

## ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ\*

### ESTIMATION OF PROPERTY STABILITY OF MATERIALS AND THEIR JOINTS WHEN SIMULATING OPERATING CONDITIONS

А.Н. БУРКИН, Д.К. ПАНКЕВИЧ, В.Д. БОРОЗНА

A.N. BURKIN, D.K. PANKEVICH, V.D. BOROZNA

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: dashapan@mail.ru

*Надежность для предметов потребления является одним из главных показателей их качества, характеризующих способность сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, обеспечивающих выполнение требуемых функций в заданных режимах и условиях применения.*

*Материалы для водозащитной одежды должны защищать человека от воздействия атмосферной влаги. При эксплуатации они испытывают изгиб, кручение, растяжение, сжатие, давление, трение, воздействующие комплексно, циклически, многократно повторяясь при различных температуре и влажности воздуха. Это приводит к накоплению усталостных явлений, ослаблению связей между элементами структуры, изменению свойств и разрушению материалов.*

*Работа посвящена оценке стабильности водозащитных свойств материалов и их соединений с применением устройства, позволяющего моделировать многоцикловые механические нагрузки в различных температурно-влажностных условиях. Объектами исследования являются multifunctional комплексные текстильные материалы с мембраной, применяемые для изготовления водозащитной одежды.*

*Проведен анализ результатов испытаний материалов и их соединений по показателю водонепроницаемости до и после лабораторного моделирования условий эксплуатации, выявлены ориентировочные пределы возможностей материалов определенного типа сохранять неизменной способностью сопротивляться воздействию воды, установлены факторы, наиболее существенно влияющие на стабильность их водозащитных свойств.*

*Reliability is one of the key quality indicators for consumer goods, characterizing their ability to maintain the specified values of all parameters over time, ensuring the performance of required functions under specified operating conditions.*

*Waterproof clothing materials must protect wearers from exposure to atmospheric moisture. During use, they are subjected to bending, torsion, stretching, compression, pressure, and friction, which are complex, cyclical, and repeated at varying*

---

\* Статья подготовлена по материалам доклада международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2024)», которая состоялась 20-21 ноября 2024 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

*temperatures and humidity levels. This leads to the accumulation of fatigue phenomena, weakening of the bonds between structural elements, changes in properties and destruction of materials.*

*This work is devoted to assessing the stability of the water-resistant properties of materials and their compounds using a device that simulates multi-cycle mechanical loads under various temperature and humidity conditions. The objects of study are multifunctional complex textile materials with a membrane used for the manufacture of waterproof clothing.*

*An analysis of the test results of materials and their compounds for water resistance before and after laboratory modeling of operating conditions was carried out, the approximate limits of the ability of materials of a certain type to maintain an unchanged ability to resist the effects of water were identified, and the factors that most significantly affect the stability of their water-resistant properties were established.*

**Ключевые слова:** одежда, комплексные материалы, мембрана, структура, водонепроницаемость, эксплуатация, моделирование.

**Keywords:** clothing, complex materials, membrane, structure, waterproofness, operating, modeling.

#### *Введение*

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств. Применительно к текстильным материалам для одежды набор показателей свойств, характеризующих надежность комплексно, может быть различным в зависимости от области использования материала, способа соединения деталей и используемого при изготовлении одежды оборудования. При анализе пригодности материалов для изготовления водозащитной одежды наибольшую значимость приобретает оценка стабильности водонепроницаемости материалов и их соединений в эксплуатационных условиях. Оценка качества материалов для водозащитной одежды, совершенствованием нормативной и методической базы которой занимаются сегодня многие ученые [1, 2], проводимая без учета надежности, является неполной.

Циклически повторяющиеся механические нагрузки оказывают существенное влияние на проницаемость текстильных материалов. Установлено, что водозащитные свойства материалов значительно снижа-

ются в результате стирки, многоциклового изгиба и растяжения, при воздействии пониженных и повышенных температур [3, 4, 5].

Весь комплекс воздействующих на материалы одежды механических нагрузок сложно воспроизвести в полном объеме. Определенные успехи материаловедов швейного производства в этой области исследований описаны в источниках [6...11]. Некоторые идеи, разработанные авторами статьи ранее и опубликованные в источниках [12, 19], легли в основу новой методики моделирования механических эксплуатационных воздействий [14].

Методика апробирована на материалах для водозащитной одежды, для которых значимым показателем качества является стабильный уровень водозащитных свойств материалов и соединений.

Современные водозащитные материалы содержат в своей структуре полимерный мембранный слой различных структур, соединенный с одним или несколькими текстильными слоями. В ходе многочисленных экспериментов выявлено, что материалы с мембранами различных структур по-разному изменяются при воздействии одних и тех же нагрузок.

Влияние эксплуатационных нагрузок на водонепроницаемость материалов с мембраной изучено по стандартным методикам и разработанной авторской методике моделирования эксплуатационных нагрузок в различных температурно-влажностных условиях.

Для водозащитных материалов, имеющих полимерный слой, стандартными являются испытания на устойчивость к многократному истиранию, изгибу или ускоренному старению по ГОСТ Р 57514-2017 «Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия». Нормируемыми показателями в зависимости от области применения материала являются: водонепроницаемость после 9000 циклов изгиба, после 9000 циклов изгиба и трехкратной стирки (ускоренное старение), после 100 циклов истирания абразивом на приборе Мартиндейла.

Исследования, проведенные по стандартным методикам авторами статьи совместно с Е.И. Ивашко на выборке из 26 артикулов материалов с мембраной, показали, что воздействие истиранием в рекомендуемых стандартной методикой условиях не оказало значительного влияния на уровень водозащитных свойств большинства образцов, как и многоциклового изгиба при нормальных условиях. При моделировании ускоренного старения по ГОСТ Р 57514-2017 материалы трижды подвергали стирке и высушиванию, а затем прикладывали 9 000 циклов изгиба. До и после ускоренного старения материалов определяли уровень их водонепроницаемости методом высокого гидростатического давления по ГОСТ 413-91, метод Б.

Наиболее стабилен после моделирования старения по ГОСТ Р 57514-2017 уровень водонепроницаемости двухслойных материалов с гидрофобной микропористой мембраной и материалов с комбинированной гидрофобно-гидрофильной мембраной. Наименее стабильна водонепроницаемость образцов двухслойной структуры, содержащих поровый или монолитный гидрофильный мембранный слой. Наблюдения согласуются с результатами исследований дру-

гих авторов, опубликованными в источниках [3, 13, 15].

Исследования по стандартной методике показали, что при рекомендуемых режимах испытания сложно получить результаты, позволяющие прогнозировать стабильность свойств водозащитных материалов всех типов при множестве эксплуатационных условий. Это связано с тем, что стандартные методики моделирования эксплуатационных воздействий не позволяют учесть весь спектр испытываемых материалами одежды нагрузок, а воспроизводят только истирание и циклический изгиб при нормальных климатических условиях. При этом такие воздействия, как растяжение, кручение, сжатие, имеющие место при эксплуатации в различных температурно-влажностных условиях, не моделируются. Вероятно, стандартом не учтено, что современные водозащитные материалы могут вырабатываться не только на тканой, но и на трикотажной основе и обладать растяжимостью. Рекомендуемое стандартом количество циклов воздействий не всегда позволяет выявить стабильность свойств материалов, а скорее, является минимально допустимым или гарантированно незначительным. Согласно исследованиям В.И. Беспашниковой, Н.А. Климовой и других авторов, опубликованным в источнике [5], при оценке свойств материалов для водозащитной одежды значимость устойчивости к действию пониженных и повышенных температур превышает значимость устойчивости к действию многократного изгиба и стирок. Это означает, что стандартная методика недостаточно полно учитывает значимые эксплуатационные воздействия и с ее помощью сложно прогнозировать надежность водозащитных материалов в эксплуатации.

Вопрос о величинах, характеризующих воздействующие на одежду факторы, был изучен методом анализа литературных источников. В табл. 1 систематизированы данные источников, в которых опубликованы результаты исследований стабильности свойств материалов для одежды различными лабораторными методами, и данные метеорологических наблюдений.

Фактор	Диапазон изменения, ед. изм.
Относительная влажность наружного воздуха	в среднем по РБ от 60% до 90% [16]
Температура наружного воздуха	в среднем от $(-7)^{\circ}\text{C}$ до $10^{\circ}\text{C}$ , некоторые виды одежды от $(-30)^{\circ}\text{C}$ до $24^{\circ}\text{C}$ [16]
Многократный изгиб, кручение	десятки и сотни тысяч циклов [7, 8, 9]
Многократное растяжение	десятки и сотни тысяч циклов при удлинении в диапазоне от 1% до 45% [8, 10, 11]
Смачивание	минуты и часы в диапазоне до 3 кПа [17]
Гидростатическое давление	минуты и часы в диапазоне до 200 кПа [17]
Физико-химические процессы по уходу за одеждой	стирка до 20 циклов или химическая чистка до 5 циклов [8, 9]

Таким образом, для исследования стабильности свойств водозащитных материалов необходимо совершенствовать приборную и методическую базу в направлении расширения числа видов и количества циклов моделируемых воздействий, а также диапазона моделируемых климатических условий.

#### *Материалы и исследования*

Для реализации указанной задачи на основе стандартного прибора ИПК-2М разработана усовершенствованная установка для испытания эластичных полимерных материалов [18]. В отличие от стандартного прибора она позволяет исследовать изменение показателей свойств материалов после моделирования изгиба, растяжения, кручения при различных климатических условиях (температура, влажность, инсоляция) за счет ее расположения внутри климатической камеры и добавления нескольких новых конструктивных узлов для крепления образцов.

Ниже представлена схема расположения образцов материалов, которые подвергаются испытаниям при моделировании условий эксплуатации. Одновременно в установку можно загрузить 12 образцов для моделирования изгиба и 7 образцов для моделирования растяжения либо 7 образцов для моделирования растяжения одновременно с кручением (переворачивая на  $180^{\circ}$  один конец образца) (рис. 1).

В отличие от образцов для моделирования изгиба, которые должны иметь строго определенные размеры, образцы для моделирования растяжения могут иметь разные размеры (минимум – прямоугольник со сторонами 40 мм и 160 мм, максимум – прямоугольник со сторонами 200 мм и 400 мм)

в зависимости от устанавливаемой амплитуды растяжения и цели эксперимента, включающей последовательное применение средств определения контролируемых до и после моделирования условий эксплуатации показателей.

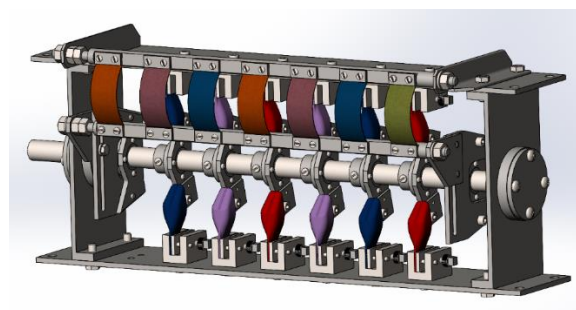


Рис. 1

Вариант расположения образца с поворотом на  $180^{\circ}$  относительно продольной оси позволяет моделировать эксплуатационные условия, соответствующие интенсивной двигательной активности носчика и характерные для одежды свободного покроя. При этом материал испытывает растяжение, изгиб и кручение, и моделируется наиболее существенное эксплуатационное воздействие из возможных на данной установке вариантов.

С помощью новой установки коллективом авторов проведен ряд испытаний, результаты которых подробно описаны в источниках [12, 19]. До и после моделирования эксплуатационных воздействий исследовали показатели водонепроницаемости образцов материалов с мембранами различных структур по ГОСТ 413-91, метод Б. Для оценки стабильности водозащитных свойств материалов в каждой группе рас-

считывали среднюю по выборке относительную водонепроницаемость как среднее арифметическое отношений водонепроницаемости после моделирования условий эксплуатации к начальному ее значению.

Исследованы группы материалов:

«Л:м» – материалы, содержащие монолитный (непористый) гидрофильный мембранный слой, соединенный с текстильной основой методом ламинирования (8 артикулов);

«Л:пг» – материалы, содержащие пористый гидрофильный мембранный слой, соединенный с текстильной основой методом ламинирования (5 артикулов);

«Л:гпг» – материалы, содержащие гидрофобный пористый губчатый мембранный слой, соединенный с текстильной основой методом ламинирования (8 артикулов);

«П:гпг» – материалы, содержащие гидрофобный пористый губчатый мембранный слой, соединенный с текстильной основой наносным (покрытие) методом (7 артикулов);

«Л:мкс» – материалы, содержащие многокомпонентную слоистую гидрофобно-гидрофильную мембрану, соединенную с текстильной основой методом ламинирования (5 артикулов);

«Л:гпс» – материалы, содержащие гидрофобный пористый сетчатый мембранный слой, соединенный с текстильной основой методом ламинирования (5 артикулов).

#### *Результаты и обсуждения*

В табл. 2 представлены систематизированные обобщенные результаты испытаний для нескольких выборок с числом артикулов от 5 до 8 в одной группе материалов.

Т а б л и ц а 2

Условия эксперимента					Результат (группа / средняя относительная водонепроницаемость по группе)	
T, °C	W, %	число циклов, тыс.	удлинение, %	вид нагрузки	наименее устойчивый тип материалов	наиболее устойчивый тип материалов
(-15)±2	65±5	30	-	изгиб	Л:м/0,1; Л:пг/0,04; П:гпг/0,26	Л:мкс/0,81; Л:гпс/0,62 Л:гпг/0,58
(-7)±2	82±5	30	10	растяжение	Л:гпс/0,12; П:гпг/0,03	Л:мкс/0,56; Л:м/0,52
(-30)±2	65±5	100	-	изгиб	все	нет
0±2	65±5	20	-	изгиб	Л:м/0,16; Л:пг/0,05	Л:гпс/0,73; Л:мкс/0,9
0±2	65±5	60	5	растяжение	Л:гпс/0,24; П:гпг/0,15	Л:м/0,64; Л:мкс/0,71
(-30)±2	65±5	20	-	изгиб	Л:м/0	Л:гпс/0,23; Л:мкс/0,41
(-15)±2	65±5	100	-	изгиб	Л:м/0; Л:пг/0	Л:гпс/0,65; Л:мкс/0,38

Согласно данным экспериментов, материалы с мембранами одного структурного типа по-разному воспринимают нагрузки различных видов. Так, материалы с монолитной гидрофильной мембраной обладают стабильностью водозащитных свойств при совместном воздействии пониженной температуры и растяжения, но неустойчивы к изгибу. Материалы с мембраной сетчатой структуры теряют водонепроницаемость при совместном воздействии растяжения и пониженной температуры, однако многоциклового изгиб выдерживают без существенного изменения водонепроницаемости даже при более низких значениях температуры. Материалы с одинаковой структурой мембраны, но разным способом соединения мембранного слоя с текстиль-

ными слоями также различаются по стабильности водозащитных свойств при моделировании эксплуатационных воздействий. Например, в группе «П:гпг» среднее значение относительной водонепроницаемости после многоциклового изгиба при пониженной температуре вдвое ниже, чем в группе «Л:гпг». Наиболее устойчивыми к различным эксплуатационным воздействиям являются материалы, содержащие многокомпонентную слоистую гидрофобно-гидрофильную мембрану, соединенную с текстильной основой методом ламинирования (тип «Л:мкс»).

Максимальное количество циклов совместного воздействия температуры (-30±2) °C и многоциклового изгиба, после которого у материалов всех изученных

структур наблюдается полная потеря водонепроницаемости, составляет 100 тысяч. Это означает, что в указанном температурном режиме исследования при более высоком значении числа циклов нецелесообразны. Установлено, что пониженная температура и повышенная влажность снижают уровень водозащитных свойств исследуемых типов материалов.

Разработанная установка и методика также могут применяться для исследования свойств соединений деталей из водозащитных материалов, водонепроницаемость ко-

торых также является показателем надежности водозащитной одежды из них. Технология герметизации ниточных швов должна соответствовать общим требованиям к химическим материалам и веществам, используемым в швейном производстве, а свойства соединений должны сохранять свойства материалов [20].

С применением разработанной установки проводили исследование водонепроницаемости соединений деталей одежды из материалов с мембраной, характеристика которых представлена в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Показатель, ед. изм.	Номер образца				
	1	2	3	4	5
Число нитей (петель) на 10 см по основе (вдоль)	(350)	(350)	480	(320)	480
Число нитей (петель) на 10 см по утку (поперек)	(380)	(380)	400	(340)	432
Число нитей (петель) на 10 см по основе (вдоль)	(130)	(290)	(300)	(180)	(180)
Число нитей (петель) на 10 см по утку (поперек)	(160)	(320)	(350)	(150)	(190)
Тип материала	Л:гпс	Л:гпс	Л:гпс	Л:м	Л:гпс
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	274	162	336	155	279
Толщина, мм	0,46	0,28	1,07	0,22	0,66
Водонепроницаемость (ГОСТ 413-91, Б), кПа	120	80	95	128	165

Соединения получены ниточно-клеевым способом путем наклеивания герметизирующей ленты на трикотажной основе шириной 1,5 см на изнаночную сторону материалов, стачанных на универсальной машине соединительным стачным швом взаутюжку шириной 0,5 см. Ленту располагали симметрично относительно середины заутюженных припусков стачного шва. Технологические параметры при изготовлении швов устанавливали в соответствии с рекомендациями поставщика герметизирующей ленты и опытом работы. Параметры процесса герметизации ниточных соединений представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Наименование параметра	Режим для образцов	
	№1, №2, №3, №5	№4
Температура, °С	370	400
Скорость обдува, м/с	3,5	0,36
Прижим, Bar	3,8	3,8
Натяжение, %	0	2
Посадка, %	40	40
Скорость движения ленты, м/мин	1,75	1,5

Моделирование эксплуатации проводили для деталей ветроводозащитной куртки полуприлегающего силуэта, предназначенной для езды на велосипеде, путем воздействия многоциклового растяжения с амплитудой 5% поперек шва в количестве 30 тысяч циклов при минимальной температуре 3±2 °С и максимальной влажности 90%. Соединения исследовали по показателю водонепроницаемости, в качестве показателя водозащитных свойств соединений использовали время сквозного промокания соединения при воздействии гидростатического давления 13 кПа, рекомендуемое EN 343:2019 «Protective clothing – Protection against rain» (пожелания производителя куртки). Результаты испытаний представлены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Показатель, ед. изм.	Номер образца				
	1	2	3	4	5
Водонепроницаемость при воздействии гидростатического давления 13 кПа (ГОСТ 413-91, метод Б), мин	4,5	19	0,2	44	3,5
То же после моделирования условий эксплуатации, мин	0	2	0	32	0

Анализ данных табл. 5 позволяет сделать вывод, что водонепроницаемость комбинированных ниточно-клеевых соединений зависит не от свойств водонепроницаемости исходного материала, а, вероятнее всего, от его толщины, типа структуры материала и выбора параметров герметизации. Для всех исследуемых образцов типа «Л:гпс» характерно, что надежность соединения, выполненного выбранным способом, невысока. Только один из исследуемых вариантов соединения материалов типа «Л:м» наименьшей толщины сохранил способность сопротивляться гидростатическому давлению. Для этого материала применялся и другой режим приклеивания герметизирующей ленты (табл. 4).

Таким образом, установка и методика моделирования эксплуатационных воздей-

ствий может применяться для определения режимов обработки водозащитных материалов с целью получения качественных и надежных соединений деталей одежды из них, а на материалах, выработанных на трикотажной основе, с помощью установки можно выявить скрытую прорубку.

Рекомендации по условиям проведения испытаний в зависимости от назначения и типа материала представлены в табл. 6. Для каждого типа материалов выбрано наиболее существенно влияющее на стабильность водонепроницаемости воздействие. Во всех случаях температуру и влажность воздуха при испытании рекомендуется устанавливать после анализа температурно-влажностного диапазона носки одежды по правилу: минимальная температура, максимальная влажность.

Т а б л и ц а 6

Назначение одежды	Тип структуры материала	Условия эксперимента		
		число циклов, тыс.	удлинение, %	вид нагрузки
Бытовая одежда	Л:гпг	10...30	5	растяжение
	Л:гпс		5	растяжение
	Л:мкс		5	растяжение
	Л:м		-	изгиб
	Л:пг		-	изгиб
	П:гпг		5	растяжение
Спортивная одежда	Л:гпг	40...80	5-20	растяжение+кручение
	Л:гпс		5-20	растяжение+кручение
	Л:мкс		5-20	растяжение+кручение
	Л:м		-	изгиб
	Л:пг		-	изгиб
	П:гпг		5-20	растяжение+кручение

### З а к л ю ч е н и е

Сравнительная оценка стабильности водозащитных свойств многофункциональных комплексных текстильных материалов с мембранами различных структур и их соединений при моделировании условий эксплуатации различными способами показала, что материалы с монолитной гидрофильной мембраной обладают стабильностью водозащитных свойств при совместном воздействии пониженной температуры и растяжения, но неустойчивы к изгибу. Материалы с мембраной сетчатой структуры теряют водонепроницаемость при совместном воздействии растяжения и пониженной температуры, однако многоцик-

ловой изгиб выдерживают без существенного изменения водонепроницаемости даже при более низких значениях температуры.

Наиболее устойчивыми к различным эксплуатационным воздействиям являются материалы, содержащие многокомпонентную слоистую гидрофобно-гидрофильную мембрану, соединенную с текстильной основой методом ламинирования (тип «Л:мкс»). Наименее устойчивы к различным воздействиям материалы, содержащие пористый или монолитный гидрофильный мембранный слой, и материалы, выработанные наносным методом (покрытия).

Моделирование эксплуатационных воздействий с помощью разработанной установки целесообразно проводить в объеме не более 100 тысяч циклов, поскольку абсолютное большинство исследованных водозащитных материалов (свыше 70 артикулов в совокупности) в течение указанного количества циклов перестают сопротивляться гидростатическому давлению.

Разработанная установка для испытания эластичных полимерных материалов обеспечивает моделирование изгиба, растяжения и кручения образцов в температурно-влажностных условиях эксплуатации, создаваемых и поддерживаемых с помощью климатической камеры. Это позволяет моделировать различные эксплуатационные воздействия в их наиболее вероятном сочетании, а следовательно, приближает моделируемые воздействия к реальным для прогнозирования срока безотказной работы материала или его соединения в изделии. Для испытаний могут быть использованы образцы материалов различного размера и формы, что способствует преемственности испытаний для оценки изменения уровня показателей свойств материалов. В целом перечисленное приближает оценку к физическому смыслу функции надежности материалов для водозащитной одежды – способности сохранять водозащитные свойства в течение заданного времени при заданных эксплуатационных нагрузках и климатических условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Парвицкая Д.Т., Шустов Ю.С., Буланов Я.И., Курденкова А.В. Комплексная оценка качества тканей с мембранным покрытием // Вестник науки и образования. 2019. № 11-1(65). С. 18...21.
2. Сташева М.А., Гойс Т.О., Гусев Б.Н. Совершенствование нормативного обеспечения при оценке качества мембранных тканей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 3(399). С. 91...96.
3. Парвицкая Д.Т. Исследование механических свойств тканей с мембранным покрытием после воздействия пониженной температуры // Наука и образование сегодня. 2019. №6-1 (41). С. 19...22.
4. Зимина М.В., Чагина Л.Л. Комплексная оценка водозащитных свойств материалов с учетом действия эксплуатационных и технологических факторов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 4(406). С. 103...110.
5. Климова Н.А., Логинова Е.А., Ковалева Н.Е., Бесшапошникова В.И. Оценка значимости показателей качества и прогнозирование свойств мембранных тканей для одежды // Дизайн и технологии. 2020. № 78(120). С. 66...73.
6. Жихарев А.П. и др. Влияние факторов окружающей среды на материалы легкой промышленности: монография. Казань: КГТУ, 2011. 232 с.
7. Лисиенкова Л.Н., Кирсанова Е.А. Анализ деформационного состояния материалов для одежды в условиях пространственного растяжения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2010. № 2(323). С. 28...30.
8. Бесшапошникова В.И., Ковалева Н.Е., Логинова Е.А. Научные основы проектирования материалов и изделий специального назначения. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2022. 207 с.
9. Туханова В.Ю., Тихонова Т.П. Инженерное конфекционирование материалов для швейных изделий // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 9. С. 105...109.
10. Крученецкий В.З., Калабина А.А., Жилисбаева Р.О. и др. Связь деформаций текстильных материалов с их структурой механическими свойствами // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 6(378). С. 59...63.
11. Голубева Е.В., Иванова А.Г., Тихонова Т.П., Голубев О.В. Конечно-элементный подход к оценке деформационных характеристик деталей одежды // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2011. Т. 13, № 3. С. 88...91.
12. Панкевич Д.К., Харанудько Ю.В., Кудрицкий В.Г. Анализ структуры и эксплуатационных свойств мембранных материалов для водонепроницаемой одежды // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. №3(399). С. 101...108.
13. Бесшапошникова В.И., Логинова Е.А., Ковалева Н.Е. и др. Проектирование и прогнозирование свойств материалов для защиты от химически агрессивных сред // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3(405). С. 87...94.
14. Панкевич Д.К., Буркин А.Н. Методология оценки свойств материалов для водонепроницаемой одежды // Технологии и качество. 2022. № 2(56). С. 5...10.
15. Логинова Е.А., Степанова И.В., Бесшапошникова В.И. и др. Разработка и исследование свойств многослойного защитного материала с мембранным слоем // Дизайн и технологии. 2021. № 85-86(127-128). С. 123...129.
16. Логинов В.Ф. Современные изменения климата Беларуси // Фундаментальная и прикладная климатология. 2022. Т. 8, № 1. С. 51...74.
17. Williams, J. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing // Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2018. 590 p.



18. Пат. 12574 РБ, МПК G01N3/20. Установка для испытания эластичных полимерных материалов.

19. *Burkin A. et al.* Properties of membrane textile materials for apparel in modeling exploitation wear // AIP Conference Proceedings 2430, 030005 (2022).

20. *Самарская Н.Н., Самойлова М.В.* Ассортимент и технологические свойства современных мембранных материалов // Инженерно-педагогический вестник: легкая промышленность. 2018. № 4(7). С. 65...71.

## REFERENCES

1. *Parvitskaya D.T., Shustov Y.S., Bulanov Y.I., Kurdenkova A.V.* Complex assessment of the quality of membrane-coated fabrics // Bulletin of Science and Education. 2019. № 11-1(65). P. 18...21.

2. *Stasheva M.A., Gois T.O., Gusev B.N.* The improvement of regulatory support in assessing the quality of membrane fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 3(399). P.91...96.

3. *Parvitskaya D.T.* Study of mechanical properties of membrane-coated fabrics after the influence of reduced temperature // Science and Education Today. 2019. №6-1 (41). P. 19...22.

4. *Zimina M.V., Chagina L.L.* Comprehensive assessment of the waterproof properties of materials taking into account the action operational and technological factors // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 4(406). P. 103...110.

5. *Klimova N.A., Loginova E.A., Kovaleva N.E., Besshaposhnikova B.I.* Assessment of the significance of quality indicators and prediction of properties of membrane fabrics for clothing // Design and Technology. 2020. № 78(120). P. 66...73.

6. *Zhikharev A.P. et al.* Influence of environmental factors on the materials of light industry: Monograph. Kazan: KSTU, 2011. 232 p.

7. *Lisienkova L.N., Kirsanova E.A.* Analysis of the deformation state of materials for clothing under the conditions of spatial stretching // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2010. №2(323). P. 28...30.

8. *Besshaposhnikova V.I., Kovaleva N.E., Loginova E.A.* Scientific bases of designing materials and products of special purpose. Moscow: RSU named after A.N. Kosygina, 2022. 207 p.

9. *Tukhanova V.Yu., Tikhonova T.P.* Engineering confectioning of materials for garments // International Journal of Experimental Education. 2016. № 9. P. 105...109.

10. *Kruchenetsky V.Z., Kalabina A.A., Zhilisbaeva R.O. et al.* Connection of textile material deformations with their structure mechanical properties // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. № 6(378). P. 59...63.

11. *Golubeva E.V., Ivanova A.G., Tikhonova T.P., Golubev O.V.* Finite-element approach to the estimation of deformation characteristics of clothing parts // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Legkoi Promyshlennosti. 2011. T. 13. № 3. P. 88...91.

12. *Pankevich D.K., Kharapudko Y.V., Kudritsky V.G.* Analysis of the structure and performance properties of membrane materials for waterproof clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. №3(399). P. 101...108.

13. *Besshaposhnikova V.I., Loginova E.A., Kovaleva N.E. et al.* Design and prediction of material properties for protection against chemically aggressive environments // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 3(405). C. 87...94.

14. *Pankevich D.K., Burkin A.N.* Methodology for evaluating the properties of materials for waterproof clothing // Technology and Quality. 2022. № 2(56). P. 5...10.

15. *Loginova E.A., Stepanova I.V., Besshaposhnikova V.I. et al.* Development and research of properties of the multilayer protective material with a membrane layer // Design and Technology. 2021. № 85-86(127-128). C. 123...129.

16. *Loginov V.F.* Modern changes in the climate-mat of Belarus // Fundamental and Applied Climatology. 2022. T. 8, № 1. P. 51...74.

17. *Williams J.* Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing // Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2018. 590 p.

18. Патент 12574 РБ, МПК G01N3/20. Установка для испытания эластичных полимерных материалов.

19. *Burkin A. et al.* Properties of membrane textile materials for apparel in modeling exploitation wear // AIP Conference Proceedings 2430, 030005 (2022).

20. *Самарская Н.Н., Самойлова М.В.* Ассортимент и технологические свойства современных мембранных материалов // Инженерно-педагогический вестник: легкая промышленность. 2018. № 4(7). С. 65...71.

Рекомендована организационным комитетом международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2024)". Поступила 05.02.25.