

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2022, №1, Том 7 / 2022, No 1, Vol 7 <https://kostumologiya.ru/issue-1-2022.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/22TLKL122.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Панкевич, Д. К. Оценка водозащитных свойств мембранных материалов для изделий легкой промышленности / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, В. В. Леонов // Костюмология. — 2022. — Т. 7. — № 1. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/22TLKL122.pdf>

**For citation:**

Pankevich D.K., Burkin A.N., Leonov V.V. Evaluation of the waterproof properties of membrane materials for clothing and footwear production. *Journal of Clothing Science*, 1(7): 22TLKL122. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/22TLKL122.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

**Панкевич Дарья Константиновна<sup>1</sup>**

УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск, Республика Беларусь  
Доцент кафедры «Техническое регулирование и товароведение»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: dashapan@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0328-9033>

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=807424](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=807424)

**Буркин Александр Николаевич**

УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск, Республика Беларусь  
Заведующий кафедрой «Техническое регулирование и товароведение», профессор

Доктор технических наук, профессор

E-mail: a.burkin@tut.by

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2963-6390>

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=800250](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=800250)

**Леонов Владимир Викторович**

УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск, Республика Беларусь  
Старший преподаватель кафедры «Информационные системы и автоматизация производства»

E-mail: leonov203509@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6744-2765>

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=870799](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=870799)

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/AFT-0504-2022>

## Оценка водозащитных свойств мембранных материалов для изделий легкой промышленности

**Аннотация.** Статья посвящена оценке водозащитных свойств мембранных материалов для изделий легкой промышленности. Авторами проведен анализ существующей нормативной и приборной базы исследования водозащитных свойств изделий легкой промышленности, показана ее несостоятельность при исследовании мембранных материалов. Предложен способ, средство и методика испытания мембранных материалов на водонепроницаемость, соответствующие уровню их свойств, структурным особенностям и условиям эксплуатации. В отличие от существующих средств исследования водонепроницаемости, прибор имеет более широкий диапазон измерения гидростатических давлений, портативен, может работать от батарейки, реализует неразрушающий метод контроля, обеспечивает преемственность испытаний при проведении исследований водонепроницаемости после многоцикловых

<sup>1</sup> <https://www.facebook.com/profile.php?id=100057071880112>.

нагруженный образца и экспериментальной носки. Благодаря закрытой испытательной ячейке и автоматической регистрации промокания прибор позволяет избежать нехарактерного для условий эксплуатации напряженно-деформированного состояния образца в процессе испытания и более точно по сравнению с визуальной регистрацией идентифицировать момент проникания воды сквозь материал, что дает возможность сравнивать между собой результаты испытаний различных по растяжимости и способу производства материалов с учетом их структурных особенностей. Представлены критерии и разработана методика оценки водозащитных свойств мембранных материалов для изделий легкой промышленности. С помощью разработанных средств и методик проведены испытания десяти артикулов мембранных материалов, различных по структуре полимерного слоя. По результатам исследования максимального выдерживаемого гидростатического давления и скорости промокания до и после моделирования эксплуатации выполнена оценка водозащитных свойств материалов, применяемых для изготовления спортивной экипировки байдарочника. Выявлено, что наилучшей способностью противостоять воздействию гидростатического давления среди исследуемых образцов обладают материалы, содержащие однокомпонентные микропористые мембраны из гидрофобных полимеров. Этот тип мембранных материалов рекомендован для изготовления водозащитной экипировки байдарочника, эксплуатирующейся в условиях открытых водоемов в осенне-весенний период года.

**Ключевые слова:** водонепроницаемость; мембранные материалы; стандарт; прибор; методика; критерий; оценка; конфекционирование; водозащитная экипировка байдарочника

## Введение

Материалы, содержащие микропористые и монолитные мембраны, обеспечивающие защиту от воды снаружи и выведение влаги изнутри, нашли широкое применение в производстве водонепроницаемых изделий легкой промышленности. Ассортимент изделий из мембранных материалов велик — одежда и обувь для спорта, активного отдыха и туризма, специальная одежда и обувь для рабочих, пожарных, медработников, форма для военнослужащих и многое другое. Уровень водонепроницаемости мембранных материалов настолько высок, что позволяет применять их для изготовления защитных изделий, которые эксплуатируются в экстремальных условиях — шторм, ураган, воздействие постоянного потока воды под большим давлением.

В процессе эксплуатации водозащитная одежда и обувь должны обеспечивать комфорт носчика довольно длительное время, измеряемое в часах. Причем ощущение носчиком влаги, просочившейся во внутриобувное или пододежное пространство, следует рассматривать как единственный адекватный критерий оценки водозащитных свойств материалов. Это ощущение может появиться не только при сквозном промокании материала верха изделия, но и при напитывании слоев пакета изделий влагой, понижении их температуры вследствие отсыревания. Поэтому для оценки водозащитных свойств мембранных материалов для изделий легкой промышленности необходим такой критерий, который способен наиболее точно ответить на вопрос, возможно ли из данного материала изготовление изделия, эксплуатирующегося в заданных условиях, и будет ли обеспечен комфорт носчика в течение определенного времени.

Статья посвящена оценке водозащитных свойств мембранных материалов для изделий легкой промышленности. В соответствии с целью необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать существующую нормативную и приборную базу оценки водозащитных свойств изделий легкой промышленности;

- разработать способ, средство, методику определения водонепроницаемости мембранных материалов, соответствующие уровню их свойств и условиям эксплуатации;
- разработать критерии и методику оценки водозащитных свойств мембранных материалов для изделий легкой промышленности;
- оценить водозащитные свойства мембранных материалов, применяемых для изготовления изделий конкретного назначения.

### Методы

Важнейшим критерием оценки водозащитных свойств материалов для одежды Европейским комитетом по стандартизации определен уровень водонепроницаемости, регламентированный EN 343:2019 «Защитная одежда. Защита от дождя» и измеренный по ISO 811:2018 «Материалы текстильные. Определение водонепроницаемости. Испытание под гидростатическим давлением». Анализ отечественной нормативной базы показал, что на территории стран-участниц Таможенного Союза для определения водозащитной способности материалов все еще используют устаревшие ГОСТ 3816-81 (ISO 811:81) «Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств» и ГОСТ 12.4.263-2014 «Система стандартов безопасности труда. Материалы для средств индивидуальной защиты с резиновым или пластмассовым покрытием. Метод определения водонепроницаемости», модифицированный по отношению к международному стандарту ISO 1420:87. Идентичные им стандарты, переводом которых они являются, на территории стран-производителей мембранных материалов, использующих стандарты ISO (США, Великобритания, Германия, Франция, Республика Корея) уже заменены.

Для оценки высокой водозащитной способности материалов легкой промышленности чаще всего применяют три показателя: водонепроницаемость, водонепроницаемость и водоупорность. Водопроницаемость согласно ГОСТ 12.4.263-2014 — это способность материала пропускать воду при определенном давлении. Водонепроницаемость (дословно — сопротивление проникновению воды (resistance to water penetration)) согласно EN 343:2019 — это гидростатическое давление, поддерживаемое материалом, как мера сопротивления прохождению воды через материал. Водоупорность согласно ГОСТ 3816-81 — устойчивость материала к проникновению воды под гидростатическим давлением.

Физическая сущность, выраженная единицей измерения всех трех показателей, едина — максимальное гидростатическое давление, выдерживаемое материалом до его сквозного промокания, регистрируемого визуально по появлению первой капли либо первых трех капель на изнаночной стороне материала и измеряемое в Паскалях или в миллиметрах водяного столба.

В отечественной нормативной базе существует и терминологический казус — согласно ГОСТ 22944-78 «Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения водонепроницаемости» термин водонепроницаемость одновременно означает еще и объем воды, прошедшей через единицу площади элементарной пробы за 1 час при давлении воды на одну из его сторон, равном 9806,65 Па (1000 мм вод. ст.), а еще и время, за которое промокает элементарная проба, сложенная в форме кошель, если на одну из его сторон налить определенное количество воды заданной температуры.

Мембранные материалы являются обладателями наивысших значений показателя максимального выдерживаемого гидростатического давления среди материалов легкой промышленности, среднее значение их водонепроницаемости находится в диапазоне от 10 000

Па (около 1 020 мм вод. ст.) до 180 000 Па (около 18 355 мм вод. ст.) и это далеко не предел [1–3]. Чтобы оценить действительно необходимый уровень водозащитных свойств материалов, обратимся к справочным данным. Так, в источнике [4] предложена следующая классификация: для защиты от морозящего дождя необходим материал, обладающий водонепроницаемостью не менее 2 900 Па (300 мм в. ст.), от дождя — 19613 Па (2 000 мм в. ст.), от ливня — 73 550 Па (7 500 мм в. ст.), а защита от шторма потребует материалов с водонепроницаемостью минимум 196 133 Па (20 000 мм в. ст.).

В таблице 1 представлены нормативные значения водозащитной способности материалов для изделий легкой промышленности, регламентируемые существующими техническими нормативно-правовыми актами (ТНПА).

**Таблица 1**

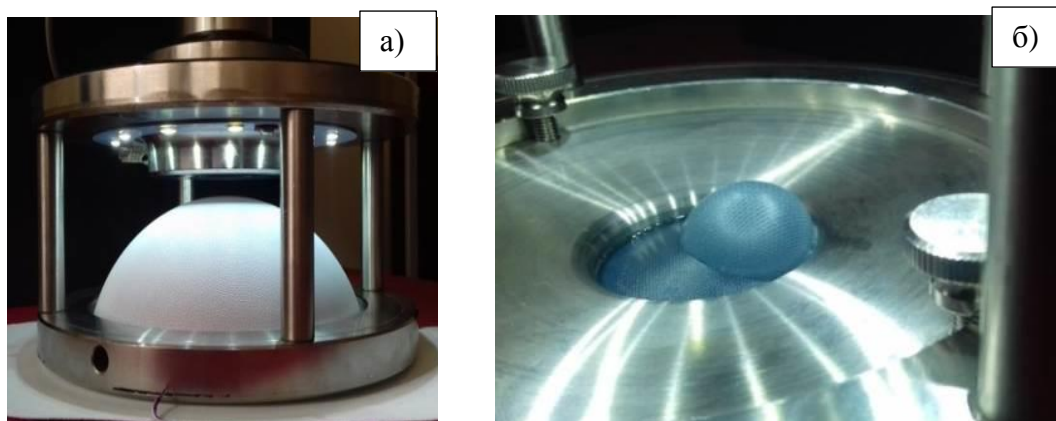
**Нормативные значения водозащитной способности материалов**

Наименование объекта	Показатель и его нормативное значение	Обозначение ТНПА, устанавливающих требования к объекту	Обозначение ТНПА, устанавливающих метод испытаний
Ткани плащевые из химических волокон	водоупорность не менее 200 мм вод. ст.	ГОСТ 29222-91	ГОСТ 3816-81 (ISO 811:81)
Искусственная кожа	водоупорность не менее 250 мм вод. ст.	ГОСТ 28461-90	
Ткани хлопчатобумажные и смешанные для спецодежды	водоупорность 180–320 мм вод. ст.	ГОСТ 11209-85	
Ткани хлопчатобумажные палаточные и плащевые	водоупорность 250–500 мм вод. ст.	ГОСТ 7297-90	
Тентовые материалы с ПВХ покрытием для автотранспорта	водонепроницаемость не менее 8 или 24 ч при высоте столба воды 250 мм	ГОСТ 29151-91	ГОСТ 22944-78
Одежда специальная для защиты от воды и растворов нетоксичных веществ	водонепроницаемость / водонепроницаемость не менее 2000 Па или 3500 Па	ТР ТС 019/2011	ГОСТ 12.4.263-2014 ГОСТ 413-91 (ISO 1420:87)
Одежда специальная для защиты от пониженных температур	водонепроницаемость не менее 8000 Па	ГОСТ 12.4.303-2016	ГОСТ 12.4.263-2014 (ISO 1420:87)
Материалы с резиновым или полимерным покрытием для верха водонепроницаемой рабочей одежды, предназначенной для продолжительной активности в тяжелых условиях	водонепроницаемость не менее 59 000 Па	ГОСТ Р 57514-2017 (ISO 8096:2005)	ГОСТ 413-91 (ISO 1420:87)
Материалы и готовые предметы специальной одежды для защиты от воздействия атмосферных осадков (например, дождя, снега), тумана и влажности почвы	водонепроницаемость не менее: 1 класс защиты — 8 000 Па 4 класс защиты — 20 000 Па	EN 343:2019	ISO 811:2018

Анализ данных таблицы 1 показывает, что отечественная нормативная база устарела — все методы испытаний (а, соответственно, и средства), на которые ссылаются даже относительно новые стандарты на продукцию, созданы более 30 лет назад. Нормативные значения показателей водозащитной способности материалов легкой промышленности настолько далеки от среднего значения водонепроницаемости для мембранных материалов и справочных данных об условиях эксплуатации, что их применение в качестве критериев оценки не имеет ни логического, ни практического смысла.

Среди перечисленных стандартов ближе всего к свойствам мембранных материалов значения показателей, регламентируемые ГОСТ Р 57514-2017 и EN 343:2019, которые определяются по методикам, изложенным в ISO 811:2018 и ГОСТ 413-91. Рассмотрим средства определения показателя водозащитных свойств, рекомендуемые этими документами. Метод определения водонепроницаемости, регламентируемый для материалов с высоким уровнем защиты от воды, называется методом высокого гидростатического давления и во всем мире реализуется средствами с открытой испытательной ячейкой. Он предполагает визуальную регистрацию момента прохождения воды сквозь материал при обнаружении капли (или капель) на изнаночной стороне материала. Испытания, которые авторы статьи проводили на выборке более ста объектов универсальным современным прибором «AVENO AG17-3» показали, что этот метод неприемлем для мембранных материалов по следующим причинам:

- прогиб и выпучивание образца с постепенным увеличением площади контакта воды с образцом до 80 % и изменением толщины образца до 40 % по сравнению с первоначальными размерами в зависимости от растяжимости материала (рис. 1а), что непрерывно изменяет модель измерения и его входные величины в процессе испытания и приводит к грубейшему нарушению принципов метрологии и невозможности сравнивать между собой результаты испытаний образцов различной растяжимости, поскольку изменяется масштабный фактор и происходит значимое нарушение структуры материалов;
- поддув воздуха в пространство между водой и образцом и резкое повышение давления (до 200 000 Па одномоментно!) при зажиме мембранного материала пневматическим устройством (за счет резкого сжатия резиновых прокладок), что противоречит требованию постепенного и равномерного повышения давления при проведении испытания и отсутствия воздуха между водой и образцом;
- утечка воды из-за высокой капиллярности лицевого слоя образца, приводящая к невозможности проведения испытания, поскольку вода капиллярно распространяется по нитям текстильной основы по всей площади образца и стекает за пределами кольцевого зажима;
- утечка воды в дефект, образующийся у кольцевого зажима вследствие значительного напряжения непрерывно растягивающегося под давлением образца, часто имеют место разрывы образца по той же причине;
- невозможность однозначной регистрации момента появления первой капли из-за изнаночного ворсового слоя образца либо из-за высокой гигроскопичности мембраны, когда увлажнение изнаночной стороны попросту незаметно для глаз. В стандарте указано «...если из-за природы испытываемого материала первая капля не видна, используют абсорбирующую фильтровальную бумагу, аккуратно прикладывают ее к испытываемой поверхности, чтобы подтвердить, что вода впитывается в фильтровальную бумагу». Иногда такая процедура невозможна. Например, на рисунке 1а показано фото испытания водонепроницаемого материала на трикотажной основе, у которого мембрана находится внутри текстильных слоев, а при проникании воды через образец капли впитываются в изнаночный слой;
- отслойка мембраны и утечка воды в пространство между слоями (рис. 1б) — происходит практически у всех мембранных материалов, у которых приклеивание мембраны к текстильной основе выполнено точно.



**Рисунок 1.** Недостатки приборов с открытой испытательной ячейкой:  
а) выпучивание растяжимых образцов; б) отслойка мембраны (фото авторов)

При использовании стандартных приборов условия испытания не соответствуют условиям эксплуатации. На фотографии (рис. 1а) запечатлен момент, предшествующий сквозному прониканию воды, при исследовании трехслойного материала на трикотажной основе. Его растяжимость при нагрузке 6Н составляет всего 6 % вдоль петельных столбиков и 10 % вдоль петельных рядов (по ГОСТ 8847-85). То есть этот материал относится к первой группе растяжимости, и при проектировании одежды из него к участкам конструкции будут даны положительные прибавки на свободное облегание, поскольку растяжимость материала не обеспечивает возникающие в процессе эксплуатации деформации. Однако испытание на водонепроницаемость материал проходит в условиях нехарактерного для него напряженно-деформированного состояния по причине несовершенства методики.

В связи с изложенным выше авторы статьи считают, что необходимо конструктивно решать вопрос совершенствования приборной базы определения водонепроницаемости в направлении отказа от визуальной регистрации проникания воды и исключения прогиба образца. Техническим решением проблемы может быть закрытая сверху испытательная ячейка и применение автоматической регистрации изменения влажности. Это позволит получать объективное представление о водонепроницаемости различных по растяжимости текстильных материалов с высоким уровнем водозащитных свойств и обеспечивать воспроизводимость результатов измерения для повышения уровня доверия к ним при реализации стандартных методов испытаний.

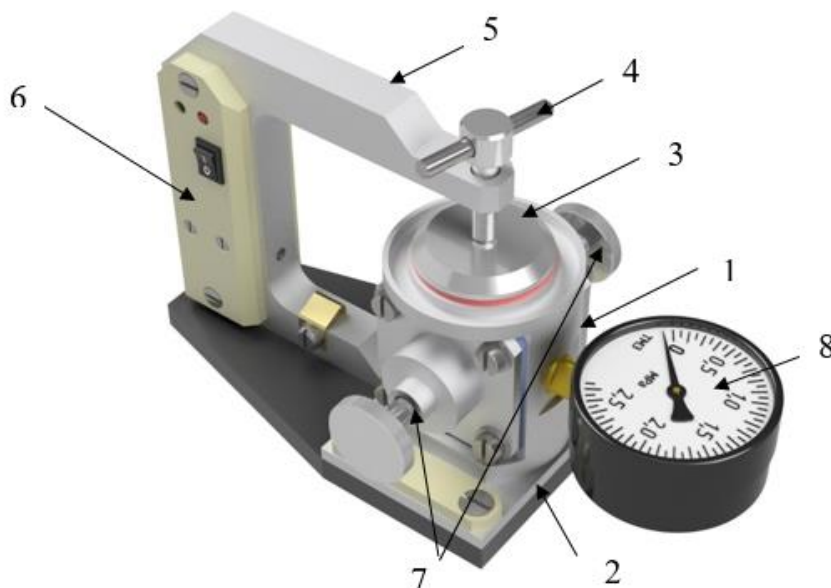
Спорным является и выбор самого критерия оценки водозащитных свойств — важно ли, при каком давлении происходит проникание воды через материал? По мнению авторов статьи, большую информативность несет показатель, позволяющий оценить, через какое время произойдет проникание воды (и произойдет ли вообще) при определенном, обусловленном назначением одежды, гидростатическом давлении в условиях, приближенных к эксплуатационным. Принятие решения о пригодности материала к изготовлению водонепроницаемой одежды или обуви невозможно без знания о скорости и характере его намокания.

Еще одна проблема оценки водозащитных свойств материалов кроется в изменчивости начального уровня водонепроницаемости. Замечено, что мембранные материалы различных структур обладают различным уровнем стабильности показателя водонепроницаемости в процессе эксплуатации [5].

В связи с этим актуальной является задача разработки таких критериев оценки водозащитных свойств мембранных материалов и соответствующих им методов и средств

определения, которые позволяли бы быстро и точно принимать решение о пригодности материалов для изготовления изделий конкретного назначения.

Коллективом авторов УО «ВГТУ», г. Витебск, Республика Беларусь, разработан и запатентован новый прибор для определения водонепроницаемости материалов, отличающийся от существующих закрытой сверху испытательной ячейкой и применением датчика воды, что позволяет получать объективное представление об уровне водозащитных свойств различных по растяжимости текстильных материалов и обеспечивать воспроизводимость результатов измерения в широком диапазоне гидростатических давлений<sup>2</sup>. Схема прибора представлена на рисунке 2.



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

**Рисунок 2.** Схема прибора для исследования водонепроницаемости материалов легкой промышленности (рисунок авторов)

В отличие от существующих средств исследования водонепроницаемости материалов легкой промышленности, прибор имеет более широкий диапазон измерения гидростатических давлений (до 1 МПа), он портативен, может работать от батарейки, реализует неразрушающий метод контроля. Его преимуществами перед аналогами являются: возможность проведения испытаний без вырезания образца и без подключения к электросети, транспортабельность, обеспечение преемственности испытаний при проведении исследований водонепроницаемости после многоцикловых нагружений образца и экспериментальной носки. Прибор позволяет проводить испытания на образцах малого размера без прогиба и проскальзывания образца за счет закрытой испытательной ячейки и автоматической регистрации проникновения воды через образец сигнализатором.

В рабочую область измерительной ячейки 1 заливают воду, материал располагают лицевой стороной к воде и зажимают крышкой 3 с помощью ручки 4. Вращением ручки регулировки давления 7 повышают гидростатическое давление в рабочей области

<sup>2</sup> Патент № 12855 Республика Беларусь, МПК G01N3/20. Прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления: № и 20210283; заявл. 15.10.2021; опубл. 30.04.2022 / Буркин А.Н., Панкевич Д.К., Ивашко Е.И., Терентьев А.А. — 2 с.: ил. — Текст: непосредственный.

измерительной ячейки 1, отслеживая по манометру скорость нарастания давления. Гидростатическое давление воды воздействует на материал, а датчик воды регистрирует момент появления воды на обратной стороне материала, сопровождающийся звуковым и световым сигналом индикатора 6, встроенного в стойку 5 прибора.

Величина гидростатического давления в рабочей области измерительной ячейки 1 определяется по манометру 8. Для обеспечения широты диапазона рабочих давлений прибора и точности измерений предусмотрены сменные манометры.

С помощью разработанного прибора можно проводить исследование максимального выдерживаемого гидростатического давления и интенсивности промокания мембранных материалов для одежды, избегая недостатков, обусловленных открытой испытательной ячейкой.

Определение интенсивности промокания выполняется по разработанной авторами статьи методике следующим образом. В электрическую цепь прибора подключают параллельно источник тока с напряжением 10 В и цифровой мультиметр (типа АРРА-207) с программным обеспечением, которое автоматически регистрирует силу тока каждые 0,5 секунды с точностью 0,004 мА. Образец материала с лицевой стороны подвергают действию гидростатического давления по следующей схеме: быстро повышают давление до значения, указанного в нормативно-технической документации на материал. Если в течение одной минуты не регистрируется сила тока более 0,004 мА, то повышают давление на 10 000 Па. Дискретное повышение давления прекращают, когда наблюдают изменение силы тока свыше 0,004 мА, расценивая это как начало промокания образца.

До проведения испытания проводят «холостой» опыт без образца исследуемого материала, регистрируя силу тока, возникающего в системе при соприкосновении датчика с водой. Датчиком воды служит металлизированная пластина, покрывающая всю площадь крышки прибора, соответствующую экспонируемой площади образца. После «холостого» опыта рассчитывают силу тока, при которой испытание на интенсивность промокания следует считать завершенным (половина полученного при «холостом» опыте значения). Многократные эксперименты показали, что именно при таком соотношении на изнаночной стороне образца появляются первые признаки сквозного промокания. Так, в экспериментах испытание прекращали при силе тока 0,25 мА, поскольку сила тока в «холостом» опыте составила 0,5 мА, при этом после освобождения материала из зажима неизменно констатировали влажную на ощупь изнаночную поверхность.

За результат испытания принимают время, прошедшее от начала промокания до первых признаков сквозного промокания, и давление, при котором наблюдали промокание материала. Эти значения авторы статьи предлагают использовать в качестве единичных показателей водозащитных свойств мембранных материалов, обладающих высоким уровнем водонепроницаемости.

Комплексную оценку водозащитных свойств мембранных материалов предлагается проводить в два этапа. Сначала установить и соотнести между собой фактические значения давления и времени промокания с требуемыми справочными (базовыми), получив относительные единичные показатели, а затем рассчитать комплексный критерий оценки водозащитных свойств как среднее геометрическое. Расчет среднего геометрического показателя водозащитных свойств  $V_{срг}$  проводится по известной формуле (1).

$$V_{срг} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n (x_i)^{w_i}}, \quad (1)$$



где  $x_i$  — относительный единичный показатель водозащитных свойств;

$w_i$  — весомость показателя согласно назначению, может быть одинаковой или различной в зависимости от конкретного назначения изделия, при этом  $\sum_{i=1}^n (w_i) = 1$ ;

$n$  — количество единичных показателей, в данном случае  $n = 2$ .

Если для изделия критичным является сохранение определенного уровня водозащитных свойств в процессе эксплуатации, то разработанные прибор и методика могут применяться после моделирования эксплуатации, например, по методике, изложенной в источнике [6]. Тогда при расчете среднего геометрического показателя водозащитных свойств будет использовано четыре единичных показателя, поскольку добавятся следующие показатели: время, прошедшее от начала промокания до первых признаков сквозного промокания после моделирования эксплуатации, и давление, при котором наблюдали промокание материала после моделирования эксплуатации.

## Результаты

С использованием разработанных методик и прибора проведена оценка водозащитных свойств мембранных материалов для одежды.

Объектами испытаний выбрали мембранные материалы производства фирм «Mikwangfinetex», «Ultrex», «Nipoga», состоящие из двух слоев — текстильной тканой основы и полимерной мембраны. Все объекты исследования получены методом ламинирования и используются в качестве материалов верха водонепроницаемой одежды. Для исследования отбирали только те образцы, которые выдерживают гидростатическое давление в диапазоне от 100 000 Па до 200 000 Па, пригодные по градации источника [4] для изготовления водонепроницаемой одежды наивысшего класса защиты. К участию в исследовании приняли три образца с гидрофильной мембраной (№ 1–3), три образца с гидрофобной мембраной (№ 4–6) и четыре — с комбинированной гидрофильно-гидрофобной мембраной, поверхность гидрофильной непористой мембраны которых модифицирована пористыми микрочастицами органоглины (№ 7–10).

Характеристика объектов исследования представлена в таблице 2. Для удобства восприятия таблицы приняты следующие обозначения: ПА — полиамид, ПЭ — полиэфир, ПУ — полиуретан, г-фоб. — гидрофобный, г-фильн. — гидрофильный.

Таблица 2

### Характеристика объектов исследования

Номер образца	Полимер текстильной основы / мембраны	Переплетение текстильной основы	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>
1	ПА / ПУг-фильн.	полотняное	156
2	ПЭ / ПУг-фильн.	основный полурепс	180
3	ПА / ПУг-фильн.	полотняное	110
4	ПЭ / ПУ г-фоб.	полотняное	133
5	ПА / ПУ г-фоб.	полотняное	128
6	ПЭ / ПА г-фоб	комбинированное	160
7	ПЭ / ПУг-фильн. / ПУ г-фоб.	сложное	136
8	ПЭ / ПУг-фильн. / ПУ г-фоб.	сложное	137
9	ПЭ / ПУг-фильн. / ПУ г-фоб.	сложное	132
10	ПЭ / ПУг-фильн. / ПУ г-фоб.	комбинированное	142

Область использования материалов — производство водозащитной экипировки байдарочника (куртка и водозащитный фартук на байдарку). Материалы экипировки должны обеспечивать защиту от воды в условиях тренировки на открытом водоеме в любую погоду,

когда водоем не покрыт льдом, в течение всего периода носки, определяемого графиком рекомендуемой смены экипировки (один раз в 2 года). Поэтому в качестве базовых значений показателей водозащитных свойств выбраны следующие: давление — 73 550 Па (соответствует расчетному давлению, выдерживая которое без промокания материал обеспечивает защиту от ливня согласно [4]), время промокания — 120 минут (максимальное время нахождения байдарочника на открытой воде в процессе тренировочной или соревновательной деятельности [7]). Моделирование эксплуатации проводили по методике, изложенной в источнике [6], используя флексометр типа ИПК-2М, установленный в климатической камере УТН-408-40-1Р. Задавали длительность испытания 100 тысяч циклов со скоростью  $(120 \pm 5)$  циклов в минуту, температуру испытания  $(2 \pm 2)^\circ\text{C}$ , моделируя наиболее жесткие температурные условия использования экипировки и установленный срок носки. При исследовании показателей сохранения водозащитных свойств после моделирования эксплуатации задавали не давление, указанное в нормативно-технической документации на материал, а половину этой величины, опираясь на данные исследований подобных материалов, согласно которым максимальное выдерживаемое без промокания давление после моделирования эксплуатации снижается на величину, составляющую от 50 до 100 % [8]. При расчете относительных показателей сохранения водозащитных свойств применили те же базовые значения давления и времени промокания. При расчете комплексного критерия оценки водозащитных свойств материалов значимость всех единичных показателей принимали одинаковой и равной 0,25.

Расчет показателей и результаты оценки водозащитных свойств материалов представлены в таблице 3. Для удобства восприятия таблицы введены следующие обозначения. Фактические показатели водозащитных свойств: Вф, Дф — время промокания и давление до моделирования эксплуатации, Вэ, Дэ — время промокания и давление после моделирования эксплуатации. Относительные единичные показатели водозащитных свойств: Во, До — относительное время промокания и относительное давление, Воэ, Доэ — показатели сохранения водозащитных свойств — относительное время промокания после моделирования эксплуатации и относительное давление после моделирования эксплуатации.

**Таблица 3**

**Результаты оценки водозащитных свойств материалов**

Номер образца	Фактические показатели водозащитных свойств				Относительные единичные показатели водозащитных свойств, доли от единицы				Комплексный критерий оценки водозащитных свойств, $V_{срг}$
	до моделирования эксплуатации		после моделирования эксплуатации		Во	До	Воэ	Доэ	
	Вф, мин	Дф, Па	Вэ, мин	Дэ, Па					
1	16,5	100 000	2	50 000	0,138	1,360	0,001	0,680	0,564
2	16,1	100 000	0	50 000	0,134	1,360	0,000	0,680	0,000
3	37,7	100 000	5,5	50 000	0,314	1,360	0,000	0,680	0,000
4	45,5	120 000	35,2	60 000	0,379	1,632	0,293	0,816	0,887
5	47,6	160 000	10,4	60 000	0,397	2,175	0,087	0,816	0,840
6	38,6	200 000	98	50 000	0,322	2,719	0,817	0,680	0,956
7	42,3	100 000	52,3	70 000	0,353	1,360	0,436	0,952	0,904
8	36,5	100 000	0	50 000	0,304	1,360	0,092	0,680	0,796
9	8,2	100 000	0	50 000	0,068	1,360	0,015	0,680	0,647
10	33,2	120 000	44,5	80 000	0,277	1,632	0,371	1,088	0,899

По результатам оценки водозащитных свойств мембранных материалов для экипировки байдарочника выявлены пять образцов, обладающих высоким уровнем водозащитных свойств с комплексным критерием свыше 0,8, который согласно функции желательности Харрингтона, следует интерпретировать как «очень хорошо» в категориях психологического восприятия человека [9].

Некоторые образцы после моделирования эксплуатации утратили свои водозащитные свойства и не могут использоваться по назначению, что отражено в нулевом значении комплексного критерия.

Наивысшие оценки водозащитных свойств, интерпретируемые как «хорошо» и «очень хорошо» получили материалы, содержащие однокомпонентные микропористые мембраны из гидрофобных полимеров (от 0,84 до 0,956) и комбинированные гидрофобно-гидрофильные мембраны (от 0,647 до 0,904). Мембранные материалы подобных структур могут быть рекомендованы для изготовления водозащитной экипировки байдарочника, поскольку обеспечивают соответствующий назначению водозащитный эффект в течение достаточно длительного времени.

Таким образом, разработанные методика и средства испытаний мембранных материалов на водонепроницаемость позволяют более точно по сравнению с визуальной регистрацией идентифицировать момент проникания воды сквозь материал и дают возможность сравнивать между собой результаты испытаний различных по растяжимости и способу производства материалов с учетом их структурных особенностей. Показанный в статье подход к оценке водозащитных свойств мембранных материалов позволяет получить исчерпывающую информацию о способности материалов противостоять воздействию на них воды в условиях, приближенных к эксплуатационным, а критерии и методика оценки обеспечат рациональный подбор материалов в пакет изделий легкой промышленности в соответствии с заданными требованиями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lomax G. Breathable polyurethane membranes for textile and related industries / G. Lomax — DOI <https://doi.org/10.1039/B703447B> // J. Mater. Chem. — 2007 — Issue 27. — С. 2775–2784. — URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2007/jm/b703447b/unauth> (дата обращения: 08.03.2022).
2. Williams J. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing / J. Williams. — Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2018. — 590 p.
3. Williams, J.T. Textiles for cold weather apparel / J. Williams. — Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2009. — 432 p.
4. William C. Smith. Smart Textile Coatings and Laminates, second edition. / C. Smith. William. — Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2018. — 290 p.
5. Панкевич Д.К. Водонепроницаемость мембранных текстильных материалов в условиях эксплуатации / Д.К. Панкевич, Е.И. Ивашко // Вестник ВГТУ. — 2020. — № 1(38). — С. 91–99. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vodonepronitsaemost-membrannyh-tekstilnyh-materialov-v-usloviyah-ekspluatatsii> (дата обращения: 08.03.2022).
6. Панкевич Д.К. Методика исследования водонепроницаемости мембранных материалов при моделировании условий эксплуатации / Д.К. Панкевич, А.Н. Буркин, Е.И. Ивашко // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов. сб. статей 7-й междунар. науч.-технич. конф. 24–25 сентября 2020 г. Могилев: Белорусско-Российский университет, 2020. — 139–145. URL: <http://e.biblio.bru.by/handle/12121212/13036> (дата обращения: 08.03.2022).
7. Замотин Т.М. Применение информационных технологий в тренировочном процессе гребцов байдарочников стайеров высокой квалификации / Т.М. Замотин // Ученые записки университета Лесгафта. — 2021. — № 1(191). — С. 83–88. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-informatsionnyh-tehnologiy-v-trenirovochnom-protsesse-grebtsov-baydarochnikov-stayerov-vysokoy-kvalifikatsii> (дата обращения: 08.03.2022).
8. Ивашко Е.И. Водонепроницаемость мембранных материалов при моделировании износа и после экспериментальной носки / Е.И. Ивашко // Материалы докладов 53-й международ. науч.-технич. конф. преподавателей и студентов 22 апреля 2020 г. Витебск: ВГТУ, 2020. — 163–166. — URL: <http://rep.vstu.by/handle/123456789/13580> (дата обращения: 08.03.2022).
9. Любушин Н.П. Использование обобщенной функции желательности Харрингтона в многопараметрических экономических задачах / Н.П. Любушин, Г.Е. Брикач // Экономический анализ: теория и практика. — 2014. — № 18(370). — С. 2–10. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-obobschennoy-funktsii-zhelatelnosti-harringtona-v-mnogoparametricheskih-ekonomicheskikh-zadachah> (дата обращения: 08.03.2022).

**Pankevich Dar'ya Konstantinovna**

Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus  
E-mail: dashapan@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0328-9033>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=807424](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=807424)

**Burkin Alexander Nikolaevich**

Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus  
E-mail: a.burkin@tut.by  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2963-6390>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=800250](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=800250)

**Leonov Vladimir Viktorovich**

Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus  
E-mail: leonov203509@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6744-2765>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=870799](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=870799)  
Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/AFT-0504-2022>

## Evaluation of the waterproof properties of membrane materials for clothing and footwear production

**Abstract.** The article is devoted to the assessment of waterproofing properties of membrane materials for clothing and footwear. The authors have analyzed the existing standards and instruments for the study of waterproofing properties of textile materials. The disadvantages of membrane materials testing with standard methods and devices are revealed. A method, means and technique for testing the water resistance of membrane materials that correspond to the level of their properties, structural features and operating conditions have been proposed. In contrast to the existing waterproofness testing means, the device has a wider range of hydrostatic pressure measurements, is portable, can be operated from a battery, implements non-destructive method of control, provides continuity of tests when conducting waterproofness tests after modeling of operation or experimental wear of the garment or footwear. Due to the closed test cell and automatic registration of soaking, the device allows to avoid the uncharacteristic stress-strain state of the sample during the test and to identify the moment of water penetration through the material more precisely in comparison with visual registration. This makes it possible to compare the test results of materials different in tensile strength and production method with regard to their structural peculiarities. The criteria are presented and the procedure of evaluation of waterproofing properties of membrane materials for articles of light industry is developed. Using the developed means and methods, tests of ten articles of membrane materials different in the structure of the polymer layer were carried out. Based on the results of the study of maximum withstanding hydrostatic pressure and the rate of soaking before and after simulated operation, the assessment of waterproofing properties of materials used for making kayak sports outfits was carried out. It has been revealed that the best ability to resist hydrostatic pressure among investigated samples are materials containing one-component microporous membranes of hydrophobic polymers. This type of membrane materials is recommended for manufacturing waterproof equipment for kayakers operating in conditions of open water bodies in the autumn-spring period of the year.

**Keywords:** waterproofness; membrane materials; standard; device; methodology; criterion; evaluation; clothing; choice of materials; kayaker waterproof equipment