качественных характеристик полотен Polartec фирмы Malden Mills (США) были разработаны технические требования на создание импортозамещающих флисовых трикотажных полотен для нужд силовых структур.

Вязание полотен проводилось на кругловязальных машинах.

Методом экспериментальных исследований процессов вязания и анализа зарубежных полотен Polartec фирмы Malden Mills, близких создаваемому ассортименту полотен, а также с учетом установленного на ООО «Вышневолоцкий трикотажный комбинат «Парижская коммуна» технологического оборудования были разработаны технологические параметры вязания флисовых трикотажных полотен плюшевого переплетения с односторонним ворсом на базе использования текстурированных микрофиламентных полиэфирных нитей в сочетании с полиуретановыми нитями, в том числе полотен с рисунчатым эффектом «клетка» [2].

Технологической особенностью вязания данных полотен является выбор оптимального натяжения полиуретановой нити, обеспечивающий максимальное использование эластичных свойств этих нитей: высокой растяжимости в сочетании со способностью легко восстанавливать первоначальную форму. Путем регулирования натяжения ПУ нити и глубины кулирования были изготовлены несколько видов экспериментальных образцов флисовых трикотажных полотен. После испытания образцов

полотен и оценки показателей растяжимости и остаточной деформации, были определены оптимальные параметры вязания.

Отделка трикотажных полотен осуществлялась на линии для высокотехнологичного производства флисовых трикотажных полотен. Последовательность и параметры технологических операций отделки полотен были разработаны на базе результатов экспериментальных исследований, а также с учетом информации о производстве флисовых трикотажных полотен зарубежными производителями.

Для придания трикотажным полотнам гидрофильных и антистатических свойств использовались специальные гидрофилизирующие препараты соответствующего назначения.

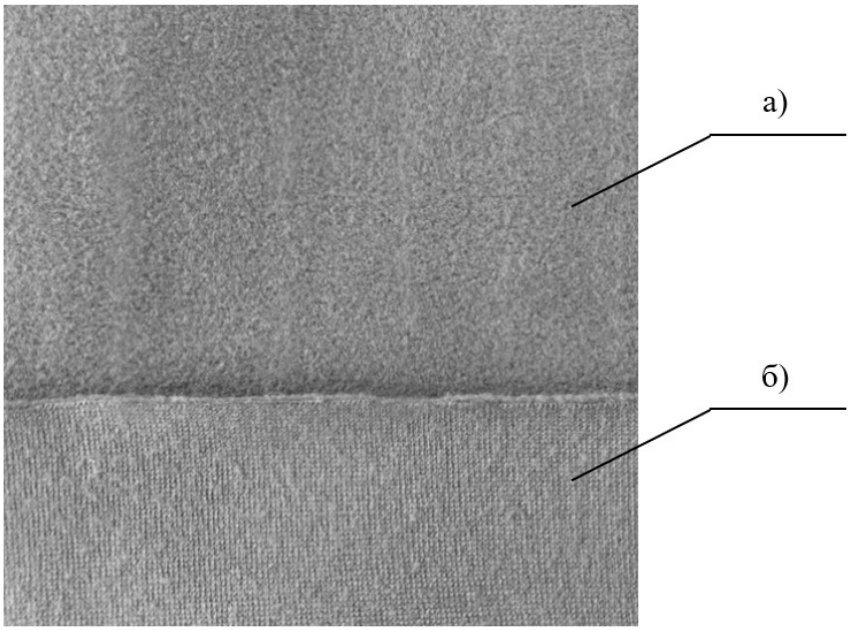


Рис.1. Трикотажное флисовое полотно
а) ворсованная сторона
б) гладкая сторона

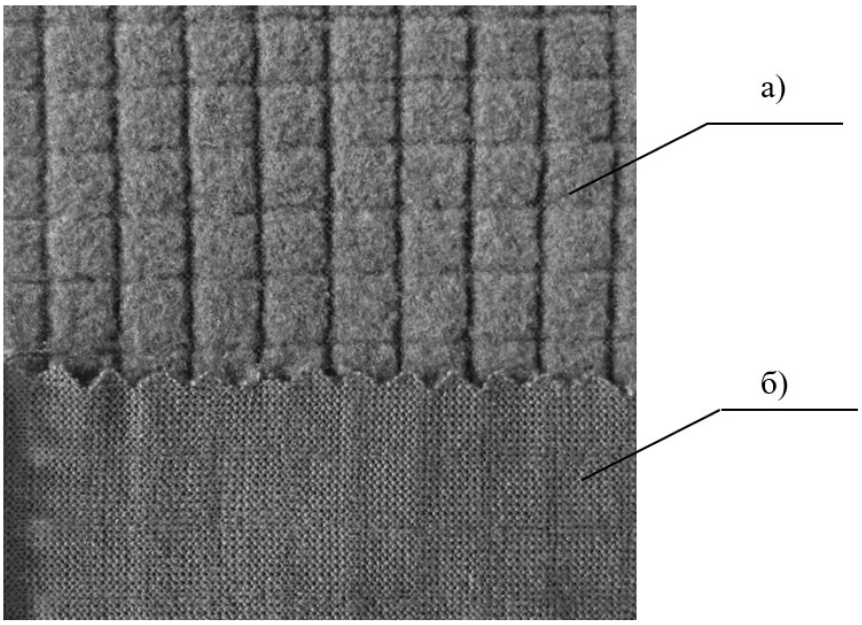


Рис.2. Трикотажное флисовое полотно с рисунчатым эффектом «клетка»:
а) ворсованная сторона
б) гладкая сторона

В испытательных центрах были проведены испытания физико-механических, потребительских и специальных свойств разработанных трикотажных флисовых полотен.

Для исследования теплозащитных свойств экспериментальных образцов импортозамещающих отечественных флисовых трикотажных полотен был выбран показатель суммарного теплового сопротивления. Данный показатель для флисовых полотен используется в качестве основной характеристики теплозащитных свойств и характеризует способность полотен препятствовать прохождению через них тепла. Все испытанные полотна имеют высокие показатели суммарного теплового сопротивления.

Разработанные импортозамещающие отечественные флисовые трикотажные полотна характеризуются наполненным, объемным грифом, мягким, пушистым ворсом, четким рисунком «клетка», пластичностью, хорошими растяжимыми и упругими свойствами, требуемыми показателями поверхностной плотности, высокими показателями воздухопроницаемости, суммарного теплового сопротивления и формоустойчивости.

Качественные характеристики разработанных флисовых трикотажных полотен с применением полиуретановой нити приведены в таблице 1.

Таблица 1

Качественные характеристики флисовых трикотажных полотен с применением полиуретановой нити

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя	
		Полотно флисовое с односторонним ворсом	Полотно с рисунчатым эффектом «клетка»
1	Состав сырья, %	ПЭ - 93, ПУ - 7	ПЭ - 96, ПУ - 4
2	Поверхностная плотность, г/м^2	220	210
3	Толщина полотна, мм	1,9	2,2
4	Группа растяжимости	II	II
5	Воздухопроницаемость, дм^3/м^2·с	177	300
6	Остаточная деформация, мм	6	5
7	Изменение линейных размеров после мокрых обработок, % - по длине; - по ширине	 - 5,0 - 0,9	 - 5,0 - 3,0
8	Устойчивость окраски к воздействию, балл: - стирки; - пота; - сухого трения; - мокрого трения; - света	 4/4 4/4 4 4 4	 4/4 4/4 4 4 4
9	Устойчивость к истиранию по методу Мартиндейла, цикл, не менее - до истирания ворса; - до разрушения нити	 5000 75000	 5000 75000
10	Устойчивость к образованию пиллинга по методу Мартиндейла, балл	3	3
11	Суммарное тепловое сопротивление, °С м^2/Вт	0,18	0,18

С целью оценки эксплуатационных характеристик разработанных флисовых полотен была проведена опытная носка комплектов термобелья (фуфайка, кальсоны) из флисового трикотажного полотна с рисунчатым эффектом «клетка» с использованием полиэфирных и полиуретановых нитей в пожарных частях ФГКУ и среди работников электрических подстанций.

По результатам оценки функциональных и потребительских характеристик данного термобелья после опытной носки получены положительные результаты. Опытная носка подтвердила, что изделия из разработанных импортозамещающих флисовых трикотажных полотен обладают высокими качественными характеристиками.

Изготовленные флисовые трикотажные полотна соответствуют разработанным техническим требованиям и не уступают импортным аналогам.

Разработанный ассортимент полотен может быть использован для промышленного освоения широкого ассортимента одежды спортивного назначения и термобелья.

По результатам проведенной работы был разработан технологический режим производства трикотажных флисовых полотен с односторонним ворсом с рисунчатым эффектом «клетка» с использованием текстурированных микрофиламентных полиэфирных нитей в сочетании с высокорастяжимой полиуретановой нитью на кругловязальных машинах для высококомфортного термобелья.

Разработаны и утверждены ТУ «Полотна трикотажные флисовые из текстурированных микрофиламентных полиэфирных нитей и их сочетаний с полиуретановой нитью с кругловязальных машин. Технические условия».

Проведен международный патентный поиск, получено подтверждение о соответствии разработанной технологии мировому уровню. Получен патент на изобретение «Способ изготовления флисовых трикотажных полотен».

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврентьева Е.П., Шадрина И.С., Жиганова Е.В., Хозова Л.М. и др. Отчет о НИР ОАО «ИНПЦ ТЛП» «Проведение исследований и разработка технологии производства импортозамещающих конкурентоспособных отечественных флисовых трикотажных полотен различной сферы применения и нормативно-технической документации для их промышленного освоения. Этап I», 2016. – 102 с.

2. Лаврентьева Е.П., Шадрина И.С., Жиганова Е.В., Хозова Л.М. и др. Отчет о НИР ОАО «ИНПЦ ТЛП» «Проведение исследований и разработка технологии производства импортозамещающих конкурентоспособных отечественных флисовых трикотажных полотен различной сферы применения и нормативно-технической документации для их промышленного освоения. Этап II», 2017. – 226 с.

УДК 677.017.8

ТКАНИ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ СИЛОВЫХ И ВЕДОМСТВЕННЫХ СТРУКТУР

FABRICS FOR SPECIAL WEAR FOR MILITARIES STRUCTURES

Н.А. Власова[1], М.П. Михайлова[1], Л.В. Паринова[2]
N.A. Vlasova[1], M.P. Mihailova[1], L.V. Parinova[2]

[1]Инновационный научно-производственный центр текстильной и легкой промышленности (ОАО ИНПЦ ТЛП), (Москва)
[2]Общество с ограниченной ответственностью «Балашовский текстиль» (ООО Балтекс), (г. Балашов)
[1]Innovation Center of Scince fnd Production of Textile and Light Industry, (ICSP TLI)
[2]Company «Balashovsky textile»
E-mail: n.vlasova@inpctlp.ru, mmihailova@inpctlp.ru, office@newbaltex.ru

В статье приведены результаты разработки импортозамещающей ткани для ведомственной одежды из отечественных полиамидных нитей. Переплетение ткани, обкрученные уточные нити с пониженным блеском и жесткостью позволили получить ткань с хорошей драпируемостью и хорошими эстетическими свойствами готового изделия.

Ключевые слова: полиамидные нити, хлопчатобумажная пряжа, переплетения, блеск, жесткость, свойства ткани, уток.

In this article are presented the results of development import substitution fabric from russian polyamide threads for militaries wear. The weave of the fabric, twist weft threads with reduced gloss and stiffness are fabric with good upholstery and good aesthetic properties of the finished product.

Keywords: polyamide threads; weave; gloss; stiffness; properties of fabric; weft.

В настоящее время, в условиях санкций, в нашей стране большое внимание приобретают вопросы импортозамещения.

Целью работы являлось создание тканей, предназначенных для пошива верхней одежды ведомственных структур, на основе использования отечественных полиамидных нитей производства ООО «Курскхимволокно».

Поставленная задача заключалась в разработке ткани с пониженной жесткостью и не обладающей блеском.

Полиамидные нити производства ООО «Курскхимволокно» выпускаются в суровом виде, обладают достаточным блеском, что неприемлемо для верхней одежды силовых структур, МО, ФСБ и др.

Работа проводилась совместно с предприятием ООО «Балтекс».

При разработке к ткани были предъявлены следующие требования (таблица 1).

Костюмные ткани для пошива ведомственной одежды должны иметь красивый внешний вид и отвечать всем, предъявляемым к ним требованиям.

Таблица 1

Требования к показателям ткани для спецодежды силовых и ведомственных структур

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя
1	Поверхностная плотность ткани	$г/м^2$	150 - 200
2	Разрывная нагрузка ткани: - по основе - по утку	Н	 не менее 960 не менее 460
3	Раздирающая нагрузка ткани: - по основе и по утку	Н	 не менее 460
4	Воздухопроницаемость ткани	$дм^3/м^2$ с	не менее 30

Полиамидная ткань, состоящая из полиамидных нитей в основе и в утке, имеет подвижную структуру и высокую раздвигаемость и осыпаемость.

Для выработки тканей вышеназванного применения были использованы следующие сырьевые компоненты:

- в основе использованы полиамидные нити линейной плотности 15,6 текс с содержанием в поперечном сечении не менее 48 филаментов;
- в утке смесовая обкрученная пряжа линейных плотностей 43,6 текс и 52,6 текс. Уточная обкрученная пряжа состоит из полиамидного стержня, обкрученного хлопчатобумажной пряжей. Смесовая уточная пряжа 700кр/м имела соотношение линейных плотностей компонентов от 1:1,8 до 1:2,4.

Работа по разработке ткани для верхней одежды ведомственных структур заключалась в разработке переплетений для них, с помощью которых можно повлиять на отрицательные свойства: блеск и жесткость. Блеск и жесткость ткани непосредственно связаны с характером поверхности ткани, которая определяется строением нитей, их круткой и видом переплетения.

Чем длиннее перекрытия в ткани и чем меньше изгибов в нитях, ее образующих, тем меньше рассеивание падающих лучей света и тем больше блеск ткани.

Ткань была спроектирована по заданной поверхностной плотности с учетом прочности по основе и по утку. Был составлен заправочный расчет ткани для выработки опытных образцов.

Особое внимание при разработке ткани было уделено переплетениям, которые снизили блеск на их поверхности. Для получения данных тканей были использованы мелкоузорчатые переплетения, которые позволяют получить шероховатый характер поверхности ткани.

Для анализа были разработаны переплетения, в которых на лицевой и изнаночной сторонах ткани длина уточных перекрытий составляет от 1 до 3-ех основных нитей, количество уточных перекрытий на площади раппорта ткани превышает количество основных перекрытий не менее, чем в 1,5 раза.

Из предложенных 18 рисунков различных мелкоузорчатых переплетений для выработки образцов ткани были выбраны 4 переплетения.

На рисунках 1-4 представлены эти переплетения ткани [1, с.65, 88, 92, 109].

- полутораслойное с дополнительным утком на базе саржи ½ (двухсторонняя ткань), рис. 1;
- обратно-сдвинутая саржа на базе саржи ½, рис. 2.
- креповое переплетение, рис. 3;
- диагоналевое переплетение на базе сложной саржи, со сдвигом равным 2, рис. 2;
- креповое переплетение, рис. 4;

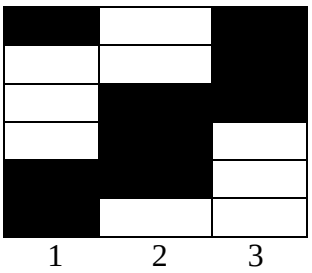


Рис.1. Переплетение 1,5-слойной ткани с дополнительным утком на базе саржи 1/2. Раппорт по основе равен 3, а по утку равен 8.

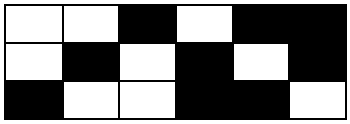


Рис.2. Обратно-сдвинутая саржа на базе саржи ½. Раппорт по основе равен 6, а по утку равен 3.

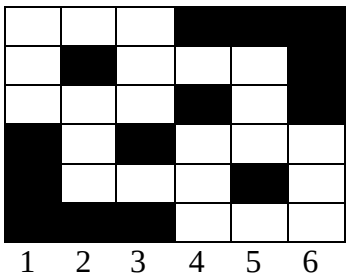


Рис.3. Креповое переплетение. Раппорт по основе и по утку равен 6.

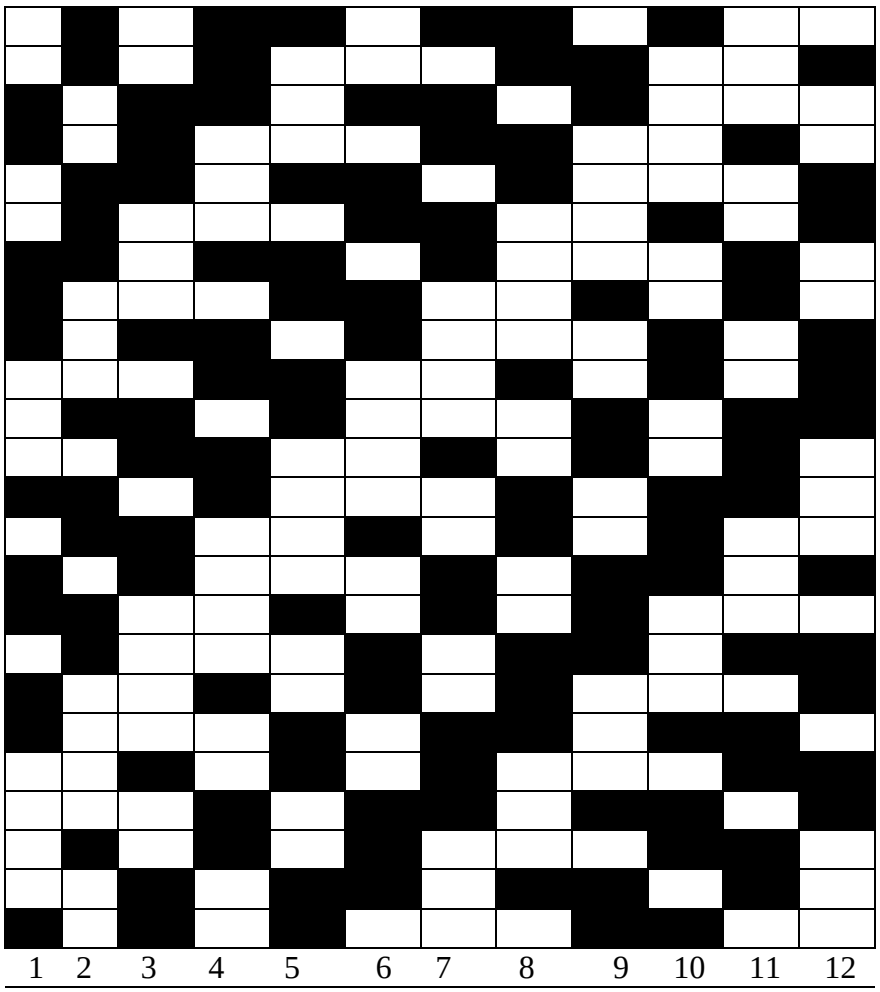


Рис.4. Диагоналевое переплетение на базе сложной саржи. Раппорт по основе равен 12, а по утку равен 24, вертикальный сдвиг равен 2.

Исследования физико-механических свойств образцов смесовых тканей показали, что они соответствуют заданным требованиям, а именно, поверхностная плотность составляет 160 – 185 г/м^2, прочность тканей при разрыве составила 1220 Н – 1350 Н.

Предложенные переплетения ткани и уточная полиамидная нить с поверхностным слоем из хлопчатобумажной пряжи позволили получить ткань с пониженной жесткостью (жесткость снижена на 16 – 37%), с хорошей драпируемостью и улучшенными эстетическими свойствами, а также достигнут эффект снижения блеска. Использованное строение ткани обеспечивает устойчивую структуру, отсутствие раздвигаемости и хорошие пошивочные свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А.Мартынова, Г.Л. Слостина, Н.А. Власова. Строение и проектирование тканей. М., РИО МГТА, 1999. – 434 с.

УДК 677.054.324.23

НОВЫЙ СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ КРОМОК ТКАНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА РАПИРНОМ ТКАЦКОМ СТАНКЕ

NEW METHOD GENERATING WOVEN EDGESFOR RAPIER LOOM

М.А. Уточкин, С.Г. Керимов, И.В. Розанов
M.A. Utochkin, S.G. Kerimov, I.V. Rosanov

ООО «Ярославские текстильные разработки», (г. Ярославль)
LLC "Yaroslavl textile development", (Yaroslavl)
E-mail: chnur@mail.ru

Предложен новый способ формирования кромок на рапирных станках, заключающийся в прокладывании в зеве через раз с двух сторон ткани утка сдвоенной петлей с последующей кратковременной фиксацией и освобождением конца петли. Приведены схемы расположения нитей основы и утка в кромочных зонах тканей, изготовленных новым способом формирования кромок.

Ключевые слова: рапирные ткацкие станки, тканые изделия, основа, прокладка нитей утка сдвоенной петлей, кромки тканых изделий.

A new method of forming edges on rapier machines is proposed, which consists in laying in the throat, once on both sides of the fabric, duck double loop followed by a brief fixation and release the end of the loop. The schemes of the base and weft threads arrangement in the edge areas of fabrics made with a new method of edge formation are given.

Keywords:rapier looms, woven products, base, laying of weft threads double loop, the edges of woven products.

Качество тканых изделий (тканей и тканых лент) определяется совокупностью механических, физических, эстетических и других свойств. Требования, предъявляемые к тканям, зависят от их назначения и условий эксплуатации. Одним из основных атрибутов тканых изделий (тканей и тканых лент) является наличие по их краям кромок или краевых полосок, предназначенных для фиксации периферийных нитей основы. Кромки тканых изделий, составляющие незначительную их часть, оказывают большое влияние как на сам технологический процесс ткачества так и на их потребительские свойства. Кромки имеют структуру, отличающуюся от фона, и на ткацком станке она формируется в иных условиях, чем фон ткани. Кромочные нити сильнее всего повреждаются бердом, подвергаются большему воздействию уточной нити, чем нити фона. Всякое изменение диаметра уточной нити, изменение жесткости на изгиб, натяжения, изменение плотности намотки уточной паковки в первую очередь отражается на кромочных нитях. Малейшие изменения заправочных параметров и колебания положения опушки ткани отражаются на кромке ткани.

Кромки, получаемые на челночных станках, принято называть натуральными или классическими. Кромки, образуемые при способе питания станка утком с неподвижной бобины, называются искусственными. На бесчелночных станках в большинстве случаев образуются искусственные кромки. Требования к данным кромкам предъявляются те же, что и для кромок тканей с челночных станков. Однако, выполнение всех требований трудно осуществимо, поэтому искусственные кромки в большинстве случаев уступают кромкам с челночных станков по внешнему виду, расходу сырья, толщине. Как правило для образования кромок указанного вида требуются дополнительные кромкообразующие механизмы, в некоторых случаях – дополнительные паковки.

Для обеспечения нормальных условий выработки и последующей обработки кромки технических тканей должны быть прочными.

Проблема кромок особенно остро стоит в бесчелночном ткачестве. С освоением бесчелночных ткацких станков возникает проблема закрепления краев ткани уточными ни-

тями. Крайние нити основы необходимо закрепить каким-либо способом от выпадения. При этом получают искусственные кромки, имеющие повышенный расход уточной нити по сравнению с классическими, получаемыми на челночных станках.В некоторых случаях образуется ложная обрезаемая кромка из основных нитей. Все это увеличивает расход сырья для выработки аналогичных тканей на бесчелночных станках до 5%.Таким образом высокая скорость бесчелночных станков вступила в явное противоречие с безотходностью технологий. Бахрома из концов отрезанных уточных нитей несколько ухудшает внешний вид ткани.При правильно построенных кромках сокращается расход сырья на 1 $м^2$ ткани, увеличивается производительность труда и оборудования, уменьшается возможность ухудшения качества ткани в отделке.

На различных современных рапирных ткацких и лентоткацких станках в зависимости от способа прокладывания на них утка формируется несколько видов кромок: закладные, брошюровочные, перевивочные, вязаные, оплавленные.

На некоторых современных рапирных ткацких станках прокладываниеуточных нитей производится двумя жесткими или гибкими рапирами, движущимися в чередующемся порядке попеременно с двух сторон в виде петли из сдвоенной уточной нити с последующей кратковременной её фиксацией до момента прокладки встречной уточной петли на стороне, противоположной от входа рапиры. Фиксация периферийных нитей основы и формирование кромок осуществляется путем прокладки между нитями уточных петель дополнительной основной нити, сходящей со шпуль специальных шпульно-челночных устройств, расположенных с двух сторон формируемого тканого изделия. Одновременно с этим при прокладке встречной уточной петли происходит дополнительная фиксация периферийных нитей основы уточной нитью. Получаемые при этом кромки подобны «классическим» кромкам с челночных ткацких станков.

Недостатком этого способа формирования кромок тканых изделий является необходимость приобретения и установки дополнительного технологического оборудования(шпуленамоточных машин) и введения в процесс ткачества дополнительного технологического перехода – намотку на шпули кромочных нитей и частую их замену, так как емкость шпуль с кромочными нитями ограничена небольшими размерами шпульно-челночного механизма станка.

Применяется также способ формирования кромок тканых изделий на рапирном ткацком станке, при котором уточные нити прокладываются двумя трубчатыми рапирами со скошенными концами, движущимися в чередующемся порядке попеременно с двух сторон в виде петель из сдвоенных уточных нитей с последующей фиксацией в закрытом зеве нитями основы концов уточных петель, выступающих из рапир на величину скосов на сторонах, противоположных от входа рапир. После прибоя уточной петли её выступающий конец перекрывается петлей следующей уточины, фиксирующей кромку через одну нить, при этом конец уточной петли остается незакрепленным.

Основным недостатком данного способа формирования кромок тканых изделий является то, что он существенно ограничивает ассортиментные возможности ткацкого станка, в частности он ограничивает сырьевой состав перерабатываемых нитей основы и утка. Это обусловлено тем, что при этом способе формирования кромок захват и фиксация уточных петель осуществляется только за счет сил трения между нитями основы и утка на очень малой длине, равной длине скошенного конца трубчатой рапиры. Следовательно при применении данного способа формирования кромок необходимо обязательноеиспользование в основе или утке нити (пряжи) с высокой степенью шероховатости. Поэтому использование в одной из систем комплексных химических нитей из–за повышенной гладкости их поверхности приводит к частым порокам тканых изделий, называемым «затаском утка».

Сцелью совершенствования техники и технологии тканей с участием авторов, на уровне изобретения, разработан новый способ формирования кромок тканых изделий.на рапирном ткацком или лентоткацком станке с двухсторонним способом прокладки утка в зев

петлей, обеспечивающего изготовление качественных (без «затасков») тканых изделий с минимальными затратами основных средств, трудовых и материальных ресурсов.

Разработанный способ формирования кромок тканых изделий на рапирном ткацком или лентоткацком станке заключается в изготовлении тканого изделия путем взаимного переплетения основных нитей, сходящих с навоя или шпулярника, и уточных нитей, прокладываемых с неподвижных паковок двумя жесткими или гибкими рапирами, движущимися в чередующемся порядке попеременно с двух сторон в виде петель из сдвоенных уточных нитей. Далее способ предполагает кратковременную фиксацию и последующее освобождение концов уточных петель в момент прокладки встречной уточной петли на сторонах, противоположных от входа рапиры.При этом фиксация уточных петель с каждой стороны тканого изделия осуществляется периодически программируемо выдвигаемыми в вертикальной плоскости заостренными стержнями конической формы, расположенными перпендикулярно или наклонно к полотну вырабатываемого тканого изделия и опускаемыми после прибоя каждой сдвоенной уточной нити с одновременным освобождением концов петель от стержней.

На рис. 1, 2, 3 и 4 изображены возможные схемы расположения основных и уточных нитей в кромочных зонах тканых изделий, сформированных на рапирном ткацком или лентоткацком станке, на котором уточная нить прокладывается с неподвижных паковок двумя жесткими или гибкими рапирами, движущимися в чередующемся порядке попеременно с двух сторон в виде петель из сдвоенных уточных нитей с последующей кратковременной фиксацией и освобождением концов уточных петель в момент прокладки встречной уточной петли на сторонах, противоположных от входа рапиры.

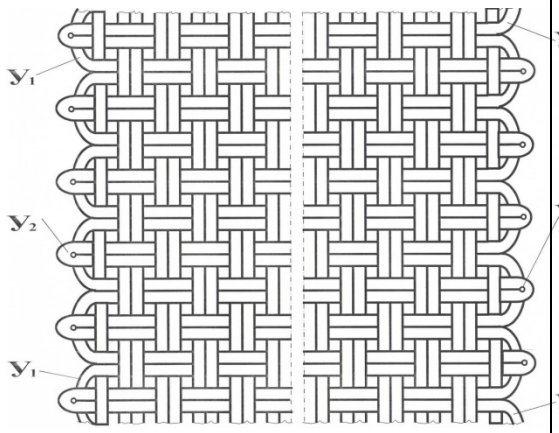


Рис.1

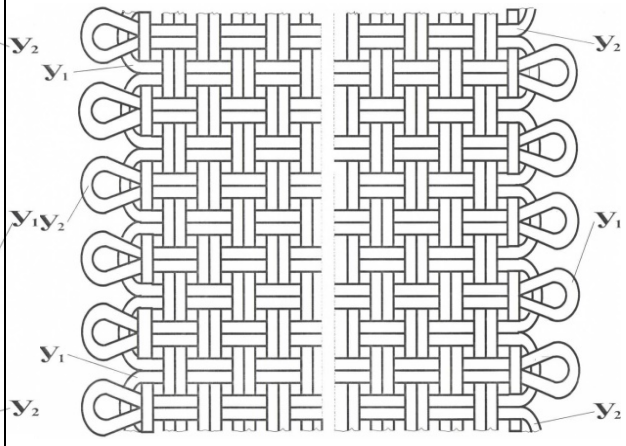


Рис.2

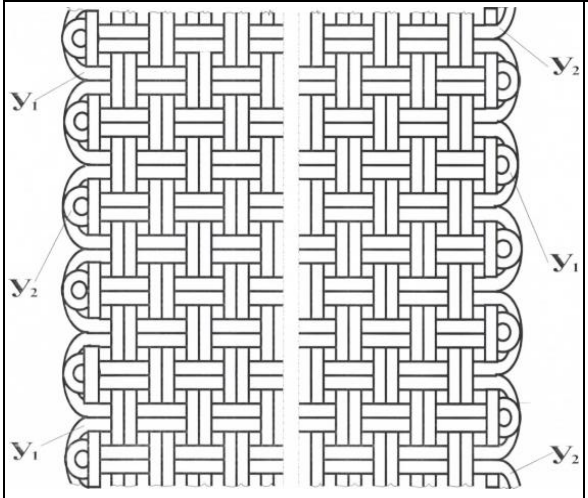


Рис.3

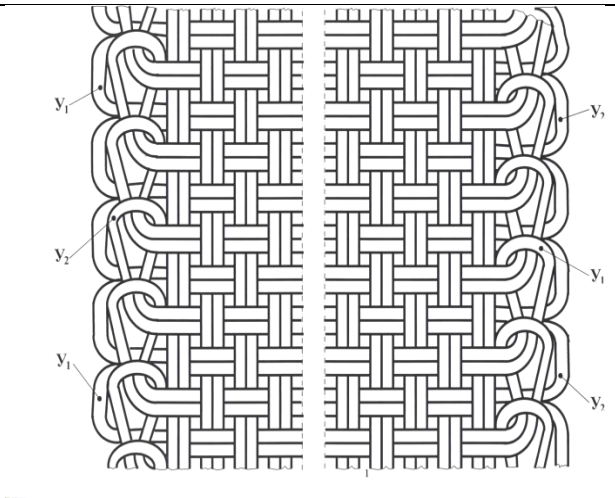


Рис.4

Размеры и форма концов уточных петель зависит от диаметра фиксирующих стержней и их расстояния отпериферийных нитей основы.На рис. 1, 2, 3и 4 приняты следующие условные обозначения: $\mathbf{У_1}$ и $\mathbf{У_2}$ – нити утка, прокладываемые с двух различных сторон полотна тканого изделия.

На рис. 4 для сравнения приведена схема взаимного расположения нитей основы и утка в кромочных зонах тканого изделия изготовленного также на рапирном станке по способу формирования кромок, с двухсторонней провязкой концов уточных петель трикотажными иглами. Данный способ формирования кромок также обеспечивает получение прочных кромок, но более трудоемок и затратен.

Формируемые при этом кромки подобны «натуральным», получаемым на челночных ткацких или лентоткацких станках. Эти кромки обеспечивают хорошее переплетение основных и уточных нитей, имеют достаточную прочность, не закручиваются и не ухудшают внешний вид ткани. Толщина ткани в кромках не отличается от толщины фона.Расход сырья на кромки минимальный.

Предлагаемый новый способ формирования кромок с положительным результатом опробован авторами на специально спроектированном и изготовленном в металле действующем макете двухрапирного ткацкого станка. Действующий макет станка был создан с использованием основных узлов и механизмов пневморапирного ткацкого станка АТПР-120.

В дальнейшем с участием авторов предполагается создание новой серии рапирных ткацких станков с гибкими рапирами, на которых уток в виде сдвоенных петель будет прокладываться с двух сторонна всю ширину тканого изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ на изобретение № 2655911 «Способ формирования кромок тканых изделий на рапирном ткацком станке», опубл. БИ 2018, № 16 / Уточкин М. А., Керимов С. Г.,и др.
2. Грановский Т. С., Мшвениерадзе А. П. Строение и анализ тканей. М.: Легпромбытиздат, 1988, - 94 с.

УДК: 677.074.1:677.011

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭСТЕТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУХСЛОЙНЫХ ТКАНЕЙ СО ВЗАИМНЫМ ПРОНИКНОВЕНИЕМ ОСНОВ

INTEGRATION FACTOR CONSTRUCTION TO IMPROVING AESTHETIC, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF DOUBLE LAYER WOVEN FABRICS BY DENTING AND STITCHES SYSTEMS

Эль-Сайед А. Эльнашар[1], Г.В. Башкова[2]
ElSayed A. Elnashar[2], G.V. Bashkova[2]

[1]Факультет текстиля и одежды университета (Кафрель-шейх, Египет)
[2]Ивановский государственный политехнический университет
[1]Textiles & Apparel, Kafrelsheikh University, Egypt
[2]Ivanovo State Polytechnic University, Russian Federation
E-mail: smartex@kfs.edu.eg, milena55@yandex.ru

Тканые полотна, используемые для одежды, обивки и геотекстиля были спроектированы с использованием комплексного показателя структуры (переплетения) (КПС), в котором дифференцированно учитывалось проникновение нитей двух основ; уменьшение (КПС) соответствует увеличению пористости двухслойных тканых структур, что способствует повышению воздухопроницаемости. Плотности основы и утка, тип переплетения – основные факторы многослойной структуры ткани, влияющие на воздухопроницаемость, теплопроводность и влагопроницаемость. Разработана математическая модель, основанная на идеальной геометрии пористой структуры многослойного тканого материала.

Ключевые слова: многослойная структура; физико-механические; эстетические свойства; комплексный показатель структуры (КПС).

Clothing for garments, upholstery and geotextiles are designed through integration factor construction (IFC) are differentiated the system of reed denting; the decrease in the (IFC) means that the open porosity for double-layer fabrics increases and at the same time the air permeability also increases. The properties of fabrics were analyzed by determining the efficiency of fabric integration factor construction (IFC). The woven fabric multi-layer structure, the warp and weft densities, and the type of weave are factors of a woven fabric, which as porous material enables to transmit air, heat energy, and liquid perspiration. Several methods considering thread distributions have been developed to determine the woven fabric's aesthetic, physical and mechanical properties. A mathematical model based on an ideal geometry of the porous structure of a multi-layer woven fabric has been developed.

Keywords: multi-layer structure, mechanical and physical, aesthetic properties.

The potential of denting reed systems in textiles design, through denting is one of the most widely used of fabrics design in the world. Reed is the active ingredient is a global commodity with annual machinery of textile production. The denting and stitches systems are critical in determining the quality multi-layer for garments clothing, upholstery and geotextiles are designed throw integration factor construction (IFC) are differentiated the system of reed denting; the decrease in the (IFC) means that the open porosity for double-layer fabrics increases and at the same time the air permeability also increases [1, 3]. Bending stiffness is a property of fabrics that can influence fabric drape and therefore the aesthetic characteristics of garments and clothing comfort as well [7].

The numerous investigations proved that the properties of bending, creasing and draping ability are all related to the factors of fabric structure [4]. Tested and analyzed some cotton, wool, silk and man-made fabrics and they concluded that the bending, creasing and draping are correlated to fabric type. Dr. Jing [9] has analyzed the structures of lightweight worsted fabrics. It has been investigated some characteristics of worsted fabric such as wrinkle resistance, blend resistance, drapeability and air permeability. Using the gray interrelation theory to deal with the data of

structure parameters and wearing characteristics target and analyzed the relationship between the wearing fabric characteristics and structure parameters. Also drapeability was evaluated on the basis of drape coefficient, number of folds and maximum and minimum amplitude [8]. The results have shown that there is a great influence of material type and yarn structure on fabric rigidity.

1.1. Methods of Stitching

Multi-layer woven fabric consists of at least two layers which are woven one above the other and stitched together. Double woven fabric contains two systems of warp, face and back, and two systems of weft. The fabric can be called either two-ply fabric or double fabric [6]. In this way, the aim if this paper is to further investigate the influence of integration factor construction to improving aesthetic, physical and mechanical properties of double layer woven fabrics by denting and stitches systems. Textile structure is in this case usually represented by its porosity. A number of theoretical and experimental methods exist for the determination of porosity. Every method includes some simplifying assumptions which cause inaccuracy. Generally, the porosity indicates how much air contains a textile material with a given warp-ends density distribution. Further details about the array of pores in textiles, such as the pore size, shape, and arrangement are very important for the description of physical properties of multi-layer woven fabrics [2, 3, 10, 11] and the air flow through textile materials. The subjects of this research are:

1. To study the integration factor construction models of multi-layer woven fabrics considering the flow interaction between denting and thread distribution; this research modifies an existing three-dimensional model to include in it the simulation capabilities, and to verify this model with the fabrication of structural composites.
2. To characterize the eight-harness fabric (for use in processing) by the stitches systems, the thread distribution in the multi-layer woven fabric, physical and mechanical properties.
3. To use the model for analysis of the manufacturing process where this model should enable the user to design the best process for manufacturing aesthetic of high quality.

2. MATERIALS AND METHODS

Experiments were carried out on woven fabrics, which were constructed according to the setting theory. The following yarns were used: combed warp yarns of 20.4 Tex for the upper fabric, 39.4 Tex for the lower fabric, and weft yarns of 39.4 Tex for the upper and lower fabrics, spun from 100% cotton staple fiber (Giza 70) on a ring spinning machine. The packing factor and the factor of thread flexibility were determined according to literature. The parameters of the woven fabric structure accepted by us are the weave factor and the fabric density. All variables used for determining the weave factor were collected (maximum densities, setting thread densities, actual thread densities and relative densities). All fabric samples were woven with shedding mechanism “Stauble” on weaving machine under equal technological conditions [3].

The two layer woven fabrics (100% cotton) were designed and manufactured with variations in distribution of warp types as given in table 1.

Table 1.

Description of the experimental weaves

Woven fabrics	Weave pattern of upper fabric	Weave pattern of lower fabric	Linear density of upper warp, Tex	Linear density of upper and lower wefts, Tex	Linear density of lower warp, Tex	Fabric density, warp×weft/ per cm
I	Plain1/1	Plain1/1	20.4	39.4	39.4	48x18
II	Twill 3/3	Plain1/1	20.4	39.4	39.4	48x18
II	Satin 6 weft	Plain1/1	20.4	39.4	39.4	48x18

The fabrics were designed in the Faculty of Applied Arts, Textile Department, Helwan University [3, 5].

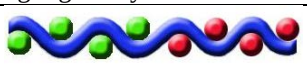
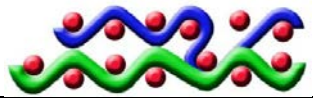
Table 2.

Specification of the denting system in reed [1]

Repeat wide /m.m	Denting systems	Distributing yarns systems	
		Arias code	Including two layers
2	A	A1	4:5:
2	B 1	B1	6:3:
6	2	B2	6: 6: 6:3: 3: 3:
12	3	B3	6: 6: 6: 6: 6: 6: 3: 3: 3: 3: 3: 3:
10	C 1	C1	7: 6:5:4:3:2:4:5:6:
12	2	C2	7:7:6:6:5:5:4:4:3:3:2:2: and mirror copy
38	3	C3	7:7:7:6:6:6:5: 5:5:4: 4:4:3: 3:3:2: 2:2: and mirror copy
24	D 1	D1	7:7:0:7:6:0:7: 7:7:0: 0:0: and mirror copy
31	2	D2	7:7:7:7:7:7:0:0:7:7:7:7: 0:6:6:6:6:0:6:6:6:6:6:6: and mirror copy
26	3	D3	7:7:7:7:7:7:7:7:6:6:0:0: and mirror copy

3. RESULTS AND DISCUSSION

In textiles mathematics, an integrating factor concretion (IFC) is a function that is chosen to facilitate the solving of a given equation involving differentials. It's commonly used to solve ordinary differential equations but is also used within multivariable as elements construction in double-layer fabrics calculus when multiplying through by an integrating factor allows an inexact differential to be made into an exact differential for aesthetic, physical and mechanical properties, which can then be integrated to give a scalar field. This is especially useful in prediction of textiles properties such as thermodynamics where temperature becomes the integrating factor that makes entropy an exact differential as the following figures.

Figure 1. Denting regular system		Figure 2. Denting regular system	
Single		Double	
1/1 plain weave for lower	as 2/gate in reed for upper layer fabric		Cross-section plain weave 1/1 for two layers
Figure 3. Fabric cross-section		Figure 4. Fabric cross-section	
Double		Double	
1/1 plain weave for lower	Twill weave 3/3 for upper and plain weave 1/1 for lower fabric	1/1 plain weave for lower	Satin weave 6 weft for upper fabric and plain weave1/1 for lower fabric
Figure 5. Red dents system		Figure 6: Red denting system	
Single		Single	
1/1 plain weave for lower	as 3:1 /2 gate in reed for upper	1/1 plain weave for lower	as 3:3:0 /3gate in reed for upper

Stitch weave is satin 6 wefts between the layers. Structure of textile changes by influence of denting system is possible classified as a horizontal increase of the porosity, removing of free yarn section. yarn are interlaced very closely in a plain weave, in twill or satin weaves relative removing of yarns cause an increase of its porosity predominantly in a vertical direction. Flowing air cause a move of not interlaced parts of yarns-floats. In textiles depends on the length of floats. So the horizontal increase of porosity can result in a considerable increase of aesthetic, physical and mechanical properties of double layer woven fabrics. The experimental study was carried out as a new approach to predict the parameters of integration factor construction by using a factor analysis based on the mathematical model developed by us. Physical and mechanical properties are an important material property which knowledge is required in various flow simulations while

processing composites. This quantity is defined as the property of a stitches systems material, which characterizes the ease with which a fluid is forced to flow through the material under an applied pressure gradient. Both, the steady state and the impact mechanical properties measurement techniques were used in this work. The model higher standard was used as a process analysis tool. This enabled the user to determine such important process parameters as the location and type of injection ports, as well as the, physical and mechanical properties and location of the high- aesthetic textile products. A process for a three-stiffener composite panel was proposed by using a denting system as shown in table 2 (B, C, D). This array evolved from the variation of the process parameters while modeling several different composite panels [3].

$$IFC = \Sigma (\alpha X W) / n, \quad (1)$$

where: α – balance factor of woven construction; W – width of stripe (density); n – number of width stripes (density).

Then, $$K = C n \sqrt{N}, \quad (2)$$

for a direct system, C – is the constant for material, (0.04126 for Tex); n – number of threads per inch; N – yarn count.

Calculate the integration factor construction in regular Red dents system with plain weave 1/1 for double-layer fabrics as 5:4 yarns:

First in 5 yarns (A).

$K_{up1}=Cn\sqrt{N}=0.04126(3x10x2.54)\ \sqrt{20.4}=14.2$; $K_{up2} = 0.04126 \times 18 \times 2.54 \times \sqrt{39.4}= 11.84$

$\alpha_{up} = K_{up1}/ K_{up2} = 14.2 /11.84 = 1.1993$;

$K_{Lw1}=0.04126(2x10x 2.54)\ \sqrt{39.4}= 13.156$; $K_{Lw2}=0.04126(18x2.54)\sqrt{39.4}= 0.04126x45.72x 6.2769419= 11.840$

$\alpha_{Lw}=K_{Lw1}/K_{Lw2}=13.156/11.840 = 1.111$

Average (α) for first in 5 yarns in double-layer fabrics (A):

$\alpha(A) = = 1.1993 +1.111 /2 = 1.155$

Second in 4-yarn (B).

$K_{up1}=Cn\sqrt{N}=0.04126(2x10x2.54)\ \sqrt{20.4}=9.4669$; $K_{up2} = 0.04126 \times 18 \times 2.54 \times \sqrt{39.4}= 11.84$;

$\alpha_{up}= K_{up1}/K_{up2} =9.4669 /11.84 = 0.7995$.

$K_{Lw1}=0.04126(2x10x 2.54)\ \sqrt{39.4}= 13.156$, $K_{Lw2} = 0.04126\ (18x2.54)\ \sqrt{39.4} = 11.840$

$\alpha_{Lw}=K_{Lw1}/K_{Lw2}=13.156/11.840 = 1.111$.

Average (α) for second area in 4 yarns (B). In double-layer fabrics:

$\alpha(B) = 0.799+1.111/ 2 =0.9552$

$$IFC = \Sigma (\alpha X W) / n = 2(1.155+0.9552) / 2=1.055$$

So the length of yarn (warp-weft) in equation (4 A, B), first the length of warp extend between two intersection in perfect repeat of woven construction. Integration factor construction is an important material property which knowledge is required in various flow simulations while processing composites. This quantity is defined as the aesthetic, physical and mechanical properties, which characterizes the ease with which a fluid is forced to flow through the material under an applied pressure gradient. Both, the denting and stitches systems state and the impact integration factor construction measurement techniques were used in this work. The model higher standard was used as a process analysis tool. This enabled the user to determine such important process parameters as the location and type of injection ports, as well as the mechanical properties and location of the high-physical textile products. a process for a three-stiffener composite panel was proposed by using a denting system as shown in table 2 (B,C,D). This array evolved from the variation of the process parameters while modeling several different composite panels. The modeling strategy, which was presented, provides a unified approach towards an aesthetic, physical and mechanical properties and flow analysis of the textile reinforcement on a macro-scale of double layer woven fabrics. this approach allows a straightforward analysis of the reinforcement properties considering the variations in reinforcement denting and stitches systems, the aesthetic, physical properties, as well as also the material nonuniformity, as for example unbalanced crimp, deviations in the yarn cross sections area, and in spacing. An emphasis was made on the problem of resin flow through the reinforcement. a correlation relationship has been higher standard between the

percentage of integration factor construction for double-layer fabrics and aesthetic, physical and mechanical properties, considering the use of the difference system of reed denting and stitches. We differentiated the system of reed denting by the 'integration factor construction' (IFC); the decrease in the (IFC) means that the open porosity for double-layer fabrics increases and at the same time the air permeability also increases. If IFC = 2.488 for a regular reed dents system with plain weave 1/1 in a double-layer fabric then open porosity for the double-layer fabric is 21.025 %, and the air permeability is 38 Ft^3/ cm^2. So if we use the difference system of reed denting at fabric code B1, with plain weave 1/1 for double-layer fabrics then we have: (A) 4 upper +2 lower: (B) 2 upper+1 lower with IFC = 2.0, and the open porosity for this double-layer fabric will raise up to 26.15 % with (42) air permeability Ft^3/ cm^2. This approach allows us taking into account the stacking and forming of the layers, both in the flow and structural analyses. In the case of flow analysis, this allows us accurately study the effect of a multi-layer reinforcement structure of nesting deformation etc. on Area space. The lattice method should be chosen for a numerical analysis of flow through the reinforcement. In our case a specially designed interface, serving as a geometrical pre-processor, allows us reading the geometrical data the calculations were tested against problems of flow in open and filled channels, and flow through a parallel array of tows. The results have shown a very good agreement with theoretical and existing numerical data. This provides a basis for numerical analysis of Area space of more complex structures such as woven fabrics. The difference between the computed permeability for the cases of permeable and not permeable systems is within the range of 20…30%. The calculation enables achieving realistic quantitative results with a wide interval of uncertainty caused by variations of nesting of the layers (uncontrolled in the experimental procedure).

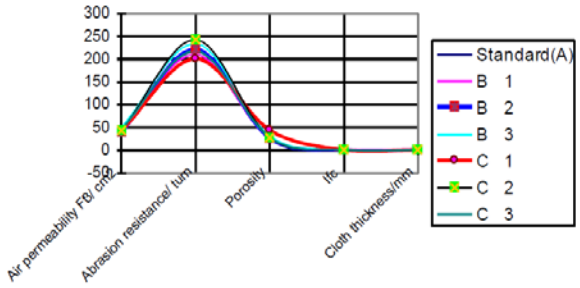


Fig. 7. Graph of double-layers fabric's properties with plain 1/1 in upper cloth

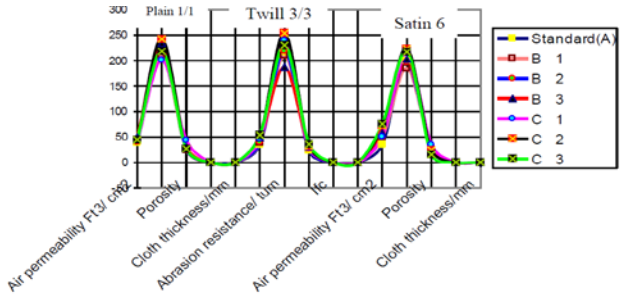


Fig. 8. Graph comparison of double-layers fabric's properties with plain 1/1, twill 3/3 and satin 6 wefts in upper cloth

The measurements of mechanical properties of double woven fabrics are summarized in table 2. The results were further statistically assessed using the analysis of variance to define the significance of the constructional parameters (type of weave and the method of stitching) on the selected mechanical properties. The results clearly indicate that wrinkle recovery is not altered by weave or the method of stitching. The method of stitching has a statistically important effect only on fabric stiffness in back warps direction and tearing strength in warp direction.

The importance of type of weave is much more evident regarding the breaking strength, breaking elongation, tearing strength and fabric stiffness. The effect of weave on breaking strength is important only in warp direction. This is probably the consequence of the yarn fineness used. In

warp direction, the face and back yarns had different fineness's, while on the other hand the fineness of face and back weft was the same. So, when the yarn fineness of face and back fabric differs, the influence of weave becomes important. This well-known phenomenon arises from the fact that because of the crimp, the fabric strength is less than the strength of twisted yarns. If all other things are equal, plain weave fabrics which have the highest crimp will have the lowest strength. Our results show the following decreasing range of breaking strength with regard to the type of weave: twill-sateen-plain. Despite the fact that twill, sateen and hopsack weave all have the same number of thread passages in weave repeat of 6x6 threads, and so equal crimp, the breaking strength differs.

4. CONCLUSIONS

The objective of this study was to establish the dependencies between the integration factor construction of double layers woven fabrics, namely type of the method of stitching and denting, and aesthetic, physical and mechanical properties. The results of variance analysis clearly indicate that the denting and method of stitching doesn't have a statistically important effect at a 95% confidence level on the above-mentioned mechanical properties, except for the tearing strength in warp direction and fabric stiffness. The influence of type of weave is much more evident regarding the mechanical properties. All the above-mentioned physical and mechanical properties are influenced by weave, except for wrinkle recovery. It is worth mentioning that all samples consisted of 100% cotton fabrics used for apparel and upholstery applications. The results of integration factor construction research could help the constructor in developing a new fabric construction with more appropriate properties.

REFERENCES:

1. *Dubrovski, P. D.* (2003). Macroporosity and air permeability in two-layer woven fabrics/ P.D. Dubrovski, E.A. Elnashar// World Textile Conference – 4th AUTEX Conference, Roubaix (France), June 22-24.
2. *Elnashar, E.A.* (2005). Volume porosity and permeability in double-layer woven fabrics/E.A. Elnashar// AUTEX Research Journal. – Vol. 5. – № 4. http://www.autexrj.org/No4-2005/0103.pdf 207
3. *Elnashar, E.A.* (1995). Effect of warp-ends densities distributions on some esthetical and physical properties of multi-layers woven fabric. Msc. Thesis, Faculty of applied arts, University of Helwan, Cairo, Egypt.
4. *Elnashar, E.A.* (2006). The influence of woven and porosity on abrasion resistance of double-layers woven fabrics/ E.A. Elnashar// IX International Workshop Physics of Fibrous Materials: Structure, Properties, Science Intensive Technologies and Materials, SmarTex-2006, Ivanovo, ISTA http://www.igta.ru/files/smartex2006.pdf
5. *Elnashar, E.A.* (2017). Smart multifunctional theory of clothes with using digital method / E.A. Elnashar// International Journal of Research in Advanced Engineering and Technology. – Vol. 3. – № 2. – PP. 75-78.
6. *Elnashar, E. A.*, (2008) The influence of the weave and the method of stitching on selected mechanical properties of woven double fabrics / E.A. Elnashar, P. D. Dubrovski. – AUTEX Research Journal. – Vol. 8. – №2. http://www.autexrj.org/No2-2008/ pdf41
7. *Elnashar, E. A.* (2012). Effect of fabric structure variation on garment aesthetic properties/ E.A. Elnashar// Tekstil ve konfeksiyon. – Vol. 2. – PP. 132-136.
8. *Jevšnik, S* (2010). Drapability – parameter for aesthetic appearance of garment /S. Jevšnik, A. Rudolf, S. Krašević, Z. Stjepanović, C. Saricam, F. Kalaoğly// 2nd Scientific conference: development trends in the textile industry – design, technology, management. PP. 76-80.
9. *Jing, M.* (2006). Influence of structure parameters of lightweight worsted fabric on wearing characteristics/M. Jing// Wool Textile Journal. – № 5. – PP. 48-51.
10. *Szosland, J.* (1999) Identification of structure of inter-thread channels in models of woven fabrics /J. Szosland// Fibres & Textiles in Eastern Europe, vol.7 (25). - №, ,2 (25), 1999, pp.41-45
11. *Zhang, H.* (2003). Properties of fabric between bending, creasing and draping /H. Zhang, H. Zhu, J. Zhang// Wool Textile Journal. - № 3, PP. 62-65.

УДК 677.019

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЦЕЛЬНОТКАНЫХ 3D-ПРЕФОРМ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

QUALITY CONTROL OF COLORFUL 3D-PREFORMS THE METHOD OF COMPUTER TOMOGRAPHY

М.В. Киселев, А.М. Киселев
M.V. Kiselev, A.M. Kiselev

НПО «Программируемые композиты», (г.Кострома)
LLC NPO "Programmable Composites", (Kostroma)
E-mail: laibach@mail.ru, kisselev50@mail.ru

Статья посвящена разработке системы контроля качества цельнотканой преформы, изготавливаемой по технологии 3D ткачества с применением методов компьютерной томографии. Изготовлены два образца 3D ткани из углеродного и кремнеземного волокна. Проведены томографические исследования структуры полученных образцов. По томографическим изображениям образцов 3D тканей получена геометрическая модель ткан в ПО «ПРЕФОРМА». Разработана методика сравнительного анализа графических изображений спроектированных и изготовленных образцов. Приведены результаты сравнения изображений по разработанной методике.

Ключевые слова: 3D ткачество, компьютерная томография, контроль качества, программирование.

The article is devoted to the development of a quality control system for a seamless preform fabricated using 3D weaving technology using computer tomography techniques. Two samples of 3D fabric made of carbon and silica fibers were made. Tomographic studies of the structure of the samples were carried out. The geometric model of the tissue in the "PREFORMA" software was obtained from tomographic images of 3D tissue samples. The technique of comparative analysis of graphic images of designed and manufactured samples is developed. The results of image comparison by the developed method are given.

Keywords: 3D weaving, computed tomography, quality control, programming.

В настоящее время в области полимерных композиционных материалов (ПКМ) все большее распространение получают объемно-армированные композиты, в которых в качестве армирующего каркаса используются преформы, изготовленные по технологии 3D-ткачества, позволяющей создавать цельнотканое изделие с заранее заданными геометрическими параметрами, соответствующими форме заданной композиционной детали. На пути реализации данной технологии много проблем. Это и отсутствие отечественного оборудования, выпускаемого серийно, реализующего технологию 3D ткачества и отсутствие систем проектирования цельнотканых объемных преформ сложной пространственной конфигурации.

В области разработки оборудования, реализующего технологию 3D ткачества активно работают отечественные предприятия АО «Три-Д» (Московская обл., п. Андреевка), ООО НПТП «Текстор» (г. Казань), ИЦ НТТМ г. Шуя и др. В области проектирования цельнотканых объемных преформ появился новый программный комплекс проектирования «ПРЕФОРМА», разработанный ООО НПО «Программируемые Композиты» (г.Кострома).

После изготовления преформ по технологии 3D ткачества следует этап оценки ее качества. Данный этап особенно важен для условий реального производства ответственных высоконагруженных композиционных изделий с длительным сроком эксплуатации и не допускающих применение ремонтно-восстановительных технологий.

Одним из современных методов неразрушающего контроля качества изделий является рентгеновская компьютерная томография (КТ), которая позволяет обнаруживать и измерять трехмерные микроскопические дефекты, контролировать геометрические параметры изделий — линейные и угловые размеры, а также проводить полный анализ отклонений

смоделированной формы от реального образца, тем более, что степень детализации исследуемого образца томограф позволяет регулировать вплоть до различения филамент нитей. Именно производители томографического оборудования являются разработчиками систем контроля геометрических параметров спроектированного и изготовленного изделия через его томографическое изображение. Мировым лидером в данном направлении является фирма Volume Graphics с программным модулем VGStudio MAX (модуль Nominal/Actual comparison). К сожалению, отечественные разработки в данном направлении отсутствуют.

Глобальной проблемой оценки соответствия спроектированного изделия от реально изготовленного, с применением компьютерной томографии, заключается в том, что при проектировании изделий в любых CAD системах мы получаем выходной файл твердотельной модели, в заданном пользователем формате. Результатом работы компьютерного томографа являются выходные файлы в виде облака точек, поверхностных моделей, моделей виртуальной реальности и др., которые не являются форматами файлов твердотельной модели.

Таким образом при использовании томографии в качестве метода оценки разработанной геометрической модели структуры (CAD модели) появляется необходимость конвертации файлов, получаемых в формате томографа в файлы твердотельного формата для возможностей последующего сравнения спроектированного изделия и его томографического изображения средствами CAD системы. Данная задача конвертации томографических изображений является отдельным самостоятельным направлением в науке. В настоящее время известны следующие системы в данном направлении: ПО 3Dview Materialise Mimics, ПО CAD Monster, ПО Simpleware [1-3]. Все они имеют специфику применения. При этом необходимо отметить, что имеющееся программное обеспечение является зарубежным и ориентированным на обработку изображений деталей машиностроительного профиля. Рассмотренное программное обеспечение обладает очень высокой стоимостью, и не опробовано для решения задач, в области текстильного материаловедения, в частности оценки качества цельнотканых объемных каркасов для последующего изготовления композиционных деталей. Поэтому выявлена необходимость разработки отечественной методики оценки качества изготовления цельнотканых 3D преформ и реализующего данную методику программного обеспечения для практического внедрения на производстве.

Для исследования структуры 3D ткани были изготовлены два образца 3D ткани. Первый образец был изготовлен методом 3D ткачества на экспериментальной установке в ОАО КНИИЛП, описанной в [4]. Для изготовления данного образца использовалась крученая с К=20 кручений/метр углеродная нить с линейной плотностью 98х3 Текс производства НПЦ УВИКОМ. Размеры исследуемого образца 30х30х20 мм. Второй образец, предоставленный предприятием АО «Три-Д», был изготовлен из кремнеземной нити с линейной плотностью 125 Текс производства ХК «Композит» по технологии 3D ткачества с использованием механизма жаккарда. Оба образца были исследованы томографическим методом. Томографические исследования выполнялись в группе компаний Остек г. Владимир на системе GE v|tome|x m300.

Основой разработанной методики является сопоставление геометрии преформы в воксельном формате, спроектированной в CAD системе и воксельной модели изготовленной преформы в формате томографа. Проектирование геометрической модели преформы осуществлялось в программном комплексе «ПРЕФОРМА». При этом решалась реверсивная задача построения геометрической модели преформы по ее томографическому изображению. Размер вокселя может регулироваться пользователем, что повышает точность представления описания пустот в объемах 3D структур.

Очень важным в данной методике является возможность учета любой, произвольно созданной с помощью CAD системы, структуры переплетений в объеме преформы. Последовательные этапы уточненной методики приведены в таблице 1.

Таблица 1

Последовательные этапы методики оценки качества 3D преформы после ее изготовления

№ п/п	Содержание этапа	Задача этапа
1	Загрузка в ПО «Преформа» исходной геометрии детали в формате *.stl	Ввод исходных данных для проектирования
2	Разбиение 3D геометрии детали на воксели с заданным шагом H1	Подготовка геометрии детали для построения структуры переплетения по сечениям модели
3	Создание заданной структуры переплетения во всем объеме детали	Разработка CAD модели преформы. Проектирование текстильной структуры по всему объему детали.
4	Изготовление преформы	Получение контрольного образца реальной преформы
5	Выполнение томографии преформы	Получение данных об изготовленной преформе в формате томографа
6	Загрузка в ПО «Преформа» данных о преформе в формате *.stl после томографии	Преобразование данных о преформе из формата томографа в формат *.stl с помощью специализированного ПО
7	Разбиение 3D геометрии преформы на воксели с заданным шагом H_2. H_1 не=H_2	Подготовка файла с данными об изготовленной преформы для последующего сравнения
8	Разбиение 3D геометрии преформы, созданной на этапе 3 методики с шагом H_3=H_2	Подготовка файла с данными о спроектированной CAD модели преформы для последующего сравнения
9	Сравнение 2-х воксельных моделей на 8 и 7 этапах. Построение графиков отклонений размеров в виде 3D графика отклонений размеров и цветной карты наложения изображений	Оценка качества спроектированной преформы. Выполнение сравнительного анализа геометрии 2-х файлов.

Алгоритмы в разработанном программном обеспечении соответствуют этапам реализации методик, описанных в таблице 1. Основой сравнительного анализа геометрических отклонений размеров спроектированной и изготовленной преформы является разработанный ранее эвристический алгоритм разбиения произвольной 3D области на воксели с заданным размером. Результатом сравнительного анализа двух преформ в программном обеспечении является 3D график совпадения вокселей двух моделей по всем сечениям преформы и интегрированная оценка совпадения геометрических параметров в процентах.

Оценка качества спроектированной преформы из углеродного волокна выполнялась путем сравнения геометрических характеристик двух файлов, представленных на рис. 1.

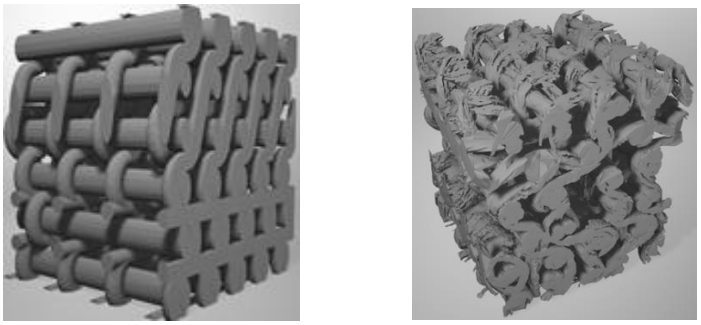


Рис.1. Спроектированная 3D модель преформы и томография изготовленной преформы из углеродного волокна

Исследования выполнялись согласно методике, описанной в таблице 1.

С целью определения возможности применения разработанных методик к различным видам переплетений в структуре преформ из различных нитей, выполнены исследования образца из кремнеземного волокна.

Оценка качества спроектированной преформы из кремнеземного волокна выполнялась путем сравнения геометрических характеристик двух файлов, представленных на рис. 2.

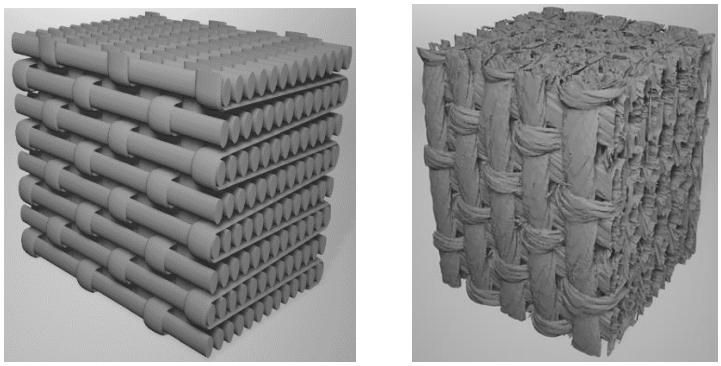
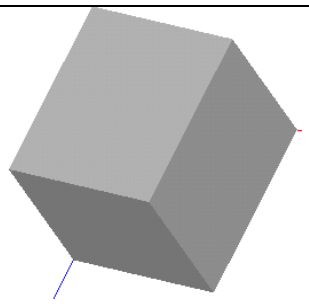


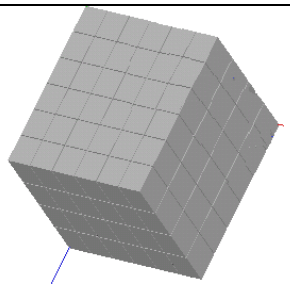
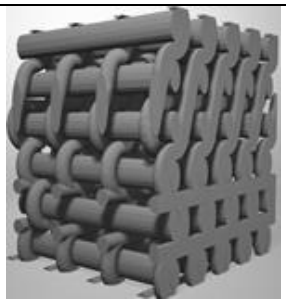
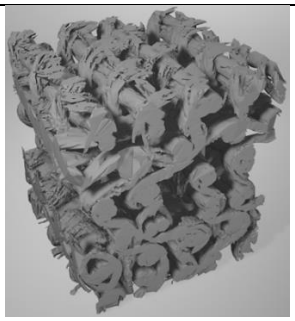
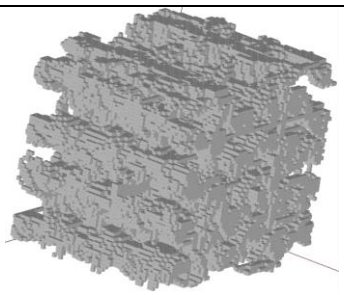
Рис. 2. Спроектированная 3D модель преформы и томография изготовленной преформы из кремнеземного волокна

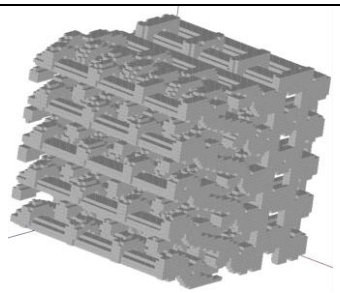
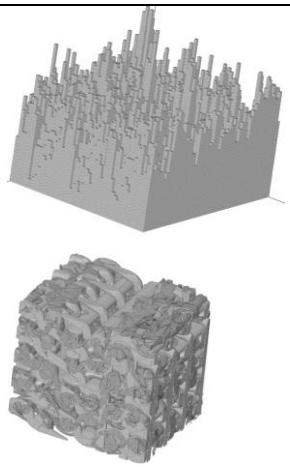
Результаты этапов реализации методики для преформы из углеродного волокна приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты этапов реализации методики для образца из углеродных волокон

№ п/п	Содержание этапа	Результат
1	Загрузка в ПО «Преформа» исходной геометрии детали в формате *.stl	

2	Разбиение 3D геометрии детали на воксели с заданным шагом H1	
3	Создание заданной структуры переплетения во всем объеме детали	
4	Изготовление преформы	
5	Выполнение томографии преформы	
6	Загрузка в ПО «Преформа» данных о преформе в формате *.stl после томографии	
7	Разбиение 3D геометрии преформы на воксели с заданным шагом H2. H1 не=H2	

8	Разбиение 3D геометрии преформы, созданной на этапе 3 методики с шагом H3=H2	
9	Сравнение 2-х воксельных моделей на 8 и 7 этапах.	

По результатам вычислений совпадение геометрических размеров спроектированной и изготовленной преформы из углеродного волокна составило 56,4%, при разбиении вокселями со стороной – 0,2 мм. Для второго образца из кремнеземного волокна аналогичные характеристики составили 75% совпадения вокселей.

Причин расхождения геометрических размеров спроектированной и изготовленной преформ много. Это и несплошность представления нити на томографическом изображении, характеристики оборудования и параметры технологического процесса производства преформы, изменение формы поперечного сечения нитей и их ориентации в пространстве и др.

Для рассмотренных двух образцов преформ из различных материалов причины расхождения геометрии размеров спроектированной и изготовленной преформы различные. Для образца из углеродной нити коэффициент объемного заполнения 38,4%, поскольку это структура слоисто-каркасной ткани. Это разреженная структура, для которой характерно существенное смещение положения уточных нитей в сечениях преформы относительно правильной структуры проектируемой. Соседние нити не поддерживаются друг другом и имеют возможность свободно смещаться по объему преформы. При этом наблюдаются повороты поперечного сечения нитей и, вследствие этого, нарушения геометрии структуры всей преформы.

Для второго образца из кремнеземного волокна причина расхождения геометрии размеров спроектированной и изготовленной преформы другая. Для данного образца коэффициент объемного заполнения преформы – 64,90%. Это плотная структура многослойной ткани. По результатам томографии видно, что в данном образце для получения высокой плотности заполнения прошивные нити имеют высокое натяжение, что приводит к деформации нити в местах контакта с уточными нитями. Сечения нитей становится деформированным, отличным от первоначальной проектируемой формы поперечного сечения нитей. Деформация нитей структуры преформы приводит к повышению плотности заполнения ее объема и, следовательно, к изменению геометрии всей структуры преформы. Для плотных структур 3D тканей совпадение геометрии проектируемой структуры преформы и изготовленной существенно выше. Для слоисто-каркасной структуры ткани процент совпадения формы около 56%, а для многослойной

ткани до 75%. Точность разработанной системы проектирования возрастает при увеличении объемной плотности преформы.

Еще одним из косвенных показателей качества спроектированной и изготовленной преформы является коэффициент объемного заполнения преформы. Для рассмотренных образцов погрешность коэффициента объемного заполнения проектируемой преформы составляют величину около 1%, что говорит о высокой достоверности разработанной методики. Данные показатели рассчитаны с использованием CAD системы SolidWorks.

Разработанная методика позволяет оценить качество технологического процесса изготовления многослойных тканей, изготавливаемых по технологии 3D ткачества с точностью до размера одного вокселя, размер которого может задаваться пользователем. Таким образом, можно говорить об оценке точности изготовления преформ с наперед заданной погрешностью, задаваемой проектировщиком.

Вывод:

Разработана новая отечественная система контроля качества цельнотканых 3D преформ сложной пространственной конфигурации с применением методов компьютерной томографии.

**Работа выполнена при финансовой поддержке фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере договор №1992ГС1/32675 от 16.05.2017.*

ЛИТЕРАТУРА

1.Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.companyram.kz/ram-trade-company-cee5.
2.Электронный ресурс. Режим доступа: www.cadmonster.ru.
3.Электронный ресурс. Режим доступа: www.simpleware.ru.
4. Киселев М.В. Селиверстов В.Ю., Киселев А.М., Ляпунов Л.С. Проектирование и разработка технологии получения 3D-тканых полотен для производства композиционных материалов повышенной прочности // Корпоративный журнал дивизиона «Двигатели для гражданской авиации» АО «ОДК» Трамплин к успеху. №10. 2017. С. 36-37.

УДК 677.024

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 3D ТКАЧЕСТВА

CURRENT STATUS AND PROSPECTS THE DEVELOPMENT OF 3D WEAVING

С.Д. Николаев[1], В.Т. Сергеев[2]
S. D. Nikolaev, [1], V. T Sergeev.[2]

[1]Российский государственный университет имени А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), (Москва)
[2]АО «ТРИ-Д», (Москва)
[1]Russian state University named after A. N. Kosygin, (Moscow)
[2]AO "TRI-D", (Moscow)
E-mail: nsd0717@mail.ru, vladimir@3dfabrics.ru

В статье приведены особенности структуры и свойств современных 3D тканей, область их применения, ассортимент тканых препрегов, выпускаемых фирмой «ТРИ-Д». Показаны особенности заправки и изготовления многослойных тканей. Перечислены преимущества тканых препрегов. Показаны особенности технологии изготовления данных тканей.

Ключевые слова: многослойные ткани, препреги, углеродные и стеклянные нити, слои, основа, уток

The article presents the features of the structure and properties of modern 3D fabrics, the scope of their application, the range of woven prepregs produced by TRI-D. The features of the filling and production of multi-layered tissues. The advantages of woven prepregs are listed. The features of manufacturing technology of these fabrics are shown.

Keywords: multilayer fabrics, prepregs, carbon and glass filaments, layers, base, ducks.

Тканые препреги и 3D ткани находят с каждым годом все большее и большее использование. Особенности структуры этих материалов не позволяют вырабатывать их на имеющемся стандартном технологическом оборудовании. Это не позволяет сегодня производить в достаточном количестве такие ткани.

В настоящее время эти материалы необходимы как для оборонной отрасли, так и для многих гражданских отраслей промышленности

В теории строения и проектирования тканей в университетах вопросам изготовления многослойных тканей или, как их сейчас называют 3-D ткани, посвящен раздел «Параметры строения, особенности заправки и изготовления многослойных тканей» [1].

Отметим основные особенности многослойных тканей:

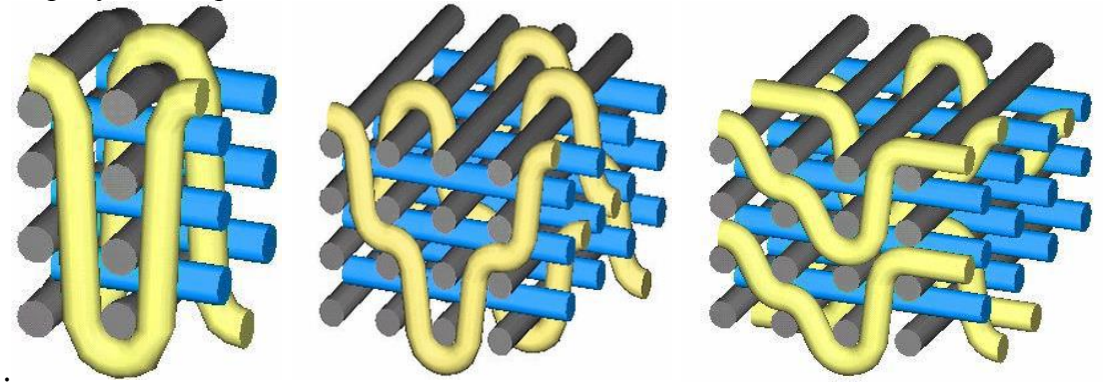
- состоят их трех и боле слоев, соединенных между собой;
- слои располагаются друг под другом;
- обычно вырабатываются из нитей высокой линейной плотности;
- используются различные виды сырья;
- используется столько систем нитей основы и утка, сколько слоев имеет ткань;
- соединение слоев может быть нитями слоев и дополнительными прижимными нитями основы (реже).

Нити слоев соединяют слои многослойной ткани различными способами, это изменяет переплетение нитей ткани и раппорт переплетения.

Раппорт по основе для большинства многослойных тканей равен удвоенному произведению числа слоев.

Раппорт по утку зависит от числа слоев ткани, раппорта слоя ткани по утку и частоту соединения слоев.

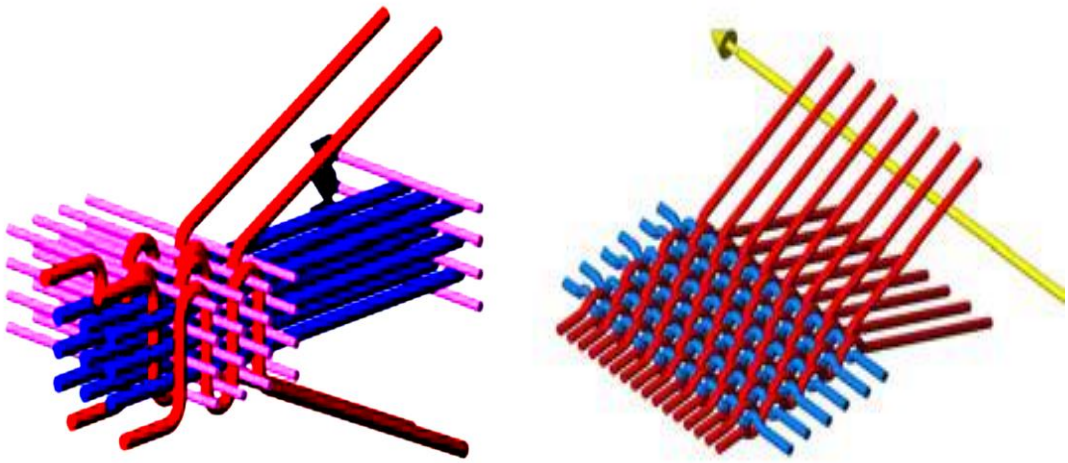
Обычно рисунки переплетений ткани строятся по продольным разрезам.
На рисунке 1. представлены модели соединения слоев нитями слоев



а) б) в)

Рис.1. Модели 3D тканей с соединением слоев нитями слоев с различной глубиной и частотой: а – ортогональное, б – переплетение на всю толщину ткани под углом к поверхности, в – переплетение с последовательной перевязкой слоев

На рисунке 2 представлены структуры однослойной и многослойной тканей



а) б)

Рис.2. Модели многослойной (а) и однослойной тканей (б)

В работе [2] приведен обзор современных технологий изготовления объемно-армирующих преформ для перспективных композиционных материалов. Авторы приводят решения по использованию 1D, 2D, 3D, 2,5D армирующих текстильных материалов. Технологии получения таких материалов разные. Это и ткачество, это и технология трикотажного производства, это и технология нетканых материалов, это и технология плетения. Наилучшие показатели дают 3D ткани различного переплетения.

Остановимся на 3D тканях, выпускаемых в настоящее время на предприятии «ТРИ-Д». Компания «ТРИ-Д» является лидером в России в области разработки и производства многослойных тканей и пространственно-армирующих тканых преформ. Создан принципиально новый класс текстильных материалов, обладающих многофункциональными свойствами, максимально удовлетворяющих требования к текстильным материалам в различных областях их использования [3-8]

На предприятии выпускаются тканые преформы из стеклянных, кремнеземных, кварцевых, синтетических и углеродных нитей. Данные ткани успешно используются во

многих отраслях промышленности в качестве трехмерных пространственно-армирующих наполнителей для композитных материалов с широким спектром практического применения.

Преимуществами композитов, полученных на основе разработанных материалов, являются:

- абсолютная стойкость к расслоению и появлению трещин в композите;
- высокая прочность – стойкость к торцевому удару;
- высокая эластичность – стойкость к деформационным нагрузкам;
- высокая стойкость к абляции;
- снижение рисков на производстве композитов;
- повышение производительности труда.

В качестве примеров использования композитов в гражданских отраслях приведем только некоторые:

- автомобильная промышленность (кузовные панели, тормозные диски, элементы крепления);
- судостроение (палубные надстройки, резервуары, перегородки, обтекатели);
- авиационная промышленность (фюзеляж, крылья, шпангоуты, турбинные лопасти);
- железнодорожный транспорт (лобовой обтекатель, модули крыш и боковых стенок).

В настоящее время значительно увеличен ассортимент выпускаемых тканей. Перечислим основные:

- МКТ – многослойные кремнеземные ткани изготавливаются из термообработанных кремнеземных нитей с содержанием SiO^2 94-96%. МКТ выдерживают длительно многоцикловую нагрузку при t=1000^{o}C, кратковременную до 1400^{o}C, при этом линейная усадка ткани составляет 1% (рис.3а);

- МКТО – многослойные кремнеземные облегченные ткани изготавливаются из текстурированных кремнеземныз нитей; МКТО обладает всеми свойствами и преимуществами стандартных многослойных кременеземных тканей (МКТ), но при этом они значительно легче (рис.3б);

- МКВТ – многослойные кварцевые ткани изготавливаются из кварцевых нитей с содержанием SiO^2 99,9%, МКВТ обладают высокими упруго-прочностными характеристиками и стойкостью к различным агрессивным средам; в условиях длительной эксплуатации и многократных теплосмен, МКВТ является стойким материалом до температуры 1200^{o}C (рис.3в);

- МТБС – многослойные ткани изготавливаются из нитей Е-стекла; температура длительной эксплуатации МТБС составляет 350^{o}C, а кратковременной – 500^{o}C (рис.3г);

- МКХТ – многослойные ткани изготавливаются из комбинированных кремнеземно-хлопковых нитей (рис.3д).

Внешний вид тканей представлен на рис.3.

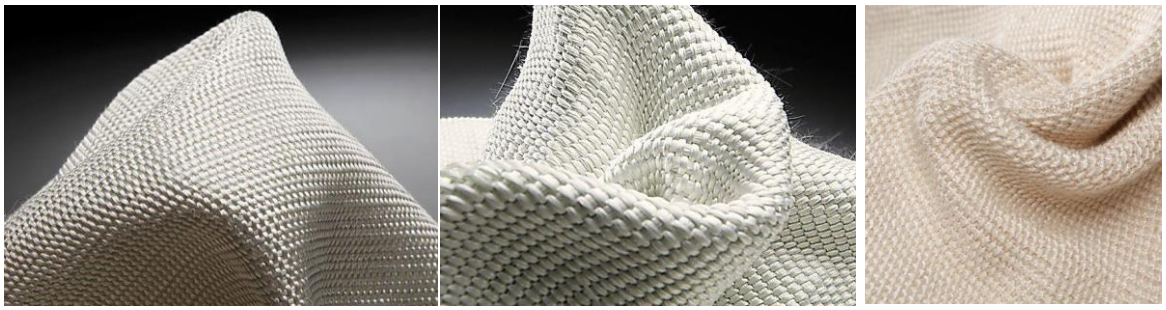
Толщина выпускаемых тканых материалов от 1 до 60 мм, их ширина – от 35 мм до 1150 мм.

Многослойные тканые армирующие материалы вырабатываются на уникальном ткацком оборудовании, специально разработанном для получения значительной и переменной толщины ткани. При изготовлении преформ возможно варьирование параметров их строения с целью обеспечения специальных требований. В конструкцию ткацкого станка для изготовления инновационных 3D материалов внесены конструктивные изменения в конструкции основного и товарного регуляторов, зевообразовательного механизма. Эти изменения позволяют получать ткани заданной структуры.

При разработке многослойных тканей необходимо учитывать взаимное расположение нитей основы и утка в слоях друг относительно друга, их смятие и сжатие в ткани. Это в значительной степени предопределяет качество выпускаемых материалов.



а) б)



в) г) д)

Рис.3. Внешний вид тканей

Выводы:

1. Необходимость в разработке и изготовлении 3D тканей и тканых препрегов в настоящее время возрастает.

2. Для их изготовления необходимо направить усилия ученых и производственников на разработку технологического оборудования, которое должно учитывать структуру многослойных тканей.

3. Представленные ткани, выпускаемые на фирме АО «ТРИ-Д», в настоящее время пользуются спросом и показывают возможности имеющегося на сегодняшний лень технологического оборудования выпускать данные текстильные материалы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мартынова А.А., Слостина Г.Л., Власова Н.А. Строение и проектирование тканей. Учебник. М.: МГТА, 1999. - 434 с.

2.. Богомолов, Козлов И.А., Бируля М.А. Обзор современных технологий изготовления объемно-армирующих преформ для перспективных композиционных материалов. Технико-технологические проблемы сервиса, 2017, №1. – с22-27.

2. В.Т. Сергеев. Перспективные многослойные ткани // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - Иваново, 2010. - №3.-с.22-24.

3. В.Т. Сергеев, С.Д. Николаев, Р.И. Сумарукова. Технология изготовления многослойной бикомпонентной ткани // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - Иваново, 2012. - №6.- с.81-85

4. Сергеев В.Т., Николаев С.Д. Анализ структуры многослойных комбинированных тканей для многофункциональных композитов// Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – Иваново: 2017, №1 – 302-305.

5. Сергеев В.Т., Николаев С.Д. Разработка структуры многослойных комбинированных тканей из углеродных и кварцевых нитей// Химические волокна.- 2016, №6, с.25-27

6. .Сергеев В.Т., Малафеев Р.М., Николаев С.Д. Особенности технологии и оборудования для изготовления армирующих многослойных тканей// Российская неделя текстильной и легкой промышленности. Сборник докладов Второго Международного научно-практического симпозиума (Москва, 21 февраля 2017 г, Москва, Экспоцентр), с. 189-194
7. Патент на промышленный образец № 81353 от 15 декабря 2010 года. Ткань. Аитова М.Ю., Сергеев В.Т.
8. Патент на полезную модель №143392 от 08.04.2014 года. Устройство подачи нитей основы на ткацкой машине для многослойных тканей и ткацкая машина с этим устройством. Сергеев В.Т., Малафеева И.Г., Терентьев О.А., Усолов В.А.

УДК 677.1/.2 – 017.7

РОССИЙСКОЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ТЕКСТИЛЯ:РЕАЛИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

RUSSIAN CELLULOSE RAW MATERIALS FOR TEXTILES: REALITY AND PERSPECTIVES

А.П. Морыганов
A.P. Moryganov

Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук, (г.Иваново)
G.A. Krestov Institute of solution chemistry of the Russian Academy of Sciences, (Ivanovo)
E-mail: apm@isc-ras.ru

Обоснована возможность крупнотоннажного производства отечественного целлюлозного волокна – хлопка, льна и конопли. Показано, что модификация низкономерных лубяных волокон (льняного и конопляного) позволяет получить инновационную конкурентоспособную текстильную продукцию технического, бытового и медицинского назначения.

Ключевые слова: волокнистое целлюлозное сырье, хлопковое, льняное, конопляное волокно, модифицированное волокно.

The possibility of large-capacity production of domestic cellulose fibers –cotton, linen and hemp - is proved. It is shown that modification of coarse bast fibers (flax and hempen) allows to obtain innovative competitive textile products for technical, domestic and medical purposes.

Key words: fibrous cellulose raw materials, cotton, flax, hempen fibers, modified fibers.

Одна из наиболее важных стратегических проблем, решение которой поможет стимулировать возрождение российской текстильной и легкой промышленности, а также ряда смежных отраслей - создание конкурентоспособных текстильных материалов на основе отечественного ежегодно возобновляемого волокнистого целлюлозного сырья. Таких видов природного волокнистого сырья, на основе которых может быть освоен крупнотоннажный выпуск волокон (десятки и даже сотни тысяч тонн в год) в России существует только 3 – это хлопок, лен и конопля.

Рассмотрим по очереди каждый из них.

Хлопок является наиболее широко распространенным волокном, мировое производство которого составляет 24-26 млн.т. 85% хлопка в мире выращивается в следующих странах (в порядке убывания значимости): Китай, США, Индия, Пакистан, Узбекистан, Бразилия, Турция, Австралия, Греция [1]. В СССР с 1930-х до середины 1950-х годов хлопок возделывался не только в Средней Азии и Азербайджане, но также в Нижнем Поволжье, на Северном Кавказе и в Крыму. Тогда около трети спроса в РСФСР на это сырье обеспечивалось из российских регионов. Но затем власти предпочли привязать российский

легпром к поставкам из республик, которые теперь являются независимыми государствами, а южнороссийские хлопковые поля рекордными темпами засевались кукурузой.

В 2018 г.потребность российских предприятий в хлопковом волокне оценивается в 68,2 тыс. т и в 71,1 тыс. т в 2019-м.. При этом полная зависимость легкой промышленности России (в том числе, и для изготовления оборонной продукции) от импорта хлопка, тем более, при отсутствии крупнотоннажного производства других видов целлюлозного волокнистого сырья, может иметь катастрофические последствия. Крупнейший поставщик хлопка в Россию Узбекистан (с долей в 47%) в настоящее время активно ведет строительство перерабатывающих комбинатов и через несколько лет полностью прекратит экспорт этого волокна. Поэтому, по словам директора Департамента растениеводства Минсельхоза РФ П.Чекмарева, нужно срочно наладить выращивание собственного «белого золота». Эксперимент по выращиванию хлопка, проведенный в течение нескольких лет в Астраханской и Волгоградской областях, признан удачным. «Сейчас очевидно, что климатические условия позволяют выращивать хлопок в России. Для промышленной отработки потребуется засеять порядка 400–500 га, чтобы вырастить опытную партию в 500 т хлопка. На 2018 г. уже имеются хорошие наработки по семеноводству и выращиванию», - говорится в сообщении Минпромторга РФ. Минсельхоз РФ оценивает в 221,5 тыс. га максимальную площадь возделывания хлопчатника в России. Больше всего подходящей земли – 120 тыс. га – насчитали в Ставропольском крае, 47,4 тыс. – в Астраханской области, 34,1 тыс. – в Калмыкии, и по 10 тыс. га в Волгоградской области и в Крыму [2].

Разумеется, такие попытки импортозамещения следует только приветствовать. Однако, сможет-ли Россия (и когда?) в своих природно-климатическим условиях производить то количество хлопка, которое необходимо для потребностей промышленности, не сможет предсказать никто.

В этих условиях особое внимание нужно обратить на 2 других, исконно российских, вида целлюлозного волокнистого сырья – льняное и пеньковое (конопляное).

Культура льна и производство льнопродукции в России имеет многовековые традиции. Однако, в последние десятилетия в нашем льняном комплексе обозначился ряд факторов, негативно влияющих на качество продукции, перспективность ее производства и конкурентноспособность на мировом рынке.

Во-первых, лен сам по себе достаточно трудоемкая и дорогая культура. При большом разнообразии альтернативных текстильных волокон (от хлопковых до химических) рынок изделий изо льна сократился, и сегодня на нем представлены (помимо недорогих технических тканей и нетканых материалов) лишь столовое и небольшое количество постельного белья, портьеры и еще меньше тканей для производства одежды.

Во-вторых - это повсеместное распространение в льносеющих регионах неполегающих сортов льна-долгунца, имеющего прочный одревесневший стебель. Такие сорта хорошо поддаются механизированной уборке, отличаются неплохой урожайностью (4-6 ц волокна /га), однако дают грубое и жесткое волокно (степень одревеснения 40-60 % против 20 % у европейского волокна). Свою лепту в ухудшение качества льноволокна вносит и низкий уровень агротехники, а также первичной обработки льнотресты на льнозаводах. В связи с этим, более 75 % объема выпуска льняных изделий составляют технический и тарно-упаковочный текстиль, а ассортимент тканей бытового назначения узок и, как правило, невысокого качества, уступающего мировым стандартам .

Один из наиболее реальных путей повышения эффективности льнопереработки – это создание кластеров (ассоциации предприятий по всей производственной цепочке – от выращивания льнотресты и ее первичной переработки до изготовления пряжи или нетканых материалов, тканей и продукции из них) и освоение выпуска новой, не производимой ранее и более рентабельной продукции. В последние 5 лет для создания льноперерабатывающих комплексов начали предприниматься определенные шаги в Смоленской, Вологодской, Калининградской, Владимирской областях. На Форуме «Золотое кольцо» (г.Плес Ивановской обл.) в сентябре 2017 г. по инициативе руководителей предприятия

«Мануфактура Балина» был подписан документ об организации льняного кластера в Ивановской области, где планируется создать полный цикл производства –от выращивания льна до переработки сырья и изготовления конкурентоспособной на мировом рынке готовой продукции.

Следует подчеркнуть, что при создании кластеров по углубленной льнопереработке было бы целесообразно учитывать накопленный в ИХР РАН опыт по механохимической модификации короткого (низкономерного) льноволокна для получения инновационной текстильной продукции технического, медицинского и бытового назначения –механически очищенного короткого льноволокна, в том числе, с огне-, био- и огнебиозащитными свойствами и объемных утеплителей на его основе; технических льносодержащих тканей и нетканых материалов с мультифункциональными защитными свойствами; высокосорбционного отбеленного льноволокна, медицинской ваты и перевязочных материалов (в том числе, с антимикробными и лечебными свойствами); механохимически модифицированного волокна природного серого цвета или окрашенного и смесовой пряжи на его основе с добавками хлопкового, полиэфирного, вискозного или шерстяного волокна.

Использование модифицированного льноволокна открывает перед льносодержащими тканями принципиально новые горизонты в дизайнерском оформлении. Варьируя пропорции сырьевого состава, цвет льноволокна и линейную плотность пряжи, в условиях существующих производств можно вырабатывать ткани от тонких сорочечных и бельевых до одежных и мебельно-декоративных. Возможности получения различных дессинаторских структур таких тканей также неограниченны: в зависимости от назначения они могут иметь как традиционный вид хлопчатобумажных полотен (но с присущими полульняным тканям положительными свойствами), так и характерную (и очень модную в последние годы) для льняных изделий «неровную» поверхность с эффектами утолщений, узелков, петель и пр., что достигается использованием фасонной льносодержащей пряжи. Все вышеуказанные технологии прошли успешные опытно-промышленные испытания и частично внедрены в производство. Важным преимуществом новых процессов является их универсальность, т.е. возможность использования единой технологической цепочки (линия механической очистки волокна и существующее оборудование для химической модификации – аппараты для крашения под давлением, центрифуги, сушильные линии) при обработке волокна, в которой – в зависимости от требуемых свойств конечного продукта –изменяются лишь параметры механической и химической обработок [3].

В последние годы в ИвГПУ предложен новый подход к модификации низкономерных льняных волокон, заключающийся в их элементаризации методом циклического деформирования [4]. Совместно с ИХР РАН было установлено, что целенаправленное разрушение соединительных тканей комплексного льняного волокна под действием многократных циклических деформирующих нагрузок сопровождается эффективным механическим удалением лигнина и пектиновых веществ. При этом толщина элементаризованного льноволокна становится сопоставимой с хлопковым волокном, а высокая степень очистки 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 (при их необходимости) могут проводиться в значительно более мягких условиях, чем требуется при обработках известных видов льнопродукции[5].

Разработана принципиальная схема сепарации элементаризованных волокон на фракции по их геометрическим и механическим свойствам (прядомые фракции и непрядомая – пуховая). Расчетным путем определено, что с использованием прядомой фракции элементаризованного льноволокна станет возможным на хлопкопрядильном оборудовании получить тонкую пряжу: по кардной системе – до линейной плотности 22 текс и по гребенной системе – до линейной плотности 14 текс [6]. Пуховую-же фракцию этого волокна, как показано в работе [7], очень перспективно использовать для получения полимерных композиционных материалов. Удельный модуль упругости, приведенный к

единице массы таких льноматериалов, превысит соответствующие показатели для стали, алюминия, стекловолокна и обеспечит выход на уровень, сопоставимый с арамидными материалами.

Главная проблема при доведении такого перспективного способа модификации льноволокна до внедрения – это создание соответствующего промышленного оборудования для элементаризации и сепарации льноволокна. В настоящее время такая работа проводится Ивановским заводом текстильного машиностроения «ТексИнж» совместно с ИвГПУ при финансовой поддержке ООО «Шуйско-Тезинская фабрика».

Еще одним перспективным источником целлюлозного волокнистого сырья в России может стать конопляное волокно. До 1990 года в нашей стране техническая конопля занимала около 10% сельхозплощадей и приносила растениеводческой отрасли до 50% доходов. Однако в годы перестройки эта культура попала в опалу: с ней начали активную борьбу, которая привела к практически полному ее исчезновению. Сегодня конопля переживает второе рождение. Как подчеркивала на отраслевом совещании, организованном Агропромышленной ассоциаций коноплеводов (АПАК) (Москва, апрель 2017 г.), ген директор ООО «Коноплекс» М.Александрова, «необходимо четко отделить термины «конопля» и «марихуана» в сознании общественности. Ведь конопля — это спасение для окружающей среды и экологии. При этом никакого психотропного или опасного воздействия ненаркотическая конопля среднерусского экотипа не имеет. Конопля - прекрасное сырье для текстильной промышленности и исконно русский пищевой продукт, обладающий исключительной питательной ценностью и гипоаллергенностью».

Следует отметить, что выращиваемые в России сорта технической конопли по количественным и качественным показателям способны эффективно конкурировать с аналогичной европейской продукцией, особенности выращивания растений конопли позволяют при меньшем количестве затрат различных ресурсов (в т. ч. воды) получать значительно большее количество урожая, чем при культивировании любых других сельскохозяйственных культур (так, в сравнении со льном урожайность конопли примерно в 3 раза выше). Наконец, в перспективе, конопляное волокно, помимо текстиля, может использоваться в качестве сырья для производства биокомпозитных материалов и углепластиков для всех сфер промышленности.

Высокая износоустойчивость, малоусадочность, прочность, хорошие гигиенические свойства, гипоаллергенность, способность поглощать до 95 % УФ-лучей, – основные и, несомненно, привлекательные свойства текстильных изделий из конопляного волокна. К достоинствам конопли относится отсутствие в составе растений пестицидов и других химических веществ, которые применяются для защиты и стимуляции роста прочих посевных культур (особенно хлопка), используемых в качестве природного сырья для текстиля. Возделывание конопли не требует интенсивного ухода в период роста.

Безнаркотические сорта конопли для промышленных целей сейчас выращивают более чем в 30 странах. На мировом рынке сегодня лидерство по производству одежды из конопляного волокна принадлежит Китаю, за ним идут Германия, Франция, Австралия, Венгрия, Италия. Стремительно развивает производство конопли и Канада, где этой культурой уже засеяно около 15 тысяч гектаров. Сообщается о возрождении производства конопляных волокон для текстильной промышленности Великобритании.

Грубость и жесткость волокон конопли до последнего времени ограничивали их применение только областью технического текстиля (в основном, в производстве веревочно-канатных изделий). В 90-х годах прошлого века во Франции и Австралии (позднее в Китае) были созданы технологии, устраняющие эти недостатки. В основном на вооружение взяты ферментативные способы обработки технических волокон.

Выгодным преимуществом новейших тканей являются высокие показатели по сохранению тепла, впитыванию влаги, пропусканию кислорода и экологической безопасности в целом. Сегодня в мире бренд «hemp» стал популярен среди широкого круга покупателей.

Многие фирмы, например Green China Group (Китай), «INBI Hemp Spirited Products» (Австралия). представляют широчайший спектр продукции на основе конопляного волокна — спортивную и повседневную одежду, водонепроницаемую ткань, рюкзаки и сумки, прочную и удобную обувь и др. Фирма Levi's (США) использует конопляные волокна для производства джинсов.

Украина на протяжении многих лет входила в число лидеров по выращиванию и переработке конопли и планировала перейти к изготовлению текстильных изделий бытового ассортимента.

Следует отметить, что технологии придания мягкости и эластичности конопляным волокнам, облегчающие их переработку в прядильном производстве, являются длительными, сложными и дорогостоящими, что обуславливает высокую цену готовых «hemp»- изделий (так, цена 1 кг пряжи № 16 из 100 % конопляного волокна китайского производства составляет не менее $10-20).

Весьма перспективным и экономически выгодным представляется решение проблемы жесткости конопляных волокон путем модификации их лубяных пучков и получения хлопко- или шерстеподобного волокна.

Возможность получения из конопли натурального текстильного сырья, альтернативного хлопку и шерсти, с помощью химической модификации, доказанная еще в начале 20-го века, открывает перспективы для разработки технологических процессов его модификации на современном уровне.

Проблемой получения модифицированного волокна конопли, пригодного для совместной переработки с другими видами волокон на оборудовании хлопчатобумажного и шерстяного производств, Институт химии растворов им. Г.А.Крестова РАН занимается с 2004 г. совместно с Всероссийским институтом растениеводства им. Н.И.Вавилова (г. Санкт-Петербург). Основой для разработки технологии модификации конопляного волокна послужила ранее разработанная в ИХР РАН и успешно прошедшая широкие производственные испытания технология механохимической модификации низкономерного короткого льноволокна.

На основании всестороннего анализа химического состава и свойств конопляного волокна были выработаны основные принципы построения технологического процесса его механохимической модификации, в том числе совмещенной с крашением кубовыми и сернистыми красителями [8]. Еще более тонкое конопляное волокно, пригодное для получения текстильных изделий одежного и бельевого ассортимента, можно получить, как показали предварительные исследования [6], путем совместного использования первоначальной механохимической модификации с последующей элементаризацией .

Таким образом, Россия обладает вполне достаточными ресурсами (сельскохозяйственными, промышленными, научно-техническими, трудовыми), чтобы восстановить утраченные позиции в производстве льняных, конопляных и хлопковых волокон для выпуска на основе этих нативных и модифицированных материалов как традиционных, так и принципиально новых видов продукции, конкурентоспособной не только на внутреннем, но и на мировом рынке. С целью скорейшего воссоздания отечественной сырьевой базы целлюлозных волокон и освоения производства широкого ассортимента инновационной продукции текстильного, медицинского и технического назначения представляется целесообразным подготовить и реализовать межотраслевой (Минсельхоз РФ и Минпромторг РФ) комплексный проект с участием Союзлегпрома, заинтересованных сельскохозяйственных, промышленных предприятий и научных организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кричевский Г.Е. Все или почти все о текстиле. Том 1. История, настоящее, прорыв в будущее/ Учебное пособие. – М.:2013. 240 с.

2. В России начнут выращивать хлопок// Дайджест центральных СМИ Союзлегпрома от 31.01.2018. С.7-8.
3. Морыганов А.П. Инновационная продукция текстильного, медицинского и технического назначения на основе модифицированного короткого льноволокна. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1. С.297-301.
4. Патент РФ № 2497982. Способ обработки комплексных лубяных волокон и устройство для его реализации. / Ларин И. Ю., Савинов Е. Р. // Бюл.31. 2013.
5. Стокозенко В.Г., Ларин И.Ю., Титова Ю.В., Морыганов А.П. Влияние элементаризации льноволокна на его свойства и состав примесей. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 4. С.54-57.
6. Ларин И.Ю., Гатаулин О.Н., Морыганов А.П. Элементаризованное льняное волокно: от исследований к внедрению// Сборник материалов XX Международного научно-практического форума SMARTEX – 2017. Иваново, ИвГПУ, 2017 г. С.13-18.
7. Кокшаров С.А. Инновации в получении армирующих материалов из льняного сырья для биополимерных композитов //Сборник материалов XX Международного научно-практического форума SMARTEX – 2017. Иваново, ИвГПУ, 2017 г. С.161-167.
8. Стокозенко В.Г., Морыганов А.П., Неманова Ю.В. Генерирование редокс-систем волокнистыми материалами при восстановлении кубовых и сернистых красителей: исследование и практическая реализация // Российский химический журнал. 2011. Т.55, №3. С.107-117.

УДК 677.026.422

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ТЕКСТИЛЯ И НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОССИИ

THE ADVANTAGES OF THE PRODUCTION OF TECHNICAL TEXTILES AND NONWOVENS IN RUSSIA

М.Ю. Трещалин
M.Yu. Treschalin

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Lomonosov Moscow State University
E-mail: mtreschalin@mail.ru

В статье изложены перспективы производства нетканых материалов. Рассматривается структура нетканых полотен различных производителей. Приводятся деление нетканых изделий на ассортиментные группы в зависимости от целевого назначения и некоторые технологические аспекты их производства.

Ключевые слова: текстильная промышленность, технический текстиль, структура, ассортимент, нетканый материал, синтетические волокна, холстоформирование.

The article describes the prospects of production of nonwovens. The structure of nonwoven fabrics of different manufacturers is considered. The division of nonwoven products into assortment groups depending on the purpose and some technological aspects of their production are given

Keywords: textile industry, technical textiles, structure, assortment, nonwoven fabric, synthetic fibers, canvas forming.

Сегодня в России текстильная отрасль весьма важна и интересна, потому что она интегрирована практически во все сферы жизни. Это и медицина, и авиационная промышленность, и космос, и сельское хозяйство и т.д. Суммарный объём выпуска текстильных изделий Российской Федерации в 2017 году составил почти 6 млрд. м^2 (рис. 1).

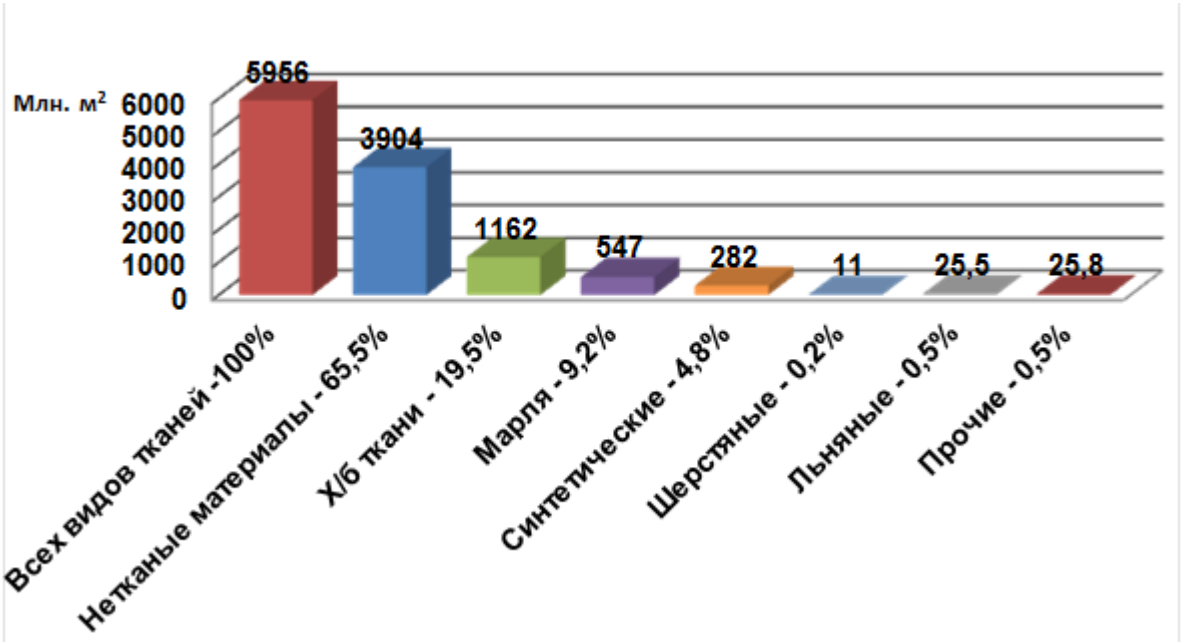


Рис. 1 Выпуск всех видов текстильных материалов в России за 2017 год

Одним из приоритетных направлений развития лёгкой промышленности Российской Федерации до 2025 года является создание производственной цепочки синтетических материалов, включая производство технического текстиля и нетканых материалов.

Рынок технического текстиля в России оценивается в 129 млрд. руб. в 2017 году и растёт на 12-13% ежегодно. Основные группы изделий: материалы для защитной и спецодежды (22 млрд руб., рост – 12-15% в год), материалы для автомобильной промышленности (15 млрд руб., рост на 1-5% в год), материалы для медицины (10 млрд руб., 8% ежегодно), геотекстиль и агротекстиль (5 млрд руб., рост – 6% ежегодно).

Ассортимент готовой продукции обеспечивает потребности различных отраслей промышленности и строительства, применяется в производстве самых разных изделий: мягкой мебели и матрасов, одежды и обуви, строительстве автомобильных и железных дорог, гигиенических средств, медицине и т.д.

Выпуск нетканых полотен в Российской Федерации с 2007 года по 2016 год (за 8 лет) увеличился в 10 раз. Необходимо отметить, что первый миллиард кв. м. нетканых материалов был произведен в 2010 году, второй уже в 2011-м, а трех миллиардный рубеж был преодолен в 2015 году (рис. 2).

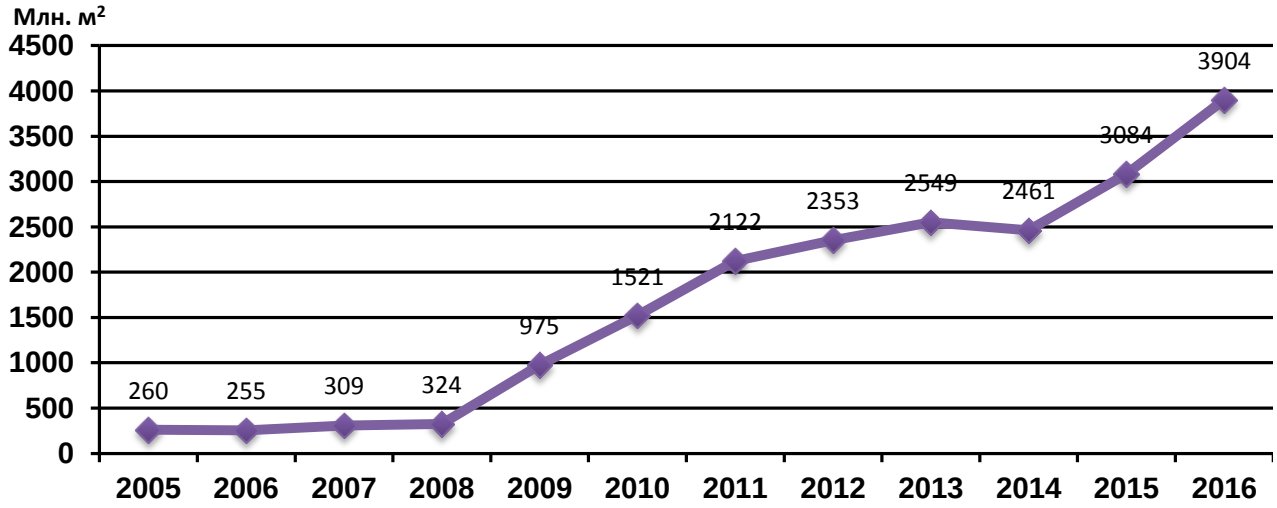
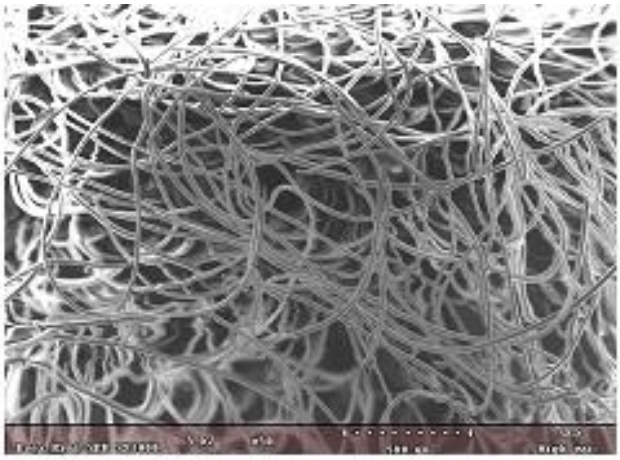
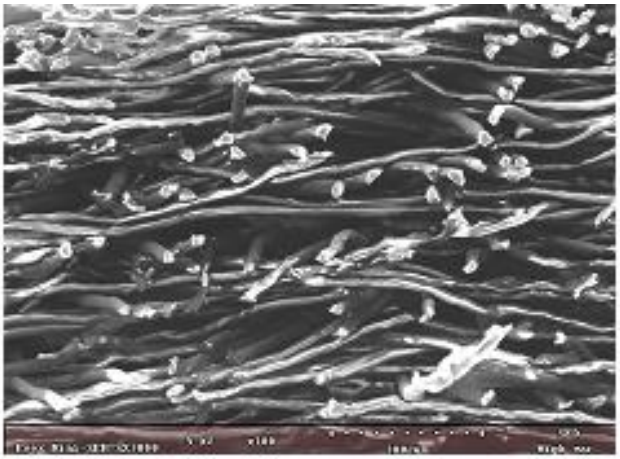


Рис. 2. Реперные точки производства: 2010 год – первый миллиард м^2; 2011 год – второй миллиард м^2; 2015 год – третий миллиард м^2.

Нетканые полотна, выпускаемые в России, различаются как исходным сырьем, так и технологиями изготовления: термоскрепленные, из полых полиэфирных волокон (ООО «Термопол»), иглопробивные термоскрепленные из непрерывных полипропиленовых нитей, изготовленных фильерным способом спанбонд (ООО «Сибур-Геотекстиль», ОАО «Ортон»), иглопробивные из штапельных полиэфирных и полипропиленовых волокон (ОАО «Комитекс») и т.д. Как следствие, материалы имеют различную структуру и прочностные свойства. Кроме того, для потребителя большое значение имеют физико-механические характеристики, объемная доля и взаимное расположение волокон (мононитей), экологическая и гигиеническая чистота продукции – факторы, обеспечивающие расширение и постоянное обновление ассортимента нетканых полотен.



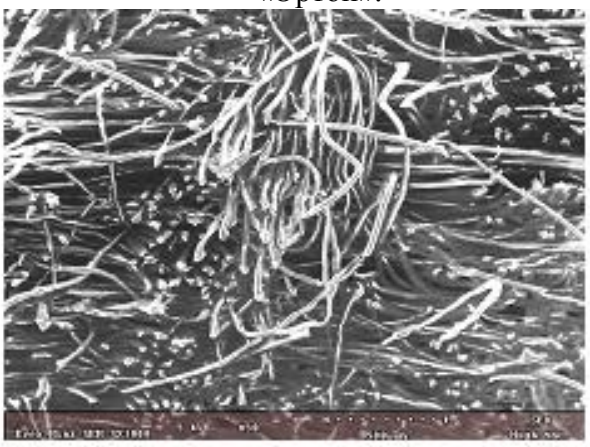
«Холлофайбер ВолюметрикР 179», 600 г/м^2. Полиэфирные мононити – 100 %. ООО «Термопол»



«Канвалан», формирование холста фильерное (спанбонд), аэродинамическое, иглопробивной, термостабилизированный каландрированием, 469,7 г/м^2. Полипропиленовые мононити – 100 %. ОАО «Ортон».



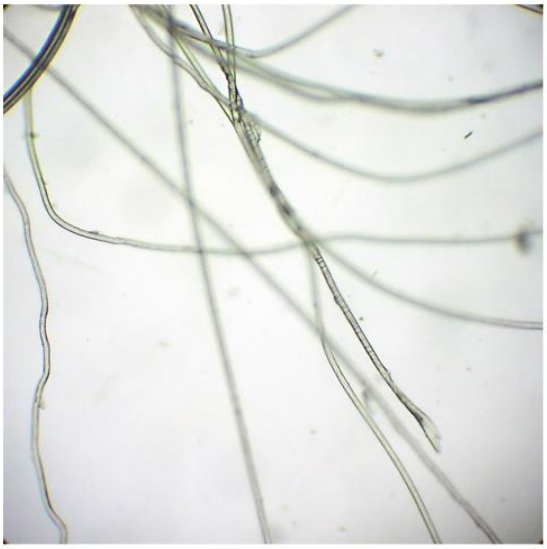
«Геоком Д», иглопробивное, каландрированное с одной стороны, 393 г/м^2. Штапельное волокно: полиэфирные - 20 %; полипропиленовые - 80 %. ООО «Комитекс».



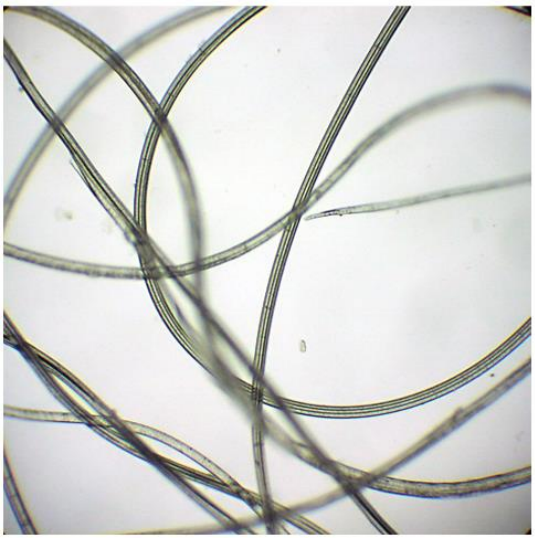
«Геотекс М 600», формирование холста фильерное (спанбонд), аэродинамическое, иглопробивной, 632 г/м^2. Полипропиленовые мононити – 100 %. ООО «Сибур-геотекстиль».

Рис. 3. Структура нетканых полотен различных производителей.

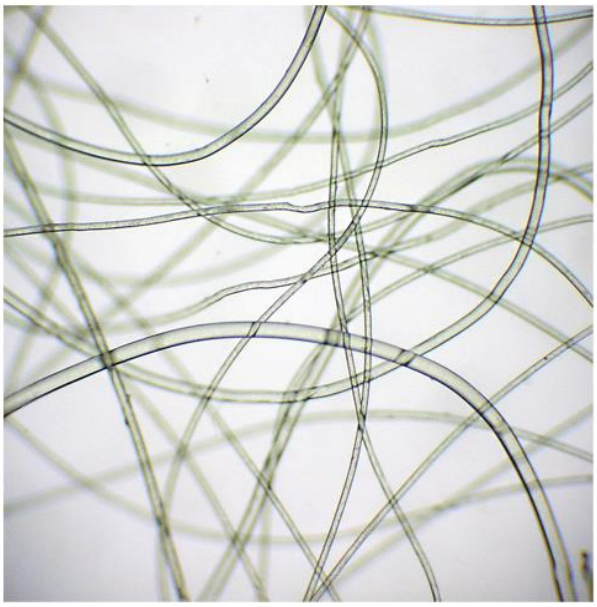
Детальное изучение расположения и взаимозацепления мононитей позволяет отметить их гибкость, эластичность и извитость, что положительно сказывается на повышении физико-механических свойств нетканых полотен (рис. 4).



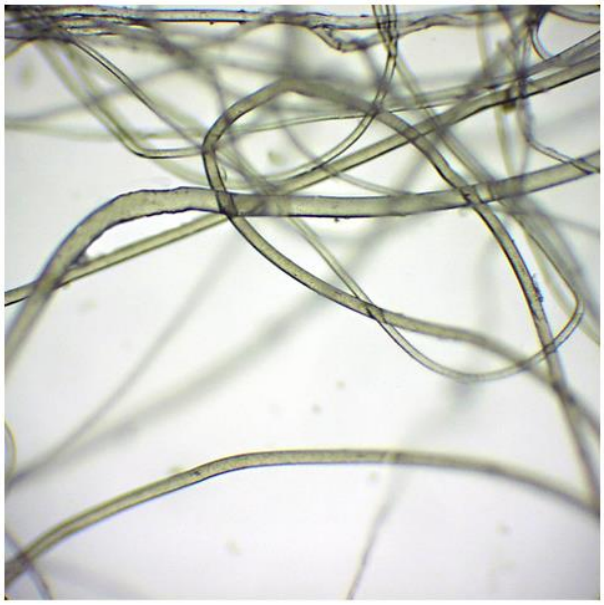
а



б



в



г

Рис. 4. Расположение мононитей в структуре нетканого полотна: а - «Холлофайбер Софт» 70г/м^2; б - «Холлофайбер Медиум» 300г/м^2; в - «Холлофайбер Хард» 170г/м^2; г - «Холлофайбер Хард» F 230г/м^2.

Необходимо отметить некоторую неравномерность заполнения мононитями рассматриваемого макрообъема, а также наличие пустот, способствующее использованию таких материалов в качестве теплоизоляторов, т.к. развитое поровое пространство значительно снижает эффективность теплообменных процессов. По этой же причине нетканые материалы являются хорошей звукоизоляцией.

Нетканые полотна технического назначения относятся к наиболее быстро и динамично растущей группе текстильных изделий. К основным преимуществам таких материалов следует отнести высокие физико-механические характеристики и возможность использования разнообразного волокнистого состава.

Устойчивый и растущий спрос, а также высокая инновационная привлекательность производства нетканых материалов являются главными причинами положительной динамики роста инвестиций и физических объемов выпуска продукции – основы, на которой можно формировать будущее российской текстильной и легкой промышленности.

С учетом особенностей структуры нетканых материалов и востребованности на рынке, в зависимости от областей применения, можно выделить следующие ассортиментные группы (табл. 1).

Таблица 1

Ассортиментные группы нетканых материалов

Ассортиментная группа	**Характеристики нетканого материала**	**Целевое назначение**
Агротекстиль	Полученный фильерным способом из расплава полипропилена с УФ – стабилизаторами, поверхностной плотностью 15 ÷ 110 г/м^2	В качестве укрывного материала для рассады и растений; укрытия деревьев от сильных морозов, теплиц и в ландшафтном строительстве
Геотекстиль	Полученный фильерным способом из расплава полипропилена с УФ – стабилизаторами, а также из штапельных волокон.	Геополотна предназначены для временных дорог регионального и муниципального назначения и вдольтрассовых дорог при строительстве нефте и газопроводов с целью удешевления стоимости строительных объектов. Выполняемые функции: разделительный, дренирующий и фильтрующий слой, а также в сочетании с георешеткой, геосеткой и геомембраной.
Фильтрующие, сорбирующие и сепарирующие	Разнообразные виды и структуры, многочисленность потребителей, небольшие объемы потребления от 50 до 1000 м^2. Для данной ассортиментной группы характерны высокие технические требования.	Наиболее перспективно использование иглопробивных полотен из термостойких волокон для изготовления рукавных фильтров в различных производствах, а также термоскрепленных объемных полотен в системах кондиционирования и вентиляции, в т. ч. в сочетании с другими материалами.
Строительные	Полиэфирные или полипропиленовые волокна и мононити. Сочетания различных способов производства: иглопробивные или комбинированные, путем сочетания различных способов производства. Поверхностная плотность от 150 до 4000 м^2.	Применяются в качестве тепло, - шумо,- звукоизоляционных материалов при замене легкогорючего пенополиуретана, в коттеджном и индивидуальном строительстве - материалы многослойные из льняных волокон и отходов их производства.
Автомобильные	Полиэфирные мононити. Термоскрепленные, иглопробивные с термообработкой и комбинированные.	Используются в качестве интерьера салона автомобиля и ковровых покрытий для грузовых и легковых автомобилей;

Продолжение таблицы 1

Мебельные	Полиэфирные мононити. Иглопробивные с термообработкой и комбинированные.	Объемные наполнители для мягкой мебели: сиденья и подлокотники кресел, диваны, матрацы; детские мягкие игрушки.
Таро - упаковочные	Полипропиленовые волокна и мононити. Иглопробивные в сочетании с различными способами производства.	Применение в различных отраслях промышленности в качестве упаковочного и укрывного материала, объектов для защиты от различных воздействий и т.п.
Медицинские и санитарно-гигиенические	Полиэфирные мононити. Иглопробивные, термоскрепленные.	Одноразовые простыни, салфетки, бахилы, скатерти и т.п.

В настоящее время российскими учеными и предпринимателями разработаны уникальные нетканые материалы целевого назначения.

Например, инновационные огнебиозащитные теплошумоизоляционные нетканые полотна марки НО-Л-1 (МНО-Л-1), НО-Л-1-А созданы ООО «Апотекс» совместно с ООО «Наукоемкие технологии» (г. Иваново). Улучшенные показатели огнебиозащиты, полученные с применением препарата «Тезагран-Био», позволяют применять такие материалы в качестве прокладок в креслах, полках, потолках пассажирских вагонов, фильтрующих элементах систем кондиционирования на транспорте и пожароопасных производствах [1-4].

ООО «НЕТПОЛ» предлагает применять нетканые материалы для комплексной очистки промышленных и сточных вод. Нетканый материал, являющийся сорбентом нефти, представляет собой полотно, сформированное в единую, объемную гофрированную структуру из скрепленных между собой гидрофобных полимерных волокон, в результате чего создаются дополнительные полости, способствующие свободному проникновению нефтепродуктов (рис. 5).



Рис. 5. Нетканый материал для удаления нефти и нефтепродуктов.

При непосредственном контакте происходит самопроизвольное впитывание нефти, которая удерживается в поровом пространстве за счет адгезии и легко отделяется при отжиме. Благодаря упругой структуре, состоящей из чередующихся плотных слоёв и пустот материал способен выдерживать многократные нагрузки при отжиме, не изменяя при этом своей структуры.

Радиопоглощающие нетканые полотна с вложением резистатных волокон разработаны в ОАО «ЦНИИЛКА» и ОАО «ЦК МПФГ Формаш» (рис. 6).

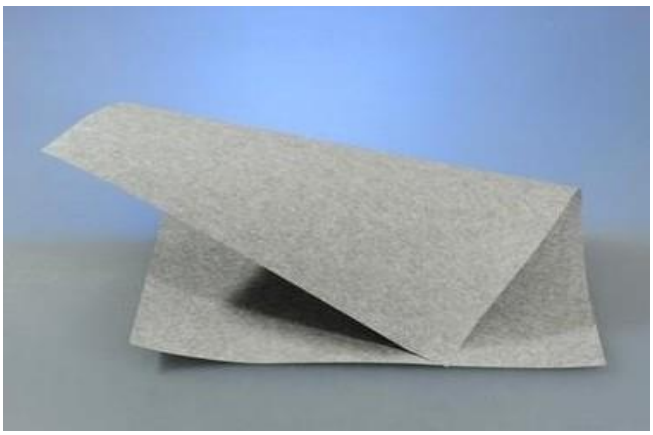


Рис. 6. Радиопоглощающий нетканый материал

Преимуществами таких изделий являются: низкая себестоимость по сравнению со стратегической ценой, различные сырьевые композиции, пониженная горючесть, антимикробность, ослабление энергии облучения до 15 дБ и т.д.

Широко применяются нетканые материалы нашли в качестве тепло и звукоизоляции. Например, компанией «Термопол» разработан новый утеплитель Холлофайбер® МУЛЬТИ из искусственного и натурального меха (рис. 7а) [5]. Важно, что этот материал изготавливается экологически чистым способом - без применения жидких клеевых компонентов. Кроме того, весьма перспективно использование экологически чистых, не гигроскопиченых, обладающих наивысшими теплосберегающими характеристиками, утеплителей и шумоизоляционных материалов Холлофайбер® СТРОЙ (рис. 7б).



а



б

Рис. 7. Нетканые материалы производства ООО «Термопол». а - Холлофайбер® МУЛЬТИ; б - Холлофайбер® СТРОЙ.

С технологической точки зрения, выпускаемые нетканые полотна различаются способом скрепления волокон в холсте, которое определяется исходным сырьем, холстоформованием и условиями эксплуатации. В настоящее время применяются следующие типы: сухое и влажное холстоформование, аэродинамическое и формование из расплава гранулята полимеров (85 % используемого сырья – полиэфирные и полипропиленовые волокна), благодаря оптимальному сочетанию высокой прочности синтетических волокон, стойкости к внешним воздействиям и цены.

Наиболее популярно сухое холстоформование, позволяющее использовать технологию термоскрепления холстов. При сухом холстоформовании достигается

параллельное, перекрестное или хаотическое расположение волокон. Нетканые полотна, получаемые таким способом, используются в качестве утеплителей, фильтрационных материалов, медицинских одноразовых изделий, специальных салфеток, утеплителей и т.д.

Возможности оборудования, при использовании сухого холстоформирования, позволяют выпускать полотна поверхностной плотности от 60 до 4000 г/м^2 .Это достигается посредством:

- аэродинамического метода формирования холста;
- метода высокого подъема волокна;
- вертикальной ориентацией волокон;
- использования технологии термического скрепления холста.

В технологическом аспекте перспективно аэродинамическое холстоформирование из расплава полимеров фильерно - раздувным и комбинированным способами.

При аэродинамическом холстоформовании воздушно-волокнистая смесь подается на движущуюся перфорированную транспортерную ленту, на которой образуется холст заданной плотности. Аэродинамические модули располагают волокна разнонаправлено, что позволяет формировать равномерное по свойствам нетканое полотно.

Применение аэродинамического холстоформирования позволяет создавать мягкие высокопористые изделия, востребованные при производстве абсорбирующих гигиенических продуктов, салфеток (детских, для личного употребления, бытовых и промышленных), а также медицинских перевязочных материалов. К числу развивающихся направлений относятся защитные и амортизирующие материалы для упаковки, средства фильтрации и впитывающие подложки для пищевых продуктов.

Суть технологии термоскрепления - воздействие высоких температур (свыше 200 ^{0}C) на химические волокна посредством аэродинамических модулей и многосекционных печей, в которых волокна разных типов подплавляются и плотно соединяются друг с другом.

В этом процессе можно применить волокна, обладающие достаточной высокой термостойкостью, т.е. не разрушающиеся при температуре размягчения, например, полиэфирные, полипропиленовые, полиэтиленовые. Реализации способа термоскрепления волокнистого холста осуществляется:

- в зазоре между нагреваемыми валами каландра;
- между нагреваемой поверхностью барабана и сопровождающей лентой;
- горячим воздухом на сетчатых конвейерах или перфорированных барабанах.

При каландрировании нетканое полотно приобретает с одной плоскости уплотненную структуру (эластичную «корочку»), что увеличивает его прочностные характеристики, придает дополнительную устойчивость к многократным нагрузкам, типа «сжатие-восстановление», и обеспечивает равномерное распределение волокна в объеме готового материала.

Виды и физико-химические характеристики волокон и нитей становятся основным фактором, определяющим прирост объемов производства нетканых материалов в России. По оценкам специалистов качество исходного сырья на 80-85% обеспечивает необходимые потребительские свойства конечного продукта, и лишь в остальном результат зависит от технологических приемов и структурных параметров нетканых полотен.

Таким образом, преимущества применения нетканых материалов очевидны: относительная простота технологии и дешевизна, высокая производительность оборудования, разнообразие способов формирования волокнистой массы и последующего скрепления, возможности использования различных видов сырья.

Исходя из указанных преимуществ, отечественные предприятия наращивают выпуск нетканых материалов технического назначения для различных отраслей промышленности и в дальнейшем имеют большие перспективы роста производства и потребления для развивающейся экономики России.

ЛИТЕРАТУРА
1. Коломейцева, Э.А. Морыганов, А.П. Новые экологически безопасные замедлители горения и их применение для текстильных материалов из целлюлозных, полиэфирных и смешанных волокон.// Легпромбизнес. Текстиль. - 2003. № 1 (3). - С.25-36.
2. Коломейцева, Э.А. Сачков, О.В. Сиротов, Н.Г. Морыганов, А.П. Разработка и применение новых препаратов для огнезащитной и полифункциональной отделок технических тканей // Текстильная промышленность. Научный альманах. - 2007. №8. - С.22-24.
3. Конструкционные и отделочные материалы, прошедшие гигиенические испытания и разрешенные к применению в пассажирском вагоностроении. Руководство./ ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора. М.2010. Вып.4.
4. Коломейцева, Э.А. и др. Новые способы получения льносодержащих нетканых материалов со специальными свойствами. // Текстильная промышленность. Научный альманах. - 2011. №2. - С.40-45.
5. Трещалин М.Ю., Иванов В.В., Трещалин Ю.М., Киселев А.М. Нетканые материалы Холлофайбер®: структура, свойства, применение. — М.: Издательство «БОС», 2017. - 72 с.

УДК 677.4

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА В РОССИИ: ПРОИЗВОДСТВО, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И «УМНЫХ» МАТЕРИАЛОВ

SYNTHETIC FIBERS IN RUSSIA: MANUFACTURING, PERSPECTIVE OF DEVELOPMENT AND PRODUCTION ON THEIR BASIS OF FUNCTIONAL AND "SMART" MATERIALS

Н.П. Пророкова
N.P. Prorokova

Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук, (г. Иваново)
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of Russian Academy of Science, (Ivanovo)
E-mail: npp@isc-ras.ru

В тексте лекции представлены сведения о современном состоянии и ближних перспективах производства синтетических волокон в России. Проанализированы методы получения функциональных и «умных» материалов на основе синтетических волокон. Приведены примеры новых способов модифицирования синтетических волокнистых материалов для придания им улучшенных потребительских характеристик и новых свойств.

Ключевые слова: синтетические волокна, получение волокон, модифицирование волокон, функциональные волокнистые материалы, «умные» волокнистые материалы.

Information about the current state and short-term prospects of the production of synthetic fibers in Russia is given in the text of the lecture. Methods of obtaining functional and "smart" materials based on synthetic fibers are analyzed. Examples of new methods of modifying synthetic fibrous materials to give them improved consumer characteristics and new properties are given.

Keywords: synthetic fibers, fiber production, fiber modification, functional fibrous materials, "smart" fibrous materials.

Мировое потребление волокон и нитей демонстрирует устойчивую тенденцию к росту. При этом наблюдается увеличение доли потребления химических волокон и нитей за счет уменьшения доли натуральных волокон. Так в проекте стратегии развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года указывается, что доля

синтетических и искусственных волокон в мировом потреблении к 2025 году вырастет с 45 % до 65-70 % [1].

На настоящий момент в нашей стране производятся практически все виды химических волокон и нитей, за исключением вискозных (гидратцеллюлозных), анидных и полиуретановых. В последние годы производство в России химических волокон и нитей, а также их внутренний рынок растут. Так в 2016 г. объем производства, согласно данным Росстата, составил 183,3 тыс. т, что на 17 % больше, чем в 2015 г. (156,8 тыс. т) и на 32 % больше, чем в 2012 г. (139,3 тыс. т). Объем внутреннего потребления в 2016 г. составил 381,9 тыс. т, что на 10 % больше, чем в 2015 г. (346,6 тыс. т) и на 12 % больше, чем в 2012 г. (341,1 тыс. т). Однако эти показатели пока значительно ниже соответствующих показателей 1990 г., когда производство химических волокон и нитей в Российской Федерации составляло 684,7 тыс. т, а внутреннее потребление – 860,5 тыс. т.

Подотрасль химических волокон и нитей на сегодняшний день является зависимой от импорта, хотя его доля постепенно снижается. Так в 2016 г. в страну было импортировано 224,1 тыс. т данного вида продукции. Доля импорта в потреблении составила 59 %, что на 2 % ниже, чем в 2015 г., и на 6 % ниже, чем в 2012 г.

ОАО «НИИТЭХИМ» в 2018 году создана «дорожная карта» развития химических волокон и нитей в России. По прогнозу, в результате реализации плана мероприятий указанной «дорожной карты» и заявленных бизнесом проектов, производство химических волокон и нитей в России вырастет к 2020 г. до 478 тыс. т, что в 2,6 раза выше, чем в 2016 г. К 2025 г. их производство увеличится до 717 тыс. т, что в 3,9 раза превысит уровень 2016 г. Прогнозируемый объём внутреннего рынка будет составлять, соответственно, 568 тыс. т (рост в 1,5 раза) и 725 тыс. т (рост в 1,9 раза). В результате опережающего развития отечественного производства доля импорта в потреблении снизится до 34 % в 2020 г. и до 20 % в 2025 г.

Следует отметить, что ассортимент используемых в промышленных масштабах природных и синтетических волокон достаточно узок. Это накладывает определенные ограничения на спектр свойств материалов и композитов на их основе. Разработка и создание новых волокнообразующих полимеров является высокозатратным комплексом мероприятий, которые целесообразно проводить лишь для решения специальных задач особой важности. Наиболее рациональным путем расширения спектра свойств волокон и материалов на их основе, а также качественного улучшения их характеристик является модифицирование волокнистых материалов. Именно с помощью модифицирования можно получить так называемые функциональные, в том числе, полифункциональные волокнистые материалы. При получении «умных» (“smart”) материалов модифицирование также является часто используемым приемом.

Модифицирование используется для изменения химического состава, структуры, морфологии волокнистых материалов, а также для фиксации на волокне модификаторов – веществ, придающих волокнистым материалам требуемые свойства. Модифицирование волокон можно подразделить на объемное - изменение свойств волокнистого материала в целом, и поверхностное – изменение свойств только тонкого приповерхностного слоя волокна, от которого в значительной степени зависит способность волокна к переработке и многие его эксплуатационные характеристики. Эффективность и целесообразность использования каждого из этих подходов зависит от того, какой практический результат требуется получить. Если научные и практические подходы к модифицированию натуральных волокон являются, в основном, устоявшимися, то модифицирование большинства синтетических волокон - сложная и нетривиальная проблема. Трудность решения этой задачи определяется особенностями структуры синтетических волокон (малым диаметром, высокой степенью ориентации и плотностью упаковки субмолекулярных образований, малой или полностью отсутствующей пористостью), а также, в большинстве случаев, низкими химической активностью и адгезионной способностью

волокнообразующего полимера (последнее особенно характерно для волокнистых материалов на основе полиолефинов, в частности, полипропилена).

Введение модификаторов в объем получаемого одним из традиционных способов синтетического волокна осуществляется, в основном, на стадии его формования. К модификаторам предъявляется целый ряд требований, главным из которых является малый размер частиц (высокая дисперсность или наноразмерность) и отсутствие их агрегации. Поэтому в известных способах объемного модифицирования синтетических волокон используются наноразмерные наполнители в стабилизированной форме [2-4] и применяются технические приемы, обеспечивающие их равномерное распределение в волокнообразующем полимере [5].

Методы поверхностного модифицирования традиционных синтетических материалов отличаются б*о*льшим разнообразием. В работах [6,7], например, рассматривается модифицирование полипропиленовых волокнистых материалов путем изменения химического состава их поверхности с помощью прямого фторирования, в работе [8] – нанесение покрытия на поверхность полуотвержденной синтетической нити на стадии формования из расплава. Однако преимущественным путем функционализации является формирование покрытий на поверхности синтетических волокон. Для этого используются такие методы, как молекулярное наслаивание [9], нанесение покрытий из неводных растворителей [10-13], формирование их из нанозолей [14-18], использование дисперсий полимеров [19-21], химическое и физическое осаждение из газовой фазы [22-24], в том числе, получение сверхтонких (одноатомных) слоев [25], напыление покрытий с использованием разных видов плазменных разрядов [26-28]. Следует отметить, что приоритетными, наиболее интенсивно развиваемыми видами модифицирования волокнистых материалов является одновременное придание им комплекса новых и улучшенных свойств, благодаря чему волокно становится многофункциональным [29,30]. Получение модифицированных, в первую очередь, электропроводных волокон и нитей является также необходимым этапом в создании «умного» текстиля.

Как известно, понятие «умные материалы» было предложено японскими учеными в 1989 г. В 90-х годах прошлого века это понятие пришло в текстиль. «Умным» можно назвать текстильный материал, который способен чувствовать воздействия окружающей среды, реагировать на них и адаптироваться к ним путем интеграции функционального потенциала в текстильной структуре [31]. Стимул, а также ответ может иметь электрическое, тепловое, химическое, магнитное, световое или иное происхождение. Современные материалы, такие как паропроницаемые мембраны, огнестойкие или ультрапрочные ткани нельзя назвать умными, какими бы высокотехнологичными они не были.

Степень интеллектуальности можно разделить на три подгруппы:

• пассивный «умный» текстиль – может только чувствовать окружающую среду (функция датчиков);

• активный «умный» текстиль – может ощутить воздействия окружающей среды и реагировать на них (помимо функции датчика, обладает функцией привода;

• наконец, ОЧЕНЬ «умный» текстиль - адаптирует свое поведение к обстоятельствам.

Современный уровень развития «умных» волокнистых материалов, в основном, соответствует производству сенсорного текстиля. Его начинают производить достаточно большое количество фирм. Производство основано на использовании специальных текстильных датчиков – миниатюрных, гибких, выдерживающих стирки, а также на применении электропроводных волокон и нитей.

Основная трудность в создании «умного» текстиля с использованием электронной техники – это миниатюризация электроники, возможность ее органической интеграции с текстилем (с волокнами, нитями, пряжей, тканью, трикотажем, неткаными материалами), устойчивость микро-, наноэлектроники к стиркам и химчисткам. Другой очень важный элемент «умного» текстиля – «умные» полимеры, которые тоже должны быть интегрированы в текстиль и прочно с ним связаны [32].

Полного успеха в долгосрочной перспективе – перехода не только к активному текстилю, реагирующему на воздействие внешней среды, но и к текстилю, адаптирующемуся к изменению окружающей среды за счет изменения комплекса свойств (ОЧЕНЬ «умному») можно будет достичь только тогда, когда датчики и все связанные с ним компоненты полностью превратятся в 100% текстильный материал. Это является серьезной проблемой, потому что, помимо приобретения новых, специальных свойств, «умные» волокнистые материалы должны сохранить неотъемлемые характеристики текстильного материала. Они должны быть гибкими, устойчивыми к трению, другим видам деформации стиркам, химическим чисткам и т.д. Поскольку сигналы датчиков будут, в конечном счете, преобразованы в электрические, важное значение в области «умных» тканей имеет создание новых электропроводящих волокнистых материалов. Конкретные обработки позволят придать тканям и одежде из них совершенно особые свойства, такие как переключение от гидрофильности к гидрофобности, избирательную проницаемость и барьерные противомикробные свойства и т.д.

Ясно, что область применения «умного» текстиля будет постоянно расширяться. Его использование позволит повысить, в первую очередь, безопасность человеческой жизни, а также обеспечить её комфортность.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №№ 08-03-12152, 11-03-12048, 13-03-12065, РФФИ и Ивановской области в рамках научных проектов №№ 15-48-03064 и 18-48-370005.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2015 года. Проект. – М.: Из-во БОС, 2018. – 66 с.

2. Пророкова, Н.П. Модифицирование полипропиленовых волокнистых материалов ультрадисперсным политетрафторэтиленом / Н.П. Пророкова, С.Ю. Вавилова, В.М. Бузник, А.Е. Завадский // Высокомол. соединения. Сер. А. – 2013. – Т. 55, № 11. – С. 1333-1342.

3. Prorokova N.P., Buznik V.M. New methods of modification of synthetic fibrous materials // Russian Journal of General Chemistry. – 2017. - V. 87, № 6. – P. 1371 – 1377.

4. Пророкова Н.П., Бузник В.М. Модифицирование синтетических волокнистых материалов с использованием фторполимеров (обзор) // Полимерные материалы и технологии. – 2017. - Т 3, № 2. – С. 6 – 17.

5. Геллер В.Э. О возможности получения нанокомпозитных текстильных нитей // Химические волокна. 2013. № 2. С. 3 – 9.

6. Vargha V., Chetty A., Sulyok Z., Miha´ly J., Keresztes Z., To´th A., Sajo´ I., Korecz L., Anandjiwala R., Boguslavsky L. Functionalisation of polypropylene non-woven fabrics (NWFs) // J Therm Anal Calorim. – 2012. – V. 109. – №2. – P. 1019–1032.

7. Prorokova N.P., Istratkin V.A., Kumeeva T.Yu., Vavilova S.Yu., Kharitonov A.P., Bouznik V.M. Improvement of polypropylene nonwoven fabric antibacterial properties by the direct fluorination // RSC Advances. – 2015. - V. 5, Is. 55. - P. 44545-44549.

8. Prorokova N.P., Vavilova S.Y., Bouznik V.M. A novel technique for coating polypropylene yarns with polytetrafluoroethylene // Journal of Fluorine Chemistry. - 2017. - V. 204. – P. 50 – 58.

9. Одинцова О.И., Прохорова А.А.. Петрова Л.С., Владимирцева Е.Л. Использование метода микроэмульсионного микрокапсулирования для придания текстильным материалам акарицидных свойств // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2017. - № 1 (367). – 332-336.

10. 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 // Российский химич. журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). 2011. Т. LV. № 3. С. 14-23.

11. 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 // Российский химич. журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). 2011. Т. LV. № 3. С. 14-23.
12. 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 // Химич. волокна. – 2010. – № 2. – С. 25 - 30.
13. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Кирюхин Д.П., Бузник В.М. Гидрофобизация полиэфирных текстильных материалов теломерными растворами тетрафторэтилена // Журн. прикл. химии. – 2013. – Т. 86, № 1. – С. 68 - 73.
14. Brambilla R., Pires G.P., dos Santos J.H.Z., Lacerda Miranda M.S., Chornik B. Octadecylsilane-modified silicas prepared by grafting and sol-gel methods // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. 2007. V. 156-158. P. 413-420.
15. Daoud W.A., Xin J.H., Tao X. Synthesis and characterization of hydrophobic silica nanocomposites // Appl. Surf. Sci. 2006. V. 252. P. 5368-5371.
16. Mahltig B., Audenaert F., Böttcher H. Hydrophobic silica sol coatings on textiles - the influence of solvent and sol oncentration // J. Sol-Gel Sci Techn. 2005. V. 34. P. 103-109.
17. Daoud W.A., Xin J.H., Tao X. Superhydrophobic Silica Nanocomposite Coating by a Low-Temperature Process // J. Am. Ceram. Soc. 2004. V. 87. P. 1782-1784.
18. Mahltig B., Böttcher H. Modified silica sol coatings for water-repellent textiles. J. Sol-Gel Sci. Techn. 2003. V. 27. P. 43-52.
19. Lipatova I.M., Moryganov A.P. Fubctionalization of synthetic fibrous materials using nanosized polymer carries // Russian Journal of General Chemistry. – 2017. - V. 87, № 6. – P. 1378 – 1385.
20. Lim S.K., Lee S.K., Hwang S.H., Kim H. Photocatalytic Deposition of Silver Nanoparticles onto Organic/Inorganic Composite Nanofibers // Macromol. Mat. Engg. – 2006.- V. 291. – P. 1265-1270.
21. Dastjerdi R., Montazer M., Shahsavan S. A novel technique for producing durable multifunctional textiles using nanocomposite coating // Colloids Surfaces. B: Biointerfaces. – 2010. – V.81. – P. 32-41.
22. Martin T.P., Kooi S.E., Chang S.H., Sedransk K.L., Gleason K.K. Initiated chemical vapor deposition of antimicrobial polymer coatings // Biomaterials. – 2007.- V. 28, Is. 6. – P. 909-915.
23. Najar S.S., Kaynak A., Foitzik R.C. Conductive wool yarns by continuous vapour phase polymerization of pyrrole // Synthetic Metals. – 2007. – V. 157, Is. 1. – P. 1-4.
24. Egami Y., Suzuki K., Tanaka T., Yasuhara T., Higuchi E., Inoue H. Preparation and characterization of conductive fabrics coated uniformly with polypyrrole nanoparticles // Synthetic Metals. – 2011. – V. 161, Is. 3-4. – P. 219-224.
25. Jur J.S., Sweet W.J., Oldham C.J., Parsons G.N. Electronic Textiles: Atomic Layer Deposition of Conductive Coatings on Cotton, Paper, and Synthetic Fibers: Conductivity Analysis and Functional Chemical Sensing Using “All Fiber” Capacitors // Adv. Funct. Mat. – 2011. – V. 21, Is. 11. – P. 1948.
26. Plasma Technologies for Textiles / Ed. Shishoo R. 2007. – UK, Cambridge: Woodhead Publishing. – 360 P.
27. Szymanowski H., Sobczyk A., Gazicki-Lipman M., Jakubowski W., Klimek L. Plasma enhanced CVD deposition of titanium oxide for biomedical applications // Surf. Coat. Technol. – 2005. – V. 200, Is. 1-4. – P. 1036-1040.
28. Malkov G.S., Fisher E.R. Pulsed Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition of Poly(allyl alcohol) onto Natural Fibers // Plasma Processes and Polymers. – 2010. – V. 7, Is. 8. – P. 695-707.
29. EURATEX (with the support of TEXTRANET and AUTEX): Research Priorities Proposed by the 9 Thematic Expert Groups, EURATEX internal document, May 2006.
30. EURATEX: European Technology Platform - Horizontal Task Group – Innovation and Standards, Draft Scoping Paper, EURATEX internal document, May 2006. The strategic agenda is available for download at www.textile-platform.org.

31. Van Langenhove L., Puers R., Matthys D. Intelligent textiles for protection / In: Textiles for protection / Ed. R. A. Scott. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd. and CRC Press LLC. 2005.
32. Кричевский Г.Е. Нано-, био-, химические технологии и производство нового поколения волокон, текстиля и одежды. М. 2011 528 с.

УДК 687.016

КРИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ

CRUCIAL TECHNOLOGIES IN GARMENT DESIGN

В.Е. Кузьмичев
V.E. Kuzmichev

Ивановский государственный политехнический университет
Ivanovo State Polytechnic University
e-mail: wkd37@list.ru

Рассмотрены технологии выполнения основных этапов проектирования одежды, являющиеся критическими с точки зрения создания высококачественной одежды и достижения максимально-возможного уровня удовлетворенности потребителей. В настоящее время критическими являются технологии, объектами разработки которых выступают антропометрические стандарты населения, методы сенсорного восприятия одежды, критерии качества одежды в условиях кастомизации, новые методы конструирования, новые конструкции умной одежды, новые виды одежды специального назначения, программные продукты для виртуального проектирования. Определено основное содержание этих технологий.

Ключевые слова: одежда, проектирование, критические технологии.

Process of garment design including several steps has been considered as the combination of crucial technologies which together will allow producing high quality clothes and greatly improving the customer satisfaction. Nowadays the technologies devoting to anthropometric sizing systems, sensory analysis, and quality of clothes in term of customization, new methods of pattern block making, structure of smart are crucial. The content of these technologies are shown.

Key-words: clothes, design, crucial technology

Проектирование одежды является частью динамично развивающейся индустрии моды. Стандарты и векторы развития индустрии моды аккумулируются и реализуются на этапе проектирования одежды, благодаря которому совместными усилиями художника, конструктора, технолога, маркетолога формируется ее начальный образ, который затем материально реализуется в конечный продукт. Содержание конечного изделия должно отвечать требованиям современных потребителей и показателям качества. Современный потребитель - емкое понятие, за которым стоит конкретное физическое лицо, осуществляющее самостоятельный выбор одежды или вынужденное носить специальную одежду, разработанную для условий его профессиональной деятельности или личного времяпровождения для самоидентификации. Ассортимент одежды постоянно расширяется благодаря появлению новых профессий, видов активного отдыха и реализации внутренних потребностей современного потребителя и появляются ее новые виды. Поэтому требования к одежде уже давно включают не только соответствие трендам моды (эстетическим, эмоциональным, объемно-силуэтным), но показателям, характеризующим функциональные, материаловедческие, дизайнерские и индивидуализированные свойства.

Такое разнообразие целеполагающих векторов и огромный объем информации, содержащей требования самых разных потребителей, требует дифференциации методов и направлений в процессе проектирования одежды и развития косвенных самостоятельных прикладных технологий. Такие технологии могут быть отнесены к категории критических, поскольку их разработка и совместное использование результатов обеспечат существенный

вклад в достижение главной цели - создание высококачественной одежды и достижение максимально-возможного уровня удовлетворенности потребителей. Объектами критических технологий являются:

1) антропометрические стандарты,
2) методы сенсорного восприятия одежды,
3) критерии качества одежды в условиях кастомизации,
4) текстильные материалы для одежды,
5) новые методы конструирования,
6) новые конструкции умной одежды,
7) новые виды одежды специального назначения,
8) программные продукты для виртуального проектирования.

(1) Глобализация рынка одежды и заинтересованность ее производителей в охвате как можно большего числа потребителей ставит антропологические исследования на первое место [1]. Задачи антропометрии традиционно включали измерение тела человека для установления возрастных, половых, расовых и других особенностей физического строения, получение количественных характеристик изучение изменчивости морфологии тела и его частей (форма грудной клетки, спины, живота, ног, развитие жирового слоя, мускулатуры и др.), скелета с использованием специальных методов и средств измерения. Данные таких исследований используют для стандартизации одежды и рационального устройства рабочих мест. Антропометрические исследования традиционно осуществляли с помощью специальных инструментов (антропометра, ростомера, толстотных циркулей, циркулей-калиперов и др.) и получали т.н. 2d измерения (длины, ширины, обхваты и др.). Появление стационарных и мобильных полноростовых бодисканеров, гаджетов в виде мобильных телефонов позволили перейти к получению 3d размерных признаков (в виде трехмерных оболочек поверхности фигуры и ее частей), а разработка измерительных устройств для диагностики движущихся людей позволяют получать 4d размерные признаки. Такое увеличение объема антропометрической информации потребует совершенствования существующих размерных стандартов, основанных прежде на минимальном количестве 2d признаков, и разработки более полных новых с использованием уже 3d и 4d признаков. Современное состояние рынка одежды требует обязательного включения в систему стандартов и маркировки одежды любого назначения индикаторов формы тела, его частей ввиду их изменения под влиянием акселерации и социальных факторов (например, увеличение числа людей с повышенной массой тела) Антропометрические данные для одежды специального назначения должны включать размерные признаки, измеренные в эргономических позах. Новая структура размерных стандартов потребует их адаптации к технологиям автоматизированного построения чертежей конструкций. Поэтому технологии антропометрических исследований определяют соразмерность, удобство и комфорт одежды.

(2) Сенсорный анализ является современной альтернативой инструментальным методам оценки одежды [2]. **Сенсорный анализ** — анализ одежды в статике и динамике с помощью зрения, слуха, обоняния, осязания, вестибулярной рецепции и интерорецепции, обеспечивающих потребителю получение информации об одежде в условиях эксплуатации. Этот метод является методом научного познания для определения, идентификации и квалиметрии реакции органов человека на раздражающее действие одежды путем объективного органолептического описания одежды в терминах внешнего вида, запахов, формы, давления и др. Этот вид анализа является более сложным, чем традиционная оценка модели одежды на потребителе или на манекене. Вариантом такого анализа является опытная носка. Перспективность этого метода обусловлена возможностью проверки конструкторских и иных решений в новых моделей одежды до их массового производства. Согласование субъективных ощущений потребителей и перевод их оценок в объективные показатели требует использования специальных приборов и устройств и позволяет качественно изменить процесс проектирования одежды в направлении гуманизации принимаемых решений.

(3) Критерии качества посадки одежды на фигуре являются индикаторами соответствия между морфологическими особенностями фигуры потребителя и объемно-силуэтной формой одежды на этой фигуре в условиях ее жизненного цикла [3]. Сформированная система "потребитель - одежда" имеет две группы оценок - со стороны потребителя и со стороны производителя. Для их согласования необходимы количественные критерии для унификации требований к внешнему виду одежды. Разработка таких критериев представляет собой серьезную проблему особенно для тех видов одежды, которые из-за неправильной конструкции или условий эксплуатации могут нанести вред здоровью потребителя. Технология оценки качества посадки одежды востребована в системах виртуального проектирования одежды и включает оценку всех генерируемых объектов - чертежей деталей в плоском состоянии, сшитых их них объемных оболочек, систем "виртуальный аватар фигуры - одежда" - с использованием согласованных друг с другом индикаторов.

Проблемы оценки качества одежды тесно связаны с развивающимся направлением кастомизации, т.е. адаптации одежды массового производства к запросам конкретного потребителя путем ее индивидуализации и внесения конструктивных или художественных изменений на любых стадиях производственного цикла. Кастомизация позволяет дифференцировать одежду и выпускать ее для узкой целевой аудитории, а также привлекать более требовательных потребителей. Поэтому создание гибких технологий проектирования кастомизированной одежды наряду с массовым производством потребует создания универсальной системы оценки качества одежды.

(4) Из-за появления новых текстильных материалов и совершенствования существующих возникла острая необходимость расширения номенклатуры показателей свойств и методов их оценки. До недавнего времени преимущественно использовали показатели физико-механических и геометрических свойств (драпируемость, изменение линейных размеров после различных обработок, толщина, растяжимость, фрикционные характеристики и др.), которые определяли на приборах и специальных измерительных комплексах. Получаемые результаты требовали определенных процедур по их модификации, чтобы затем включать в конструкторские расчеты и прогнозировать опять же показатели только геометрической формы одежды или ее физической модели. Потребитель, как правило, был исключен из системы оценок. Нынешнее состояние процесса проектирования одежды остро нуждается в таких показателях, которые отражали бы поведение текстильных материалов в готовой системе "человек - одежда", и их реакцию на механические, физические, климатические и иные факторы. Поэтому разработка новых технологий прогнозирования показателей любых свойств одежды на основе новых знаний о текстильных материалах является критическим для традиционного и виртуального проектирования.

(5) Новые методы конструирования необходимы сразу по нескольким причинам: расширение баз исходных данных о потребителе (размерные признаки, психосоматический тип) и текстильных материалах (показатели свойств); появление новых требований к результатам проектирования; вариативность процесса в зависимости от изменяющихся условий; перенос действий конструктора в виртуальную трехмерную среду; максимальная формализация конструкторского опыта [4]. Их развитие возможно после отказа от сложившихся стереотипов традиционного конструирования и перехода к более сложным алгоритмам, реализуемым или поддерживаемым системами с элементами искусственного интеллекта. Технологии создания таких интеллектуальных методов станут двигателями совершенствования процессов проектирования всех видов одежды, особенно новых и наиболее сложных ее видов.

(6) Конструкции умной одежды отличают ее интеллектуальное назначение (в дополнение к традиционным эстетическому и функциональному) благодаря интегрированным в структуру сенсорам и гаджетам . Области применения - от медицины до повседневной одежды с возможностью информирования пользователя о возможном наступлении негативных ситуаций или иных событиях. Поиск мест локации таких гаджетов

должен быть согласован с антропологическими факторами, функцией одежды и условиями ее эксплуатации. Новое назначение одежды - интеллектуальное - может быть достигнуто совместными усилиями медиков, проектировщиков сенсоров и гаджетов, конструкторов одежды и других специалистов, способных существенно изменить представление о возможностях современной одежды.

(7) Интерес к здоровому образу жизни инициировал появление новых видов одежды для активного отдыха. Одежда для спорта должна гарантировать спортсменам получение высоких результатов в разных средах (воздушной, водной). Компрессионная одежда в зависимости от целеполагания может существенно улучшить качество жизни людей после хирургических операций и создавать условия для их быстрой реабилитации, формировать более эстетичный внешний вид отдельных участков тел, стимулировать мышечные ткани. Одежда для экстремальных условий жизнедеятельности должна стать такой защитной оболочкой, которая должна гарантировать потребителю выполнения им всех функций [5]. Это лишь короткий перечень новых видов одежды, проектирование которых нуждается в иных базах данных, знаний и правил, чем существующие для традиционной одежды.

(8) Благодаря развитию компьютерных технологий проектирования возникла научная проблема создания цифровых двойников всех объектов, которые генерируют или используют на всех этапах создания и моделирования жизненного цикла одежды. Эта проблема не является надуманной, а направлена на получение максимальных преимуществ от использования САПР, а именно: каким образом предусмотреть и устранить возможные негативные ситуации, которые могут ухудшить качество конечного продукта. Цифровые двойники - это математические модели высокого уровня адекватности, которые позволяют описывать с высокой степенью точности поведение объектов проектирования во всех ситуациях и этапах жизненного цикла готовой одежды. Перечень цифровых двойников включает текстильные материалы, их пакеты, аватары реальных фигур, статичные и динамичные системы "аватар - изделие", способных генерировать и отображать информацию о состоянии всех элемнитов, а для аватара - его человекоподобную сенсорную реакцию на раздражающие и угрожающие факторы. Критериями качества цифровых двойников являются реалистичность и адекватность материальным аналогам, а для разработки таких критериев необходимо формализовать огромный опыт реального проектирования и эксплуатации одежды.

Таким образом, перечисленные критические технологии и их объекты в ближайшее время получат интенсивное развитие и позволят перевести процесс проектирования одежды на качественно новый уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anthropometry, Apparel Sizing and Design: Edited by Deepti GuptaNorsaadah Zakaria. - Elsevier, 2014, 368 p.
2. Harry Lawless T. Quantitative Sensory Analysis. Psychophysics, Models and Intelligent Design. - Wiley Blackwell, 2013, 418 p.
3. Кузьмичев, В.Е. Основы теории системного проектирования костюма: учебное пособие / В.Е.Кузьмичев, Н.И.Ахмедулова, Л.П.Юдина. - М., Изд-во Юрайт, 2018, 392 с.
4. Кузьмичев, В.Е. Бодисканеры и одежда: новые технологии проектирования одежды. - Саарбрюкен, LAMBERT Academic Publishing (Германия), 2012, 546 с.
5. Improving comfort in clothing: Edited by Guowen Song. Published by Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute . - Cambridge - Philadelphia, - New Delhi, Woodhead Publishing Limited, 2011, 459 p.

СОДЕРЖАНИЕ

1	**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОМПЛЕКСНЫХ НИТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ** М.И. Панин, И.Н. Панин, С.Д Николаев	5
2	**ФИЗИЧЕСКИЙ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОДЫ К АНАЛИТИЧЕСКОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ** Ю.М. Трещалин	8
3	**КРИТЕРИИ И КРИТЕРИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СВОЙСТВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ** Ю.М. Трещалин	21
4	**РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ ЦЕЛЬНОТКАНЫХ 3D ПРЕФОРМ ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ** А.М. Киселев	27
5	**ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ – ТРЕНД ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА** П.М. Шелудяков, В.И. Шавкин	34
6	**РЫНОК УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН К НАЧАЛУ 2018 ГОДА** А.А. Лысенко, О.В. Асташкина, Н.В. Русова, И.О. Цыбук	37
7	**ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ЦИФРОВЫХ ФАБРИК В ИНДУСТРИИ МОДЫ** Н.Л. Корнилова, С.В. Салкуцан, А.Е. Горелова, Д.А. Васильев	39
8	**ЗЕЛЕНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЗЕЛЕНАЯ ХИМИЯ, ЗЕЛЕНЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ, ЗЕЛЕНЫЙ ТЕКСТИЛЬ – ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ** Г.Е. Кричевский	45
9	**СОВРЕМЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ИХ ПРОИЗВОДСТВУ** Н.Д. Олтаржевская, М.А. Коровина, Т.С. Хлыстова, Т.С. Быркина	47
10	**ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ АППЛИКАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВОЛОКНИСТОЙ ОСНОВЕ** И.М. Липатова	58
11	**МАТЕРИАЛЫ НА ВОЛОКНИСТОЙ ОСНОВЕ В ДОРОЖНОЙ КАРТЕ РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ** В.М. Бузник, Н.П. Пророкова	62

12 **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ** 66
О.И. Одинцова

13 **УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ КУБОВЫХ И ИНДИГОИДНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ – ИННОВАЦИОННЫЙ РЕСУРС ДЛЯ ОКРАШИВАНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ И НЕТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЕНИЕ, ДИЗАЙН** 69
А.М. Андриевский, М.К. Грачев

14 **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КОЛОРИРОВАНИЯ И ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПРЕПАРАТОВ** 72
Н.В. Дащенко, А.Ю. Манукян-Галактионова, А.М. Киселев

15 **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ** 80
А.П. Башков, Г.В. Башкова, Е.Н. Никифорова

16 **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ТКАНИ НА КИНЕТИКУ ПРОЦЕССА ЕЕ ПРОПИТЫВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКОВ** 84
А.Н. Марычева, В.А. Нелюб, Г.В. Малышева

17 **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ЛЕНТ** 88
В.А. Нелюб, Б.Л. Горберг

18 **ТКАНЬ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУШНЫХ И ГАЗООБРАЗНЫХ СИСТЕМ** 92
М.П. Михайлова, В.С. Колтунчиков , Б.П. Макаров

19 **ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЕ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ (ПЕРЧАТКИ, НОСКИ) ДЛЯ ЭКРАНИРУЮЩИХ КОМПЛЕКТОВ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА** 96
А.Е. Цветкова, И.С. Шадрина, С.Н. Перова, Е.П. Лаврентьева, И.А. Чернов

20 **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МОДИФИКАЦИИ ЛЬНОВОЛОКНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ** 100
С.В. Алеева, О.В. Лепилова

21 **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕРАСТВОРИМЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ В ТЕКСТИЛЬНОМ ОТДЕЛОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ** 107
Е.Л. Владимирцева, Л.В. Шарнина, М.А. Кравченко, А.А. Миронова

22 **ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОЧНЫХ НИТЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ** 113
О.А. Москалюк, Е.С. Цобкалло, В.Е. Юдин, А.С. Степашкина

23 **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНОГО РАСТВОРА НА ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ ВОЛОКОН ПОЛИ-3-ГИДРОКСИБУТИРАТА** 119
А.А. Ольхов О.В. Староверова, А.Л. Жулькина, Е.Л. Кучеренко, Ю.Н. Зернова, А.Л. Иорданский

24 **ОСОБЕННОСТИ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПЕЧАТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ** 124
Н.А. Тихомирова, А.В. Захарова, П.В. Трофимов, А.А. Павлов

25 **СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ФУНЦИОНАЛЬНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ** 129
Д.С. Королев, О.И. Одинцова, С.В. Королев

26 **ИННОВАЦИОННЫЙ ЦИФРОВОЙ МЕТОД ТЕСТИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ МАХРОВЫХ И ТРИКОТАЖНЫХ ТКАНЕЙ** 134
Д.А. Пирогов, Э.А. Эльнашар, Р.В. Шляпугин

27 **ГИДРОФОБНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРСОДЕРЖАЩИХ ТКАНЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ РАСТВОРОМ ТЕЛОМЕРОВ ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА** 138
Т.Ю. Кумеева, Н.П. Пророкова

28 **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ НОВЫХ ВИДОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ** 144
А.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян

29 **ЧИСЛЕННОЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ В МАТРИЦЕ КОМПОЗИТА** 146
С.В. Ершов, О.В. Блинов, В.Б. Кузнецов, Е.Н. Калинин

30 **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРУЮЩЕГО САМОСПАСАТЕЛЯ** 149
О.В. Метелева, М.В. Сурикова, С.В. Леппяковская

31 **ГЕОРЕШЕТКА С ГРАНУЛАМИ ПОЛИАКРИЛАТА НАТРИЯ** 152
Ю.А. Щепочкина

32 **ГЕОРЕШЕТКА С ПРОПИТКОЙ ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ УДОБРЕНИЙ** 155
Ю.А. Щепочкина

33 **ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ТКАНЕЙ НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ** 157
А.В. Баранов, О.В. Метелева, Л.И. Бондаренко, С.В. Леппяковская

34 **ВЛИЯНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ДИССИПАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА** 163
С.А. Кокшаров

35 **ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЛЬНЯНОЙ КОСТРЫ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЯЗКОУПРУГИХ ДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ** 169
С.А. Кокшаров

36 **АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СУММАРНОГО ЧИСЛА ЦИКЛОВ ИСТИРАНИЯ ОСНОВНЫХ НИТЕЙ НА ТКАЦКОМ СТАНКЕ ВСЛЕДСТВИЕ ПРИБОЯ** 175
О.А. Ахунбабаев

37 **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ШЕЛКА-СЫРЦА ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА ИЗ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА** 179
У.О. Ахунбабаев, Г.Г. Асраров, И.И. Туйчиев

38 **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ КРЕСТОВОЙ НАМОТКИ НА ЕЁ ОСНОВАНИЕ** 181
Г.Н. Валиев, Ж.И. Орипов

39 **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ НИТЕНАТЯЖНЫХ ПРИБОРОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАШИН** 185
Г.Н. Валиев, В.О. Хомидов, М. Турдиев

40 **ИМИТАЦИОННОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕХОВОЙ ОДЕЖДЫ** 189
М.А. Гусева, Е.Г. Андреева

41 **НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ПОД ЭЛАСТОМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ** 194
С.Г. Керимов, Л.Н. Попов

42 **МЕТОД РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ПОДОБНЫХ СТРУКТУР** 201
С.Г. Керимов

43 **АССОРТИМЕНТНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ШНУРОПЛЕТЕЛЬНЫХ МАШИН** 204
С.Г. Керимов

44 **РАСЧЕТ СТРУКТУРНО – ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРОЕНИЯ ПЛЕТЕНЫХ ШНУРОВ** 208
С.Г. Керимов

45 **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СМЕСОВОЙ ПРЯЖИ ИЗ МЕСТНОЙ ШЕРСТИ С ДРУГИМИ ВОЛОКНАМИ** 212
И.А. Набиева, И.И. Туйчиев, А.О. Ахунбабаев

46 **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ МУЖСКОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ ТКАНЕЙ РАЗЛИЧНОЙ РАСТЯЖИМОСТИ** 217
И.О. Степанов, Е.Г. Андреева, В.С. Белгородский

47 **СВЕРХПРОЧНЫЕ АРАМИДНЫЕ ПОЛИМЕРЫ И КОМПОЗИТЫ НА ИХ ОСНОВЕ** 220
И.А. Абронин, М.А. Молоканов, В.А. Ракитина, М.В. Шаблыгин

48 **РАЗРАБОТКА СТРУКТУР ТКАНЕЙ ДЛЯ МЯГКОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКООБЪЕМНЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ НИТЕЙ** 223
П.Е. Сафонов, Н.М. Левакова, С.С. Юхин

49 **ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ** 229
С.В. Сапожников, В.В. Сафонов

50 **ИССЛЕДОВАНИЕ АРОМАТИЧЕСКОЙ ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПОРТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ** 232
И.Н. Тюрин, В.В. Гетманцева, Е.Г. Андреева

51 **ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА И ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА** 237
Н.И. Свердлова, Л.Е. Виноградова, Л.М. Штягина, Ю.Н. Сазанов

52 **ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЕ ЗОНАЛЬНОЕ ТРИКОТАЖНОЕ МУЖСКОЕ ТЕРМОБЕЛЬЕ ДЛЯ СИЛОВЫХ СТРУКТУР** 241
И.С. Шадрина, Е.П Лаврентьева, Е.А. Глебов, К.А Сягаев

53 **ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЕ ФЛИСОВЫЕ ТРИКОТАЖНЫЕ ПОЛОТНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ НИТЕЙ** 246
Е.В. Жиганова, И.С. Шадрина, Л.М. Хозова, Е.П. Лаврентьева, Е.В. Панова, Е.А. Кочнова

54 **ТКАНИ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ СИЛОВЫХ И ВЕДОМСТВЕННЫХ СТРУКТУР** 251
Н.А. Власова, М.П. Михайлова, Л.В. Паринова

55 **НОВЫЙ СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ КРОМОК ТКАНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА РАПИРНОМ ТКАЦКОМ СТАНКЕ** 255
М.А. Уточкин, С.Г. Керимов, И.В. Розанов

56 **РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭСТЕТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУХСЛОЙНЫХ ТКАНЕЙ СО ВЗАИМНЫМ ПРОНИКНОВЕНИЕМ ОСНОВ** 259
Э.А. Эльнашар, Г.В. Башкова

57 **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЦЕЛЬНОТКАНЫХ 3D-ПРЕФОРМ** 265
М.В. Киселев, А.М. Киселев

58 **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 3D ТКАЧЕСТВА** 272
С.Д. Николаев, В.Т. Сергеев

59 **РОССИЙСКОЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ТЕКСТИЛЯ:РЕАЛИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ** 279
А.П. Морыганов

60 **ПРЕИМУЩЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ТЕКСТИЛЯ И НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОССИИ** 281
М.Ю. Трещалин

61 **СИНТЕТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА В РОССИИ: ПРОИЗВОДСТВО, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И «УМНЫХ» МАТЕРИАЛОВ** 289
Н.П. Пророкова

62 **КРИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ** 294
В.Е. Кузьмичев

Научное издание

ФИЗИКА ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XXI Международного научно-практического форума «SMARTEX-2018»

Ответственный за выпуск	А.П. Новикова
Компьютерная верстка	Н.А. Онипченко
Дизайн обложки	А.П. Новиковой

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано в печать 11.09.2018. Формат 1/8 60х84.
Усл. печ. л. 17,67. Уч. - изд. л. 16,9 Тираж 500 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»
153000, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20
Адрес в Интернете: www.ivgpu.com

Отпечатано в ОАО «Информатика»
153032, г. Иваново, ул. Ташкентская, 90