Министерство образования Республики Беларусь
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(УО «ВГТУ»)

УДК 677.024.5:677.017
Рег. №20211063

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор
_____ В.А. Жизневский
«_31_»_____12_____2025 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Разработка способов формирования многофункциональных композиционных материалов, оптимальных составов полимерных связующих и рациональных параметров их нанесения с учетом особенностей текстильных армирующих структур и назначения готовых материалов

по теме

«СОЗДАНИЕ АРМИРУЮЩИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ СТРУКТУР С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ И ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ»

(заключительный)

2021 – 2025-Г/БЛ№372

Научный руководитель,
д.т.н., доцент _____ Ясинская Н.Н.
«_31_»_____12_____ 2025г.

Начальник научно-
исследовательской части _____ Сажин В.А.
«_31_» _____12_____ 2025 г.

Витебск 2025

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР:

д.т.н., доцент _____ Н.Н. Ясинская
31.12.2025 (общее руководство, введение, раздел 3,10, 11, 12, 14, 17, 20, 23,заключение)

Исполнители темы:

к.т.н., доцент _____ Н.В. Скобова
31.12.2025 (раздел 1, 2, 5, 6, 9,10, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22)

к.т.н., доцент _____ И.А. Петюль
31.12.2025 (раздел 1, 13, 16, 18, 25)

старший преподаватель _____ Е.П. Попко
(31.12.2025) (раздел 4, 7, 8, 16, 19, 24)

аспирант _____ К.А. Ленько
31.12.2025 (раздел 4, 24)

аспирант _____ Ю.И. Марущак
31.12.2025 (раздел 16.2, 19, 24)

аспирант _____ В.В. Иванова (Фомченко)
31.12.2025 (раздел 23)

Нормоконтроль _____ Н.В. Скобова

РЕФЕРАТ

Отчет 384 с., 1 кн., 195 рис., 79 табл., 107 источн.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НИТИ, АРМИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ, ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ, ВЛАГОМАССОПЕРЕНОС, ПОЛИМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ, СКОРОСТЬ СУШКИ, СОРБЦИОННО-ДИФФУЗИОННЫЕ СВОЙСТВА, ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ, КРИВЫЕ БЕЗЬЕ, ФИЗИЧЕСКАЯ СИМУЛЯЦИЯ

Объектом исследований являются однослойные и двухслойные текстильные армирующие структуры из функциональных нитей, слоистые материалы с полимерным покрытие, многослойные текстильные структуры из функциональных нитей.

Цель работы – разработка новых армирующих текстильных материалов из функциональных нитей и методов моделирование их структуры, разработка технологии производства многофункциональных текстильных композиционных материалов с улучшенными потребительскими свойствами на основе отечественных сырьевых ресурсов.

Выбрано отечественное сырье для получения армирующих текстильных структур. Установлены кинетическая зависимость диффузионной проницаемости однослойных и двухслойных трикотажных полотен жидкостью, зависимости объемной скорости пропитки армирующих трикотажных полотен от их геометрических характеристик. Получены кинетические зависимости влагопереноса с учетом различия в сырьевом составе трикотажных полотен и порядка расположения слоев в композите. Разработан метод определения гетерокапиллярности многослойных трикотажных полотен. Проведена оптимизация технологических режимов формирования многослойных материалов из трикотажных функциональных структур для защитной одежды способом термопрессования. Выявлены особенности сушки и термостабилизации двухслойных трикотажных полотен. Определена величина векторных нагрузок прикладываемых к двухслойным полотнам при эксплуатационной носке, изучен механизм влагопереноса и сушки при растяжении. Проведена комплексная оценка качества трикотажных полотен из функциональных нитей. Разработана программная реализация структуры трикотажных полотен в свободном состоянии и после релаксации на языке функционального программирования Haskell с использованием гибридного подхода. Разработана схема технологического процесса формирования слоистого материала способом нанесения полимерного связующего на ткань, предложен состав полимерной композиции. Проведено компьютерное моделирования методом гидродинамики сглаженных частиц (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH) процесса пропитки ткани полимерным связующим. Разработана методика оценки способности к самовосстановлению целостности полимерного слоя текстильного материала после прокола иглой. Разработана методика определения коэффициента тангенциального сопротивления. Разработаны рекомендации по нанесению отечественных пленкообразующих веществ на пряжу из синтетических волокон.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение..... 8
1 Выбор и исследование свойств исходного сырья из химических волокон с функциональными свойствами отечественных производителей..... 11
1.1 Разработка методики оценки капиллярных свойств функциональных нитей 14
1.2 Экспериментальные исследования кинетики сушки функциональных нитей в естественных условиях..... 21
1.3 Влияние термообработки на водопоглощающие свойства функциональных нитей 24
1.4 Технология получения комбинированных функциональных нитей..... 30
2 Разработка трикотажных структур для получения заданного расположения армирующих компонентов..... 37
3 Разработка методов моделирования армирующих текстильных структур с учетом пространственного расположения волокон и нитей..... 43
4 Исследование физико-механических, технологических и функциональных свойств текстильных армирующих материалов и выбор рациональных структур... 50
4.1 Экспериментальные исследования скорости диффузии воды текстильными материалами из функциональных нитей..... 50
4.2 Экспериментальные исследования скорости высыхания трикотажных полотен..... 54
4.3 Экспериментальные исследования водопоглощения трикотажных полотен... 56
4.4 Экспериментальные исследования скорости впитывания..... 58
4.5 Экспериментальные исследования паропроницаемости..... 60
4.6 Исследование свойств трикотажных полотен переплетением кулирная гладь и ластик..... 65
4.7 Исследование свойств трикотажных полотен из комбинированной функциональной нити..... 68
4.8 Исследование свойств трикотажных полотен из комплексной нити Quick Dry в сочетании с хлопчатобумажной пряжей..... 70
5 Экспериментальные исследования паропроницаемости однослойных и двухслойных трикотажных структур..... 75
6 Исследования транспорта влаги в двухслойных трикотажных структурах под действием внешней нагрузки 81

7 Оценка гетерокапиллярности трикотажных полотен..... 88
8 Разработка метода оценки капиллярных свойств слоистых трикотажных материалов..... 93
9 Исследование процесса сушки трикотажных структур в эксплуатационных условиях 98
10 Технологический процесс получения слоистого материала способом нанесения полимерного связующего на армирующую основу..... 102
11 Выбор рациональных параметров нанесения полимерных связующих с учетом особенностей текстильных армирующих структур..... 107
12 Математическое моделирование процесса пропитки при формировании полимерных композиционных материалов..... 116
13 Разработка методики определения коэффициента тангенциального сопротивления армирующих тканых материалов..... 123
14 Анализ способов пропитки текстильной армирующей структуры при формировании многофункциональных композиционных текстильных материалов..... 127
15 Экспериментальные исследования процесса пропитки текстильных армирующих материалов в зависимости от структуры и морфологии поверхности текстильного материала..... 133
15.1 Разработка двухслойных трикотажных армирующих структур из функциональных нитей..... 133
15.2 Оценка пористости двухслойных трикотажных полотен из функциональный нитей..... 135
15.3 Экспериментальные исследования влагорегулирующих свойств двухслойных трикотажных полотен 138
15.4 Разработка структуры трехслойных пакетов материалов..... 155
15.5 Выбор показателей качества для оценки свойств трехслойных пакетов 157
..15.6 Экспериментальные исследования технологии получения трехслойного пакета материалов методом горячего прессования 159
15.7 Влияние морфологии поверхности полиэфирных нитей на интенсивность испарения влаги в трехслойных материалах..... 173
16 Разработка структуры слоистых текстильных материалов с полимерным покрытием и исследование их свойств..... 181

16.1 Экспериментальные исследования влияния технологических режимов нанесения полимерной композиции на структуру формируемого слоистого материала..... 182
16.2 Моделирование кинетики пропитки армирующих текстильных материалов при формировании полимерного покрытия. Экспериментальные исследования влияния технологических режимов нанесения полимерной композиции на глубину пропитки и толщину формируемого слоя покрытия..... 190
16.3 Экспериментальные исследования влияния технологических режимов нанесения полимерной композиции на потребительские свойства слоистого материала..... 199
17 Анализ современных способов сушки и термообработки текстильных многофункциональных текстильных композиционных материалов..... 203
17.1 Особенности конвективной сушки..... 204
17.2 Особенности контактной сушки 205
17.3 Особенности радиационной сушки 206
17.4 Особенности высокочастотной сушки 207
17.5 Технология сушки трикотажных полотен 209
17.6 Термостабилизация трикотажных полотен из синтетических нитей 210
18 Экспериментальные исследования кинетики процесса сушки многофункциональных текстильных материалов в зависимости от сырьевого состава и структуры материала 215
18.1 Экспериментальные исследования конвективного способа сушки двухслойного функционального трикотажа 216
19 Экспериментальные исследования процесса термофиксации многофункциональных текстильных материалов в зависимости от сырьевого состава и структуры материала..... 222
20 Математическое моделирование кинетики сушки и термообработки многофункциональных текстильных композиционных материалов..... 234
21 Исследование векторных нагрузок на зоны многофункциональных трикотажных материалов (изделий) в эксплуатационных условиях..... 245
22 Исследование структурных характеристик многофункциональных трикотажных материалов под действием векторных нагрузок..... 252
22.1 Изучение структуры трикотажных полотен под растяжением..... 252

22.2 Комплексное моделирование трикотажных структур..... 254
23 Экспериментальные исследования зависимости гигиенических свойств многофункциональных трикотажных материалов от структурных характеристик материалов..... 263
24 Исследование свойств отечественных пленкообразующих веществ как компонентов аппретирующих составов..... 268
25 Разработка методического подхода к проектированию оптимальных технологических параметров, позволяющих получать материалы с заданными свойствами..... 273
25.1 Комплексная оценка качества трикотажных полотен из функциональных нитей с использованием «многоугольника качества»..... 273
25.2 Расчет комплексного показателя с использованием средневзвешенного показателя..... 283
25.3 Расчет комплексного показателя с помощью экспертно-ранговой оценки..... 288
25.4 Методика оценки способности к самовосстановлению целостности полимерного слоя текстильного материала после прокола иглой..... 291
Заключение 297
Список использованных источников..... 305
Приложение А. Акты внедрения в учебный процесс и производство..... 315
Приложение Б. Технические условия..... 355

ВВЕДЕНИЕ

К концу прошлого столетия сформировалось производство различных видов технического текстиля со специфическими свойствами. Эти виды текстильных материалов, выполняющие определенную функцию при их использовании, стали называть функциональными. Сегодня на мировом рынке доступны следующие функциональные текстильные материалы: барьерные (против микроорганизмов, химических препаратов, жидкости, радиации и др.); антистатические или электропроводящие; антимикробные или бактериостатические; крове- и водоотталкивающие; высокосорбционные и высококапиллярные (изготовленные из ультратонких волокон); «дышащие» мембраны; phase change materials (материалы с фазовым переходом); металлические и металлизированные; трехмерные (3D) трикотажные полотна; ламинированные со специфическими отделками и т.д.

Функциональный текстиль считается частью технического текстиля, для него визуальный аспект имеет меньшее значение, чем функциональность, производительность и добавленная стоимость. В отличие от традиционных материалов, выполняющих только пассивную защитную роль – барьер между телом и окружающей средой, функциональный текстиль обладает активными дополнительными функциями, которые можно интерпретировать как "чувство – реакция – адаптация" к окружающей среде.

Тем не менее, запросы потребителей постоянно возрастают. Необходимо создание многофункциональных текстильных материалов, которые одновременно удовлетворяют множеству требований, часто противоречащих одни другим. Этот спрос служит стимулом для производителей текстиля.

Как показывает анализ научной и патентной литературы, в последнее время во всем мире резко возрос интерес к созданию multifunctional textiles (многофункционального текстиля). Простейшие способы получения многофункциональных текстильных материалов (смешение волокон, модификация нитей, модификация строения и поверхности текстильных полотен) не могут дать желаемых результатов. Более широкие возможности при производстве товаров с высокими потребительскими свойствами лежат в переходе к сложным слоистым композиционным текстильным структурам. Такие структуры содержат в необходимом, заданном порядке различные функциональные слои. Эти разработки за последние 10 лет во всем мире являются приоритетными и непосредственно связаны с созданием так называемого intelligence textiles (интеллектуального текстиля) или smart textiles (умного

текстиля). Учитывая огромное разнообразие нового advanced textiles (современного текстиля) актуальной задачей является разработка текстильных многофункциональных композитов с дополнительными качествами, в которых сочетаются самые разнообразные свойства и функции благодаря соединению отдельных текстильных материалов в одну структуру дает возможность изменять, варьировать технические свойства композитов в широких пределах.

Развитие производства композиционных материалов на основе химических волокон в настоящее время имеет повышенный интерес за счет интенсивного роста новых видов полиэфирных, полиамидных, полипропиленовых и полиакрилонитрильных волокон.

Важным направлением развития новых видов химических волокон и волокнистых материалов на их основе является их модифицирование, поскольку данный способ является одним из наиболее простых и перспективных путей, который позволяет получать химические волокна с широкой гаммой заданных функциональных свойств. Такой подход позволяет выпускать готовые изделия с заданными потребительскими свойствами.

Наиболее простым методом модифицирования волокон является физический метод- с изменением надмолекулярного строения, формы или внешней поверхности волокон. Эти методы используется на стадии формования и последующих обработок волокон. Они позволяют на базе традиционных видов волокнообразующих полимеров получать волокна, нити и текстиль на их основе с существенно улучшенными или полностью измененными функциональными свойствами. Этот метод позволил получать принципиально новые виды полиэфирных волокон и нитей (Quick Dry, Soft, Thermo) используемых в основном для текстурирования и производства трикотажных изделий.

Учитывая огромное разнообразие современных химических нитей разработка способа соединения отдельных текстильных материалов в одну структуру дает возможность изменять, варьировать технические свойства композитов в широких пределах. Научный и производственный интерес в этой области объясняется потенциальными возможностями создания текстильных композитов с дополнительными качествами, в которых сочетаются самые разнообразные свойства и функции [1, 2].

Актуальность производства высококачественных многофункциональных текстильных материалов, которые обладают комплексными свойствами, одновременно удовлетворяют множеству требований, часто противоречащих друг другу, в настоящее время не вызывает сомнений. Это обусловлено тем, что использование материалов и изделий специального назначения в различных условиях внешней среды требует обеспечения высокого

уровня защиты и комфорта. Самой распространенной и экономически выгодной технологией придания текстильным материалам многофункциональности является комбинация слоев различных по свойствам материалов и соединение в единое целое подходящим способом, которые выбираются с учетом назначения конечного продукта [49].

В зависимости от свойств, структуры исходных материалов и способа соединения многофункциональные полотна и изделия обладают определенными набором характеристик. Проектирование специальных материалов с заданными свойствами является сложной задачей из-за ограниченного набора стандартов и различных требований в зависимости от потребностей [50].

1 Выбор и исследование свойств исходного сырья из химических волокон с функциональными свойствами отечественных производителей

В мировой практике развитие полиэфирных текстильных нитей идет опережающими темпами по сравнению с другими видами нитей и полотен благодаря своим свойствам. Они являются альтернативными во многих сферах потребления и постепенно замещают другие виды волокон и нитей, как в текстильной, так и прочих областях применения.

ОАО «СветлогорскХимволокно» развивает направление в части разработки новых полиэфирных текстильных функциональных нитей и трикотажных полотен из них. Текстильные материалы из нитей нового поколения обладают свойствами быстро впитывать и отводить влагу от поверхности тела, предохранять его от перегревания или переохлаждения, обладать антибактериальными свойствами, не поддерживать горение, обладать высокой стойкостью к ультрафиолетовому излучению. Функциональные нити, производимые на ОАО «СветлогорскХимволокно», выпускаются под торговым знаком SohimSmart Yarns.

Одним из направлений по приданию нитям функциональных свойств является выпуск профилированных нитей. Помимо оптических эффектов, достигаемых при изменении формы поперечного сечения, можно изменить физическую структуру нити и придать дополнительные свойства. К таким нитям относятся нити с функцией управления влагой (быстроотводящие влагу) Quick Dry и нити Thermo с полым сечением филамента.

Нити с функцией управления влагой Quick Dry имеют многоканальную структуру нитей, полученную за счет использования профилдированных фильер на стадии их производств (рис.1,а). Это обеспечивает текстильным материалам способность эффективно управлять влагой за счет мощного капиллярного эффекта, который позволяет быстро впитывать влагу, практически мгновенно распределять ее по большой площади поверхности материала для быстрого высыхания. За счет данного эффекта одежда человека всегда остается сухой, тем самым предохраняя его от перегревания (летом) или переохлаждения (зимой) [4].

Нити Thermo с полым сечением филамента, обеспечивают функцию термозащиты (рис.1, б). Внутри элементарных нитей скапливается неподвижный воздух, что обеспечивает отличную теплоизоляцию. Полые волокна обладают более низкой теплопроводностью. Применение нитей с полым сечением позволяют изготавливать облегченные полотна, т.к. данные нити имеет меньший удельный вес по сравнению со стандартными нитями на 25–30 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ясинская Н.Н. Композиционные текстильные материалы : [монография] / Н.Н. Ясинская, В.И. Ольшанский, А.Г. Коган. – Витебск : УО «ВГТУ», 2016. – 299 с.

2. Ясинская Н.Н. Разработка алгоритма проектирования и процесса формирования слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения / Н.Н. Ясинская, В.В. Мурычева // Известия вузов. Технология легкой промышленности / Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна (Санкт-Петербург). – 2019. – Т. 43, № 1. – С. 71-75.

3. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс: [Текст]: в 2 кн. / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов [и др.]; Под ред. В.Г. Айнштейна // 5-е изд. (эл.) – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2014. –1758 с.

4. Побединский В.С. Активирование процессов отделки текстильных материалов энергией электромагнитных волн ВЧ, СВЧ и УФ диапазонов / В.С.Побединский. – Иваново : ИХР, 2000. – 127 с.

5. Кричевский, Г. Е. Химическая технология текстильных материалов: учебник для вузов: в 3 т. / Г. Е. Кричевский. – Москва, 2001. – Т. 3. – 298 с.

6. Лыков, А. В. Теория сушки [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Госэнергоиздат, 1950. – 420 с.

7. Drying of solid materials. – Режим доступа: https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mavt/process-engineering/particle-technology-laboratory-dam/documents/lectures/practica/lecture-documents-2016/Additional_theory.pdf

8. Способ изготовления флисовых трикотажных полотен: заявка 2017131870 Рос. Федерация № 2 664 237 C1 / Виноградов П.Б. ; заявл 12.09.2017 ; опубл. 15.08.2018 Бюл. № 23. 9 с.

9. Kaikobad, Md & Mahmud, Md. Faisal & Sayam, Abdullah & Paul, Suman & Reza, Md. Musa & Faruque, Md & Apel, Nazmul & Sarker, Emdad. Evaluation of physical and mechanical characteristics of Three-Thread Fleece knit fabric for their structural changes // Heliyon. 2023. Vol.9. Is.11. e21588. DOI:https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21588.

10. Скобова Н. В., Ясинская Н. Н., Сосновская А. И. Исследование процесса влагопереноса в структуре многослойного текстильного материала при эксплуатационных условиях носки // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1(409). С. 94-101. DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_94.

11. Волков В.А., Агеев А.А. Кинетический метод определения капиллярных свойств текстильных материалов // Sciences of Europe. 2016. №6-2 (6). [Электронный ресурс]. – 2016.

– URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kineticheskiy-metod-opredeleniya-kapillyarnyh-svoystv-tekstilnyh-materialov (дата обращения: 03.06.2023).

12. Браславский В.А. Капиллярные процессы в текстильных материалах / В.А. Браславский. – Москва : Легпромбытиздат, 1987. – 112 с.

13. Трещалин Ю.М. Анализ структуры и свойств нетканых материалов / Ю.М. Трещалин. – Москва: Издательство «БОС» 2016. – 192 с.

14. Ramratan Guru, Anupam Kumar, Rohit Kumar Functional Textile for Active Wear Clothing // Submitted: January 11th, 2021 Reviewed: March 1st, 2021 Published: May 12th, 2021/ DOI: 10.5772/intechopen.96944. https://www.intechopen.com/chapters/75976.

15. Шустов Ю.С. Основы текстильного материаловедения / Ю.С. Шустов. – Москва : МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2017. – 302 с.

16. Ramratan Guru, Anupam Kumar and Rohit Kumar Functional Textile for Active Wear Clothing // Submitted: January 11th, 2021 Reviewed: March 1st, 2021 Published: May 12th, 2021/ DOI: 10.5772/intechopen.96944. – URL: https://www.intechopen.com/chapters/75976 (дата обращения 02.11.2023).

17. ГОСТ ISO 9237-2013 Материалы текстильные. Метод определения воздухопроницаемости. – М: Стандартинформ. 2016. – 8с.

18. Kanakaraj P. Active knit fabrics – functional needs of sportswear application, Journal of Textile and apparel, Technology and management, July, 2015. – URL: https:// www.researchgate.net/publication/282267783.

19. Halavska L., Batrak O. Development & research on consumer properties of integrated two-layer weft knitted fabric from eco-raw materials, Fibres and Textiles.– 2018. – Vol. 2. – P.32–39.

20. Bhatia D, Malhotra U. Thermophysiological wear comfort of clothing: an overview, Textile Science Engineering, 2016, Vol. 6, issue 2. doi:10.4172/2165-8064.1000250.

21. Wu H.Y., Zhang W., Li J.; Study on Improving the Thermal-Wet Comfort of Clothing during Exercise with an Assembly of Fabrics. Fibres&Textiles in Eastern Europe/, Vol. 15. – No. - 4 (75). – 2009. – pp. 46–51.

22. Document No. FTTS-FA-004 Specified Requirements of Moisture Transferring and Quick Drying Textiles.

23. ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81) Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств.– М. Стандартинформ. 1982. – 13с

24. Hyun-Ah Kim Moisture Vapor Permeability and Thermal Wear Comfort of Ecofriendly Fiber-Embedded Woven Fabrics for High-Performance Clothing, Materials (Basel). 2021, Vol.14

(20), – URL: https://www.researchgate.net/publication/ 355435087_Moisture_Vapor_Permeability_and_Thermal_Wear_Comfort_of_Ecofriendly_Fiber-Embedded_Woven_Fabrics_for_High-Performance_Clothing/

25. Власенко В., Арабули С., Березненко Н. Концепция создания многослойных полифункциональных текстильных материалов // III-D International symposium creativity technology marketing. – URL: http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/7075/Conf_CTM_2014_pg212-217.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обращения 20.05.2023

26. S.Jevšnik, S.Vasiliadis and oth. Applying Heat for Joining Textile Materials, 2015, Ch.10. – URL: https://www.researchgate.net/publication/308568162_Applying_Heat_for_ Joining_ Textile_Materials (дата обращения 12.06.2023).

27. The use of heat sealing, hot air, and hot wedge to join textile materials. Joining textiles. Stylious G (Ed.), Principle and Application. 1st ed. Woodhead Publishing, Cambridge, 2013, pp. 355–373, DOI: 10.1533/9780857093967.3.355.

28. Joining Textile, Principle and Application. 1st ed. Philadelphia: Woodhead Publishing Series in Textiles, 2013, 594 p. DOI: 10.1016/b978/1/84569/627/6.50022/6.

29 Бойко А.Ф., Кудеников Е.Ю. Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шуховаю – 2016. – № 8. – С. 128–132.

30. Куликов, Б.П. Гигиена, комфортность и безопасность одежды: учебное пособие /Б.П. Куликов, Н.А. Сахарова, Ю.А. Костин. – Иваново: ИГТА, 2006. – 256 с.

31. Хисамиева Л.Г., Абуталипова Л.Н., Хисамиев А.И., Гатина Г.Г. Многослойные композиционные материалы в проектировании одежды // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – №15. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mnogosloynye-kompozitsionnye-materialy-v-proektirovanii-odezhdy (дата обращения 06.09.2023).

32. AATCC 201 Drying Rate of Fabrics: Heated Plate Method. – URL: http://aatcctestmethods.com/test-methods/aatcc-201-drying-rate-of-fabrics-heated-plate-method/. (дата обращения 07.09.2023).

33. Mandal, S.; Chowdhury, I.Z.; Mazumder, N.-U.-S.; Agnew, R.J.; Boorady, L.M. Characterization of Sweat Drying Performance of Single Layered Thermal Protective Fabrics Used in High-Risk Sector Workers' Clothing. Polymers . – 2022. – P14. - URL: https://www.mdpi.com/2073-4360/14/24/5393 (дата обращения 08.09.2023).

34. Heinisch T., Bajzik V., Hes L. New methodology and instrument for determination of the isothermal drying rate of cotton and polypropylene fabrics at constant air velocity. – URL:

https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1558925019873482 (дата обращения 06.09.2023).

35. Почекутов И.С., Рязанова Т.В. Процессы массопереноса в системах с участием твердой фазы. Красноярск : СибГАУ, 2016. – 92 с.

36. Гордеев Л.С. Процессы и аппараты химической технологии. – URL: https://studme.org/273308/tehnika/perenos_massy_poristyh_telah (дата обращения 08.09.2023).

37. Поверхностные явления и дисперсные системы : учеб. пособие для студентов химико-технологических специальностей / А. И. Клындюк. – Минск : БГТУ, 2011. – 317 с.

38. Бекашева А.С. Характеристики и свойства экокожи – материала, имитирующего натуральную кожу // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – №16. – С. 134–136.

39. Вишневская О.В. Современные методы нанесения покрытия на текстиль// Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – №18. – С. 69–72.

40. Бекашева А.С. Высокие технологии при создании экокож // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – №19. – С. 172–176.

41. Павутницкий, В.В. Развитие теории и практики получения и применения низкократных пен в технологических процессах текстильного производства: автореферат дис. доктора техн. наук: 05.19.02 / В.В Павутницкий; Санкт-Петербург, 2004.– 44 с.

42. Панкевич Д.К., Лобацкая Е.М. Исследование паропроницаемости водозащитных композиционных слоистых материалов // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности – Витебск, 2015. – С. 79–81.

43. Дрозд М.И., Марцинкевич Т.Ф., Михалко М.Н. Оценка паропроницаемости трикотажных бельевых полотен // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2012. – № 23 (2). – С. 34.

44. Ясинская Н. Н. Моделирование структуры текстильных материалов для формирования слоистых композитов / Н. Н. Ясинская, А. Н. Бизюк, К. Э. Разумеев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – Ивановская государственная текстильная академия (Иваново). – 2018. – No 6 (378). – С. 273–277.

45. Bizyuk A. N. Development of a Method for the Experimental Study of the Capillary-Porous Structure of Yarn Filaments / A. N. Bizyuk, N. N. Yasinskaya // Fibre Chemistry. – 2021. – Vol. 52. – No 6. – P. 435–438.

46. Бизюк А. Н. Моделирование ткацких переплетений армирующих основ композиционных материалов / А. Н. Бизюк, Н. Н. Ясинская // Материалы докладов 54-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. В 2-х томах. Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2021. – С. 3–5.

47. Biziuk, A. A new approach to modeling reinforcing textile structures for composite materials / A. Biziuk, N. Yasinskaya // AIP Conference Proceedings. – 2022. – Vol. 2430.

48. Monaghan, J. Smoothed Particle Hydrodynamics / J. Monaghan // Reports on Progress in Physics. – 2005. – Vol. 68. – P. 1703.

49. Хамматова В. В. Многофункциональные композиционные материалы на основе применения химических волокон и клеевой сетки // Вестник Казанского технологического университета, 2012. с.307–309. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/mnogofunktsionalnye-kompozitsionnye-materialy-na-osnove-primeneniya-himicheskih-volokon-i-kleevoy-setki/viewer.

50. Характеристика распределения пор по размерам в тканях с мембранным покрытием газодинамическим методом/ И. Ш. Абдуллин, Е. С. Нефедьев, Р. Г. Ибрагимов и др. // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – с.45–48.

51. С. С. Воюцкий. Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров. Изд-во «Химия», 1969. – 336 с.

52. Разработка и исследование технологии производства обуви из текстильных материалов многослойных структур. Браславский В.А. / Автореферат дисс. на соиск. степ. к.т.н., Санкт-Петербург, 1994. – 65с.

53. Новые материалы / под ред. Ю. С. Карабасова. – Москва : МИСИС, 2002. – 362 с.

54. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.jeccomposites.com. (дата доступа: 23.10.2016).

55. Т.В. Дружинина, Л.В. Редина Полимерные композиционные материалы: основные понятия, получение и свойства полимерных матриц: учебное пособие / Т. В. Дружинина [и др.]. – Москва : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2010. – 44 с.

56. Пинчук, Л. С. Материаловедение и конструкционные материалы / Л. С. Пинчук [и др.] ; под ред. В. А. Белого. – Минск : Вышэйшая школа, 1989. – 461 с.

57. Трещалин Ю.М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен. – М: МГУ им. М.В. Ломоносова 2015. – 220 с.

58. Кербер М.Л. Композиционные материалы // Соросовский образовательный журнал. – 1999.– № 5. – С. 33–41.

59. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 380 с.

60. Перепелкин К.Е. Полимерные композиты на основе химических волокон: основные виды / К. Е. Перепелкин // Технический текстиль – 2006. – №13 – С. 18–26.

61. Зеленский, Э.С. Армированные пластики – современные конструкционные материалы / Э. С. Зеленский, А. М. Куперман, Ю. А. Горбаткина, В. Г. Иванова-Мумжиева, А. А. Берлин // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2001. – т. XLV. – № 2. – С. 56–74.

62. Hohmuth, H. Meterialkreislanfe bei Produktion und Einsatz von Nähwirkvliesstoff / H Hohmuth, M. Hunger // Techn. Text. – 2006. – 49/№1. – P. 33–34.

63. Procédé de fabrication de feutres végétaux á partir détoupes. Способ изготовления войлока из очесов растительных волокон: Заявка 2869254 Франция МПК7 В 27N 3/04, D 21H 11/12 / Univ de Picardie, Jules Verne, заявитель Inst/ Techique du Fin. – № 0404215, заявл. 21.04.2004 опубл. 28.10.2005 // Легкая промышленность: РЖ 12 // ВИНИТИ. – 2006. - № 6, 06.06–12Б.72П. – С.8.

64. Волынский В.Н., Технология клееных материалов: учебное пособие для вузов. (2-е изд., исправленное и дополненное). – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-т., 2003. – 280 с.

65. Способ получения слоистых звукопоглощающих композиционных материалов : пат. 2575102, МПК B60R / Бухаров С.Н., Сергеенко В.П., Кушунина Н.А., Хмара А.С., Якимович Н.В., Кожушко В.В. ; заявл. 31.10.2014, опубл. 10.02.2016 Бюл №4.

66. Пат. 2157866 РФ, МПК7 D06N3/04 D06N3/06 B 32B5/28 B 32 B 27/12, B 32 B 27/32 B 32 B 27/34. Способ получения дублированного материала / Рассин А.Е., Соколов Ю.А., Бабушкин С.В., Батурина И.А. заявл. 1998-12-07; опубл. 20.10.2000

67. Кукин, Г.Н., Соловьев, А.Н., Кобляков, А.И. Текстильное материаловедение. Текстильные полотна и изделия: учебник для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. – Москва, Легпромбытиздат, 1992. – 272 с.

68. Леонтьев, Н. Е. Основы теории фильтрации: учебное пособие. 2-е изд. / Н. Е. Леонтьев. – Москва: МАКС Пресс, 2017. – 88 с.

69. ГОСТ Р 52608-2006 «Материалы геотекстильные. Методы определения водопроницаемости».

70. Brojeswari Das, A. Das, V.K. Kothari, R.Fanguiero, M. de Araújo Moisture transmission through textiles. Part I: Processes involved in moisture transmission and the factors at play // AUTEX Research Journal. – 2007. - Vol. 7, No2. Режим доступа: www.autexrj.org/No2-

2007/0236.pdf. / (дата доступа 10.08.2022).

71. Mayur B, Mrinal C, Saptarshi M, R Adivarekar. Moisture Management Properties of Textiles and Its Evaluation. Curr Trends Fashion Technol Textile Eng. 2018; 3(3): 555611. DOI: 10.19080/CTFTTE.2018.03.555611.

72. Ткани для галантерейных изделий. Общие технические условия: ГОСТ 29098-91 – Введ. 01.01.1993. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1991. – 7 с.

73. Московцев, С.В. Оценка гидрофобности плащевых тканей / С.В. Московцев, С.М. Кирюхин, С.С. Горшкова // Технология текстильной промышленности. – Иваново, 2010. – № 4 (325). – С. 12–14.

74. Chen X. Modelling and predicting textile behaviour. Cambridge: Woodhead Publishing, 2010.

75. Севостьянов П. А.,. Компьютерное моделирование в задачах исследования текстильных материалов и производств / П. А. Севостьянов, Д. А. Забродин, П. Е. Дасюк : -Москва: "Тисо Принт", 2014. – 264 с.

76. Каплан, И. Г. Межмолекулярные взаимодействия. Физическая интерпретация, компьютерные расчеты и модельные потенциалы / Каплан И.Г., Безруков Д.С., Рябинкин И.Г.; Под ред. Степанов Н.Ф., – 3-е изд., – Москва : Лаборатория знаний, 2017. – 397 с.

77. Рапапорт Д. К. Искусство молекулярной динамики. – Ижевск: ИКИ, 2012. – 632 с.

78. Frenkel D., Smit B. Understanding Molecular Simulation, 2001.

79. Griebel M., Knapek S., Zumbusch G. Numerical Simulation in Molecular Dynamics. Berlin, Heidelberg: Springer, 2007.

80. Власенко, В. И. Возможности использования многослойных многофункциональных текстильных композитов / В. И. Власенко, С. И. Ковтун, Н. П. Березненко // Технический текстиль. – 2005. – № 12. – С. 23–25.

81. Ульвачева, Л. А. Ассортимент многослойных текстильных материалов и разработка их классификации / Л. А. Ульвачева [и др.] // Дизайн и технологии. – 2015. – № 44 (86). – С. 71–78.

82. Ульвачева, Л. А. Ассортимент многослойных текстильных материалов / Л. А. Ульвачева, В. И. Бесшапошникова // Сб. науч. трудов аспирантов МГУДТ. – Москва, 2014. – С. 38–44.

83. Липатова, Л. А. Разработка методов оценки и исследование формовочной способности многослойных композиционных текстильных материалов : дисс. … канд. техн. наук : 05.19.01 / Л. А. Липатова. – Москва, 2017. – 201 с.

84. Кузьмичев, В. Е. Теория и практика процессов склеивания деталей одежды учебное пособие / В. Е. Кузьмичев, Н. А. Герасимова. – Москва : Академия, 2005. – 255 с.

85. Усманова, Э. Д. Способы получения многофункциональных текстильных материалов с различными полимерными покрытиями / Э. Д. Усманова, И. В. Усманов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 11. – С. 283–284.

86. Панин, М. И. Разработка композиционных материалов на базе мотальных паковок специального назначения : дисс. канд. техн. наук : 05.19.02 / М. И. Панин. – Москва, 2012. – 158 с.

87. Бесшапошникова, В. И. Текстильные материалы в производстве одежды: учебное пособие / В. И. Бесшапошникова. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2011. – 208 с.

88. Федосеева, О. Ю. Разработка нового типа комплексного текстильного материала и экспрессного метода оценки его износостойкости: На примере обивочного материала автомобильного назначения: дисс. канд. техн. наук: 05.19.01 / О. Ю. Федосеева. – Москва, 2000. – 183 с.

89. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М. Л. Кербер [и др.]; под ред. А. А. Берлина. – СПб. : Професссия, 2008. – 560 с.

90. Грищенкова, В. А. Композиционные материалы, армированные текстильными наполнителями / В. А. Грищенкова [и др.] // Наука – текстильному производству: новейшие отраслевые научные разработки в сфере технического текстиля и практический опыт их применения : сб. докладов участников Второго Международного научно-практического симпозиума. – Москва: Изд-во «БОС», 2017. – 324 с.

91. Woodhead Publishing Series in Textiles: Number 94 Modelling and predicting textile behaviour Edited by X. Chen 536 c. Woodhead Publishing India Private Limited, G-2, Vardaan House, 7/28 Ansari Road, Daryaganj, New Delhi. – 110002, India.

92. Блинова, И. В. Кривые, заданные параметрически и в полярных координатах: учебное пособие / И. В. Блинова, И. Ю. Попов. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 56 с.

93. Lomov, S. V. Textile geometry preprocessor for meso-mechanical models of woven composites [Текст] / S. V. Lomov, A. V. Gusakov, G. Huysmans, A. Prodromou, I. Verpoest // Composites Science and Technology. Andersons J. 2000. – Vol. 60. – P. 2083–2095.

94. Lomov, S. V. Hierarchy of textile structures and architecture of fabric geometric models [Текст] / S. V. Lomov, G. Huysmans, I. Verpoest // Textile Research Journal. – 2001. – Vol. 71, № 6. – P. 534–543.

95. Ломов, С. В. Прогнозирование строения и механических свойств тканей технического назначения методами математического моделирования [Текст]: дисс. д-ра техн. наук : 05.19.01 / С. В. Ломов. – СПб, 1995. – 486 с.

96. WiseTex suit demo version [Электронный ресурс] / KU Leuven, Belgium. – Режим доступа: \www/ URL: http://www.mtm. kuleuven.be /Onderzoek/Composites/software/wisetex / (дата доступа : 08.01.2019).

97. Rivero P J, Urrutia A, Goicoechea J, Arregui F J 2015 Nanomaterials for functional textiles and fibers, Nanoscale Research Letters, 10:501, DOI 10.1186/s11671-015-1195-6

98. Dalsgaard C, Sterrett R 2014 White paper on smart textile garments and devices: a market overview of smart textile wearable technologies, Ohmatex ApS, www.ohmatex.dk (Accessed on 2.03.2016).

99. Cherif C 2016 Textile Materials for Lightweight Constructions. Technologies-MethodsMaterials-Properties (Berlin: Springer)

100. Новые виды полиэфирных текстильных нитей с функциональными свойствами, модифицированные на стадии формования из расплава // А.М. Железовский, Е.Д. Жолудева ОАО «СветлогорскХимволокно», Беларусь/ E-mail: mazalova@solim.by

101. Volkov V.A., Bulushev B.V., Ageev A.A. Determination of the capillary size and contact angle of fibers from the kinetics of liquid rise along the vertical samples of fabrics and nonwoven materials // Colloid journal. – 2003.– Vol. 65. No 4. P. 523–525.

102. ГОСТ 10681-75 «Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения».

103. ГОСТ 20840-75 «Кожа искусственная мягкая. Пороки. Термины и определения».

104. Кучеренко, О. А., Горбачевская, М. С. Исследование деформационных свойств трикотажных полотен методом двухосного растяжения // ТТПС. 2015. №2 (32). [Электронный ресурс].– Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-deformatsionnyh-svoystv-trikotazhnyh-poloten-metodom-dvuhosnogo-rastyazheniya.– (дата доступа:11.04.2025).

105. Jhanji Y (2021) Sportswear: Acumen of Raw Materials, Designing, Innovative and Sustainable Concepts. Textiles for Functional Applications. IntechOpen. – Available at: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.99808.

106. Nigmatova F, Maksudov N, Kasimova A, Shin E. Compression clothes for sports-critical review International Journal of AdvancedResearch in Science, Engineering and Technology. Vol. 5, Issue 12, 2018. – Mode of access: https://www.ijarset.com/upload/2018/december/12-IJARSET-mutabar-sh-1.pdf

107. Туханова В. Ю. Исследование векторных нагрузок на узлы и зоны швейного изделия во время эксплуатации // The Scientific Heritage. 2019. №38-1 (38).– Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vektornyh-nagruzok-na-uzly-i-zony-shveynogo-izdeliya-vo-vremya-ekspluatatsii. – (дата доступа: 15.04.2025).