

Комплексная оценка свойств влагозащитных материалов для специальной одежды

Е. И. Ивашко

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

Аннотация. Длительное воздействие воды негативно сказывается на здоровье человека, приводит к различным заболеваниям и снижает производительность труда. Одну из главных ролей в обеспечении водозащитных свойств изделий играют материалы, из которых эти изделия изготовлены. Придание текстильным материалам особых свойств достигается путем их специальной отделки. Каждый вид такой отделки служит для улучшения конкретного потребительского свойства. Наиболее распространенными способами придания водозащитных свойств являются – водоотталкивающая пропитка и нанесение покрытия. Ассортимент современных влагозащитных материалов позволяет производителям одежды значительно облегчить пакет материалов, сохранив при этом комфортный микроклимат в пододежном пространстве и высокую степень защиты от неблагоприятных погодных условий.

Целью работы является оценка свойств влагозащитных материалов для изготовления специальной одежды с помощью методики комплексной оценки, позволяющей определить качество материалов на этапе входного контроля и отличающейся от известных тем, что обеспечивает выбор наиболее пригодного материала для выполнения защитной функции изделия.

На основании действующих технических нормативных правовых актов и анализа литературных источников были отобраны единичные показатели качества. Для определения их весомости применяли экспертный метод, который основан на присвоении рангов единичным показателям. Для определения показателей качества использовали как стандартные методики, так и авторские, исключая недочеты стандартных. В качестве объектов исследования были выбраны влагозащитные материалы, имеющие тканую основу из полиэфирных нитей, выполненную полотняным переплетением и содержащие в своей структуре мембранный слой, выполненный из полиэфируретана с различными добавками.

В ходе исследования установлена эффективность применения методики комплексной оценки свойств влагозащитных материалов схожих структур и сырьевого состава для выбора образца с максимальной степенью защиты.

Ключевые слова: влагозащитные материалы, комплексная оценка, водонепроницаемость, паропроницаемость, методики, специальная одежда.

Информация о статье: поступила 12 июня 2024 года.

Comprehensive assessment of properties of waterproof materials for special clothing

Katsiaryna I. Ivashko

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

Abstract. Prolonged exposure to water negatively affects human health, leads to various diseases and reduces labor productivity. One of the main roles in ensuring waterproof properties of products is played by the materials from which these products are made. The acquisition of special properties by textile materials is achieved through the special finishing. Each type of such finishing serves to improve a specific consumer property. The most common ways of imparting waterproof properties are water-repellent impregnation and coating. The range of modern waterproof materials allows clothing manufacturers to significantly ease the package of materials while maintaining a comfortable microclimate in the undergarment space and a high degree of protection from unfavorable weather conditions.

The aim of the work is to evaluate the properties of moisture-protective materials for the manufacture of special clothing using a comprehensive assessment methodology, which makes it possible to determine the quality of materials at the stage of incoming inspection. The method differs in that it ensures the selection of the most suitable material to perform the protective function of the product.

Based on the current technical regulations and analysis of literature sources, the single quality indicators were selected. To determine the weight of the indicators, an expert method was used, which is based on assigning ranks to individual indicators. To determine the quality indicators we used both standard methods and author's methods that exclude the shortcomings of standard ones. As objects of the study were chosen moisture-protective materials having a woven base of polyester yarns, made by plain weave and containing in its structure a membrane layer made of polyetherurethane with various additives.

In the course of the study, the effectiveness of application of the methodology of complex evaluation of properties of moisture-protective materials of similar structures and raw material composition for selecting a sample with the maximum degree of protection was established.

Keywords: waterproof materials, comprehensive assessment, waterproof, vapor permeability, methods, special clothing.

Article info: received June 12, 2024.

Введение

Защитные швейные изделия широко используются в быту, но особую важность они имеют для людей в профессиональной деятельности [Метелёва, 2013]. Для изготовления специальной одежды используют материалы, обеспечивающие защиту человека от внешних воздействий. Как правило, такие материалы имеют специальную отделку, которая придаёт им особые свойства. Каждый вид такой отделки служит для улучшения конкретного, наиболее важного потребительского свойства [Md. Iusuf Khan et al., 2020; Md. Iusuf Khan et al., 2019; Nnamdi C. Iheaturu et al., 2019]. Наиболее распространёнными способами придания водозащитных свойств являются – водоотталкивающая пропитка и нанесение покрытия [Muhammad Zahid et al., 2017; Lomax, G. R., 1990; Williams, J., 2017; Sen, A. K., 2008]. В своих работах Метелёва О. В. описывает два способа придания материалам защитных свойств: нанесение на поверхность ткани сплошной пленки гидрофобных веществ и обработка поверхности отдельных волокон и нитей. Пропитка осуществляется путем покрытия поверхности волокон гидрофобными веществами, которые проникая в поры волокон, закрепляются на нем и препятствуют проникновению воды внутрь волокна. Нанесение покрытия осуществляется посредством блокирования активных группировок гидрофильных волокон и заполнения воздушной прослойки между волокнами и нитями материала [Метелёва, 2013]. Среди текстильных материалов, обладающих высоким уровнем водозащитных свойств, выделяют влагозащитные материалы, имеющие в своём

составе мембранный полимерный слой, которые превосходят другие по способности выдерживать высокое гидростатическое давление.

Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ) является одной из обязанностей нанимателя в создании безопасных условий труда. В связи с этим к данной группе товаров предъявляются особые требования законодательных и нормативных актов для предотвращения или уменьшения до допустимых уровней воздействие на работника опасных и вредных производственных факторов.

В Республике Беларусь в области применения специальной одежды действуют законы, инструкции, перечни, стандарты, отраслевые нормы. Обязательным к применению является Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты»¹, устанавливающий требования обязательных технических характеристик к СИЗ. В отношении влагозащитных материалов ТР ТС 019/2011 регламентирует требования по показателям: разрывная нагрузка по основе и утку, стойкость к истиранию, водонепроницаемость. В регламенте не установлены требования к паропроницаемости, но на основании анализа литературных источников [Mukhopadhyay, A. A. & Midha, V. K., 2008; Jeong, W. Y. & An, S. K., 2001; Буркин, А. Н. и Панкевич, Д. К., 2020] очевидно, что для влагозащитных материалов он является значимым и должен быть включен в перечень проверяемых при оценке качества материалов, поскольку отвечает за комфортные условия эксплуатации и отвод из пододежного пространства влаги.

¹ ТР ТС 019/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты» (с изменениями на 27 ноября 2019 года) – принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года.

Выпуск швейных изделий высокого качества зависит от правильного выбора материалов для их изготовления. Существующие подходы в оценке свойств материалов с покрытием позволяют оценить единичные показатели, при этом возникает сложность в комплексной оценке одновременно всех свойств, особенно если речь идёт о сравнительном анализе образцов материалов специального назначения. Таким образом, целью работы является оценка свойств влагозащитных материалов для изготовления специальной одежды с помощью методики комплексной оценки, позволяющей определить качество материалов на этапе входного контроля и отличающейся от известных тем, что обеспечивает выбор наиболее пригодного материала для выполнения защитной функции изделия.

В основу предлагаемой методики комплексной оценки была заложена совокупность основных значимых показателей, отражающих способность обеспечивать защиту от внешних факторов воздействия и пригодность материала к использованию по назначению. Уникальность методики заключается в использовании при оценки единичных показателей помимо стандартных методов, которые используются в известных методиках (Добровольска Т. А. и Маслова А. А., 2021; Курденкова А. В. и Буланов Я. И., 2021; Фаткуллина Р. Р., Аракелян И. А. и Хабибуллин Р. Ф., 2012) ещё и авторские методики определения свойств, исключая недочёты стандартных (Панкевич Д. К., Буркин А. Н. и Ивашко Е. И., 2020; Ивашко Е. И. и Буркин А. Н., 2023).

Объекты исследований

В качестве объектов исследования были выбраны влагозащитные материалы BW17-086 (Корея), N-0927A (Китай), Кл80304 (Россия) и ПЛЛАМ (Беларусь), имеющие

тканую основу из полиэфирных нитей, выполненную плотняным переплетением и содержащие в своей структуре мембранный слой, выполненный из полиэфируретана с различными добавками.

Характеристика исследуемых образцов представлена в таблице 1.

Методы и средства исследований

Для определения разрывной нагрузки исследуемых материалов применяли стандартную методику, описанную в ГОСТ 3813-72 «Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении»² и использовали разрывную машину типа РТ-250.

На приборе ДИТ-М по методике, описанной в ГОСТ 18976-73 «Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию»³, устанавливали стойкость влагозащитных материалов к истиранию по плоскости, которая характеризуется числом циклов вращения головки прибора, выдерживаемых до разрушения материала.

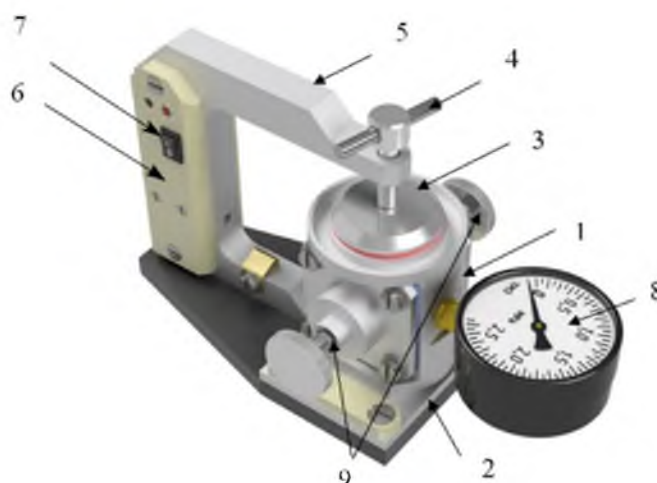
Существующая нормативная и приборная база в настоящее время не позволяет качественно оценить уровень водозащитных свойств влагозащитных материалов, поэтому в качестве альтернативной методики определения водонепроницаемости материалов, исключая недочёты стандартных методик (Буркин А. Н. и Панкевич Д. К., 2020; Панкевич Д. К., Буркин А. Н. и Леонов В. В., 2022; Буркин А. Н., Махонь А. Н. и Панкевич Д. К., 2019), была использована методика определения уровня водонепроницаемости материалов с помощью прибора для оценки водозащитных свойств методом гидростатического давления (Буркин А. Н. и др., 2021), который представлен на рисунке 1.

Таблица 1 – Характеристика исследуемых образцов
Table 1 – Characteristics of the studied samples

Артикул	BW17-086	N-0927A	Кл80304	ПЛЛАМ
Поверхностная плотность, г/м ²	130	160	140	134
Число нитей на 10 см по основе/по утку	532/448	750/550	558/412	504/346
Толщина, мм	0,21	0,23	0,15	0,19

² Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении: ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82). – Введ. 01.01.1973. – Минск: Госстандарт, 2018. – 20 с.

³ Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию: ГОСТ 18976-73. – Введ. 01.07.1977. – Минск: Госстандарт, 2012. – 4 с.



1 – измерительная ячейка (корпус); 2 – диэлектрическая пластина; 3 – крышка с резиновой накладкой и встроенным датчиком воды; 4 – ручка зажима образца; 5 – стойка; 6 – светозвуковой индикатор промокания; 7 – переключатель; 8 – манометр; 9 – ручки регулировки давления

Рисунок 1 – Внешний вид прибора для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления

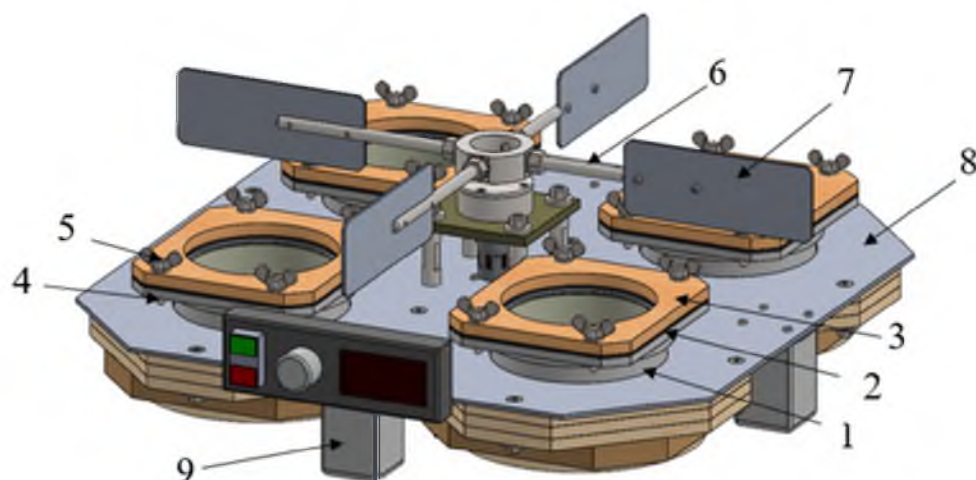
Figure 1 – Appearance of the device for determination of waterproof properties of materials by hydrostatic pressure method

Методика измерений распространяется на влагозащитные текстильные материалы и изделия из них, за исключением материалов, в которых содержатся токопроводящие компоненты, и устанавливает порядок определения сопротивления прониканию воды. Для реализации методики необходимо в измерительную ячейку, установленную на диэлектрической пластине, залить воду в объеме, обеспечивающем формирование выпуклого мениска. Расположить испытуемый материал лицевой стороной к воде и накрыть крышкой с кольцевой резиновой накладкой. С помощью переключателя включить устройство светозвуковой индикации проникания воды, активируя источник питания. Удерживая прибор за стойку, вращением ручки зажима образца прижать крышку с кольцевой резиновой накладкой к измерительной ячейке. Плавным последовательным вращением ручек регулировки давления создать необходимое гидростатическое давление в измерительной ячейке. Вода под давлением воздействует на испытуемый материал. Благодаря диэлектрической пластине электриче-

ская цепь до проникания воды через испытуемый материал разомкнута. В момент появления воды на обратной стороне испытуемого материала электрическая цепь замыкается и срабатывает устройство светозвуковой индикации проникания воды. Величина гидростатического давления в измерительной ячейке определяется по манометру. За окончательный результат испытания принимают среднее арифметическое результатов трех определений.

Оценка уровня паропроницаемости влагозащитных материалов проводилась на устройстве для контроля паропроницаемости, представленном на рисунке 2 [Буркин А. Н. и др., 2022] по методике, позволяющей моделировать различные условия эксплуатации [Ивашко Е. И. и Буркин А. Н., 2023].

Для осуществления методики необходимо чашки для образцов наполнить водой, сверху установить на шпильки силиконовую прокладку, на ней расположить образец изнаночной стороной к воде и закрыть крышкой, закручивая последовательно гайки, добиваясь



1 – чашка для образца; 2 – силиконовая прокладка; 3 – крышка; 4 – шпилька; 5 – гайка;
6 – крыльчатка; 7 – лопатка; 8 – столик; 9 – опора

Рисунок 2 – Внешний вид устройства для контроля паропроницаемости
Figure 2 – Appearance of the device for vapor permeability control

герметичности. Далее следует поместить на электроконфорки скомплектованные чашки и задать скорость вращения и положение лопаток крыльчатки. На пульте управления климатической камерой, в которой расположено устройство для контроля паропроницаемости, задать параметры испытания, соответствующие условиям эксплуатации материалов, а когда в рабочем объеме камеры установятся заданные величины, подключить устройство к сети и отметить время начала испытания. Через час после достижения равновесного градиента давления водяного пара в испытательной конструкции провести взвешивание каждого комплекта «чашка-образец». После взвешивания вернуть каждый комплект «чашка-образец» на столик и продолжить испытания до истечения заданного времени. После окончания испытаний комплекты «чашка-образец» повторно взвесить.

Для реализации методики определения паропроницаемости в условиях близких к эксплуатационным в качестве параметров испытания были выбраны: температура наружного воздуха +10 °С, скорость потока воздуха над образцами – 3 м/с, относительная влажность воздуха 89 %.

Показатель паропроницаемости вычисляется по формуле (1):

$$VP = \frac{24 \cdot m}{A \cdot t}, \quad (1)$$

где m – потеря массы комплектом «чашка-образец» за период времени t , г; t – интервал времени между последовательными взвешиваниями комплекта, ч; A – экспонируемая площадь элементарной пробы образца (равная площади отверстия в крышке чашки), м².

За окончательный результат испытания принимают среднее арифметическое результатов четырех определений.

Результаты исследований

Результаты испытаний образцов влагозащитных материалов по рассматриваемым единичным показателям представлены в таблице 2.

Согласно требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты»¹ одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и текстильные материалы для ее изготовления, должны

Таблица 2 – Результаты испытаний влагозащитных материалов
Table 2 - Test results of moisture-protective materials

Образец	Разрывная нагрузка по основе, Н	Разрывная нагрузка по утку, Н	Стойкость к истиранию, циклы	Водонепроницаемость, кПа	Паропроницаемость, г/(м ² ·24ч)
BW17-086-1	990	685	6870	119,5	1920
N-0927A	870	720	7960	138,2	1800
Кл80304	1025	700	8106	93,0	1872
ПлЛАМ	810	1165	7800	97,2	1968

обладать стойкостью к истиранию не менее 1300 циклов воздействия и разрывной нагрузкой – не менее 400 Н по основе и не менее 250 Н по утку. Одежда специальная для защиты от воды должна иметь водонепроницаемость не менее 2000 Па. ГОСТ Р 57514-2017 «Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия»⁴ устанавливает требования к тканям с покрытием, проницаемым и непроницаемым для водяного пара, подходящим для использования в конструировании водонепроницаемой одежды, согласно которым паропроницаемость должна быть не менее 360 г/(м²·24ч). Таким образом, представленные для исследования образцы влагозащитных материалов соответствуют требованиям ТР ТС 0019/2011 и ГОСТ Р 57514-2017 и могут быть использованы для изготовления специальной одежды.

Существующие известные методики комплексной оценки (Добровольска Т. А. и Маслова А. А., 2021; Курденкова А. В. и Буланов Я. И., 2021) основаны на графоаналитическом методе с рассмотрением излишнего количества единичных показателей, отвечающих за структурные характеристики материалов, что может повлечь неверный выбор предпочтительного материала, поэтому в качестве альтернативного решения рассмотрим методику комплексной оценки, в которой заложена совокупность основных значимых показателей, отражающих способность обеспечивать защиту от внешних факторов воздействия и пригодность материала к использованию по назначению.

Для определения весомости единичных показателей (1 – разрывная нагрузка по основе, 2 – разрывная на-

грузка по утку, 3 – стойкость к истиранию, 4 – водонепроницаемость, 5 – паропроницаемость) применяли экспертный метод, который основан на присвоении рангов единичным показателям. Наивысшая оценка соответствует рангу 1. Для выяснения значимости факторов был использован опыт, накопленный специалистами отделов технического контроля, работающих на швейных предприятиях и сотрудников аккредитованных лабораторий. Была сформирована группа из 10 экспертов. На основе данных анкетного опроса составляли сводную матрицу рангов.

Факторы по значимости распределились следующим образом: наиболее значимым является 4 – водонепроницаемость, далее 1 – разрывная нагрузка по основе, 5 – паропроницаемость, 2 – разрывная нагрузка по утку, 3 – стойкость к истиранию.

Для оценки степени согласия специалистов был найден коэффициент конкордации, который равен 0,746, что говорит о наличии высокой степени согласованности мнений экспертов. Для оценки значимости коэффициента конкордации использовали критерий согласования Пирсона χ^2 . Вычисленный χ^2 сравнивали с табличным значением для числа степеней свободы $K = 4$, при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Так как χ^2 расчетный 29,84 больше табличного {9,48773}, то можно сделать вывод о том, что коэффициент конкордации $W = 0,746$ – величина не случайная, полученные результаты значимы и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

На основе имеющихся данных были вычислены коэффициенты весомости показателей качества: разрыв-

⁴ Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия: ГОСТ Р 57514-2017. – Введ. 01.04.2018. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 24 с.

ная нагрузка по основе – 0,33, разрывная нагрузка по утку – 0,1, стойкость к истиранию – 0,06, водонепроницаемость – 0,36, паропроницаемость – 0,15.

Для расчёта комплексной оценки качества фактические показатели были переведены в относительные путём деления фактического значения на базовое. За базовое значение приняли минимальное значение, поскольку все представленные показатели являются позитивными. Результаты расчётов приведены в таблице 3.

Анализ результатов

При определении единичных показателей качества (таблица 2) было выявлено, что образец N-0927A имеет максимальное значение водонепроницаемости и способен выдерживать гидростатическое давление 138,2 кПа, но при этом имеет наименьшее значение по показателю паропроницаемости.

У образца BW17-086-1, несмотря на низкие значения разрывной нагрузки по утку и стойкости к истиранию, отмечается высокий уровень водонепроницаемости.

Достаточно близкие значения по показателю стойкость к истиранию наблюдаются у образцов N-0927A, Кл80304 и ПлЛАМ, чего нельзя отметить по результатам исследования разрывной нагрузки.

Для выбора влагозащитного материала, обеспечивающего максимальный уровень защиты, проведён

расчёт комплексной оценки (таблица 3). На основании полученных данных образец влагозащитного материала N-0927A является предпочтительным для изготовления специальной одежды с максимальной степенью защиты.

Образец BW17-086-1 несколько уступает по своим свойствам, однако также может быть рекомендован для изготовления одежды специального назначения.

Вывод

В ходе исследования установлена эффективность применения методики комплексной оценки свойств влагозащитных материалов схожих структур и сырьевого состава для выбора образца с максимальной степенью защиты.

Уникальное сочетание показателей качества, требования к которым заложены в действующих ТНПА на специальную одежду, включённых в комплексную оценку, позволяет в полной мере оценить пригодность материала для изготовления защитной одежды.

Целесообразность применения методики на этапе входного контроля объясняется возможностью принятия однозначного решения в пользу материала, получившего наивысшую комплексную оценку, путём определения значимых показателей качества, определяемых с помощью авторских и стандартных методик.

Таблица 3 – Результаты комплексной оценки влагозащитных материалов

Table 3 – Results of comprehensive evaluation of moisture-protective materials

Образец	Разрывная нагрузка по основе	Разрывная нагрузка по утку	Стойкость к истиранию	Водонепроницаемость	Паропроницаемость	Средняя арифметическая комплексная оценка
BW17-086-1	1,22	1,00	1,00	1,28	1,07	1,19
N-0927A	1,07	1,05	1,16	1,49	1,00	1,21
Кл80304	1,27	1,02	1,18	1,00	1,04	1,11
ПлЛАМ	1,00	1,70	1,14	1,05	1,09	1,11

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Буркин, А. Н., Махонь, А. Н. и Панкевич, Д. К. [2019]. *Эксплуатационные свойства текстильных материалов*. Витебск: УО «ВГТУ», Республика Беларусь.

Буркин, А. Н. и Панкевич, Д. К. [2020]. *Гигиенические свойства мембранных текстильных материалов*. Витебск: УО «ВГТУ», Республика Беларусь.

Буркин, А. Н., Панкевич, Д. К., Ивашко, Е. И. и Терентьев, А. А. (2021). Прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления, патент РБ № 12855, МПК G01N15/08, заявлено 2021.10.15, опубликовано 30.04.2022, Бюл. № 2.

Буркин, А. Н., Панкевич, Д. К., Борозна, В. Д., Ивашко, Е. И. и Терентьев А. А. (2022). Устройство для контроля паропроницаемости, патент РБ № 13087, МПК G01N3/20, заявлено 2022.05.16, опубликовано 30.12.2022, Бюл. № 6.

Добровольска, Т. А. и Маслова, А. А. (2021). К вопросу комплексной оценки качества материалов для специальной одежды с использованием компьютерных технологий. *Костюмология*, Т. 6, № 2, с. 1–13.

Ивашко, Е. И. и Буркин, А. Н. (2023). Методика определения паропроницаемости водозащитных материалов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2 (45), с. 9–16.

Курденкова, А. В. и Буланов, Я. И. (2021). Комплексная оценка качества тканей для спецодежды работников нефтегазового комплекса после воздействия эксплуатационных факторов. *Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума, посвященного 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума «Современные задачи инженерных наук»*, Том 1, с. 83–87.

Метелева, О. В. (2013). *Исследование водозащитных свойств швейных изделий*. Иваново: ИГТА, Российская Федерация.

Панкевич, Д. К., Буркин, А. Н. и Ивашко, Е. И. (2020). Анализ нормативной и приборной базы определения водопроницаемости композиционных слоистых текстильных материалов, содержащих мембранный слой. *Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования*, № 6 (58), с. 305–314.

Панкевич, Д. К., Буркин, А. Н. и Леонов, В. В. (2022). Оценка водозащитных свойств мембранных материалов для изделий легкой промышленности. *Костюмология*, Т. 7, № 1, с. 1–13.

Фаткуллина, Р. Р., Аракелян, И. А. и Хабибуллин, Р. Ф. (2012). Оценка физико-механических и защитных свойств полимерно-текстильных материалов для спецодежды с помощью обобщенного показателя качества. *Вестник Казанского технологического университета*, № 7, с. 103–105.

Jeong, W. Y. and An, S. K. (2001). The transport properties of polymer membrane-fabric composites, *Journal of materials science*, vol. 36, pp. 4797–4803.

Lomax, G. R. (1990). Hydrophilic polyurethane coatings, *Journal of coated fabrics*, vol. 20, No 2, pp. 88–107.

Md. Iusuf Khan, Sheikh Sha Alam, Fatema Jannat and Md. Safiqul Islam (2020). Waterproof and Oil Repellent Treatments of Cotton Fabric, *Journal of Textile Science and Technology*, vol. 6, pp. 59–80.

Muhammad Zahid, Jose A. Heredia-Guerrero, Athanassia Athanassiou and Ilker S. Bayer (2017). Robust water repellent treatment for woven cotton fabrics with eco-friendly polymers, *Chemical Engineering Journal*, vol. 319, pp. 321–332.

Mukhopadhyay, A. A. and Midha, V. K. (2008). Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part I: Fundamental Principles and Designing Aspects of Breathable Fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, vol. 37, pp. 225–262.

Nnamdi C. Iheaturu, Bibiana C. Aharanwa, Kate O. Chike, Uchenna L. Ezeamaku, Onyekachi O. Nnorom and Chibueze C. Chima (2019). Advancements in Textile Finishing, *IOSR Journal of Polymer and Textile Engineering (IOSR-JPTE)*, vol. 6, Issue 5, pp. 23–31.

Sameen Aslam, Tanveer Hussain, Munir Ashraf, Madeeha Tabassum, Abdur Rehman, Kashif Iqbal and Amjed Javid (2019). Multifunctional Finishing of Cotton Fabric, *Autex Research Journal*, vol. 19, No 2, pp. 191–200.

Sen, A. K. (2008). *Coated Textiles: Principles and Applications*. Boca Raton: CRC Press, FL.

Williams, J. (2017). *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*. Cambridge : The Textile Institute, England.

REFERENCES

Burkin, A. N., Mahon', A. N. and Pankevich, D. K. (2019). *Ekspluatatsionnye svoystva tekstil'nykh materialov* [Performance properties of textile materials]. Vitebsk: UO «VGTU», Respublika Belarus' [In Russian].

Burkin, A. N. and Pankevich, D. K. (2020). *Gigienicheskie svoystva membrannykh tekstil'nykh materialov* [Hygienic properties of membrane textile materials]. Vitebsk: UO «VGTU», Respublika Belarus' [In Russian].

Burkin, A. N., Pankevich, D. K., Ivashko, E. I. and Terent'ev, A. A. (2021). Pribor dlya opredeleniya vodozashchitnykh svoystv materialov metodom gidrostaticheskogo davleniya, patent RB № 12855, MPK G01N15/08, zayavleno 2021.10.15, opublikovano 30.04.2022, Byul. № 2 [In Russian].

Burkin, A. N., Pankevich, D. K., Borozna, V. D., Ivashko, E. I. and Terent'ev, A. A. (2022). Ustrojstvo dlya kontrolya paropronicaemosti, patent RB № 13087, MPK G01N3/20, zayavleno 2022.05.16, opublikovano 30.12.2022, Byul. № 6 [In Russian].

Dobrovol'ska, T. A. and Maslova, A. A. (2021). To the question of complex quality assessment of materials for special clothing using computer technologies [K voprosu kompleksnoj ocenki kachestva materialov dlya special'noj odezhdy s ispol'zovaniem komp'yuternykh tekhnologij]. *Kostyumologiya = Costumology*, vol. 6, № 2, pp. 1-13 [In Russian].

Ivashko, E. I. and Burkin, A. N. (2023). Methodology for determining the vapor permeability of waterproof materials [Metodika opredeleniya paropronicaemosti vodozashchitnykh materialov]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, № 2 (45), pp. 9-16 [In Russian].

Kurdenkova, A. V. and Bulanov, Y. I. (2021). Comprehensive assessment of fabric quality for workwear fabrics of oil and gas complex workers after exposure to operational factors [Kompleksnaya ocenka kachestva tkanej dlya specodezhdy rabotnikov neftegazovogo kompleksa posle vozdeystviya ekspluatacionnykh faktorov]. *Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo simpoziuma, posvyashchennogo 110-letiyu A.N. Planovskogo, v ramkah Tret'ego Mezhdunarodnogo Kosygin'skogo foruma «Sovremennye zadachi inzhenernykh nauk» = Collection of Scientific Proceedings of the International Scientific and Technical Symposium dedicated to the 110th Anniversary of A.N. Planovsky, within the framework of the Third International Kosygin Forum «Modern Problems of Engineering Sciences»*, vol. 1, pp. 83-87 [In Russian].

Metel'eva, O. V. (2013). *Issledovanie vodozashchitnykh svoystv shvejnykh izdelij* [Study of waterproof properties of garments: monograph.]. Ivanovo: IGTA, Russian Federation [In Russian].

Pankiewicz, D. K., Burkin, A. N. and Ivashko, E. I. (2020). Analysis of normative and instrumental base for determining water permeability of composite layered textile materials containing a membrane layer [Analiz normativnoj i pribornoj bazy opredeleniya vodopronicaemosti kompozicionnykh sloistykh tekstil'nykh materialov, sodержashchih membrannyj sloj]. *Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya = Informational and economic aspects of standardization and technical regulation*, № 6 (58), pp. 305-314 [In Russian].

Pankevich, D. K., Burkin, A. N. and Leonov, V. V. (2022). Assessment of waterproof properties of membrane materials for light industry products [Ocenka vodozashchitnykh svoystv membrannykh materialov dlya izdelij legkoj promyshlennosti], *Kostyumologiya = Costumology*, vol. 7, № 1, pp. 1-13 [In Russian].

Fatkullina, R. R., Arakelyan, I. A. and Habibullin, R. F. (2012). Assessment of physical-mechanical and protective properties of polymer-textile materials for workwear using generalized quality indicator [Ocenka fiziko-mekhanicheskikh i zashchitnykh svoystv polimerno-tekstil'nykh materialov dlya specodezhdy s pomoshch'yu obobshchennogo pokazatelya kachestva]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Herald of Kazan Technological University*, № 7, pp. 103-105 [In Russian].

Jeong, W. Y. and An, S. K. (2001). The transport properties of polymer membrane-fabric composites, *Journal of materials science*, vol. 36, pp. 4797-4803.

Lomax, G. R. (1990). Hydrophilic polyurethane coatings, *Journal of coated fabrics*, vol. 20, No 2, pp. 88-107.

Md. Iusuf Khan, Sheikh Sha Alam, Fatema Jannat and Md. Safiqul Islam (2020). Waterproof and Oil Repellent Treatments of Cotton Fabric, *Journal of Textile Science and Technology*, vol. 6, pp. 59-80.

Muhammad Zahid, Jose A. Heredia-Guerrero, Athanassia Athanassiou and Ilker S. Bayer (2017). Robust water repellent treatment for woven cotton fabrics with eco-friendly polymers, *Chemical Engineering Journal*, vol. 319, pp. 321-332.

Mukhopadhyay, A. A. and Midha, V. K. (2008). Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part I: Fundamental Principles and Designing Aspects of Breathable Fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, vol. 37, pp. 225-262.

Nnamdi C. Iheaturu, Bibiana C. Aharanwa, Kate O. Chike, Uchenna L. Ezeamaku, Onyekachi O. Nnorom and Chibueze C. Chima (2019). Advancements in Textile Finishing, *IOSR Journal of Polymer and Textile Engineering (IOSR-JPTE)*, vol. 6, Issue 5, pp. 23-31.

Sameen Aslam, Tanveer Hussain, Munir Ashraf, Madeeha Tabassum, Abdur Rehman, Kashif Iqbal and Amjed Javid (2019). Multifunctional Finishing of Cotton Fabric, *Autex Research Journal*, vol. 19, No 2, pp. 191–200.

Sen, A. K. (2008). *Coated Textiles: Principles and Applications*. Boca Raton: CRC Press, FL.

Williams, J. (2017). *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*. Cambridge : The Textile Institute, England.

Информация об авторах

Information about the authors

Ивашко Екатерина Игоревна

Магистр технических наук, начальник отдела «Испытательный центр», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: ivashkokatrinka@mail.ru

Katsiaryna I. Ivashko

Master of Technical Sciences, Head of the Department "Testing Center", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: ivashkokatrinka@mail.ru