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

2024, Том 9, № 4 / 2024, Vol. 9, Iss. 4 https://kostumologiya.ru/issue-4-2024.html

URL статьи: https://kostumologiya.ru/PDF/05TLKL424.pdf

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**
Панкевич, Д. К. Оценка уровня функциональности материалов для спортивной водозащитной экипировки / Д. К. Панкевич // Костюмология. — 2024. — Т. 9. — № 4. — URL: https://kostumologiya.ru/PDF/05TLKL424.pdf

**For citation:**
Pankevich D.K. Evaluation of the level of functionality of materials for sports waterproof clothing. *Journal of Clothing Science*. 2024;9(4): 05TLKL424. Available at: https://kostumologiya.ru/PDF/05TLKL424.pdf. (In Russ., abstract in Eng.)

**УДК 687.173**

**Панкевич Дарья Константиновна**
УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск, Республика Беларусь
Доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви»
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
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57473436700

# Оценка уровня функциональности материалов для спортивной водозащитной экипировки

**Аннотация.** Статья посвящена оценке уровня функциональности материалов для водозащитной одежды, новым критериям, методам и средствам их определения. Автором показан новый подход к оценке свойств материалов как функций, имеющих общую область определения, ограниченную диапазоном условий эксплуатации. Разработанный функциональный подход к оценке свойств материалов для одежды реализован на примере многофункциональных комплексных текстильных материалов для водозащитной одежды, содержащих полимерную мембрану, непроницаемую для капельножидкой влаги, но пропускающую пары воды. Дана характеристика критериев функциональности материалов, описаны влияющие на них факторы, показаны параметры, определяющие условия проведения испытаний и предложены формулы для расчета динамического критерия уровня водозащитной функции, критерия надежности и критерия комфортности. Предложена градация уровней функциональности материалов для одежды и методика построения модели идеально функционирующего в заданных условиях материала, позволяющая определить условия проведения испытаний и влияющие на расчет критериев функциональности параметры. Проведена оценка уровня функциональности материалов для спортивной водозащитной экипировки, выбранных органолептически. Установлено, что средним уровнем функциональности обладает один из семи выбранных материалов, остальные материалы показали низкий и нулевой уровень функциональности в заданных условиях эксплуатации материалов. Оценка функциональности материалов дает возможность проанализировать свойства материала как функции, проявляющиеся в заданном диапазоне климатических условий при заданной активности человека, показывая уровень удовлетворенности человека полезным откликом материалов на внешние воздействия в процессе эксплуатации одежды из них. Критерии функциональности просты в применении и интерпретации, обеспечены методической и приборной базой исследования и готовы к внедрению в практику конфекционирования материалов в пакет изделий легкой промышленности.

**Ключевые слова:** одежда; функция; оценка; материал; критерий; градация; водозащита; комфорт; надежность

## Введение

Актуальной задачей материаловедения швейных изделий является развитие методологических основ оценки свойств текстильных материалов как набора необходимых функций, имеющих общую область определения, ограниченную диапазоном условий эксплуатации. В оценке уровня качества материалов уровень функциональности является той важной составляющей, которая отражает удовлетворенность потребителя.

Пусть существует многомерное пространство функциональности материалов одежды. Компонентами системы, в которой проявляется функциональность материалов, являются поддающиеся измерению параметры $x_1$, $x_2$, …, $x_n$, обусловленные влиянием наружной среды, деятельностью одетого в эту одежду человека и влиянием технологического процесса изготовления одежды, и критерии функциональности материалов для одежды $y_1$, $y_2$, $y_3$, …, $y_m$, отражающие уровень полноты реализации функций как выполнение ожиданий потребителя. Каждому набору параметров X соответствуют количественные значения критериев Y. Каждому из Y можно задать требуемый диапазон значений критериев, удовлетворяющий потребителя. Высокий уровень функциональности будет иметь материал, у которого на общей области определения, заданной через условия эксплуатации, значения критериев Y будут находиться в требуемом диапазоне. Заданный уровень функциональности возможно описать в виде модели идеально функционирующего материала, содержащей заданные диапазоны параметров X и критериев Y.

Развитие приборной и методической базы исследования свойств материалов как функций дает возможность разработать такие критерии оценки, которые отражают полезный для потребителя отклик материала на внешнее воздействие с учетом его изменения в заданных диапазонах условий эксплуатации.

Статья посвящена разработке методологии оценки уровня функциональности материалов для водозащитной одежды, новым критериям, методам и средствам их определения. Новый подход к оценке свойств материалов реализован на примере *многофункциональных комплексных текстильных материалов (МТМ)* для водозащитной одежды, содержащих полимерную мембрану, непроницаемую для капельножидкой влаги, но пропускающую пары воды.

## Методы

Анализ области применения водозащитных МТМ позволил выявить три критические функции, выполнение которых обеспечивает высокий уровень удовлетворенности потребителя одежды из них: функция водозащиты (отражает соответствие назначению), функция обеспечения температурного гомеостаза человека (отражает уровень комфортности), функция надежности (отражает стабильность водозащитных свойств материалов в заданном промежутке условий эксплуатации). Для каждой критической функции разработаны критерии, методы и средства их исследования.

Разработанные критерии учитывают факторы среды и назначения, воздействующие на материалы одежды в процессе эксплуатации и влияющие на уровень функциональности: $\boldsymbol{P}$ — гидростатическое давление; $\boldsymbol{t}$ — время воздействия; $\boldsymbol{T}$ — температура воздуха; $\boldsymbol{W}$ — относительная влажность воздуха; $\boldsymbol{N}$ — число циклов воздействия; $\boldsymbol{\Delta l}$ — изменение линейных размеров материала; $\boldsymbol{v_{возд}}$ — скорость движения воздуха; $\boldsymbol{\Delta P}$ — разность



05TLKL424
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

парциальных давлений водяного пара внутри и снаружи одежды, вычисленная для конкретных температурно-влажностных условий носки; ***E*** — уровень активности или энергозатраты человека, в соответствии с которыми принимается рекомендуемое значение коэффициента ***WVPrec*** водопаропроницаемости материалов. Система разработанных критериев функциональности представлена в таблице 1.

В таблице 2 систематизированы данные литературных источников [1–8] по вопросу диапазона величин, характеризующих факторы, воздействующие на водозащитную одежду в процессе эксплуатации.

Оценка уровня функциональности материалов для одежды основана на построении модели идеально функционирующего материала, которая равнозначна выбору требуемого уровня функциональности в соответствии с назначением одежды из трех возможных категорий: высокий, средний, низкий. После выбора требуемого уровня функциональности, выбирается конкретное значение величины, влияющей на результат испытания и расчет критерия, которое также будет ранжированным, но уже внутри определенного уровня. Значения влияющих величин, обоснованные аналитическим обзором литературных источников, представлены в таблице 3.

**Таблица 1**

**Характеристика критериев функциональности водозащитных МТМ**

| Обозначение и наименование критерия функциональности | Сущность критерия | Факторы, учитываемые критерием |
|---|---|---|
| ***Квд*** — динамический критерий уровня водозащитной функции | относительное значение «сухости» материала при воздействии заданного давления воды в течение заданного времени, оцениваемое с учетом теплоощущений человека | ***P; t*** |
| ***Кк*** — критерий комфортности | часть диапазона носки одежды конкретного назначения, на которой материал способен пропустить через свою структуру соответствующее заданной активности человека количество парообразной влаги из пространства под одеждой наружу | ***WVPrec = f (E); ΔP = f (T; W); vвоз.*** |
| ***Квдэ*** — динамический критерий уровня водозащитной функции после моделирования эксплуатации | относительное значение «сухости» материала при воздействии заданного давления воды в течение заданного времени, оцениваемое с учетом теплоощущений человека, после моделирования эксплуатационных нагрузок в заданных условиях | ***N = f (t); T; W; Δl; P; t*** |

*Составлено автором*

**Таблица 2**

**Характеристика факторов, воздействующих на материалы одежды**

| Фактор, обозначение | Диапазон изменения, ед. изм., номера источников |
|---|---|
| Относительная влажность наружного воздуха, ***W*** | в среднем по РБ от 60 % до 90 % [1, 2] |
| Температура наружного воздуха, ***T*** | в среднем от (-7)°С до 10°С, эпизодически некоторые виды одежды от (-30)°С до 24°С [1; 2] |
| Скорость движения наружного воздуха, ***vвоз*** | в среднем от 3 м/с до 25 м/с, при перемещении носчика — в соответствии с его скоростью движения [1; 2] |
| Многократный изгиб, ***Nu*** | десятки и сотни тысяч циклов [3; 4] |
| Многократное сжатие и трение, ***Nст*** | десятки и сотни тысяч циклов при давлении до 0,45 МПа [3–5] |
| Многократное растяжение, ***Np*** | десятки и сотни тысяч циклов при удлинении в диапазоне от 1 % до 45 % [3; 5] |
| Гидростатическое давление при смачивании, ***Pс*** | минуты и часы в диапазоне до 3 кПа [6; 7] |
| Гидростатическое давление при промокании, ***Pг*** | минуты и часы в диапазоне до 200 кПа [6; 7] |
| Энергозатраты носчика, ***E*** | от 100 Вт до 400 Вт [8] |

*Составлено автором*



05TLKL424
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Поскольку все используемые для оценки критерии (табл. 1) являются относительными величинами и позитивны, а максимально возможной величиной для любого из них является 1, то значения критериев функциональности могут быть интерпретированы в соответствии с универсальной шкалой желательности Харрингтона [9], которая характеризует степень приближения оценки к некоторому идеалу: очень высокая (0,8÷1,0); высокая (0,63÷0,8); средняя (0,37÷0,63); низкая (0,2÷0,37); очень низкая (0÷0,2).

**Таблица 3**

**Исходные данные для расчета критериев функциональности МТМ для водозащитной одежды**

| Обозначение влияющей величины, единицы измерения | | Диапазон значений влияющей величины для уровня функциональности | | | Источники обоснования базовых значений |
|---|---|---|---|---|---|
| | | низкого | среднего | высокого | |
| ***P***, кПа | | 3÷30 | 31÷90 | более 90 | [6; 7] |
| ***t***, мин | | 30÷60 | 61÷120 | более 120 | [7] |
| ***WVPrec***, г/м²·24 ч | | 600÷2 666 | 2 667÷6 000 | более 6 000 | [10; 11] |
| ***vвоз***, м/с | | 3÷6 | 6÷10 | более 10 | [2] |
| ***N***, количество циклов для материалов | нерастяжимых | 20 000 | 100 000 | 500 000 | [3; 4] |
| | растяжимых | 2 000 | 6 000 | более 6 000 | |
| ***Δl***, % для материалов | нерастяжимых | 1÷2 | 3÷10 | 11÷30 | [4; 5] |
| | растяжимых | 3÷7 | 7÷20 | 21÷45 | |

*Составлено автором*

Комплексная оценка уровня функциональности определяется произведением полученных единичных оценок отдельных критериев функциональности и максимальная ее величина равна 1. При этом равенство одного из критериев функциональности нулю приводит к нулевой комплексной оценке, что означает невозможность применения материала в заданных условиях эксплуатации.

Определение единичных критериев функциональности проводится в следующем порядке.

1. ***Динамический критерий Квд уровня водозащитной функции*** определяется по формуле (1) с использованием результатов исследования промокания материала при воздействии заданного гидростатического давления в течение заданного времени ***tт***. Испытание проводится по методике, изложенной в источнике [12], позволяющей определять время наступления четырех стадий промокания материала, для каждой из которых характерно определенное теплоощущение человека и диапазон изменения влажности ***Δw*** материала.

$$K_{вд} = \frac{0,25 \cdot (t_1 + t_2 + t_3 + t_4)}{tт}, \quad (1)$$

где $t_1$, $t_2$, $t_3$, $t_4$ — время достижения стадий промокания, прошедшее с момента нагружения материала заданным гидростатическим давлением, мин; ***tт*** — заданное время, в течение которого материал одежды не должен промокнуть насквозь при заданном давлении, мин. При этом время регистрации не наступивших стадий промокания принимается равным требуемому времени $t_T$. Характеристика стадий промокания материала представлена в таблице 4.

Материал обеспечивает полную защиту от воды, если Квд = 1. Это означает, что в течение требуемого времени не наступила ни одна из стадий промокания. Особенность расчета критерия состоит в том, что время, затраченное на достижение первой стадии промокания, учитывается в формуле четырежды, второй — трижды, третьей — дважды, четвертой — единожды. Таким образом, стадиям промокания присвоена неодинаковая весомость согласно приоритету желательности наступления каждой стадии для потребителя.



05TLKL424
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

**Таблица 4**

**Характеристика стадий промокания материалов**

| Обозначение и наименование стадии промокания | Диапазон изменения влажности материала, $\Delta w$, % | Теплоощущение человека при контакте с изнаночной стороной материала | Весомость стадии в оценке, доли от 1 |
|---|---|---|---|
| $t_1$ — начало насыщения влагой | 3–9 | тактильно не ощущается | 1,00 |
| $t_2$ — полное насыщение влагой | 10–36 | легкое охлаждение | 0,75 |
| $t_3$ — начало сквозного промокания | 37–65 | увлажнение | 0,50 |
| $t_4$ — сквозное промокание | 66–82 | сильное увлажнение | 0,25 |

*Составлено автором*

Заданное давление и заданное время являются влияющими на результат испытаний и расчет критерия ***Квд*** величинами, значения которых выбирают из таблицы 3 соответственно желаемому уровню функциональности материала.

2. ***Критерий комфортности Кк***, характеризующий функцию обеспечения температурного гомеостаза человека материалами одежды на всем протяжении диапазона ее носки, определяется по формуле (2). Он показывает часть диапазона носки одежды, на которой материал способен пропустить через свою структуру соответствующее заданной активности человека количество парообразной влаги из пространства под одеждой наружу:

$$К_к = \frac{(\Delta P_{max} - x)}{(\Delta P_{max} - \Delta P_{min})}, \quad (2)$$

где ***ΔPmax***, ***ΔPmin*** — расчетная максимальная и минимальная разность парциальных давлений водяного пара внутри и снаружи одежды соответственно, Па, вычисленная для конкретных температурно-влажностных условий носки по формуле (3):

$$\Delta P = 1{,}84 \cdot 10^9 \cdot (Wвн \cdot \exp(-\frac{5330}{Твн}) - Wн \cdot \exp(-\frac{5330}{Тн})), \quad (3)$$

где ***Тн***, ***Твн*** — значения температуры, °С; ***Wн***, ***Wвн*** — значения относительной влажности, %, снаружи и внутри одежды соответственно, которые принимаются по данным метеонаблюдений в конкретном регионе и характеристикам теплоощущений человека; ***x*** — абсцисса точки пересечения графика изменения ***WVP*** исследуемого материала с границей требуемого значения ***WVPrec*** для заданного уровня активности, Па (табл. 3). Для расчета параметра ***x*** без построения графика принимается допущение о прямолинейности графика и используется формула (4):

$$x = \frac{2800 \cdot (WVP\,rec - 2a + c)}{(c - a)}, \quad (4)$$

где ***a*** и ***c*** — полученные экспериментально значения ***WVP*** материала при ***ΔP*** = 2 800 Па (середина усредненного диапазона носки) и ***ΔP*** = 5 600 Па (конец усредненного диапазона носки) соответственно, г/(м$^2$·24 ч). При ***x > ΔPmax*** в формулу (2) подставляется ***x = ΔPmax***, а значение ***Кк*** обращается в ноль.

Усредненный диапазон изменения ***ΔP*** для одежды любого сезона носки рассчитан по формуле (3) с учетом среднесезонных данных метеонаблюдений на территории РБ. При этом минимальное парциальное давление пара в пододежном пространстве предполагается, когда человек испытывает теплоощущение «комфорт», при котором температура воздуха вблизи поверхности кожи в среднем составляет 33°С, влажность 50 %, а максимальное парциальное давление пара наблюдается, когда человек испытывает теплоощущение «очень жарко» (температура 37°С, влажность 87 %) [10]. Рассчитанный усредненный диапазон изменения ***ΔP*** в период носки одежды любого сезона составляет 0÷5 600 Па.



05TLKL424
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Используемое для испытаний оборудование позволяет устанавливать различный по интенсивности обдув образцов воздухом (табл. 3), необходимые температуру и влажность для достижения расчетных значений ***ΔP*** [13].

Базовое значение ***Кк*** равно 1. Чем ближе к нему значение ***Кк*** конкретного материала, тем больший диапазон носки одежды из него обеспечен достаточным уровнем водопаропроницаемости материала.

3. ***Динамический критерий Квдэ уровня водозащитной функции после моделирования эксплуатации*** определяется по формуле (1) и характеризует функцию надежности материалов. Для моделирования эксплуатации разработаны устройства и методики исследования свойств МТМ в различных температурно-влажностных условиях [14; 15]. Методики предполагают моделирование эксплуатационных механических нагрузок в климатической камере при воздействии на материалы заданного количества циклов знакопеременного изгиба или растяжения, сжатия и кручения в широком диапазоне температур при различной температуре и влажности в соответствии с назначением материала и требуемым уровнем функциональности (табл. 3). Определение значения ***Квдэ*** проводится при тех же заданных значениях давления и времени, что и критерий ***Квд***. Это позволяет обосновать выбор материалов для одежды конкретного назначения, обладающей стабильным уровнем свойств.

## Результаты

Апробация разработанной методики оценки уровня функциональности материалов для водозащитной одежды проведена для спортивной экипировки подростков, занимающихся греблей на каноэ, в климатических условиях, характерных для Республики Беларусь. Тренировки спортсменов-гребцов на открытой воде продолжаются вплоть до заморозков и прекращаются при условии замерзания водоема, на котором осуществляется спортивно-тренировочная деятельность. В среднем температурно-влажностный режим использования спортивной экипировки на открытой акватории водоемов ограничен диапазоном от 0°С до 12°С по температуре воздуха и от 50 % до 90 % по относительной влажности воздуха. Спортсмены тренируются в любую погоду, за исключением периодов с сильным шквалистым ветром, ливнями, грозой, градом. Моросящий дождь и дождь средней силы не являются причиной отмены тренировки на открытой акватории водоема. Тренируясь, каноист всегда подвержен воздействию брызг воды от собственных гребков или гребков тренирующихся поблизости спортсменов, нередки контакты с влажными частями спортивного снаряжения. Тем не менее, уровень функциональности материалов экипировки по функции *водозащиты* можно определить как *низкий*, поскольку ни средним, ни экстремально высоким он не является.

Исходя из анализа моделей-аналогов в качестве экипировки гребца предложена ветро-водозащитная куртка из МТМ. Анализ условий тренировочной деятельности гребца-каноиста показал, что интенсивному изнашиванию в процессе носки подвергаются детали куртки, расположенные вокруг плечевых и локтевых суставов: многоцикловому изгибу, кручению, трению и сжатию подвержены детали в области передних углов подмышечных впадин и внутренней стороны локтя, растяжению и кручению — в области задних углов подмышечных впадин в связи с активными движениями рук при гребле. Проведенные ранее исследования [15], показали, что наиболее существенное влияние на водозащитную функцию МТМ оказывает знакопеременный изгиб. В связи с этим для определения критерия надежности экипировки для материалов куртки выбрано количество циклов знакопеременного изгиба, соответствующее верхней границе *среднего уровня* функциональности — 100 000 циклов. Температуру воздуха при моделировании эксплуатации устанавливали наименьшую, относительную влажность — наибольшую из диапазона носки.



05TLKL424
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Согласно общераспространенной классификации [16], тренировочную деятельность спортсмена-гребца можно отнести к категории физической работы средней тяжести, поэтому уровень функциональности материалов экипировки по функции обеспечения гомеостаза человека принят как *средний*. Рекомендуемое значение коэффициента водопаропроницаемости приняли на уровне ***WVPrec*** = 3 000 (г/м$^2$·24 ч).

Скорость движения воздуха при испытании устанавливали с учетом передвижения спортсмена со средней скоростью 2,5 м/с [17], а в условиях попутного ветра средней для РБ скорости 7,5 м/с суммарно получили скорость движения воздуха 10 м/с.

Для испытаний материалов по показателю коэффициента водопаропроницаемости, необходимых для расчета критерия ***Кк***, в климатической камере устанавливали значения температуры ***Тк*** и относительной влажности ***Wк***, позволяющие получить значения разности парциальных давлений водяного пара ***ΔPк***, близкие к середине и концу температурно-влажностного диапазона носки экипировки.

Выполненный анализ условий эксплуатации экипировки гребца-каноиста позволяет построить модель идеально функционирующего водозащитного МТМ для заданных условий, представленную в таблице 5.

**Таблица 5**

**Модель идеально функционирующего водозащитного материала для экипировки гребца-каноиста**

| Единичные критерии функциональности | Условия эксплуатации | Базовые значения влияющих величин и условия испытаний |
|---|---|---|
| ***Квд*** | ***T*** = 0°C÷12°C; ***W*** = 50 %÷90 %; $\Delta P_{min}$ = 1 265 Па; $\Delta P_{max}$ = 5 197 Па; ***vвоз*** = 10 м/с | ***P*** = 30 кПа; ***t*** = 60 мин |
| ***Квдэ*** | | ***P*** = 30 кПа; ***t*** = 60 мин; ***T*** = 0°C; ***W*** = 90 %; ***N*** = 100 000 (изгиб) |
| ***Кк/WVPи = f (E); vвоз; ΔP = f (T; W) = var;*** | | ***WVP rec*** = 3 000 г/м$^2$·24 ч; ***vвоз*** = 10 м/с; $\Delta P_{кmin}$ = 2 800 кПа (***Тк*** = 35°C; ***Wк*** = 50 %); $\Delta P_{кmax}$ = 5 600 кПа (***Тк*** = 37°C; ***Wк*** = 12 %) |

*Составлено автором*

**Таблица 6**

**Характеристика объектов исследования**

| Номер образца / кол-во слоев | Полимер текстильной основы / мембраны / текстильной подкладки | Переплетение текстильной основы / подкладки | Поверхностная плотность, г/м$^2$ |
|---|---|---|---|
| 1/2 | ПА / ПУг-фильн. | полотняное | 147 |
| 2/2 | ПЭ / ПУг-фильн. | полотняное | 148 |
| 3/3 | ПЭ / ПУг-фильн. / ПЭ | полотняное / полотняное | 116 |
| 4/2 | ПЭ / ПУ г-фобн. | полотняное | 136 |
| 5/2 | ПЭ / ПА г-фобн. | комбинированное | 160 |
| 6/2 | ПЭ / ПУ г-фобн. | кулирная гладь | 152 |
| 7/3 | ПЭ / г-фобн. / ПЭ | семиигольное трико / гладкое платированное основовязаное | 235 |

*Составлено автором*

В качестве объектов исследования органолептическим методом были выбраны материалы — по внешнему виду, туше, плотности и жесткости, а также по признаку принадлежности к водозащитным МТМ. Выбранные МТМ принадлежат к различным типам: двухслойные и трехслойные материалы с микропористой полиуретановой гидрофильной или гидрофобной мембраной, соединенной методом ламинирования с текстильной основой, для некоторых образцов — еще и с текстильной подкладкой.



05TLKL424
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Текстильные слои выбранных материалов представлены тканями и трикотажными полотнами с различными переплетениями.

Характеристика объектов исследования представлена в таблице 6.

Результаты испытаний материалов — в таблицах 7 и 8. Результаты оценки уровня функциональности материалов для экипировки гребца-каноиста представлены в таблице 9.

**Таблица 7**

**Результаты испытаний материалов,
используемые для расчета критериев функции водозащиты и надежности**

| Номер образца | Время достижения стадий промокания, мин | | | | | | | | Динамический критерий уровня водозащитной функции, доли от единицы | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | до моделирования эксплуатации | | | | после моделирования эксплуатации | | | | ***Квд*** | ***Квдэ*** |
| | $t_1$ | $t_2$ | $t_3$ | $t_4$ | $t_1$ | $t_2$ | $t_3$ | $t_4$ | | |
| 1 | 10 | 12 | 16 | 25 | 6 | 7 | 9 | 14 | 0,13 | 0,08 |
| 2 | 20 | 30 | 37 | 64 | 14 | 22 | 28 | 34 | 0,31 | 0,20 |
| 3 | 1 | 2 | 3 | 9 | 0 | 0 | 0,5 | 1 | 0,03 | 0,00 |
| 4 | 68 | 120 | 120 | 120 | 56 | 116 | 120 | 120 | 0,89 | 0,86 |
| 5 | 53 | 118 | 120 | 120 | 50 | 110 | 120 | 120 | 0,86 | 0,83 |
| 6 | 34 | 97 | 118 | 120 | 32 | 95 | 101 | 120 | 0,07 | 0,05 |
| 7 | 18 | 77 | 120 | 120 | 17 | 69 | 120 | 120 | 0,70 | 0,68 |

*Составлено автором*

**Таблица 8**

**Результаты испытаний материалов, используемые для расчета критерия комфортности**

| Номер образца | Коэффициент водопаропроницаемости ***WVP*** материала, г/м²·24 ч | | Абсцисса точки пересечения графика изменения ***WVP*** исследуемого материала с ***WVPrec*** = 3 000 (г/м²·24 ч) для среднего уровня активности, ***x***, Па |
|---|---|---|---|
| | ***a*** (при ***ΔP*** = 2 800 Па) | ***c*** (при ***ΔP*** = 5 600 Па) | |
| 1 | 1 644 | 3 156 | 5 311 |
| 2 | 1 228 | 2 191 | 7 952 |
| 3 | 2 120 | 4 380 | 3 890 |
| 4 | 746 | 1 492 | 11 260 |
| 5 | 824 | 1 034 | 31 813 |
| 6 | 4 056 | 7 248 | 1 874 |
| 7 | 2 191 | 3 639 | 4 364 |

*Составлено автором*

**Таблица 9**

**Оценки уровня функциональности материалов для экипировки каноиста**

| Номер образца | Единичные критерии уровня функциональности, доли от единицы | | | Комплексная оценка уровня функциональности, ***Квд · Квдо · Кк*** |
|---|---|---|---|---|
| | ***Квд*** | ***Квдэ*** | ***Кк*** | |
| 1 | 0,13 | 0,08 | 0,00 | 0,0 |
| 2 | 0,31 | 0,20 | 0,00 | 0,0 |
| 3 | 0,03 | 0,00 | 0,33 | 0,0 |
| 4 | 0,89 | 0,86 | 0,00 | 0,0 |
| 5 | 0,86 | 0,83 | 0,00 | 0,0 |
| 6 | 0,77 | 0,73 | 0,85 | 0,48 |
| 7 | 0,70 | 0,68 | 0,21 | 0,1 |

*Составлено автором*

По результатам оценки уровня функциональности исследуемых материалов только один из семи выбранных вариантов почти наполовину соответствует желаемому уровню функциональности материалов для условий тренировочной деятельности каноиста и получил



05TLKL424
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

оценку, которую согласно шкале желательности можно интерпретировать как среднюю. Результаты показали, что шесть из семи выбранных объектов не соответствуют условиям эксплуатации и не обеспечивают требуемый уровень функциональности.

Разработанные единичные критерии функциональности материалов позволяют оценивать свойства материала как функции, проявляющиеся в заданном диапазоне климатических условий при заданной активности человека, показывая уровень комфорта носчика и надежности материала в процессе эксплуатации одежды из них. Они просты в применении и интерпретации, обеспечены методической и приборной базой исследования и готовы к внедрению в практику конфекционирования материалов в пакет изделий легкой промышленности.

Для проверки адекватности полученных оценок из всех материалов изготовлены одинаковые по модели куртки, которые размещены для экспериментальной носки в специализированную спортивную школу. Результаты носки будут опубликованы после окончания эксперимента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Даргевич В.И. Климатические особенности регионов Республики Беларусь // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Инновации в технике и технологии дорожно-транспортного комплекса» / Минск, 2013. Т. 1. С. 17–20.
2. Логинов В.Ф. Современные изменения климата Беларуси // Фундаментальная и прикладная климатология. 2022. Т. 8. № 1. С. 51–74.
3. Симоненко Д.Ф. Лабораторная оценка носкости материалов для одежды — Москва: «Легкая индустрия», 1978. — 112 с.
4. Туханова В.Ю., Тихонова Т. П. Инженерное конфекционирование материалов для швейных изделий // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 9. С. 105–109.
5. Влияние факторов окружающей среды на материалы легкой промышленности: монография / А.П. Жихарев [и др.] — Казань: КГТУ, 2011. — 232 с.
6. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing / J. Williams. — Elsevier: Wood head Pablishing Ltd, 2018. — 590 p.
7. Waterproof breathable fabrics / D.A. Holmes. — England; Cambrige: The Textile Institute, 2000. — 576 p.
8. Бурмистрова О.В., Перов С.Ю., Сажина М.В. Физиологические сдвиги в организме при работе в нагревающей среде в шунтирующих экранирующих средствах индивидуальной защиты // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102(9). С. 921–927.
9. Любушин Н.П., Брикач Г.Е. Использование обобщенной функции желательности Харрингтона в многопараметрических экономических задачах // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 18(370). С. 2–10.
10. Экологический мониторинг параметров микроклимата: монография / Е.И. Тимофеева, Г.В. Федорович — Москва: НТМ, 2005. — 194 с.
11. Lomax G. Breathable polyurethane membranes for textile and related industries / G. Lomax // J. Mater. Chem. 2007. Issue 27. P. 2775–2784.



05TLKL424
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

12. Панкевич Д.К., Буркин А.Н. Методология оценки свойств материалов для водонепроницаемой одежды // Технологии и качество. 2022. № 2(56). С. 5–10.

13. Ивашко Е.И., Панкевич Д.К. Паропроницаемость мембранных текстильных материалов в условиях, близких к эксплуатационным // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2022. № 2(43). С. 47–52.

14. Alexander Burkin, Darya Pankevich, Katerina Ivashko, Anna Lyadova Properties of membrane textile materials for apparel in modeling exploitation wear // AIP Conference Proceedings. 2022. 2430. 030005.

15. Ивашко Е.И., Буркин А.Н. Влияние температуры и влажности на свойства водозащитных материалов для специальной одежды // сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности» (ISTS «EESTE-2021»): Т. 2 / Москва: ФГБОУ ВО «РГУ имени А.Н. Косыгина», 2021. С. 134–138.

16. Гигиена и экология человека / В.И. Архангельский, В.Ф. Кириллов — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2020. — 176 с.

**17.** Лукашевич Д.А. Полипараметрический анализ движений спортсменов в тестах на гребных эргометрах и в естественных условиях управляемой среды // Ученые записки. 2021. № 24. С. 41–52.

**Pankevich Darya 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
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57473436700

# Evaluation of the level of functionality of materials for sports waterproof clothing

**Abstract.** The article is devoted to the assessment of the level of functionality of materials for waterproof clothing, new criteria, methods and means of their determination. The author shows a new approach to assessing the properties of materials as functions having a common area of definition limited by the range of operating conditions. The developed functional approach to the assessment of properties of materials for clothing is realized on the example of multifunctional complex textile materials for waterproof clothing, containing a polymer membrane impermeable to drip-liquid moisture but permeable to water vapor. The criteria of functionality of materials are characterized, the factors influencing them are described, the parameters determining the conditions of testing are shown and formulas for calculating the dynamic criterion of the level of waterproof function, reliability criterion and comfort criterion are proposed. The gradation of functionality levels of clothing materials and the method of building a model of the material ideally functioning in the given conditions, which allows to determine the conditions of testing and the parameters influencing the calculation of functionality criteria, are proposed. The evaluation of the level of functionality of materials for sports waterproof outfits selected organoleptically is carried out. It is established that one of seven selected materials has an average level of functionality, the other materials showed a low and zero level of functionality in the given conditions of operation of materials. The evaluation of materials functionality gives the opportunity to analyze the material properties as a function, manifested in a given range of climatic conditions under a given human activity, showing the level of human satisfaction with the useful response of materials to external influences in the process of operation of clothing made of them. The functionality criteria are easy to apply and interpret, provided with methodological and instrumental basis of the research and ready to be implemented in the practice of confectionation of clothing materials.

**Keywords:** clothing; function; evaluation; material; criterion; grading; waterproof; comfort; reliability



05TLKL424
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com