

УДК 677.017.62
DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_61

**РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ СПОСОБНОСТИ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОДОЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ
ОБЕСПЕЧИВАТЬ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ГОМЕОСТАЗ***

**DEVELOPMENT OF CRITERIA FOR ASSESSING THE ABILITY
OF MATERIALS FOR WATERPROOF CLOTHING
TO ENSURE TEMPERATURE HOMEOSTASIS**

Д.К. ПАНКЕВИЧ

D.K. PANKEVICH

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: dashapan@mail.ru

В статье представлено обоснование нового критерия оценки способности материалов для водозащитной одежды обеспечивать температурный гомеостаз человека. Изложены основные теоретические положения физиолого-гигиенической оценки одежды по уровню комфортности, взятые за основу при разработке критерия, приведены расчетные формулы и определена градация значений нового динамического критерия водопаропроницаемости. Показано, что возможность организма одетого человека обеспечивать гомеостаз в каждый момент времени зависит от величины разности парциальных давлений пара, которая определяется температурой кожи человека, влажностью пространства под одеждой и метеорологическими параметрами наружного воздуха. Величина разности парциальных давлений пара непрерывно изменяется в зависимости от теплопродукции человека и от способности материалов одежды пропускать водяные пары через свою структуру. Для оценки этой способности традиционно применяют показатель водопаропроницаемости, измеряемый при стандартных условиях и сравниваемый с эталоном. С целью совершенствования методики оценки предложено величину коэффициента водопаропроницаемости материала соотносить с величиной влагопотерь человека, который ощущает потребность в выведении паров влаги из пространства под одеждой, регистрируя

*Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ИСТАИ-2023)», которая состоялась 9-10 ноября 2023 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

теплоощущения «тепло», «жарко» и «очень жарко»). При этом скорость выведения паров материалами одежды должна соответствовать скорости накопления испаряющейся с поверхности кожи человека влаги при изменении его теплоощущений в конкретном диапазоне разности парциальных давлений пара, обусловленном условиями эксплуатации. В результате разработан критерий оценки функции обеспечения материалами одежды температурного гомеостаза, который позволяет определить соответствие способности материалов не препятствовать процессам терморегуляции потребностям организма человека. Критерий показывает отношение максимально возможного в заданных эксплуатационных условиях коэффициента водонепроницаемости и влагопотерь к испарениям носчика, проявляющего тот или иной уровень активности. Приведен пример расчета разработанного критерия для спортивной экипировки по результатам исследования водозащитных материалов.

The article presents the substantiation of a new criterion for assessing the ability of materials for waterproof clothing to provide human temperature homeostasis. The basic theoretical provisions of physiological and hygienic assessment of clothing on the level of comfort taken as a basis for the development of the criterion are stated, calculation formulas are given and gradation of values of the new dynamic criterion of water vapor permeability is determined. It is shown that the ability of the clothed person's organism to provide homeostasis at each moment of time depends on the value of the difference of partial vapor pressures, which is determined by the temperature of the human skin, humidity of the space under the clothing and meteorological parameters of the outside air. The value of the difference in partial vapor pressure varies continuously depending on human heat production and the ability of clothing materials to pass water vapor through their structure. To assess this ability, water vapor permeability index is traditionally used, measured under standard conditions and compared with a reference standard. In order to improve the assessment methodology, it is proposed to correlate the value of the water vapor permeability coefficient of the material not with a reference standard, as suggested by the existing regulatory framework, but with the amount of moisture loss of a person who feels the need to remove moisture vapor from the space under the clothes, registering the heat sensations "warm", "hot" and "very hot". The rate of vapor removal by clothing materials should correspond to the rate of accumulation of moisture evaporating from the human skin surface when changing his/her heat sensations in a specific range of partial vapor pressure difference, conditioned by the operating conditions. As a result, a criterion has been developed for assessing the function of providing clothing materials with temperature homeostasis, which makes it possible to determine the compliance of the materials' ability not to interfere with the processes of thermoregulation to the needs of the human body. The criterion shows the maximum possible data in given operating conditions ability of a material to pass through its structure water vapor. The article gives an example of calculation of the developed criterion for sports outfit based on the results of research of waterproof materials.

Ключевые слова: одежда, гомеостаз, водозащитные материалы, комфорт, водонепроницаемость, критерий.

Keywords: clothing, homeostasis, waterproof materials, comfort, water vapor permeability, criterion.

Введение

Живые организмы большую часть времени проводят в стационарном состоянии гомеостаза [1]. Температурный гомеостаз – это способность организма поддерживать постоянство температуры тела в пределах, обеспечивающих его оптимальную жизнедеятельность [2]. Организм человека является открытой системой, которая непрерывно обменивается с внешней средой веществом и энергией, при этом сама их тоже производит. Нагревание тела человека до 42-43 °С и охлаждение до 24-25 °С могут привести к летальному исходу [3]. Важным свойством материалов одежды является способность обеспечивать постоянство температуры тела человека в узком диапазоне существования организма.

В нормальных условиях теплопродукция соответствует теплоотдаче и зависит от температуры и влажности воздуха, скорости его движения, энергозатрат человека. При этом в организме непрерывно происходит процесс терморегуляции путем изменения интенсивности обмена веществ и за счет физических процессов, например испарения [4]. Если тепловой баланс нарушается и тело человека перегревается, 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.

Сравнительный анализ эффективности различных каналов теплопотерь организма показывает, что существует две области параметров условий эксплуатации одежды, условно названные низкотемпературной и высокотемпературной областями, в которых механизмы поддержания теплового гомеостаза существенно различаются. В низкотемпературной области основная задача – не допустить переохлаждения организма. В высокотемпературной области – не допустить перегрева организма. В этой области одним из основных механизмов терморегулирования является выделение и испарение пота [5].

Выполняя функцию обеспечения гомеостаза в высокотемпературной области эксплуатации, материалы для одежды являются границей, которая отделяет пространство под одеждой от внешней среды. Внешняя среда более стабильна в плане колебаний температуры, переход из низкотемпературной области в высокотемпературную со стороны внешней среды маловероятен в период единичной носки одежды. Для внутренней среды пространства под одеждой характерны значительные колебания температуры в аналогичный период, и высокотемпературная область условий эксплуатации может с легкостью сформироваться за очень короткое время. Например, при ходьбе по открытому шоссе выделение пота возрастает в 2-3 раза, а при беге – в 4-6 раз по сравнению со спокойным состоянием [5]. Поэтому критерий оценки уровня функциональности материалов, характеризующий способность обеспечивать температурный гомеостаз в высокотемпературной области условий эксплуатации, важен для одежды любого сезона носки.

Водопаропроницаемость для материалов водозащитной одежды является одним из сорбционных свойств, определяющих их качество и существенно влияющих на способность обеспечивать температурный гомеостаз в высокотемпературной области условий эксплуатации.

Показатель водопаропроницаемости (water vapour permeability index, WVPI) – величина, определяемая как способность пропускать водяной пар выше нормативного уровня, сохраняя при этом высокий уровень водонепроницаемости, выраженная в процентах от известного эталона сравнения [6]. Нормативный уровень определен стандартом и характеризуется коэффициентом водопаропроницаемости (water vapour permeability, WVPЭ) полиэфирной ткани полотняного переплетения с нормированными структурными характеристиками. В основе стандартной методики определения WVP лежит метод Тейлора, при котором коэффициент водопаропроницаемости WVP, г/(м²·24 ч), определяется как отношение

убыли массы воды, испарившейся за определенное время в контролируемых условиях через образец, к площади этого образца. Метод используется при исследовании водопаропроницаемости с целью оценки качества одежды как бытового, так и специального назначения [7].

Процесс переноса водяного пара из пространства под одеждой в окружающую среду нестабилен во времени и определяется множеством взаимозависимых факторов. Поэтому характеристики этого процесса непрерывно изменяются в зависимости от интенсивности физической активности человека в одежде и от погодных условий. В общем случае водопаропроницаемость увеличивается с увеличением разности ΔP парциальных давлений водяного пара по обе стороны от материала [8].

Показатель водопаропроницаемости материала, исследуемый при стабилизированном установленном значении ΔP , не дает полной информации о способности материала выводить необходимое количество влаги из пододежного пространства наружу. Проблема заключается в том, что существующие критерии позволяют оценить свойство только при заданных фиксированных значениях комплекса условий: температуры, влажности и скорости движения воздуха, расстояния между моделью «тела» и внутренней поверхностью образца. В результате коэффициент водопаропроницаемости, исследуемый в стандартных условиях, не дает информации о том, как изменяется способность материалов обеспечивать температурный гомеостаз организма человека в диапазоне условий носки, а величина его нормативного уровня, полученная путем сравнения с эталонным образцом, не имеет логически прослеживаемой согласованности с самочувствием человека, что делает ее малоинформативной.

Цель работы – предложить такой критерий оценки функции обеспечения температурного гомеостаза в высокотемпературной области условий эксплуатации, который отражает способность материала не препятствовать процессам терморегуляции человека в нестабильных условиях эксплуатации одежды конкретного назначения.

Методы

На коже человека располагаются многочисленные (примерно 5000000) рецепторы, раздражение которых вызывает тактильную чувствительность [9]. Влагопотери тесно коррелируют с теплоощущениями человека и в зависимости от функциональных сдвигов в организме позволяют судить о степени напряжения механизмов терморегуляции. Несмотря на то, что системы терморегуляции «справляются» с задачей обеспечения теплового баланса в широком диапазоне внешних условий, необходимость напряжения этих систем воспринимается как ощущение дискомфорта в среде с неподходящими климатическими параметрами [10]. Связь между тепловыми ощущениями и значением средневзвешенной температуры кожи (СВТК), установленная в ходе многочисленных экспериментальных исследований, иллюстрирует табл. 1 [11]. Принято считать СВТК одним из информативных показателей теплового состояния человека.

Из табл. 1 видно, что начиная с некоторой температуры воздуха теплоощущения человека (тепло, жарко и очень жарко) коррелируют главным образом с уровнем потери влаги путем потоотделения.

Т а б л и ц а 1

Теплоощущения	СВТК, °С	Потери влаги потоотделением, г/ч
Очень жарко	$\geq 36,0$	450-1950 – значительная часть пота стекает
Жарко	$36,0 \pm 0,6$	200-450 – значительная часть пота стекает
Тепло	$34,9 \pm 0,7$	10-200 – пот не стекает
Комфорт	$33,2 \pm 1,0$	0 – пот не выделяется
Прохладно	$31,1 \pm 1,0$	0 – пот не выделяется
Холодно	$29,1 \pm 1,0$	влагопотери как показатель теплоощущений не характерны
Очень холодно	ниже 28,1	

Логичным представляется утверждение, что для обеспечения гомеостаза образовавшийся в результате потоотделения водяной пар должен как можно быстрее удаляться из пространства под одеждой за счет паропроницаемости материалов одежды. Поскольку водопаропроницаемость принято характеризовать коэффициентом WVP , $г/(м^2 \cdot 24 ч)$, проведем несложные расчеты

для сопоставления требуемого уровня WVP с влагопотерями потоотделением при допущении, что площадь поверхности кожи

взрослого человека составляет в среднем 1,8 м². Результат расчетов представлен в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Теплоощущение	Очень жарко	Жарко	Тепло	Комфорт
Влагопотери человека за счет потоотделения, г/24 часа	10800...46800	4800...10800	240...4800	0...240
Требуемая WVP, г/(м ² ·24 ч)	6000...26000	2667...6000	133...2667	0...133

Анализ данных табл. 2 показывает, что при изменении теплоощущения одетого человека на одну категорию, например с «комфортно» на «тепло», влагопотери человека за счет потоотделения, вызванного напряжением механизма терморегуляции, изменяются так, что эффективное удаление образовавшейся влаги требует увеличения коэффициента водопаропроницаемости на несколько тысяч грамм в сутки.

Хорошее теплоощущение и нормальные условия для терморегуляции у человека еще сохраняются при относительной влажности воздуха под одеждой 50-60 % [3]. Повышение относительной влажности воздуха в пространстве под одеждой свыше 76% воспринимается человеком как теплоощущение «жарко», свыше 87% – «очень жарко» [5]. Физический смысл функции обеспечения температурного гомеостаза материалами одежды в высокотемпературной области условий эксплуатации – не допустить перегрева организма, то есть пропускать через свою структуру столько водяного пара, сколько его производит организм человека.

На основании изложенного разработан новый динамический критерий водопаропроницаемости Квпп, который характеризует максимально возможную в заданных условиях эксплуатации способность материала проводить через свою структуру пары влаги. Чем шире диапазон изменения водопаропроницаемости материала, тем лучше он будет проводить пары воды через свою структуру в постоянно изменяющихся условиях эксплуатации. Для определения нового критерия необходимо исследовать водопаропроницаемость материалов при максимально возможной разности ΔР парциальных давлений, которая создается изменением температуры и влажности про-

странств по обе стороны от исследуемого образца материала.

Расчет критерия Квпп основан на том, что для каждого сочетания температуры и влажности наружного воздуха и воздуха пододежного пространства, обусловленного характером деятельности носчика и условиями эксплуатации, может быть определен диапазон разности ΔР, возникающей на границе «пододежное пространство – окружающая среда». Коэффициент водопаропроницаемости исследуемого материала WVРи изменяется пропорционально изменению ΔР, поэтому достаточно определить его в точке максимума диапазона ΔР, чтобы узнать максимально возможную водопаропроницаемость для заданных эксплуатационных условий. Известно, что скорость испарения влаги существенно возрастает при обдуве поверхности со скоростями потока воздуха 0,2-0,5 м/с и выше [5], поэтому, если условия эксплуатации подразумевают обдув поверхности материала одежды (например, при скоростном передвижении), то такой же обдув необходимо моделировать и при испытаниях.

Соотношение между максимально возможным значением водопаропроницаемости материала в условиях эксплуатации и требуемым для удаления образовавшейся влаги значением водопаропроницаемости рассчитывается как безразмерный динамический критерий водопаропроницаемости Квпп по формуле:

$$K_{\text{впп}} = \frac{WVРи_{\text{max}}}{WVРи_{\text{req}}}, \quad (1)$$

где WVРи_{max} – коэффициент водопаропроницаемости исследуемого материала, опре-

деляемый в условиях максимальной разности парциальных давлений пара, $\text{г/м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$; $WVP_{\text{иreq}}$ – требуемый коэффициент водопаропроницаемости, необходимый для обеспечения гомеостаза организма человека в заданных условиях эксплуатации, $\text{г/м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$.

Динамическим критерий назван потому, что учитывает изменения условий проявления материалом способности транспортировать пары воды (как со стороны внешней среды, так и со стороны носчика одежды), и его расчет для материалов различного назначения различен. Различия состоят, во-первых, в условиях проведения испытания, которые должны моделировать максимально возможную в заданном диапазоне условий носки одежды разность парциальных давлений водяного пара, во-вторых – в значении требуемого коэффициента водопаропроницаемости $WVP_{\text{иreq}}$, которое зависит от характера деятельности носчика.

Для определения динамического критерия водопаропроницаемости $K_{\text{впп}}$ необходимо установить максимально возможную разность ΔP парциальных давлений водяного пара наружной и внутренней среды для конкретного вида одежды. Значение ΔP рассчитывается по известной формуле, исходя из значений температуры $T_{\text{н}}$, $T_{\text{вн}}$ и относительной влажности $W_{\text{н}}$, $W_{\text{вн}}$ снаружи и внутри одежды соответственно:

$$\Delta P = 1,84 \cdot 10^9 \cdot \left(W_{\text{вн}} \cdot \exp\left(-\frac{5330}{T_{\text{вн}}}\right) - W_{\text{н}} \cdot \exp\left(-\frac{5330}{T_{\text{н}}}\right) \right). \quad (2)$$

На основании анализа условий эксплуатации одежды определяют диапазон наиболее характерных температур внешней среды $T_{\text{нmin}}$, $T_{\text{нmax}}$ и диапазон относительной влажности $W_{\text{нmin}}$, $W_{\text{нmax}}$, при которых предполагается носка проектируемой одежды. Эти величины в комплексе влияют на расчетную величину нижней границы диапазона значений парциального давления водяного пара $P_{\text{э1}}$ и верхней границы $P_{\text{э2}}$ при эксплуатации одежды. Когда теплоощущения изменяются от «комфортно» до «очень жарко», требуемый для обеспечения гомеостаза уровень $WVP_{\text{и}}$ также должен

расти соответственно влагопотерям человека за счет потоотделения (табл. 2). Средняя температура пространства под одеждой соответствует СВТК и для состояния «очень жарко» составляет $T_{\text{внж}} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$, средняя влажность пространства под одеждой $W_{\text{внж}} = 87 \%$, расчетная величина парциального давления водяного пара при этом составляет $P_{\text{ж}} = 5507 \text{ Па}$. Аналогичный расчет проведен для состояния «комфорт», $P_{\text{к}} = 2583 \text{ Па}$. Тогда диапазон значений ΔP , в пределах которых выполняется исследование функции обеспечения материалами одежды температурного гомеостаза, определяется выражением:

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

Требуемый уровень водопаропроницаемости материала для состояния «комфортно» близок к нулю, поскольку в организме человека в этом состоянии отсутствуют влагопотери за счет потоотделения. Для состояния «очень жарко» необходимо, чтобы материалы одежды пропускали через себя от 6000 до 26000 $\text{г/м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$. Градация требуемого значения коэффициента водопаропроницаемости $WVP_{\text{иreq}}$ будет зависеть от характера деятельности одетого человека: покой, умеренная активность, средняя активность, высокая активность, экстремальная активность. Тогда и диапазон требуемых значений коэффициента водопаропроницаемости целесообразно проградировать соответственно потребностям носчика. Градация требуемого значения коэффициента водопаропроницаемости $WVP_{\text{иreq}}$ составлена на основании анализа источников литературы [12...16] и представлена в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Характер деятельности человека	Значение $WVP_{\text{иreq}}$, $\text{г/м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$
Покой	6000...6500
Умеренная активность	6500...8500
Средняя активность	8500...14000
Высокая активность	14000...19000
Экстремальная активность	19000...26000

Значение нового критерия Квпп изменяется в диапазоне от 0 до 1,00 со следующей градацией уровней функциональности материалов: недопустимый 0–0,36; низкий 0,37–0,62; средний 0,63–0,80; высокий 0,81–1,00. Градация основана на традиционной шкале желательности Харрингтона [17].

В Витебском государственном технологическом университете разработано устройство [18], которое позволяет проводить испытания на водопаропроницаемость при моделировании различных условий эксплуатации материалов и определять коэффициент водопаропроницаемости при

различных значениях разности парциальных давлений водяного пара, а также при различных режимах и скоростях обдува поверхности исследуемого материала.

Разработанный критерий применяли для сравнительной оценки уровня комфортности материалов для спортивной водозащитной экипировки байдарочника, характер тренировочной деятельности которого можно интерпретировать как высокую активность. Характеристика образцов водозащитных комплексных материалов, предполагаемых для изготовления спортивной экипировки, представлена в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Номер образца / артикул	Поверхностная плотность, г/м ²	Структура слоев комплексного материала			
		текстильного тканого (трикотажного) слоя		полимерного слоя	
		толщина (лицо / изнанка), мм	переплетение нитей текстильного слоя (лицо / изнанка)	толщина слоев, мм	
				пористого	монолитного
1/MT-023	160	0,13 / -	комбинированное	0,05	нет
2/MT-002	109	0,11 / -	полотняное	0,07	нет
3/TP-011	148	0,12 / 0,12	ластик 1+1 / ластик 1+1	нет	0,02
4/MT-018	139	0,13 / -	комбинированное	0,05	0,01
5/TP-023	150	0,22 / -	кулирная гладь	0,04	нет
6/TP-0015c	134	0,32 / -	двуластичное	нет	0,015

С целью получения данных для расчета нового динамического критерия водопаропроницаемости стандартную методику исследования водопаропроницаемости, изложенную в источнике [6], модифицировали в части создаваемых условий испытаний внутри и снаружи исследуемого образца материала. Методика реализована с помощью устройства [18], расположенного в климатической камере УТН-408-40-1Р («Tuantaо», Китай). Испытания проводили с подогревом чаш и обдувом образцов потоком воздуха со скоростью 3,0 м/с (с учетом скорости, развиваемой байдаркой). Условия, обеспечивающие заданное в опыте значение разности парциальных давлений водяного пара ΔP , создавали, варьируя значения устанавливаемых температуры и влажности наружного воздуха в климатической камере и температуры воды в чашах, и контролировали в течение опыта.

Значения разности парциальных давлений водяного пара ΔP по обе стороны от об-

разца устанавливали исходя из назначения одежды и среднесезонной температуры для данного климатического пояса и конкретного сезона носки проектируемой одежды. Для определения значений Квпп воспользовались диапазоном наиболее характерных температур внешней среды и относительной влажности, при которых занимающиеся на открытой акватории спортсмены нуждаются в водозащитной экипировке: температура воздуха от 0 °С до 12 °С, относительная влажность воздуха над поверхностью водоема от 50 % до 90% [19].

Для расчета парциального давления пара в пододежном пространстве по формуле (2) приняли, что минимальное парциальное давление пара ожидается, когда спортсмен испытывает ощущения «комфорт», при этом температура пододежного пространства $T_{внк} = 33,2$ °С, влажность $W_{внк} = 50,5$ %. Максимальное парциальное давление пара предполагается, когда спортсмен испытывает теплоощущение

«очень жарко», при этом температура пододежного пространства $T_{внж} = 37,0$ °С, влажность $W_{внж} = 87$ %. Для определения

разности парциального давления воспользовались формулой (3). Расчет представлен в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Границы диапазона условий носки и диапазона теплоощущений				ΔP_{max} , Па
$T_H = 0^\circ C, W_H = 50\%, T_{внк} = 33,2^\circ C, W_{внк} = 50,5\%$	$T_H = 12^\circ C, W_H = 90\%, T_{внк} = 33,2^\circ C, W_{внк} = 50,5\%$	$T_H = 0^\circ C, W_H = 50\%, T_{внж} = 37^\circ C, W_{внж} = 87\%$	$T_H = 12^\circ C, W_H = 90\%, T_{внж} = 37^\circ C, W_{внж} = 87\%$	
$\Delta P = 2583 - 309 = 2274$ Па	$\Delta P = 2583 - 1263 = 1320$ Па	$\Delta P = 5507 - 309 = 5198$ Па	$\Delta P = 5507 - 1263 = 4244$ Па	5198

Результаты и обсуждения

Исходя из табл. 5 для определения динамического критерия паропроницаемости выбраны условия испытаний, соответствующие максимуму диапазона ΔP . Результаты испытаний и расчет динамического критерия водопаропроницаемости представлены в табл. 6.

При оценке уровня комфортности материалов принято, что требуемое максималь-

ное значение коэффициента водопаропроницаемости для спортивной экипировки должно быть близко к верхней границе диапазона высокой активности: $WV_{Pи,req} = 19000$ г/(м²·24 ч). Для сравнения в таблице приведен расчет $K_{впп}$ для умеренной активности носчика при требуемом значении $WV_{Pи,req} = 7000$ г/(м²·24 ч).

Т а б л и ц а 6

Номер образца	Коэффициент водопаропроницаемости при ΔP_{max} , $WV_{Pи}$, г/м ² ·24ч	$K_{впп}$ для высокой активности носчика	$K_{впп}$ для умеренной активности носчика
1	1380	0,073	0,197
2	1980	0,104	0,283
3	4150	0,218	0,593
4	5120	0,269	0,731
5	5240	0,276	0,749
6	4490	0,236	0,641

Наибольшими значениями динамического критерия водопаропроницаемости для высокой активности носчика (свыше 0,25) обладают два образца из шести, но даже у этих образцов значение критерия $K_{впп}$ мало и составляет лишь четверть от требуемого. Следовательно, при применении исследуемых образцов материалов для проектируемой одежды без специальных конструктивных приемов, включающих правильно рассчитанные вентиляционные отверстия, не удастся достичь необходимых условий для беспрепятственной терморегуляции организма при его перегревании во время тренировки.

Расчет динамического критерия водопаропроницаемости для умеренной активности носчика показал, что исследуемые материалы в большей степени удовлетворяют

условиям носки одежды умеренно активными носчиками, поскольку уровень $K_{впп}$ для умеренной активности у них выше. Образцы №4, №5 и №6 характеризуются средним уровнем $K_{впп}$ и могут быть использованы для тренировочной деятельности байдарочника при условии использования специальных конструктивных приемов, повышающих уровень вентилируемости пространства под одеждой, но не для соревновательной экипировки.

Заключение

Разработанный динамический критерий водопаропроницаемости позволяет определить соответствие способности материалов не препятствовать процессам терморегуляции физиологической норме влагопотерь человека при определенной физической активности. Критерий показывает в долях от

единицы, какую часть выделяющихся водяных паров способен пропускать через свою структуру материал при возрастании такой потребности у носчика в заданных условиях эксплуатации одежды при заданной активности носчика. Данные исследований физиологов-гигиенистов позволили определить диапазон требуемых значений коэффициента водопаропроницаемости материалов при различном уровне активности человека, поэтому оценка функции обеспечения гомеостаза материалами одежды с помощью нового динамического критерия Квпп приобрела логически обоснованную привязку к теплоощущениям человека. Применение Квпп позволяет оценить свойства материала в тех условиях, в которых он работает, дает возможность прогнозирования теплоощущений человека в одежде из исследуемого материала, что выгодно отличает новый критерий от других.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бурдаков В.П.* Основы биологической термодинамики. М.: Изд-во МАИ, 2004. 131 с.
2. *Семенович А.А.* Нормальная физиология. Минск: Новое знание, 2020. 520 с.
3. *Чвырев В.Г., Ажаев А.Н., Новожилов Г.Н.* Тепловой стресс: руководство для врачей. М.: Медицина, 2000. 295 с.
4. *Колесников П.А.* Основы проектирования теплозащитной одежды. М.: Легкая индустрия, 1971. 112 с.
5. *Тимофеева Е.И., Федорович Г.В.* Экологический мониторинг параметров микроклимата. М.: НТМ-защита, 2005. 194 с.
6. ГОСТ Р 57514-2017. Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. 24 с.
7. *Бессшапошникова В.И., Логинова Е.А., Ковалева Н.Е., Степанова И.В., Смирнова А.В.* Проектирование и прогнозирование свойств материалов для защиты от химически агрессивных сред // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. №3(405). С. 87...94.
8. *Holmes D.A* Waterproof breathable fabrics. Cambridge: The Textile Institute, 2000. 576 p.
9. *Жихарев А.П.* Влияние факторов окружающей среды на материалы легкой промышленности. Казань: КГТУ, 2011. 232 с.
10. *Архангельский В.И., Кириллов В.Ф.* Гигиена и экология человека. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 176 с.

11. *Кричагин В.И.* Принципы объективной оценки теплового состояния организма // Авиационная и космическая медицина. М., 1963. С. 310...314.
12. *Leqi L., Shuo S., Dong W., Shuo M., Jian-Guo D., Shaohai F., Jinlian H.* Recent Advances in Thermoregulatory Clothing: Materials, Mechanisms, and Perspectives // ACS Nano. 2023. №17 (3). P. 1803...1830.
13. *Mazari A., Havelka A.* Comparison of textile membranes for moisture transport // Fibres and Textiles. 2020. №5. P. 24...31.
14. *Williams J.T.* Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier: Woodhead Publishing Ltd, 2018. 590 p.
15. *Yongfang C., Fengxian Q., Dongya Y., Yuqi L., Hui L., Tao Z.* Multifunctional Hybrid Membranes with Enhanced Heat Dissipation and Sweat Transportation for Wearable Applications // ACS Applied Energy Materials. 2022, 5 (9). P. 11892...11899.
16. *Jinhao X., Xuanxuan D., Binjie X., Chiwai K., Yaqian X., Zhuoming C., Mengjuan Z., Qingshuai Y.* Moisture-Wicking and Solar-Heated Coaxial Fibers with a Bark-like Appearance for Fabric Comfort Management // ACS Applied Materials & Interfaces. 2021, № 13 (22). P. 26590...26600.
17. Патент РБ № 13087. Устройство для контроля паропроницаемости материалов.
18. *Harrington E.C.* The desirability function // Industrial Quality Control. 1965, Vol. 21. P. 494...498.
19. *Босак Н.В.* Изменения климата и использование климатических ресурсов. Минск: БГУ, 2001. 262 с.

REFERENCES

1. *Burdakov V.P.* Fundamentals of biological thermodynamics. Moscow: publishing house MAI, 2004. 131 p.
2. *Semenovich A.A.* Normal physiology. Minsk: New Knowledge, 2020. 520 p.
3. *Chvyrev V.G., Azhayev A.N., Novozhilov G.N.* Thermal stress: a guide for doctors. Moscow: Medicine, 2000. 295 p.
4. *Kolesnikov P.A.* Fundamentals of designing heat protective clothing. Moscow: Light industry, 1971. 112 p.
5. *Timofeeva E.I., Fedorovich G.V.* Ecological monitoring of microclimate parameters. Moscow: NTM-Zashchita, 2005. 194 p.
6. ГОСТ R 57514-2017. Fabrics with rubber or polymer coating for waterproof clothing. Technical conditions. Moscow: Standardinform, 2017. 24 p.
7. *Besshaposhnikova V.I., Loginova E.A., Kovalева N.E., Stepanova I.V., Smirnova A.V.* Designing and predicting the properties of materials for protection from chemically aggressive media // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. №3(405). С. 87...94.
8. *Holmes D.A* Waterproof breathable fabrics. Cambridge: The Textile Institute, 2000. 576 p.

9. *Zhikharev A.P.* Influence of environmental factors on materials of light industry. Kazan: KSTU, 2011. 232 p.
10. *Arkhangelsky V.I., Kirillov V.F.* Hygiene and human ecology. Moscow: GEOTAR-Media, 2020. 176 p.
11. *Krichagin V.I.* Principles of objective assessment of the thermal state of the organism // Aviation and Space Medicine. Moscow, 1963. C. 310...314.
12. *Leqi L., Shuo S., Dong W., Shuo M., Jian-Guo D., Shaohai F., Jinlian H.* Recent Advances in Thermoregulatory Clothing: Materials, Mechanisms, and Perspectives // ACS Nano. 2023. №17 (3). P. 1803...1830.
13. *Mazari A., Havelka A.* Comparison of textile membranes for moisture transport // Fibres and Textiles. 2020. №5. P. 24...31.
14. *Williams J.T.* Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier: Woodhead Publishing Ltd, 2018. 590 p.
15. *Yongfang C., Fengxian Q., Dongya Y., Yuqi L., Hui L., Tao Z.* Multifunctional Hybrid Membranes with Enhanced Heat Dissipation and Sweat Transportation for Wearable Applications // ACS Applied Energy Materials. 2022, 5 (9). P. 11892...11899.
16. *Jinhao X., Xuanxuan D., Binjie X., Chiwai K., Yaqian X., Zhuoming C., Mengjuan Z., Qingshuai Y.* Moisture-Wicking and Solar-Heated Coaxial Fibers with a Bark-like Appearance for Fabric Comfort Management // ACS Applied Materials & Interfaces. 2021, № 13 (22). P. 26590...26600.
17. Patent RB № 13087. Apparatus for determination of vapor permeability of materials.
18. *Harrington E.C.* The desirability function // Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21. P. 494...498.
19. *Bosak N.V.* Climate change and utilization of climatic resources. Minsk: BSU, 2001. 262 p.
- Рекомендована организационным комитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде и обуви (ICTAI-2023)". Поступила 16.11.23.
-