

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ ЭЛАСТИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE WATERPROOFNESS OF ELASTIC COMPOSITE TEXTILE MATERIALS FOR CLOTHING

УДК 677.017.8

Д.К. Панкевич*, Е.И. Ивашко, А.С. Лядова

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2021-1-82-93>

D. Pankevich*, K. Ivashko, A. Lyadova

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ, КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕМБРАНА, ТРИКОТАЖ, СТРУКТУРА, ПОНИЖЕННЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, РАСТЯЖЕНИЕ

Объектом исследования являются эластичные композиционные слоистые текстильные материалы (КСМ), содержащие полиуретановую мембрану, выработанные на трикотажной полиэфирной основе.

Предметом исследования является уровень водонепроницаемости материалов, изменяющийся в процессе многократного растяжения в условиях пониженной температуры воздуха и факторы, влияющие на него.

Цель работы – определение факторов, оказывающих наиболее существенное воздействие на уровень водонепроницаемости эластичных КСМ на трикотажной основе при моделировании эксплуатации для обоснования методики прогнозирования стабильности их водозащитной функции.

В процессе работы выполнено исследование структуры и физико-механических свойств КСМ. Проведен полный факторный эксперимент по исследованию водонепроницаемости эластичных КСМ при комбинированном воздействии многократного растяжения и пониженной температуры воздуха и проанализированы его результаты.

Результат работы – выявлено, что водонепроницаемость эластичных композиционных слоистых мембранных материалов на полиэфирной трикотажной основе при их многократном растяжении на 10 % от начальной длины в условиях пониженной температуры воздуха в диапазоне от

ABSTRACT

WATERPROOFNESS, COMPOSITE TEXTILE MATERIALS, MEMBRANE, KNITWEAR, STRUCTURE, REDUCED TEMPERATURES, STRETCHING

The article discusses the results of a preliminary research of factors affecting the level of waterproofness of elastic composite laminates with a membrane on a knitted basis under repeated stretching at low temperatures. The materials used in the apparel industry for the manufacture of waterproof household clothing and sportswear have been investigated. The analysis of the influence of the structure of materials, the number of stretching cycles, temperature on the stability of the level of waterproofing is carried out.

It is revealed that the waterproofness of elastic composite laminated membrane materials on a knitted basis when they are repeatedly stretched by 10 % of the initial length under conditions of low air temperature in the range from 0 °C to -30 °C significantly decreases with decreasing temperature, regardless of the number of stretching cycles.

* E-mail: dashapan@mail.ru (D. Pankevich)

0 °С до минус 30 °С существенно снижается при понижении температуры независимо от количества циклов растяжения.

Область применения результатов – текстильная и швейная промышленность.

Серьезная конкуренция на рынке ставит перед текстильным материаловедением задачи по разработке новых материалов, обладающих требуемыми функционально-эксплуатационными свойствами, и исследованию их свойств. Свойства различных материалов наиболее удачно реализуются в их композициях, когда недостатки одного материала покрываются достоинствами другого, или появляются новые свойства, не присущие отдельным компонентам. Успехи в развитии новейших материалов связаны с созданием слоистых композитов [1].

Производство композиционных материалов является на сегодняшний день одним из приоритетных направлений развития текстильной промышленности. Отечественная текстильная промышленность отстает от мировых лидеров по объемам и качеству выпускаемой продукции, однако наблюдается устойчивая тенденция развития именно этого сектора. Поэтому особое значение приобретают научные исследования, направленные на анализ взаимосвязи структурных характеристик композиционных материалов и их свойств.

Данное исследование посвящено водонепроницаемым композиционным текстильным материалам, выработанным на трикотажной основе, используемым для производства бытовой и спортивной водозащитной одежды. Исследуемые материалы представляют собой объемное сочетание трикотажных полотен и тонкой растяжимой полимерной пленки – мембраны, обладающей способностью пропускать пары влаги, но препятствовать проникновению воды и потока воздуха. Вариативность состава и структуры трикотажных полотен и способов скрепления слоев композита между собой открывает возможности получения широчайшего ассортимента новых материалов, обладающих ценными потребительскими свойствами: растяжимостью, водо- и воздухопроницаемостью, паропроницаемо-

стью. Для обеспечения высокого качества одежды такой уникальный набор свойств материалов должен быть относительно стабильным во времени как по номенклатуре, так и по уровню определяющих качество показателей.

Для водонепроницаемых композиционных слоистых материалов с мембраной (КСМ) основным критерием износостойкости является снижение уровня водонепроницаемости в процессе эксплуатации. К.Г. Гущина [2] и Ю.С. Шустов [3] указывают на значимость метода моделирования эксплуатационного износа текстильных материалов в лабораторных условиях и необходимость его использования в целях прогнозирования качества швейных изделий. Особенно важны такие исследования для новых малоизученных материалов. Однако пока не выявлена значимость влияния механических факторов износа (растяжение, многократный изгиб, истирание и так далее) и абиотических факторов среды (температура, влажность) на стабильность уровня водонепроницаемости КСМ при их одновременном воздействии на материал. Также не ясно, в каком диапазоне количества циклов воздействия происходит значимое снижение уровня водонепроницаемости эластичных КСМ и какие структурные особенности или свойства КСМ нужно учитывать при формировании выборки материалов для исследования эксплуатационного износа.

Проведенные ранее авторами статьи исследования показали, что снижение водонепроницаемости после воздействия комбинированных механических нагрузок и пониженной температуры для КСМ, выработанных на тканой основе, может достигать 60 % от начального уровня за несколько десятков тысяч циклов. Существенное влияние на уровень водонепроницаемости при моделировании эксплуатационных нагрузок оказывает структура КСМ, способ их производства и тип мембраны [4]. Растяжимые КСМ на

трикотажной основе в упомянутых исследованиях не принимали участия.

В источниках литературы вопросы износостойкости водонепроницаемых растяжимых КСМ широко не освещены, но актуальность их бесспорна: именно такие материалы находятся на пике потребительских предпочтений как обеспечивающие высокое качество и комфорт при экстремальном уровне водозащиты. Поэтому исследование и анализ факторов, влияющих на водонепроницаемость растяжимых КСМ в условиях, моделирующих эксплуатационные, актуально и своевременно.

Целью работы является исследование влияния совместного воздействия растяжения и пониженной температуры на уровень водонепроницаемости эластичных КСМ на трикотажной основе при моделировании эксплуатации для определения наиболее значимого фактора, закономерности его влияния и формирования рекомендаций по методике прогнозирования стабильности их водозащитной функции: время испытания, диапазон варьирования факторов, формирование выборки.

Среди влияющих факторов выделены следующие: структура КСМ, водопоглощение мембран-

ного слоя, количество циклов растяжения, температура. Для реализации цели моделировали многократное растяжение полотен при одновременном воздействии пониженных температур. В качестве объектов исследования выбраны двухслойные и трехслойные композиционные материалы с текстильными слоями одного волокнистого состава и одинакового переплетения, с гидрофильной непористой полиуретановой мембраной. Образцы обладают примерно одинаковыми значениями показателей, определяющих качество свойств – паропроницаемости и водонепроницаемости – и используются в швейной промышленности для изготовления бытовой и спортивной непродуваемой непромокаемой комфортной одежды третьего слоя, эксплуатируемой в широком диапазоне температур.

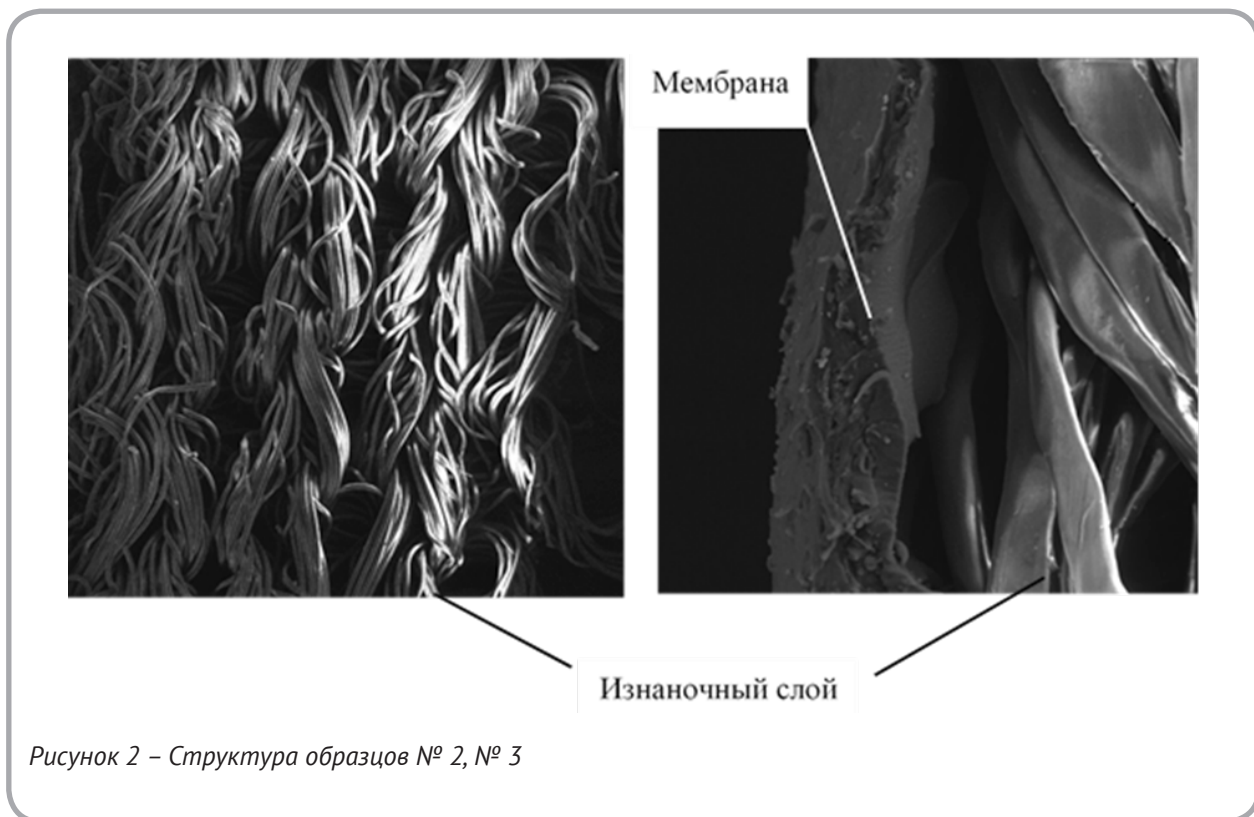
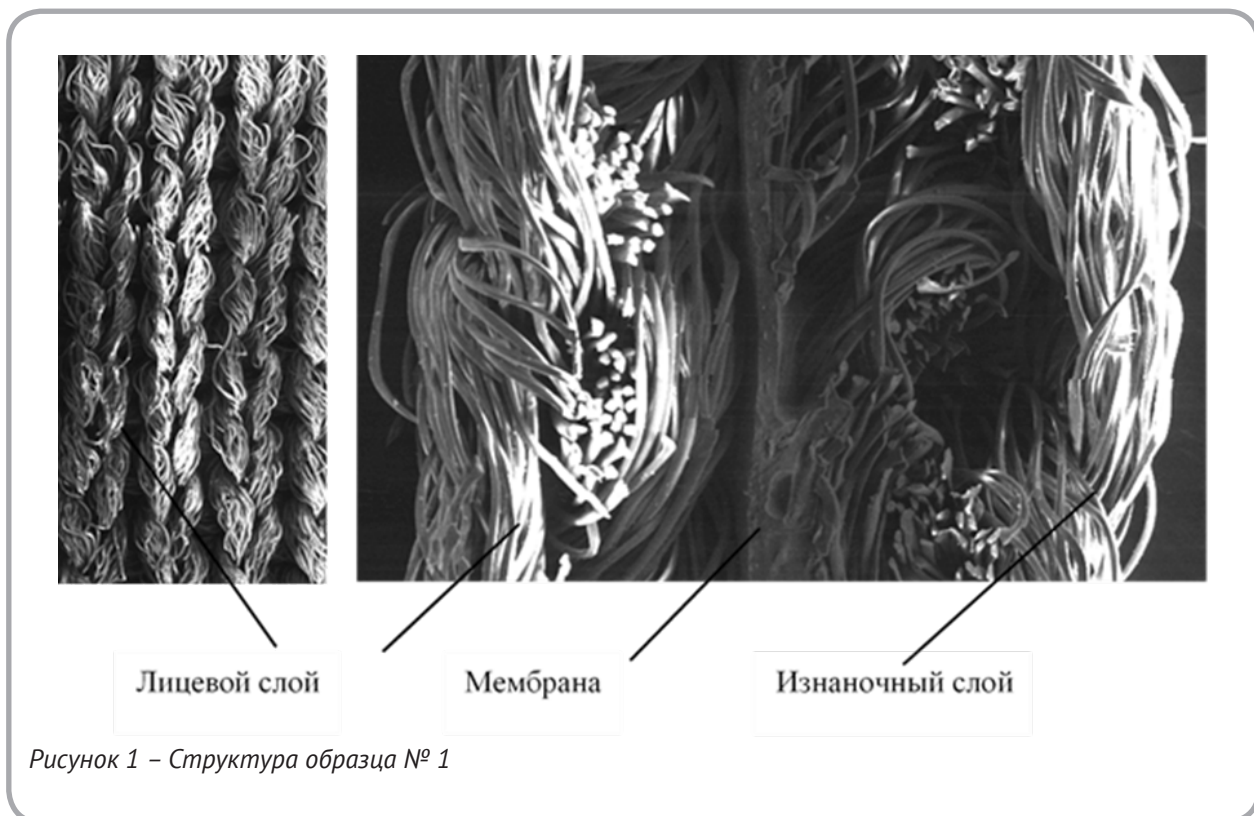
Структуру КСМ исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ)*, состав – методом ИК-спектроскопии. Технические характеристики микроскопа: разрешение 3 нм, увеличение ×4–1000000, максимальный размер кадра 4096×4096 *пикселей*.

Интерпретация результатов СЭМ и ИК-спектроскопии исследуемых образцов представлена в таблице 1. Микрофотографии образцов пред-

Таблица 1 – Характеристика структуры объектов исследования

Номер образца (артикул)	Характеристика структуры образца
1 (3L-Cor)	Лицевая и изнаночная сторона материала – полиэфирное трикотажное полотно переплетения кулирная гладь толщиной 240 <i>мкм</i> с плотностью вязания по горизонтали 410 петельных столбиков, по вертикали – 348 петельных рядов. Полотна соединены мембраной из полиуретановых и/или полиэфируретандиизоцианатных полимеров в виде непористой объемной пленки, толщиной около 10–20 <i>мкм</i> . Соединение слоев со стороны изнаночного полотна практически сплошное с проникновением полимера мембраны в межфиламентное пространство, со стороны лицевого полотна – точечное по опорным поверхностям петель
2 (2L-Sir)	Лицевая сторона материала – листовая монолитная непористая мембрана толщиной около 35 <i>мкм</i> из полиуретановых и/или полиэфируретандиизоцианатных полимеров. Изнаночная сторона – полиэфирное трикотажное полотно переплетения кулирная гладь толщиной 300 <i>мкм</i> с плотностью вязания по горизонтали 380 петельных столбиков, по вертикали – 290 петельных рядов. Скрепление текстильного полотна с мембраной точечное по опорным поверхностям
3 (2L-Gr)	Лицевая сторона материала – листовая монолитная непористая мембрана толщиной около 25 <i>мкм</i> из полиуретановых и/или полиэфируретандиизоцианатных полимеров. Изнаночная сторона – полиэфирное трикотажное полотно переплетения кулирная гладь толщиной 300 <i>мкм</i> с плотностью вязания по горизонтали 280 петельных столбиков, по вертикали – 280 петельных рядов. Скрепление текстильного полотна с мембраной точечное по опорным поверхностям

ставлены на рисунках 1 и 2.



Характеристика образцов и показатели их физико-механических свойств представлены в таблице 2. При исследовании показателей физико-механических свойств использовали нормативную базу, указанную в таблице 2, и поверенное оборудование испытательного центра УО «ВГТУ».

Учитывая изложенные в литературных источниках [5, 6, 7] сообщения о влиянии на износостойкость КСМ степени гидрофильности полимера мембраны, проводили исследование водопоглощения мембранного слоя, отделяя его свободный край от текстильных слоев вдоль кромки образцов.

Для исследования показателя водонепроницаемости использовали новый прибор, разработанный в рамках задания 6.81 ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии», выполняемого по подпрограмме «Полимерные материалы и технологии» на тему «Разработка методики оценки и прогнозирования свойств полимерных композиционных слоистых материалов». Прибор прошел апробацию в испытательном центре УО «ВГТУ» и используется для исследования водонепроницаемости КСМ, выдерживающих без промокания давление воды свыше 500 *кПа*.

Для растяжимых КСМ на трикотажной основе особый интерес представляет возможность исследования влияния растяжения в различных температурно-влажностных условиях на уро-

вень их водонепроницаемости. Для обеспечения такой возможности сотрудниками кафедры «Техническое регулирование и товароведение» УО «ВГТУ» разработана методика и установка, представляющая собой флексометр, установленный в климатической камере [8]. Методика предполагает моделирование эксплуатационных механических нагрузок в климатической камере при воздействии на материалы любого заданного количества циклов изгиба или растяжения в диапазоне температур от минус 40 °С до плюс 150 °С при различной влажности в соответствии с назначением материала [9].

Для реализации цели исследования на основании анализа источников литературы [2, 10, 11, 12], свойств и области применения объектов исследования устанавливали следующие неизменные условия опыта: растяжение (10±1) % от первоначальной длины пробы, скорость воздействия (120±5) циклов в минуту.

Схема нагружения образцов представлена на рисунке 3. Для опыта выкраивали по три прямоугольные элементарные пробы каждого образца размером 70×230 *мм*. Длинная сторона пробы – в направлении наибольшей растяжимости КСМ (вдоль петельных рядов для всех трех образцов). Ход подвижного зажима устанавливали в соответствии с запланированными условиями опыта.

Для оценки степени совместного влияния многократного растяжения и пониженной температуры воздуха на стабильность уровня водо-

Таблица 2 – Физико-механические свойства образцов

Номер образца	1	2	3	Метод испытаний	
Общая толщина, <i>мм</i>	0,45	0,35	0,25	ГОСТ 12023-93	
Поверхностная плотность, <i>г/м²</i>	148	134	98	ГОСТ 8845-87	
Водонепроницаемость, <i>МПа</i>	1,00	0,80	1,00	ГОСТ 413-91	
Паропроницаемость, <i>г/м²/24ч</i>	1048	1056	1074	ГОСТ Р 57514-2017	
Водопоглощение мембраны, %	26	5	4	ГОСТ 3816-81	
Жесткость, <i>мкН·см²</i>	196	123	97	ГОСТ 10550-93	
Растяжимость при нагрузках меньше разрывных, %, в направлении:	петельных столбиков	15	16	21	ГОСТ 8847-85
	петельных рядов	20	17	23	
Необратимая деформация, %, в направлении:	петельных столбиков	0	0,5	0,5	
	петельных рядов	0	0	0,5	

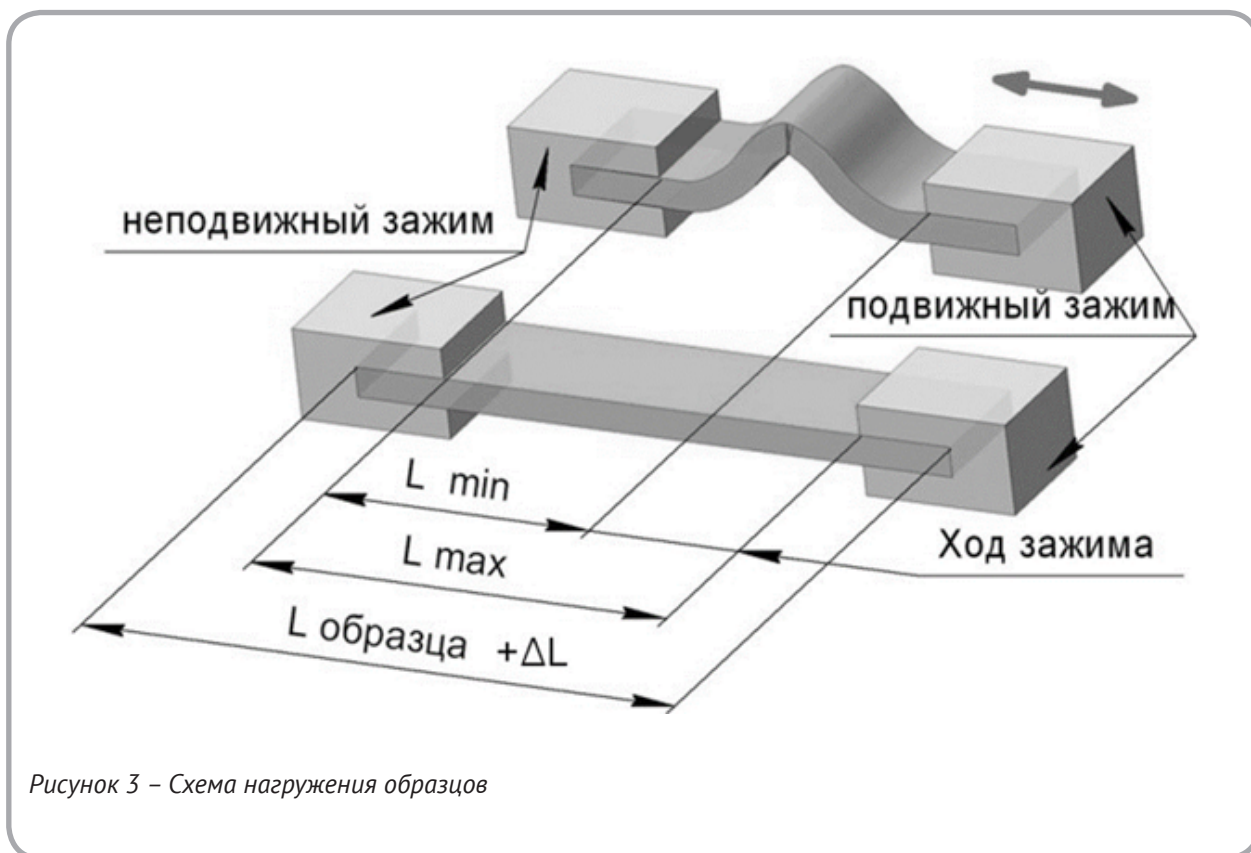


Рисунок 3 – Схема нагружения образцов

непроницаемости КСМ проводили полный факторный эксперимент. Варьировали следующие факторы: температуру в климатической камере и количество циклов растяжения. До и после моделирования эксплуатационного износа проводили исследование водонепроницаемости КСМ. Диапазон варьирования факторов устанавливали исходя из опыта предыдущих исследований КСМ на тканой основе и предполагаемых условий эксплуатации материалов.

Управляемые факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 3. Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 4. Результаты эксперимента обработаны с

помощью программы «Statistica for Windows» по методике, изложенной в источнике [13].

Уравнения регрессии для исследуемых образцов имеют вид (1, 2, 3):

$$Y_1 = 0,687 + 0,024 \cdot X_2 ; \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,687 + 0,069 \cdot X_2 + 0,002 \cdot X_2^2 ; \quad (2)$$

$$Y_3 = 0,560 + 0,056 \cdot X_2 + 0,001 \cdot X_2^2 . \quad (3)$$

Таблица 3 – Управляемые факторы и уровни их варьирования

Обозначение и наименование факторов	Уровни варьирования			Интервал
	-1	0	+1	
X_1 – растяжение, циклы	20000	60000	100000	40000
X_2 – температура воздуха, °C	-30	-15	0	15

Таблица 4 – Матрица планирования эксперимента

№ п/п	Кодированные значения		Натуральные значения		Y_1 Водонепроницаемость образца № 1, МПа	Y_2 Водонепроницаемость образца № 2, МПа	Y_3 Водонепроницаемость образца № 3, МПа
	X_1 Растяжение	X_2 Температура воздуха	X_1 Растяжение, циклы	X_2 Температура воздуха, °C			
1	-1	+1	20000	0	1,00	0,76	0,70
2	-1	0	20000	-15	0,26	0,00	0,00
3	-1	-1	20000	-30	0,00	0,00	0,00
4	0	+1	60000	0	0,60	0,70	0,50
5	0	0	60000	-15	0,22	0,00	0,00
6	0	-1	60000	-30	0,00	0,00	0,00
7	+1	+1	100000	0	0,60	0,60	0,48
8	+1	0	100000	-15	0,20	0,00	0,00
9	+1	-1	100000	-30	0,00	0,00	0,00

Оценка качества моделей показала, что регрессионная модель (1) объясняет 84 %, модель (2) – 98 %, модель (3) – 95 % дисперсии.

Исходя из анализа коэффициентов всех моделей, можно сделать вывод, что на стабильность уровня водонепроницаемости исследуемых эластичных КСМ при их многократном растяжении в условиях пониженной температуры воздуха больше всего влияет температура – чем она ниже, тем ниже значение водонепроницаемости образца после комбинированного воздействия.

В выбранном диапазоне многократных растяжений при установленной в опыте величине растяжения 10 % количество циклов нагружения роли практически не играет, поскольку коэффициенты при переменной X_1 (растяжение) незначимы.

Корреляционный анализ результатов эксперимента показал, что связь водонепроницаемости и температуры линейная, прямая и тесная. Получены коэффициенты линейной корреляции для трех образцов 0,92; 0,86 и 0,85 соответственно. Связь с количеством циклов нагружения для всех трех образцов практически не наблюдается – коэффициенты составили: минус 0,19; минус 0,07 и минус 0,11 соответственно. Поверхно-

сти отклика для исследуемых образцов показаны на рисунках 4–6.

Анализ полученных моделей и поверхностей отклика показал, что они различаются для трехслойного и двухслойных образцов. Для трехслойного образца № 1 изучаемая зависимость линейная и поверхность отклика ровная. Образец № 1 показал наиболее стабильный уровень водонепроницаемости из трех исследуемых образцов. Он обладает большей толщиной и жесткостью, в общей его толщине доля толщины мембраны наименьшая (1:20 против 1:9 и 1:12). Кроме того, мембрана этого образца обладает наибольшим водопоглощением среди исследуемых образцов (26 % против 4 % и 5 %), то есть очень ярко проявляет гидрофильность. Плотность вязания у этого образца наибольшая, связь слоев друг с другом более выражена – со стороны изнаночного полотна соединение мембраны с текстилем не поверхностное, а объемное. Все эти особенности, возможно, обуславливают наибольшую эксплуатационную устойчивость данного образца. В процессе испытаний при наблюдении за ходом опытов было отмечено, что образец № 1 при комбинированном воздействии температуры ниже минус 15 °C и многократно-

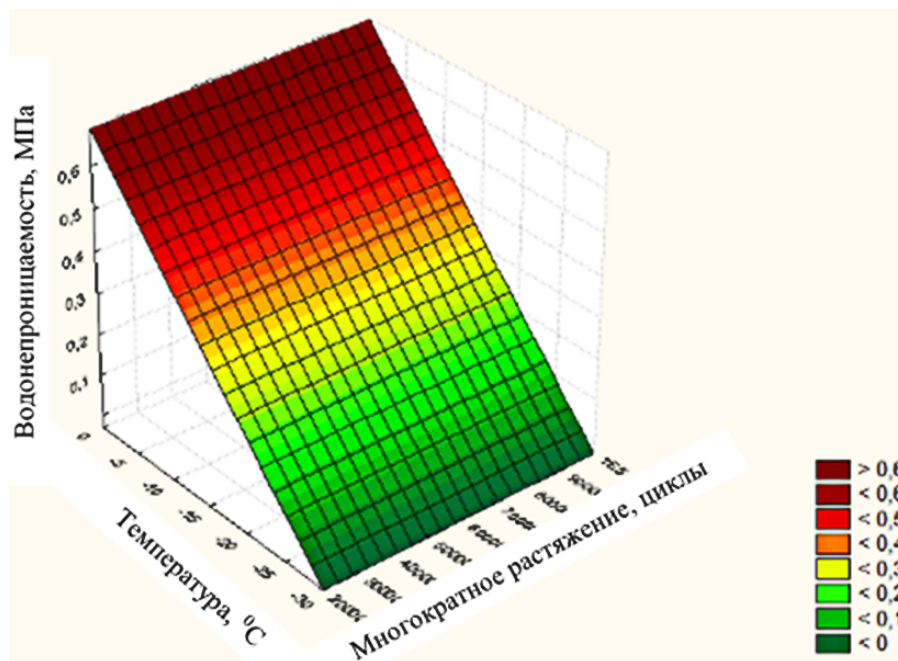


Рисунок 4 – Поверхность отклика образца № 1

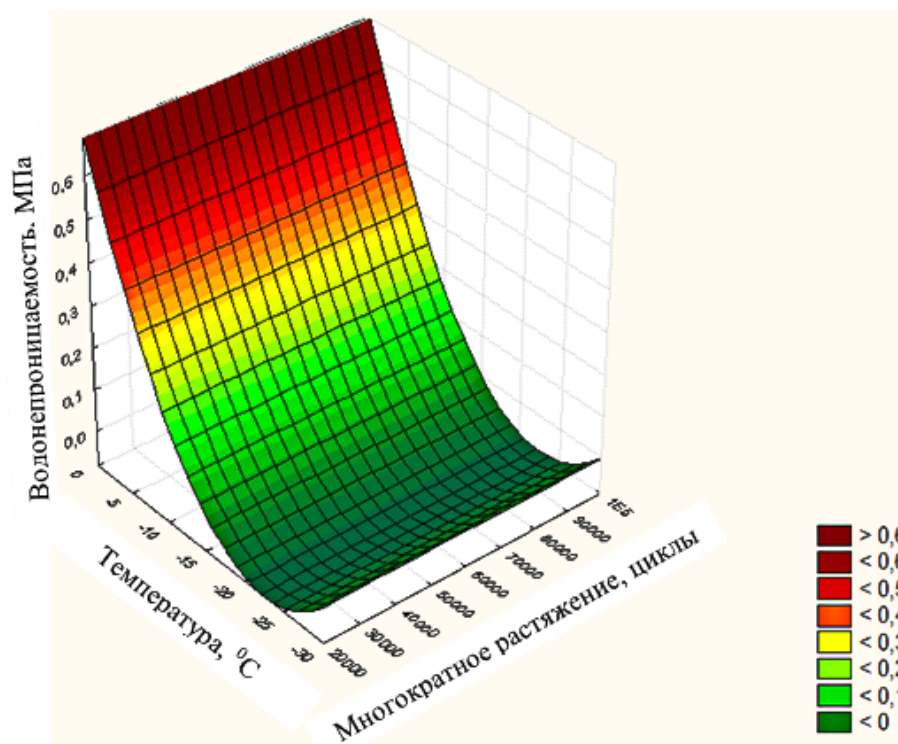


Рисунок 5 – Поверхность отклика образца № 2

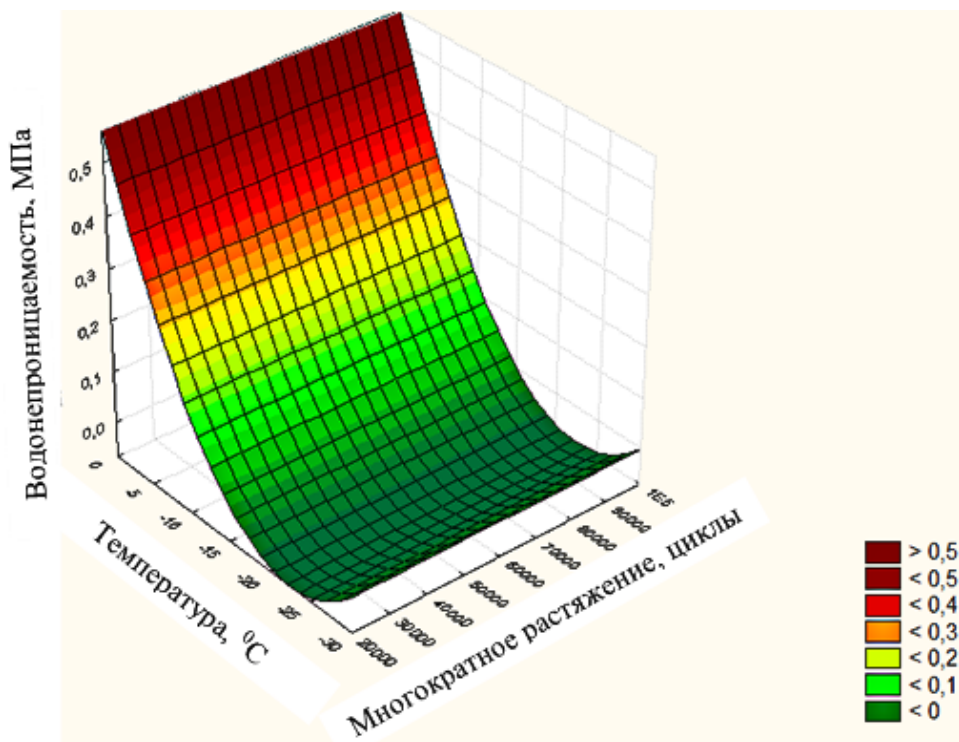


Рисунок 6 – Поверхность отклика образца № 3

го растяжения оставался пластичным, в то время как двухслойные образцы № 2 и № 3 уже при температуре минус 10 °С становились жесткими, а после понижения температуры до минус 15 °С на них появлялись трещины мембранного слоя, заметные невооруженным глазом. На поверхностях отклика мы наблюдаем плавный переход от линейной зависимости к сглаженной кривой второго порядка, хотя в реальности – это конкретный момент, после которого материал становится проницаемым для воды, просто он не был зафиксирован из-за большого интервала варьирования температуры. Очевидно, что никакого повышения водонепроницаемости после ее снижения до нуля не происходит. То есть имеет место скорее линейная зависимость, нежели квадратичная. При изменении моделей 2 и 3 на линейные значения коэффициентов детерминации составили 73 % и 71 % соответственно.

В результате выполненного анализа факторов можно сделать следующие выводы:

- двухфакторный дисперсионный анализ показывает, что совместное влияние понижен-

ной температуры и растяжения влияет на водонепроницаемость эластичных КСМ и наиболее существенное воздействие при их многократном растяжении на 10 % от начальной длины в условиях пониженной температуры воздуха в диапазоне от 0 °С до минус 30 °С оказывает температура. Поэтому для прогнозирования водонепроницаемости изделий из таких материалов при пониженной температуре воздуха достаточно выполнить испытание на комбинированное термомеханическое воздействие при экстремальной температуре эксплуатации, подвергая образцы 20 000 циклов растяжения. Такое испытание займет всего 2,5 часа, а по его результатам можно будет прогнозировать изменение уровня водонепроницаемости материала в диапазоне от 20 000 до 100 000 циклов растяжения, что приблизительно соответствует 4–5 месяцам носки [2];

- влияние структуры КСМ на стабильность водонепроницаемости в условиях многоциклового растяжения при пониженной температуре воздуха прослеживается в плане соотношения

толщин мембраны и текстиля, типа связи слоев друг с другом, плотности вязания текстильных слоев, но должно быть изучено на большей выборке образцов;

– результаты испытаний показали, что мембрана образца с более стабильным уровнем водонепроницаемости обладает наибольшим водопоглощением среди исследуемых образцов, поэтому возможно, что мембраны с высокой степенью гидрофильности более устойчивы к воздействию пониженных температур;

– для дальнейших исследований свойств эластичных КСМ при моделировании эксплуатации в условиях пониженной температуры воздуха необходимо формировать отдельные выборки схожих по структурным показателям материалов с различным соотношением толщин мембраны и текстиля; с различным типом связи слоев друг с другом; с различной плотностью вязания слоев; с различной степенью гидрофильности мембраны. Применяя последовательно к таким выборкам КСМ моделирование эксплуатации при 20 000 циклов растяжения на (10 ± 1) % от начальной длины со скоростью (120 ± 5) циклов в минуту в условиях температуры эксплуатации, можно будет установить закономерность и степень влияния других факторов, которые при пилотном исследовании проявили себя достойными внимания.

Таким образом, практическая значимость выполненной работы заключается в том, что установлен вид зависимости уровня водонепроницаемости растяжимых КСМ от температуры при моделировании их эксплуатации в диапазоне от 0°C до минус 30°C – линейная; определено количество циклов испытания и условия моделирования эксплуатации, позволяющие за относительно короткое время получить результаты, пригодные для прогнозирования уровня водонепроницаемости КСМ, что обеспечивает рациональный выбор материалов в пакет швейных изделий. Намечены принципы формирования выборок КСМ для исследования факторов, возможно влияющих на стабильность водонепроницаемости эластичных КСМ при эксплуатации в условиях пониженной температуры воздуха.

* испытания проводили в Белорусском республиканском центре зондовой микроскопии Института механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель, с помощью электронного микроскопа VEGA II LSH с системой энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 250 ADD и программным обеспечением, ИК-спектрофотометра с Фурье-преобразованием Nexus 5700 и программным обеспечением OMNIC 7.1.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рахимов Фарход (2013), *Основы разработки конструкций и технологий трикотажно-армированных полифункциональных композиций: учебное пособие*, Ташкент, Янги Аср Авлоди, 248 с.
2. Гущина, К. Г., Беляева, С. А., Командирова, Е. Я. (1984), *Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества*, Москва, Лёгкая и пищевая промышленность, 312 с.
3. Шустов, Ю. С. (2012), *Основы научных исследо-*

REFERENCES

1. Rakhimov Farhod (2013), *Osnovy razrabotki konstrukcij i tekhnologij trikotazhno-armirovannyh polifunkcional'nyh kompozitov: uchebnoe posobie* [Fundamentals of Design Development and Technology of Knitted Reinforced Polyfunctional Composites: Textbook], Tashkent, Yangi Asr Avlod, 248 p.
2. Gushchina, K. G., Belyaeva, S. A., Komandirova, E. Ya. (1984), *Ekspluatacionnye svojstva materialov dlya odezhdy i metody ocenki ih kachestva* [Operational properties of materials for clothing and methods of assessing their quality], Moscow,

- ваний свойств текстильных материалов: монография, Москва, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 120 с.
4. Панкевич, Д. К., Ивашко, Е. И. (2020), Влияние эксплуатационных воздействий на уровень водонепроницаемости композиционных текстильных материалов с мембраной, Новые технологии и материалы легкой промышленности, *Материалы Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых*, Казань, 2020, С. 361–368.
 5. Jassal, M., Khungar, A., Bajaj, P. (2004), Waterproof breathable polymeric coatings based on polyurethane, *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 33, № 4, pp. 269–280.
 6. Williams, J. T. (2018), *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*, UK, Woodhead Publishing, 590 p.
 7. Lomax, G. R. (1990), Hydrophilic polyurethane coatings, *Journal of coated fabrics*, Vol. 20, № 2, pp. 88–107.
 8. Буркин, А. Н., Борозна, В. Д., Лядова, А. С., Панкевич, Д. К., Радюк, А. Н., Терентьев, А. А. (2020), Установка для испытания эластичных полимерных материалов, патент РБ № 12574, МПК G01N3/20, заявлено 2020.04.04; опубликовано 30.04.2021, Бюл. № 2.
 9. Панкевич, Д. К., Буркин, А. Н., Ивашко, Е. И. (2020), Методика исследования водонепроницаемости мембранных материалов при моделировании условий эксплуатации, Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов, *Материалы 7-й международной научно-технической конференции и выставки*, Могилев, 2020, С. 139–145.
 10. Туханова, В. Ю., Тихонова, Т. П., Федотова, И. В. (2017), *Методы оценок потребительских свойств материалов и конструкций узлов швейных изделий при инженерном конфецио-*
Light and Food Industry, 312 p.
 3. Shustov, Y. S. (2012), *Osnovy nauchnyh issledovaniy svoystv tekstil'nyh materialov: monografiya* [Fundamentals of scientific research properties of textile materials: monograph], Moscow, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "A.N. Kosygin Moscow State Technical University", 120 p.
 4. Pankiewicz, D. K., Ivashko, E. I. (2020), Effect of operational effects on the level of water resistance of composite textile materials with membrane [Vliyanie ekspluatatsionnyh vozdeystvij na uroven' vodonepronicamaosti kompozitsionnyh tekstil'nyh materialov s membranoj], New technologies and materials of light industry, *Proceedings of the All-Russian Scientific-Practical Conference with elements of scientific school for students and young scientists*, Kazan, 2020, P. 361–368.
 5. Jassal, M., Khungar, A., Bajaj, P. (2004), Waterproof breathable polymeric coatings based on polyurethane, *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 33, № 4, pp. 269–280.
 6. Williams, J. T. (2018), *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*, UK, Woodhead Publishing, 590 p.
 7. Lomax, G. R. (1990), Hydrophilic polyurethane coatings, *Journal of coated fabrics*, Vol. 20, № 2, pp. 88–107.
 8. Burkin, A. N., Borozna, V. D., Lyadova, A. S., Pankevich, D. K., Radyuk, A. N., Terentyev, A. A. (2020), Ustanovka dlya ispytaniya elastichnyh polimernykh materialov [Installation for testing elastic polymeric materials], patent RB No. 12574, IPC G01N3/20, applied 2020.04.04; published 30.04.2021, Bulletin No. 2.
 9. Pankiewicz, D. K., Burkin, A. N., Ivashko, E. I. (2020), Methodology for investigating the water permeability of membrane materials under simulated operating conditions [Metodika issle-

нировании: учебное пособие, Москва, Издательский дом Академии Естествознания, 144 с.

11. Лисиенкова, Л. Н. (2010), *Развитие теории и методов исследования деформационных свойств материалов при воздействии технологических и эксплуатационных факторов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук*, МГУТД, Москва, 37 с.
12. Жихарев, А. П., Фукина, О. В., Абдуллин, И. Ш., Махоткина, Л. Ю. (2011), *Влияние факторов окружающей среды на материалы легкой промышленности: монография*, Казань, КГТУ, 231 с.
13. Дягилев, А. С., Коган А. Г. (2007), *Методы и средства исследований технологических процессов: учебное пособие*, Витебск, УО «ВГТУ», 208 с.
- dovaniya vodopronicaemosti membrannykh materialov pri modelirovanii uslovij ekspluatatsii], *Modern Methods and Instruments for Quality Control and Diagnostics of the State of Objects, Proceedings of the 7th International Scientific and Technical Conference and Exhibition*, Mogilev, 2020, P. 139–145.
10. Tukhanova, V. Yu., Tikhonova, T. P., Fedotova, I. V. (2017), *Metody ocenok potrebitel'skikh svoystv materialov i konstrukcij uzlov shvejnykh izdelij pri inzhenernom konfekcionirovanii: uchebnoe posobie* [Methods for assessing the consumer properties of materials and designs of garment knots in engineering confectioning: textbook], Moscow, Publishing house of the Academy of Natural Sciences, 144 p.
11. Lisienkova, L. N. (2010), *Razvitie teorii i metodov issledovaniya deformacionnykh svoystv materialov pri vozdeystvii tekhnologicheskikh i ekspluatatsionnykh faktorov: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Development of Theory and Methods of Investigation of Deformation Properties of Materials under the Influence of Technological and Operational Factors: Abstract of Ph. D. in Technical Sciences], Moscow State University of Transport Engineering, Moscow, 37 p.
12. Zhikharev, A. P., Fukina, O. V., Abdullin, I. S., Makhotkina, L. Yu. (2011), *Vliyanie faktorov okruzhayushchej sredy na materialy legkoj promyshlennosti: monografiya* [Influence of environmental factors on light industry materials: monograph], Kazan, KSTU, 231 p.
13. Dyagilev, A. S., Kogan, A. G. (2007), *Metody i sredstva issledovaniy tekhnologicheskikh processov: uchebnoe posobie* [Methods and means of technological processes research: textbook], Vitebsk, EE "VG TU", 208 p.

Статья поступила в редакцию 05. 05. 2021 г.