

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 67.017

ВОДОПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ: НОВЫЕ КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

канд. техн. наук, доц. Д. К. Панкевич
(Витебский государственный технологический университет)
e-mail: dashapan@mail.ru

Статья посвящена разработке новой методики исследования и оценки способности материалов для одежды пропускать через свою структуру столько водяного пара, сколько его производит организм человека. Разработан способ расчета диапазона температурно-влажностных условий эксплуатации одежды и методика исследования и оценки водопаропроницаемости материалов в этом диапазоне по трем критериям.

Ключевые слова: одежда, материалы, теплоощущение, теплопотери, водопаропроницаемость, условия эксплуатации, оценка.

Водопаропроницаемость материалов является одним из сорбционных свойств, определяющих их качество и существенно влияющих на способность обеспечивать температурный гомеостаз человека в одежде. Гомеостаз – это способность организма поддерживать функционально значимые переменные в пределах, обеспечивающих его оптимальную жизнедеятельность. [1]. Если тепловой баланс нарушается и тело человека перегревается, наблюдается так называемая высокотемпературная область условий эксплуатации, в организме человека срабатывает механизм физической терморегуляции и потоотделение существенно увеличивается. У одетого человека пакет материалов создает вокруг тела оболочку, которая тем комфортнее, чем больше она способна помогать работе механизмов терморегуляции [2].

Физический смысл функции обеспечения температурного гомео-

стаза материалами для одежды в высокотемпературной области условий эксплуатации – не допустить перегрева организма, то есть пропускать через свою структуру столько водяного пара, сколько его производит организм человека для охлаждения тела.

Водопаропроницаемость материалов для одежды характеризуется коэффициентом водопаропроницаемости (water vapour permeability, WVP, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ ч})$), который определяется как отношение убыли массы воды, испарившейся за определенное время в контролируемых условиях через образец, к площади этого образца.

Производители материалов используют различные методики определения показателя водопаропроницаемости и чаще всего представляют потребителю информацию о наилучшем результате тестирования.

На рисунке 1 показан анализ стандартных методик определения

водопаропроницаемости, реализующих гравиметрический метод. Все они не приспособлены для исследования водопаропроницаемости как функции обеспечения температурного гомеостаза, поскольку позволяют определить лишь значение показателя при сочетании заданных фиксированных значений комплекса условий (температуры, влажности и скорости движения воздуха, расстояния между моделью «тела» и внутренней поверхностью образца), обуславливающих разность парциальных давлений водяного пара по обе стороны от тестируемого образца.

Ограничим гипотетический диапазон носки одежды, описываемый разностью парциальных давлений водяного пара внутри и снаружи одежды $\Delta P \in [\Delta P_{\min}; \Delta P_{\max}]$. Именно эта разность ΔP является движущей силой массопереноса через одежду и способствует удалению водяных па-

ров из пространства под одеждой. Известно, что чем больше значение ΔP , тем выше значение коэффициента водопаропроницаемости для любого материала [3], [4]. Однако изменение WVP при изменении ΔP для материалов разных структур описывается различными законами [5]. Диапазон носки одежды обусловлен температурой и влажностью, динамикой наружного воздуха. Предположим, требуется сравнить между собой водопаропроницаемость трех образцов материалов для выбора наиболее комфортного из них в некотором диапазоне носки, интерпретируемом через ΔP . На графике, иллюстрирующем зависимость коэффициента WVP трех образцов материалов от ΔP (рис.1) показано, что стандартные условия не соответствуют середине этого диапазона, не позволяют определить некоторую среднюю величину, иногда не характерны для диапазона носки.

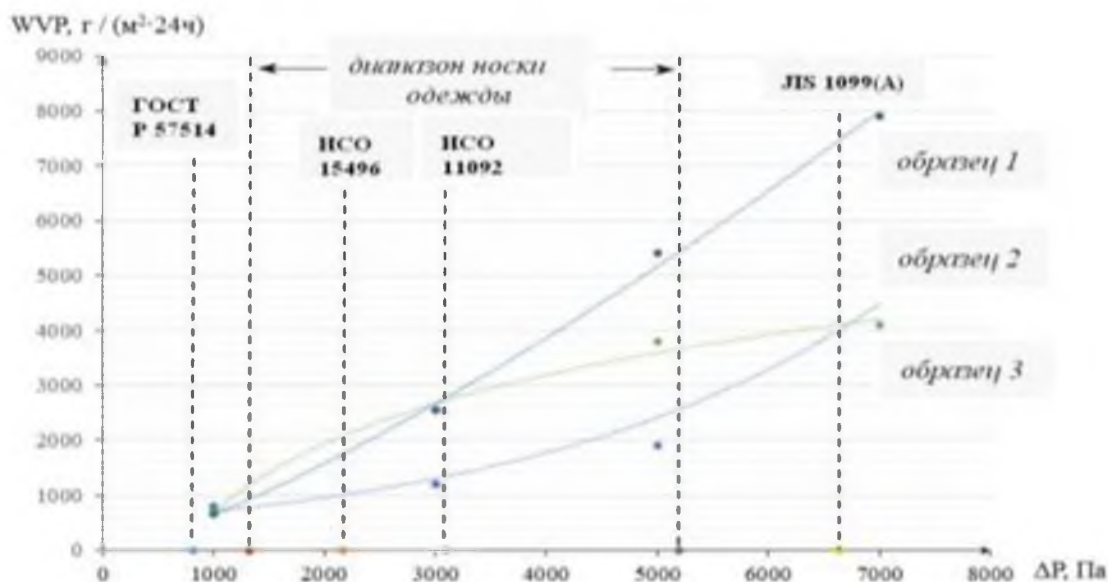


Рисунок 1 – Анализ стандартных методик исследования водопаропроницаемости

При этом условия эксплуатации одежды конкретного назначения могут быть довольно четко определены,

исходя из заранее известных параметров. Давление пара снаружи одежды изменяется соответственно измене-

Д. К. Панкевич
ВОДОПАРПРОНИЦАЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ:
НОВЫЕ КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

нию температуры и влажности наружного воздуха.

Параметры воздуха внутри одежды также изменяются, а потребность в выведении паров из пространства под одеждой возникает в диапазоне разности ΔP , соответствующей изменению теплоощущения человека от «комфорт» до «очень жарко».

Каждого человека природа наделила способностью оценивать собственные теплоощущения. Общее количество рецепторов, воспринимающих тепло и холод, составляет 280000, из них 30000 реагируют на тепло [6]. Этот «встроенный датчик» комфортности является естественным средством оценки свойств материалов для потребителя.

Связь между тепловыми ощущениями и значением средневзве-

шенной температуры кожи (СВТК), установленная в ходе многочисленных экспериментальных исследований, иллюстрирует таблица 2 [2]. По данным литературных источников, хорошее теплоощущение и нормальные условия для терморегуляции у человека еще сохраняются при относительной влажности воздуха под одеждой 50-60% [7]. Повышение относительной влажности воздуха в пространстве под одеждой свыше 76% воспринимается человеком как дискомфорт. Исследования, опубликованные в источнике [8], показали, что испытуемые отмечали теплоощущение «жарко» при относительной влажности воздуха пространства под одеждой от 76% до 98%.

Таблица 2 – Характеристики теплоощущений человека

Теплоощущения	СВТК, °С	Потери влаги, г/ч
Очень жарко	$\geq 36,0$	500 – 2000 значительная часть пота стекает
Жарко	$36,0 \pm 0,6$	250 – 500 значительная часть пота стекает
Тепло	$34,9 \pm 0,7$	60 – 250 пот не стекает
Комфорт	$33,2 \pm 1,0$	50 ± 10 пот не выделяется
Прохладно	$31,1 \pm 1,0$	40 пот не выделяется
Холодно	$29,1 \pm 1,0$	влагопотери как показатель теплоощущений
Очень холодно	ниже 28,1	не характерны

В таблице 3 влагопотери при различных теплоощущениях человека пересчитаны на 24 часа и сопоставлены с требуемым значением коэффициента водопаропроницаемости при допущении, что площадь поверхности кожи взрослого человека составляет $1,8 \text{ м}^2$

[9]. Анализ данных таблицы 3 показывает, что при изменении теплоощущения одетого человека на одну категорию, его влагопотери за счет потоотделения, вызванного напряжением механизма терморегуляции, возрастают в несколько раз.

Таблица 3 – Требуемая водопаропроницаемость материалов одежды

Теплоощущение	очень жарко	жарко	тепло	комфорт
Влагопотери человека потоотделением, г/24 часа [8]	10800 – 46800	4800 – 10800	240 – 4800	0
Влагопотери человека потоотделением, % от максимума [2]	26 – 100	10 – 25	до 10	0
Требуемый коэффициент водопаропроницаемости, г / ($\text{м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$)	6001 – 26000	2668 – 6000	133 – 2667	0 – 132

Цель работы – разработка простой в реализации методики исследования и оценки водопаропроницаемости материалов для одежды, которая позволит установить соответствие между теплоощущением человека и численным показателем способности материалов пропускать через свою структуру столько водяных паров, сколько необходимо человеку для обеспечения гомеостаза в заданных условиях.

Условия эксплуатации одежды конкретного назначения определены, усредненные характеристики теплоощущений человека известны, а материалы для одежды различны по способности увеличивать коэффициент

водопаропроницаемости при росте разницы ΔP . Поэтому для объективной оценки этой способности необходимо температурно-влажностные условия носки одежды интерпретировать через ΔP , исследовать водопаропроницаемость планируемого к применению материала на рассчитанном промежутке ΔP , и установить ту часть диапазона носки одежды, в которой водопаропроницаемость исследуемого образца равна или превышает установленное в соответствии с активностью носчика базовое значение. Математический аппарат, используемый для реализации задачи, представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Используемые в методике расчетные формулы

Величина, обозначение, единицы измерения	Расчетная формула	Расшифровка элементов формулы
Разность парциальных давлений водяного пара, ΔP , Па	(1)	температура T_n , $T_{вн}$ и относительная влажность W_n , $W_{вн}$ снаружи и внутри одежды соответственно
Парциальное давление водяного пара воздуха внутри одежды при теплоощущении «жарко», P_j , Па	(2)	температура и относительная влажность воздуха внутри одежды при теплоощущении «жарко»: $T = 37^\circ\text{C}$, $W = 87\%$
То же при теплоощущении «комфорт», P_k , Па	(2)	то же при теплоощущении «тепло»: $T = 32^\circ\text{C}$, $W = 55\%$,
Нижняя граница диапазона значений парциального давления водяного пара наружного воздуха при эксплуатации одежды, $P_{э1}$, Па	(2)	минимальная температура $T = \min$ и минимальная относительная влажность $W = \min$
Верхняя граница диапазона значений парциального давления водяного пара наружного воздуха при эксплуатации одежды, $P_{э2}$, Па	(2)	наружного воздуха, на которые рассчитан предмет одежды максимальная температура $T = \max$ и максимальная относительная влажность $W = \max$
Диапазон носки, $\Delta P_{\min}$; $\Delta P_{\max}$	(3)	наружного воздуха, на которые рассчитан предмет одежды -

$$\Delta P = 1,84 \cdot 10^9 \cdot (W_{ВН} \cdot \exp(-\frac{5330}{T_{ВН}}) - W_{Н} \cdot \exp(-\frac{5330}{T_{Н}})) \quad (1)$$

$$P = 1,84 \cdot 10^9 \cdot W \cdot \exp(-\frac{5330}{T}) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{\min} &= \min(P_{\text{к}} - P_{\text{э1}}; P_{\text{к}} - P_{\text{э2}}) = 2583 - P_{\text{э2}} \\ \Delta P_{\max} &= \max(P_{\text{ж}} - P_{\text{э1}}; P_{\text{ж}} - P_{\text{э2}}) = 5507 - P_{\text{э1}} \end{aligned} \quad (3)$$

Для исследования и оценки водопарпрооницаемости как функции обеспечения температурного гомеостаза коллективом авторов УО «ВГТУ» разработано устройство, позволяющее изучать способность материалов пропускать через свою структуру водяной пар в условиях, приближенных к эксплуатационным, с возможностью задания различных перепадов температуры и влажности, скорости движения воздуха по разные стороны исследуемого образца материала [10].

Автором статьи разработан новый критерий комфортности K_k и новый динамический критерий водопарпрооницаемости D_{wvp} , а также методика оценки способности материалов для одежды обеспечивать гомеостаз в высокотемпературной области эксплуатации по значению коэффициента водопарпрооницаемости.

Критерий K_k определяется по графику изменения коэффициента WVP водопарпрооницаемости при изменении разности ΔP , построенно-

му в пределах рассчитанного диапазона носки проектируемой одежды, и характеризует ту часть максимально возможных для организма человека влагопотерь, которая может быть удалена из пространства под одеждой за счет водопарпрооницаемости материала. При этом градация базовых значений WVP соответствует градации влагопотерь организма человека при различных теплоощущениях (таблица 3).

Расчет критерия K_k по формуле (4) основан на том, что WVP достигает рекомендуемых базовых значений при некоторых значениях ΔP_t и ΔP_j , разделяющих диапазон носки одежды на зоны, в которых за счет водопарпрооницаемости материала возможно различное по эффективности удаление влаги (рис.2). При этом максимальные влагопотери человека характерны для теплоощущения «очень жарко» и принимаются за 100%, средние – для теплоощущения «жарко» (25%), минимальные – для теплоощущения «тепло» (10%) [2].

$$K_k = \frac{(\Delta P_{\max} - \Delta P_j) + 0,25 \cdot (\Delta P_j - \Delta P_t) + 0,1 \cdot (\Delta P_t - \Delta P_{\min})}{(\Delta P_{\max} - \Delta P_{\min})} \quad (4)$$

где $\Delta P_{\max}$, $\Delta P_{\min}$ – максимальная и минимальная разность парциальных давлений пара соответственно, Па;

ΔP_t – значение разности ΔP , соответствующее пересечению графика

с границей $WVP_t = 2667 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$ рекомендуемых значений коэффициента водопарпрооницаемости при смене теплоощущений с «тепло» на «жарко», Па;

$\Delta P_{ж}$ – значение разности ΔP , соответствующее пересечению графика с границей $WVP_{ж} = 6000 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$ рекомендуемых значений коэффициента водопаропроницаемости при смене теплоощущений на «очень жарко», Па.

Если точки $\Delta P_{ж}$, $\Delta P_{т}$ расположены вне диапазона носки, то возможно следующее:

график проходит ниже границы $WVP_{к} = 132 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$, тогда на всем диапазоне носки одежды материал не способен эффективно удалять влагу из пространства под одеждой и $K_k = 0$;

график проходит выше $WVP_{к}$, но ниже $WVP_{т} = 2667 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$, тогда на всем диапазоне носки одежды материал способен эффективно удалять до 10 % максимально возможного количества влаги, образуемой при потоотделении, $\Delta P_{ж} = \Delta P_{т} = \Delta P_{\max}$ и $K_k = 0,1$;

график проходит выше $WVP_{т}$, но ниже $WVP_{ж} = 6000 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$, следовательно, на всем диапазоне носки одежды материал способен эффективно удалять до 25% максимально возможного количества влаги из пространства под одеждой, $\Delta P_{ж} = \Delta P_{\max}$, $\Delta P_{т} = \Delta P_{\min}$ и $K_k = 0,25$.

-график проходит выше границы $WVP_{ж} = 6000 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$, следовательно, на всем диапазоне носки одежды материал способен эффективно удалять 100% образовавшейся влаги из пространства под одеждой, $\Delta P_{ж} = \Delta P_{т} = \Delta P_{\min}$ и $K_k = 1$.

Физический смысл критерия комфортности состоит в определении способности материала на всем диапазоне носки одежды пропускать через свою структуру достаточное для обеспечения температурного гомеостаза человека количество паров воды.

Значение K_k показывает, какую часть максимально возможных влагопотерь в долях от единицы способен пропустить материал через свою структуру в заданных условиях носки, и дает объективное представление о том, для какого уровня активности носчика предназначен материал. Чем выше уровень активности человека в одежде, тем ближе к 1 должно быть значение K_k .

Для построения графика и точного расчета K_k необходимо исследовать WVP как минимум при четырех различных значениях ΔP , что требует длительного времени и энергозатратно. Замечено, что для получения приблизительного значения K_k достаточно построить график по двум точкам WVP_{mid} , и WVP_{max} , находящимся в середине и в конце диапазона носки соответственно.

Динамический критерий Dw_{vp} имеет более узкое применение, но рассчитывается проще, исходя из заданного уровня активности человека по формуле (5). Критерий Dw_{vp} позволяет оценить соответствие материала конкретному уровню активности носчика и показывает скорость нарастания отношения фактического значения к рекомендуемому значению WVP при росте разности парциальных давлений пара на 1 кПа. Значение Dw_{vp} характеризует угол наклона графика роста коэффициента водопаропроницаемости к оси x во второй, наиболее значимой, его половине и является позитивным в случае, если отношение коэффициента WVP_{mid} в середине диапазона носки к рекомендуемому значению WVP_{rec} меньше единицы. В случае, когда необходимо быстро принять решение, достаточно исследовать водопаропроницаемость МТМ в точках максимума и середины диапазона разностей ΔP .

Д. К. Панкевич
ВОДОПАРПРОНИЦАЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ:
НОВЫЕ КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

$$Dwvp = \frac{WVP_{\max} - WVP_{\text{mid}}}{WVP_{\text{rec}} \cdot (\Delta P_{\max} - \Delta P_{\text{mid}})} \quad (5)$$

где $WVP_{\max}$, WVP_{mid} – коэффициент водопарпрооницаемости, определяемый в условиях максимальной и средней ΔP соответственно, г/м²·24ч;

$\Delta P_{\max}$, ΔP_{mid} – максимальная и средняя разность ΔP диапазона носки одежды, кПа;

WVP_{rec} – рекомендуемый коэффициент водопарпрооницаемости, соответствующий влагопотерям организма человека при эксплуатации одежды (исследователь вправе назначить любое обоснованное активностью носчика значение WVP_{rec}).

Базовое значение $Dwvp$ выбирается по правилу: максимальный при $(WVP_{\text{mid}}/WVP_{\text{rec}}) \leq 1$, иначе – минимальный. Чем больше значение $Dwvp$, тем менее комфортен материал в носке, если в середине диапазона носки значение $(WVP_{\text{mid}} / WVP_{\text{rec}}) > 1$, поскольку в этом случае график роста коэффициента водопарпрооницаемо-

сти имеет больший угол наклона к оси x , соответственно, меньшая часть диапазона носки обеспечена адекватным уровнем водопарпрооницаемости. Для самочувствия носчика это означает, что более ощутимым будет пороговое значение $\Delta P_{\text{ж}}$, которого необходимо достичь, чтобы началось эффективное удаление влаги из пространства под одеждой. Однако, если для середины диапазона носки справедливо, что $(WVP_{\text{mid}} / WVP_{\text{rec}}) \leq 1$, тогда $Dwvp$ должен быть максимальным, чтобы хотя бы в какой-то малой его части в принципе могла возникнуть ситуация, когда уровень водопарпрооницаемости материала соответствует потребностям организма человека. Базовые значения разработанных критериев оценки водопарпрооницаемости материалов для одежды представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Базовые значения разработанных критериев

Критерий, обозначение, ед. измерения	Градация базового значения критерия				
	минимальный	низкий	средний	высокий	наивысший
Коэффициент водопарпрооницаемости в середине диапазона носки, WVP_{mid} , г / (м ² ·24 ч)	600	1000... 3000	3001... 7000	7001... 10000	более 10001
Критерий комфортности, K_k	0,1	0,11... 0,24	0,25... 0,40	0,41... 0,85	1,00
Динамический критерий, $Dwvp$, кПа ⁻¹	Позитивен при $(WVP_{\text{mid}} / WVP_{\text{rec}}) \leq 1$, иначе – негативен				

Разработанная методика апробирована при подборе пакета материалов водозащитной спортивной экипировки для гребных видов спорта, эксплуатируемой на открытой воде в осенне-весенний период года. Планируемый диапазон наиболее характерных параметров внешней среды для температу-

ры воздуха составляет от 0°С до 12°С, для относительной влажности воздуха над поверхностью водоема от 50 % до 90 % [11].

Исследовали свойства образцов водозащитных комплексных текстильных материалов с полимерной мембраной различных структур, обладающих

высоким уровнем водонепроницаемости. Все образцы двухслойные на тканой полиэфирной основе. Образец №1 содержит комбинированную гидрофильно-гидрофобную мембрану, образец № 4 – гидрофобную пористую, остальные образцы – пористую гидрофильную мембрану. Характеристика объектов исследования представлена в таблице 6. Звездочкой отмечены мембраны из гидрофильного полимера.

Разработанная методика исследования водопаропроницаемости реализована с помощью устройства [10], расположенного в климатической камере УТН-408-40-1Р («Tuanta», Китай). Испытания проводили с подогревом чаш и обдувом образцов потоком воздуха со скоростью 3,0 м/с (с учетом средней скорости, развиваемой байдаркой или каное). Условия, обеспечивающие заданное в опыте значение

разности парциальных давлений водяного пара ΔP , создавали, варьируя значения устанавливаемых температуры и влажности воздуха в климатической камере и температуры воды в чашах, и контролировали в течение опыта.

В результате выполненного по формулам 1-3 расчета для определения разработанных критериев при исследовании водопаропроницаемости использовали значения $\Delta P_{\min} = 1320$ Па, $\Delta P_{\text{mid}} = 3878$ Па, $\Delta P_{\max} = 5198$ Па. Значение $WVP_{\text{гес.}} = 4000$ г/м²·24ч приняли исходя из предположения, что в процессе плановой тренировочной деятельности спортсмены, работая в размеренном темпе, чаще будут отмечать теплоощущение «жарко», поэтому требуемый уровень $WVP_{\text{гес.}}$ необходимо выбирать из диапазона (2667...6000) г/м²·24ч.

Таблица 6 – Характеристика объектов исследования

Характеристика, обозначение, ед. измерения	Номер образца / лабораторный шифр				
	1 / orpol	2 / geori	3 / grang	4 / redg	5 / blann
Поверхностная плотность, г/м ²	139	95	148	109	148
Толщина текстиля, мм	0,13	0,09	0,16	0,11	0,14
Толщина мембраны, мм	0,05/0,01*	0,03*	0,07*	0,06	0,06*
Водонепроницаемость, кПа	122	25	106	95	42

Результаты расчета критериев оценки водопаропроницаемости материалов представлены в таблице 7. На рисунке 3 показаны графики изменения коэффициента водопаропроницаемости исследуемых образцов материалов. Анализ графиков на рисунке 3 позволяет сделать следующие выводы. Образцы №2, №3 и №4 не обладают способностью пропускать пары воды через свою структуру в количестве, необходимом для хорошей работы механизмов терморегуляции в высокотемпературной области эксплуатации одежды из них. Поскольку графики расположены выше границы теплоощущения «комфорт» $WVP_{\text{к}}$, но не пересекают границу теплоощуще-

ния «тепло» $WVP_{\text{т}}$, согласно методике, без расчета принимаем $K_{\text{к}} = 0,1$. Это минимальный уровень комфортности материалов для одежды.

Образцы №1 и №5 способны пропускать большее количество водяного пара. Для них выполнено построение графика в первой части диапазона носки путем продления прямой, проходящей через точки WVP_{max} и WVP_{mid} , и проведен предусмотренный методикой расчет коэффициента комфортности $K_{\text{к}}$.

График образца №5 проходит выше $WVP_{\text{т}}$, но ниже $WVP_{\text{ж}}$, пересекая границу $WVP_{\text{т}}$ в точке $\Delta P_{\text{т5}}$, расположенной вне диапазона носки, поэтому, согласно разработанной мето-

Д. К. Панкевич
ВОДОПАРПРОНИЦАЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ:
НОВЫЕ КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

дике, $\Delta P_{ж} = \Delta P_{max}$, $\Delta P_{т} = \Delta P_{min}$ и $K_k = 0,25$.

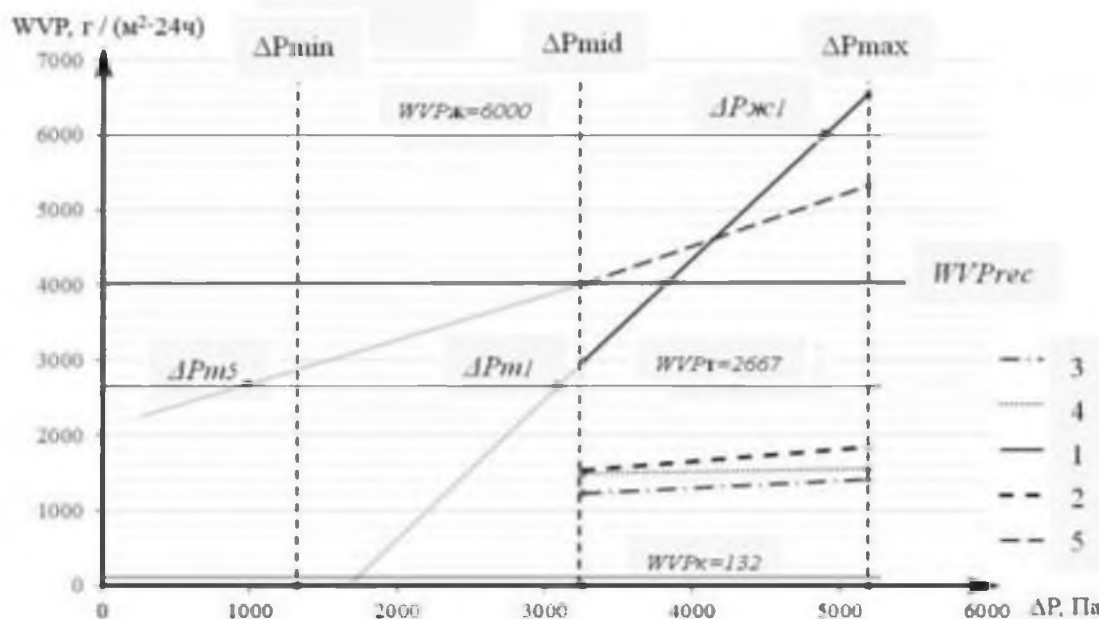


Рисунок 2 – Графики изменения коэффициента водопарпроницаемости исследуемых образцов материалов

На всем диапазоне носки одежды материал №5 способен эффективно удалить до 25% максимально возможного количества влаги из пространства под одеждой, он обладает средним уровнем комфортности.

График образца №1 пересекает границы $WVP_{т}$ и $WVP_{ж}$ в точках $\Delta P_{т1}=3083$ Па и $\Delta P_{ж1}=4895$ Па соответственно. Для него рассчитано значение K_k по формуле (4).

По результатам расчета выявлено, что наибольшим значением K_k обладает образец №5, содержащий в своей структуре гидрофильную пористую мембрану, однако, согласно разработанной градации базовых значений критерия (табл.5), уровень комфортности образца №5 средний (на нижней границе). В связи с этим при использовании образца №5 в качестве материала для спортивной одежды необходимо решать вопрос создания комфорта в пододежном пространстве экипировки гребца еще и за счет вве-

дения вентиляционных конструктивных элементов.

Динамический критерий Dw_{vp} позитивен для всех образцов, кроме образца №5, поскольку для него справедливо $(WVP_{mid}/WVP_{prec}) > 1$. Наивысшим значением Dw_{vp} , рассчитанным по формуле (5), обладает образец №1, наименьшим – образец №4. Динамический критерий Dw_{vp} информативен при сравнении близких по уровню WVP_{mid} образцов. Так, в группе образцов, подобных по уровню водопарпроницаемости в середине диапазона носки (№2, №3, №4), более комфортным будет образец №2, обладающий большим значением Dw_{vp} . Для двух образцов-лидеров наблюдается иная ситуация сравнения. Динамический критерий использовать нецелесообразно, так как он оценивается по-разному в связи с различным значением отношения (WVP_{mid}/WVP_{prec}) у них. В таком случае необходимо рассчитать значение критерия комфортности K_k .

Таблица 7 – Результаты расчета критериев оценки водопаропроницаемости

Критерий, обозначение, ед. измерения	Номер образца				
	1	2	3	4	5
Коэффициент водопаропроницаемости в конце диапазона носки, WVP_{max} , г/(м ² ·24 ч)	6548	1845	1408	1554	5325
Коэффициент водопаропроницаемости в середине диапазона носки, WVP_{mid} , г/(м ² ·24 ч)	2984	1529	1232	1488	4008
Критерий комфортности, K_k	0,24	0,10	0,10	0,10	0,25
Динамический критерий, $Dwvp$, кПа ⁻¹	0,675	0,060	0,033	0,013	0,250

Образец №1 обладает большим значением WVP_{max} , но меньшим значением критерия комфортности. Это означает, что в процессе носки более комфортным будет образец №5, поскольку уровень водопаропроницаемости у него более стабилен на всем диапазоне носки, что позволяет носителю избежать ощущения «припарка» и накопления конденсированной влаги в одежде.

Адекватность оценки по разработанным критериям проверена путем экспериментальной носки спортивной экипировки на выборке из восьми спортсменов, наблюдающих за своими теплоощущениями в одежде одинакового покроя, выполненной из различных по уровню критерия комфортности материалов. Спортсмены одной возрастной группы занимаются одновременно при одинаковых погодных условиях и одинаковом уровне активности. Итоги эксперимента будут подробно отражены в

следующей работе автора, но в целом выводы подтверждают информативность разработанных критериев, поскольку наблюдения спортсменов согласованы с результатами лабораторных исследований.

Разработанная методика и критерии оценки водопаропроницаемости материалов для одежды позволяют, используя простой математический аппарат и доступные средства, определить степень соответствия свойств материалов заданным условиям эксплуатации одежды из них, ориентируясь на результаты научных исследований характеристик теплоощущений человека. Методика и критерии могут применяться для исследования свойств комплектов материалов, что открывает новые возможности для применения принципов рационального подбора материалов в пакет одежды при их исследовании новыми инструментами.

Список литературы

1. Гигиена и экология человека [Текст] / В. И. Архангельский, В. Ф. Кириллов – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 176 с.
2. Экологический мониторинг параметров микроклимата [Текст]: монография / Е. И. Тимофеева, Г.В. Федорович – Москва: НТМ, 2005. – 194 с.
3. Термовлажностные процессы в материалах и изделиях легкой промышленности [Текст]: монография / Ю.В. Светлов – Москва: Академия, 2006. – 272 с.
4. **Mazari, A., Havelka, A.** Comparison of textile membranes for moisture transport [Текст] // *Fibres and Textiles*. – 2020. – №5. – pp. 24-31.

Д. К. Панкевич
ВОДОПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ:
НОВЫЕ КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

5. **Панкевич, Д. К., Мойсейчик А. Ю.** Исследование паропрооницаемости мембранных материалов различных структур [Текст] // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2023. – №2 (45). – С. 27-32.
6. Влияние факторов окружающей среды на материалы легкой промышленности [Текст]: монография / А. П. Жихарев [и др.] – Казань: КГТУ, 2011. – 232 с.
7. **Бурмистрова, О. В., Лосик, Т. К., Шупорин, Е. С.** Физиолого-гигиеническое обоснование разработки методики оценки спецодежды для защиты работающих в нагревающей среде по показателям теплового состояния [Текст] // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – №12. – С. 1013-1019.
8. **Гусейнова, М. В.** Исследование возможности групповой оценки теплового комфорта по теории Фангера применительно ко множеству лиц с разными трудовыми показателями [Текст] // Экология человека. – 2019. – № 4. – С. 60-64.
9. **Цибулевский, А. Ю., Дубовая, Т. К.** Кожа. Морфология, гистохимия, гистофизиология [Текст] // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. – 2021. – № 1 (11). – С. 37-42.
10. Пат. 13087 ВУ МПК G 01N 15/00 (2006.01). Устройство для контроля паропрооницаемости материалов [Текст] //Буркин А. Н., Панкевич Д. К., Борозна В. Д., Ивашко Е. И., Терентьев А. А. № u20220111; заявл. 16.05.2022; опубл. 30.12.2022. Бюл. № 6. – 4с. : ил.
11. **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»: в 6 т. – Минск, 2013. – Т. 1 – С. 17-20.

**WATER VAPOR PERMEABILITY OF CLOTHING MATERIALS: NEW
CRITERIA AND EVALUATION METHODOLOGY**

D.K. Pankevich
(Vitebsk State Technological University)

The article is devoted to the development of a new method of research and evaluation of the ability of clothing materials to pass through their structure as much water vapor as it is produced by the human body. The method of calculation of the range of temperature-humidity conditions of clothes operation and the method of research and estimation of water vapor permeability of materials in this range by three criteria are developed.

Key words: clothes, materials, heat perception, moisture loss, water-vapor permeability, operating conditions, evaluation.