

**СЕКЦИЯ 5. «СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ И НАНОМАТЕРИАЛОВ»**

УДК 677.017.8

DOI: 10.37816/eeste-2021-2-134-138

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ НА СВОЙСТВА ВОДОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ  
INFLUENCE OF TEMPERATURE AND HUMIDITY ON THE PROPERTIES OF WATERPROOF MATERIALS FOR SPECIAL CLOTHING**

**Ивашко Екатерина Игоревна, Буркин Александр Николаевич  
Ekaterina I. Ivashko, Alexander N. Burkin**

*Витебский государственный технологический университет,  
Республика Беларусь, Витебск  
Vitebsk State Technological University, Belarus, Vitebsk  
(e-mail: ivashkokatrinka@mail.ru; standart.vstu@yandex.by)*

*Аннотация:* В статье представлены результаты исследования влияния температуры и влажности при моделировании условий эксплуатации на водопроницаемость мембранных материалов двухслойной структуры на текстильной основе с гидрофобным мембранным слоем. В ходе проведенной работы установлено, что на изменение уровня водопроницаемости в большей степени оказывает влияние изменение температуры.

*Abstract:* The article presents the results of a study of the effect of temperature and humidity when simulating operating conditions on the water permeability of membrane materials of a two-layer structure on a textile basis with a hydrophobic membrane layer. In the course of the work carried out, it was found that the change in the level of water permeability is largely influenced by the change in temperature.

*Ключевые слова:* водопроницаемость, мембранные материалы, температура, влажность, многоциклового изгиб.

*Keywords:* water permeability, membrane materials, temperature, humidity, multi-cycle bending.

Для изготовления специальной одежды используют материалы, обеспечивающие защиту человека от внешних воздействий. Опасности высоких или низких температур, искр, пламени, кислот и щелочей, влаги, ветра и механических воздействий требуют использования разных материалов, отличающихся не только по составу, но и по структуре, виду пропитки или дополнительного покрытия.

Сегодня во всем мире большое внимание уделяется композиционным материалам, представляющим достойную альтернативу традиционным однокомпонентным материалам. Благодаря своей сложной структуре эти материалы обладают повышенными потребительскими свойствами. Среди материалов для одежды к композиционным относятся мембранные материалы, обладающие высоким уровнем водопроницаемости. Мембранный слой, обеспечивающий потребительскую ценность этих материалов, может быть пористым (из гидрофобных полимеров), монолитным (из гидрофильных полимеров) или комбинированным [1-3]. Ассортимент мембранных одежных материалов открывает перед производителями одежды специального назначения новые возможности обеспечения защиты от неблагоприятных погодных условий, улучшения микроклимата в пододёжном пространстве при значительном облегчении пакета материалов. Однако в Республике Беларусь производство таких материалов только налаживается и исследовательского материала о стабильности уровня водопроницаемости в зависимости от действия различных факторов недостаточно.

Условия эксплуатации текстильных материалов для специальной одежды таковы, что материалы подвергаются многократным механическим и физико-химическим воздействиям, которые приводят к изменению уровня свойств материалов. Мембранным материалам присущ изначально высокий уровень водопроницаемости и неизвестно, какое влияние оказывают температура и влажность окружающего воздуха на их водозащитные свойства в процессе эксплуатации.

В рамках выполнения задания по Государственной программе научных исследований «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» в УО «ВГТУ» была разработана методика, позволяющая прогнозировать стабильность уровня водопроницаемости мембранных материалов при эксплуатации [4]. Методика может быть использована при контроле качества мембранных текстильных материалов для одежды и устанавливает общие требования к проведению испытаний на стабильность уровня водопроницаемости при многократном изгибе и различных температурно-влажностных воздействиях. Результаты апробации методики при нормальных условиях описаны в источнике [5].

Методика [4] применена для определения степени влияния температуры и влажности на уровень водопроницаемости мембранных материалов двухслойной структуры с пористым гидрофобным полиэфируретановым мембранным слоем. Был проведен полный факторный эксперимент, включающий моделирование эксплуатационных воздействий на материалы для водозащитной специальной одежды, эксплуатируемой в течение 1 года в осенне-весенний период на территории Республики Беларусь.

Цель работы – установить степень сохранности водозащитных свойств и приоритет факторов, влияющих на водопроницаемость мембранных материалов для одежды, защищающей от воды, в условиях эксплуатации.

В качестве исследуемых образцов были выбраны три артикула мембранных материалов двухслойной структуры, выработанных на тканой основе, применяемых для изготовления водозащитной одежды специального назначения, используемой в весенне-осенний период. Полимерный мембранный слой всех образцов - пористый гидрофобный полиэфируретановый. Характеристика исследуемых образцов представлена в таблице 1. При определении водопроницаемости материалов использовался гидростатический прибор и методика, характеристика которых представлена в источнике [6].

Испытание проводили по методике [4] с использованием флексометра типа ИПК-2М, установленного в климатической камере УТН-408-40-1Р. Прибор моделирует сложное деформированное состояние пробы материала, соответствующее реальным условиям эксплуатации: циклические знакопеременный изгиб, кручение, сжатие и растяжение. Образцы подвергали 15 000 циклов многократного изгиба, что по данным К. Г. Гущиной [7] соответствует в среднем году носки.

**Таблица 1** – Характеристика исследуемых образцов

Номер образца	Сырьевой состав текстильного слоя	Описание структуры мембранного слоя	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Переплетение тканого текстильного слоя	Начальный уровень водопроницаемости, МПа
1	Полиэфир	Гидрофобный Пористый	135	полотняное	0,10
2	Полиамид		142	саржевое	0,19
3	Полиэфир		125	полотняное	0,07

Диапазон и интервалы варьирования управляемых факторов определяли исходя из данных средних значений многолетних наблюдений климатических характеристик в весенне-осенний период на территории Республики Беларусь [8]. Управляемые факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 2. Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 3.

**Таблица 2** – Управляемые факторы и уровни их варьирования

Обозначение и наименование факторов	Уровни варьирования			Интервал
	-1	0	+1	
X <sub>1</sub> – температура воздуха (Т)	0	+5	+10	5 °С
X <sub>2</sub> – влажность воздуха (W)	60	70	80	10 %

**Таблица 3** – Матрица планирования эксперимента

№ п/п	Кодированные значения		Натуральные значения		Y1 Водопроницаемость образца №1, МПа	Y2 Водопроницаемость образца №2, МПа	Y3 Водопроницаемость образца №3, МПа
	X <sub>1</sub> Температура воздуха, °С	X <sub>2</sub> Влажность воздуха, %	X <sub>1</sub> Температура воздуха, °С	X <sub>2</sub> Влажность воздуха, %			
1	+1	+1	+10	80	0,08	0,15	0,04
2	+1	0	+10	70	0,09	0,16	0,04
3	+1	-1	+10	60	0,09	0,17	0,05
4	0	+1	+5	80	0,07	0,12	0,02
5	0	0	+5	70	0,07	0,13	0,02
6	0	-1	+5	60	0,08	0,14	0,03
7	-1	+1	0	80	0,04	0,11	0
8	-1	0	0	70	0,05	0,12	0,01
9	-1	-1	0	60	0,06	0,13	0,01

Далее с помощью прикладного программного пакета для эконометрического моделирования «Gretl» были найдены оценки коэффициентов регрессии. Уравнения регрессии для исследуемых образцов имеют вид (1.1 – 1.3):

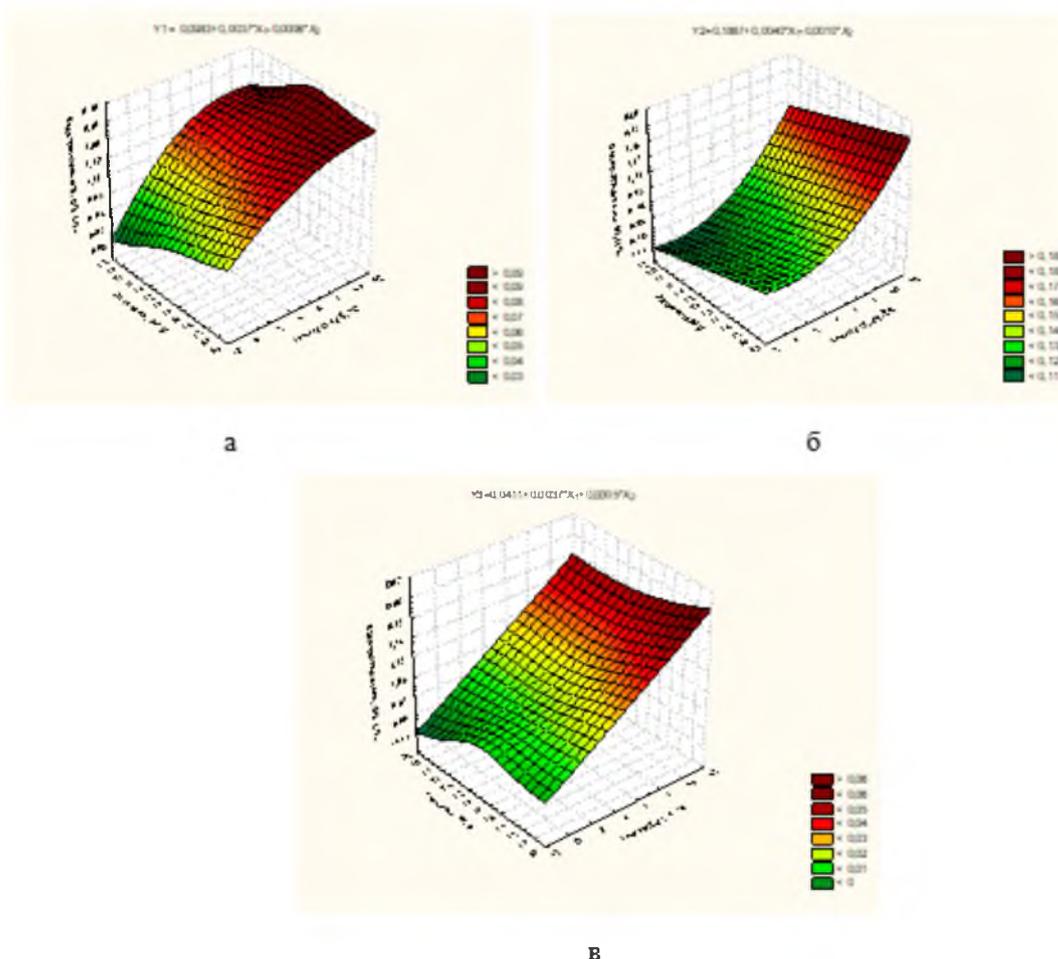
$$Y1=0,0983+0,0037 \cdot X_1-0,0006 \cdot X_2 \quad (1.1)$$

$$Y2=0,1867+0,0040 \cdot X_1-0,0010 \cdot X_2 \quad (1.2)$$

$$Y3=0,0411+0,0037 \cdot X_1-0,0005 \cdot X_2 \quad (1.3)$$

Оценка качества моделей показала, что регрессионная модель (1.1) объясняет 95%, (1.2) – 94%, а (1.3) – 97% изменений выходного параметра. Коэффициенты регрессионных уравнений значимы. С помощью пакета прикладных программ «Statistica for Windows» были построены поверхности отклика моделей (рисунок 1а – для 1.1; 1б – для 1.2; 1в – для 1.3), представленные на рисунке 1.

На рисунке 1 прослеживается явная зависимость уровня водопроницаемости от температуры окружающего воздуха. Самые низкие значения уровня водопроницаемости после многоцикловых нагрузок в 15 000 циклов наблюдаются при 0 °С у всех исследуемых образцов. Образцы №1 и №2 сохранили более 40% от начального уровня водопроницаемости, тогда как образец №3 полностью утратил свои водозащитные свойства при воздействии на него нулевой температуры воздуха. В связи с этим образец №3 не рекомендуется для изготовления водозащитной спецодежды, поскольку при эксплуатации в течение года в климатических условиях, характерных для Республики Беларусь, он может полностью потерять способность защищать от воды.



**Рисунок 1** – Поверхности отклика рассматриваемых регрессионных моделей

Для накопления исследовательских знаний в вопросе влияния различных факторов на уровень водопроницаемости мембранных материалов целесообразно провести полный факторный эксперимент по методике [4], где в качестве входного параметра будет использоваться количество циклов многоциклового нагружки.

#### **Выводы**

В процессе эксплуатации неизбежно происходит падение уровня показателя водопроницаемости. Анализируя полученные регрессионные модели и поверхности отклика можно сделать заключение о том, что на уровень водопроницаемости незначительное влияние оказывает изменение уровня влажности окружающего воздуха в рассматриваемом диапазоне, обусловленном условиями эксплуатации.

Основным фактором, влияющим на водопроницаемость мембранных материалов двуслойной структуры на тканой основе с гидрофобным мембранным слоем, применяемых для изготовления водозащитной одежды специального назначения в заявленных условиях эксплуатации, является температура воздуха.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Lomax G.R.* Breathable polyurethane membranes for textile and related industries // Journal of Materials Chemistry, 2007. Issue 27 P.2775
2. *Sen A.K.* Coated Textiles: Principles and Applications. Florida: CRC Press, Boca Raton, 2008. P. 241
3. *Абдуллин И. Ш., Ибрагимов Р. Г., Зайцева О. В., Парошин В. В.* Современные методы изготовления композиционных мембран // Вестник казанского технологического университета, 2013. Т. 16 № 9 С. 24.

4. Панкевич Д. К., Буркин А. Н., Ивашко Е. И. Методика исследования водопроницаемости мембранных материалов при моделировании условий эксплуатации // сборник статей 7-й Междунар. науч.-технич. конф. «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов». Могилев: Белорусско-Российский университет, 2020. С. 139.

5. Панкевич Д. К., Ивашко Е. И. Влияние эксплуатационных воздействий на уровень водонепроницаемости композиционных текстильных материалов с мембраной // сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности». Казань: КНИТУ, 2020. С. 361.

6. Буркин А. Н., Панкевич Д. К. Водонепроницаемость текстильных материалов. Разработка методики и прибора для исследования // Стандартизация. 2016. Вып. 4. С. 52.

7. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества: справочник / Под ред. Гущиной К. Г. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1984. С. 312.

8. Данные средних значений многолетних наблюдений климатических характеристик // 2021. <https://belgidromet.by>

УДК 691.175

DOI: 10.37816/eeste-2021-2-138-141

**ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ВОЛОКНОПОЛНЕННЫХ ПОЛИАМИДНЫХ КОМПОЗИТОВ  
THE FEATURES OF ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGY OF FIBER-FILLED  
POLYAMIDE COMPOSITES**

**Волкова Евгения Сергеевна\*, Борисова Наталья Валерьевна\*\*,  
Устинова Татьяна Петровна\*\*  
Evgeniya S. Volkova\*, Nataliya V. Borisova\*\*, Tatyana P. Ustinova\*\***

*\*Саратовский государственный технический университет – СГТУ имени  
Гагарина Ю.А., Россия, Саратов*

*\*Saratov State Technical University - SSTU named  
Gagarin Yu. A., Russia, Saratov (e-mail: sstu\_office@sstu.ru)*

*\*\*Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного  
технического университета имени Гагарина Ю.А. - ЭТИ СГТУ имени Гагарина Ю.А.*

*\*\*Engels Technological Institute (branch) Saratov State Technical University named Gagarin Yu. A.  
- ETI SSTU named Gagarin Yu. A., Russia, Engels  
(e-mail: eti@techn.sstu.ru)*

*Аннотация:* Показана перспективность использования энергоресурсоэффективного метода полимеризационного совмещения компонентов при получении композиционного материала с повышенными физико-механическими свойствами на основе полиамида 6 и полиакрилонитрильного технического жгутика.

*Abstract:* The prospects of using the energy-resource-efficient method of polymerization combination of components in the production of a composite material with increased physical and mechanical properties based on polyamide 6 and polyacrylonitrile technical flagellum are shown.

*Ключевые слова:* ε-капролактан, полиамид, полиакрилонитрильный технический жгут – ПАН-ТЖ, полимеризационное совмещение.

*Keywords:* ε-caprolactam, polyamide, polyacrylonitrile technical flagellum-PAN-TJ, polymerization combination

Актуальной задачей современных промышленных производств, во многом определяющей перспективы их развития, является необходимость повышения