УДК 687.17 https://doi.org/10.24411/2617-149X-2019-11006

Тепловой расчёт одежды для защиты от холода в условиях эксплуатации на территории Республики Беларусь

О.В. Ващенко, С.С. Гнедько, Е.Л. Зимина, Н. В. Ульянова
Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь
E-mail: alenakul26@mail.ru

Аннотация. В статье представлен порядок расчета теплозащитных свойств одежды мужской куртки для защиты от холода, эксплуатация которой планируется на территории Республики Беларусь. Установлена средневзвешенная толщина пакета материалов, которую должна иметь одежда для защиты от холода в условиях эксплуатации ее на территории Республики Беларусь, чтобы обеспечивать необходимый теплоизоляционный эффект. Рассчитана рациональная толщина пакета материалов одежды для защиты от холода на различных участках тела человека, что создаст благоприятные условия для теплоотдачи и обеспечит нормальную топографию температуры кожи.

Ключевые слова: одежда, пакет материалов, энергозатраты, теплопродукция.

Thermal Calculation of Clothes for Protection against Cold in The Conditions Of Operation In The Territory Of The Republic Of Belarus

O. Vashchenko, S. Gnedko, E. Zimina, N. Ulyanova
Vitebsk State Technological University, Vitebsk
E-mail: alenakul26@mail.ru

Annotation. The article presents the procedure for calculating the heat-shielding properties of men's clothing for protection from the cold, the application of which is planned in Belarus. The weighted average thickness of the package of materials that clothing should have to protect against cold in the conditions of its use in Belarus environment in order to provide the necessary insulating effect has been established. Rational thickness of the package of clothing materials is calculated for protection against cold in different parts of the human body, which will create favorable conditions for heat transfer and ensure the normal topography of the skin temperature.

Key words: clothes, package of materials, energy costs, heat production.

Производство одежды в соответствии с реальными условиями ее эксплуатации является важной задачей, решение которой не только способствует сохранению здоровья и повышению работоспособности человека, но и позволяет более рационально использовать сырье и материалы. В связи с этим исследования, позволяющие определить влияние метеорологических факторов на параметры пакета материалов для одежды и соответственно ее теплозащитные функции, являются актуальными.

В данной работе представлена последовательность расчёта теплозащитных свойств одежды мужской куртки для защиты от холода, эксплуатация которой планируется на территории Республики Беларусь.

При проектировании одежды для защиты от холода целесообразно исходить из климатической зоны, где она будет эксплуатироваться, и ориентироваться на средние показатели метеорологических условий этих зон. Согласно данным гидрометеорологических наблюдений минимальные значения температуры воздуха и максимальные значения скорости ветра по Республике Беларусь представлены в таблице 1.

В качестве исходных данных следует учитывать время непрерывного пребывания человека на холоде. Для расчетов оно принимается равным 1 час при скорости передвижения человека – 3,2 км/ч.

Теплозащитные свойства одежды рассчитываются по этапам в следующей последовательности.

На начальном этапе определяется тепловой поток со всей поверхности тела человека. Радиационно-конвективные теплопотери Qрад.конв, Вт/м^2, можно определить из уравнения теплового баланса [1]:

$$Q_{рад.конв} = \left(Q_{т.п} + Д\right) - Q_{исп} - Q_{дых.н}. \qquad (1)$$

где $Q_{т.п}$ – теплопродукция, Вт/м^2;

Д – дефицит тепла в организме, Дж;

$Q_{исп}$ – потери тепла испарением, Вт/м^2;

$Q_{дых.н}$ – потери тепла дыханием, Вт/м^2.

Потери тепла испарением $Q_{исп}$ с учетом некоторого охлаждения организма принимают равными 20 % от общих теплопотерь [1] или рассчитываются по формуле:

$$Q_{исп.покоя} = 0,36 \cdot S\left(\frac{Q_{тп}}{S} - 58\right). \quad (2)$$

Согласно табличным данным в литературе [1] потери тепла дыханием $Q_{дых.н}$, в зависимости от температуры окружающего воздуха составили: в декабре месяце 2018 г. – 11,2 Вт/м^2; в январе и феврале 2019 г. – 11,6 и 12,8 Вт/м^2, соответственно.

Таблица 1 – Данные гидрометеорологических наблюдений по Республике Беларусь [4]

Показатель	Значение показателей по месяцам (в зимний период)		
	декабрь 2018 г.	январь 2019 г.	февраль 2019 г.
Температура, ^{0}С	-12	-9	-10
Скорость ветра, м/с	6	4	3

При данных условиях эксплуатации потери тепла соответствуют теплоощущениям «прохладно», следовательно, дефицит тепла в организме составляет *Д*= (208±84) 10^3 Дж [1].

Теплопродукция рассчитывается (формула 3) исходя из энергозатрат $Q_{э.т}$, Вт/м^2, величины основного обмена Q_o, Вт/м^2 и термического коэффициента полезного действия η [1].

$$Q_{т.п} = Q_{эт} - \eta\left(Q_{эт} - Q_o\right) \quad (3)$$

Установлено, что основной обмен у здорового человека колеблется в зависимости от возраста и пола. Предположим, что изделие будет эксплуатироваться мужчиной в возрасте от 30 до 50 лет. Тогда Q_o=42÷39 Вт/м^2 [1]. Для расчетов принимаем средний возраст 40 лет, следовательно, Q_o=41 Вт/м^2.

Согласно справочным данным значение η зависит от скорости ходьбы и наклона местности. Тогда:

– в состоянии покоя η принимается равным 0, а энергозатраты $Q_{э.т}$ в этом случае равны 69,7 В$_т$/м^2,

– при ходьбе человека по ровной местности и скорости его передвижения равной 3,2 км/ч η принимается равным 0, а энергозатраты $Q_{э.т}$ = 69,7 В$_т$/м^2,

– при ходьбе по наклонной местности (5 град) и скорости его передвижения равной 3,2 км/ч η принимается равным 0,10, а энергозатраты $Q_{э.т}$ = 174,4 В$_т$/м^2 [1].

Если принять, что *S* в формуле (2) – площадь тела человека при массе тела 70 кг и росте – 170 см равна 1,8 м^2 [2], тогда комфортный уровень теплоотдачи испарением для состояния покоя составит:

$$Q_{исп.покоя} = 0,36 \times 1,8\left|\left(\frac{69,7}{1,8} - 58\right)\right| = 12,5, \text{ Вт/м}^2.$$

При ходьбе со скоростью 3,2 км/ч по ровной местности:

$$Q_{исп.покоя} = 0,36 \times 1,8\left|\left(\frac{116,2}{1,8} - 58\right)\right| = 4,2, \text{ Вт/м}^2.$$

При ходьбе со скоростью 3,2 км/ч по наклонной местности:

$$Q_{исп.покоя} = 0,36 \times 1,8\left|\left(\frac{161,1}{1,8} - 58\right)\right| = 20,4, \text{ Вт/м}^2.$$

Следовательно, радиационно-конвективные теплопотери $Q_{рад.конв}$, для трех случаев человека в зимние месяцы будут изменяться согласно графику (рис. 1).

Согласно представленным на графике данным значение $Q_{рад.конв}$ незначительно изменяется по месяцам, но очевидны изменения в зависимости от нагрузки человека.

На втором этапе определяется тепловой поток с поверхности туловища человека. При проектировании бытовой одежды для защиты от холода ориентируются на то, чтобы она в требуемой степени защищала от охлаждения те области тела, которые ею покрываются.

Согласно приведенным данным в литературе радиационно-конвективные теплопотери с поверхности туловища человека, находящегося в движении и оценивающего по истечении 1 ч свои теплоощущения как «прохладно», составляют 21,8 % общих радиационно-конвективных теплопотерь. Следовательно, тепловой поток на единицу поверхности тела человека $q_{тул}$, В$_т$/м^2 может быть определен по следующей формуле [1]:

$$q_{тул} = \frac{q \cdot S}{100} \times 21,8. \quad (4)$$

Средневзвешенные значения теплового потока с поверхности тела человека *q*, которые необходимо поддерживать для обеспечения комфортных теплоощущений человека в течение 1 ч, составляют (зависят от температуры воздуха): в декабре месяце

2018 г. – 112,3 Вт/м^2; в январе и феврале 2019 г. – 112 Вт/м^2 и 111,7 Вт/м^2, соответственно.

Средневзвешенные значения теплового потока с поверхности тела человека q, которые необходимо поддерживать для обеспечения комфортных теплоощущений человека в течение 1 ч, составляют (зависят от температуры воздуха): в декабре месяце 2018 г. – 112,3 Вт/м^2; в январе и феврале 2019 г. – 112 Вт/м^2 и 111,7 Вт/м^2, соответственно.

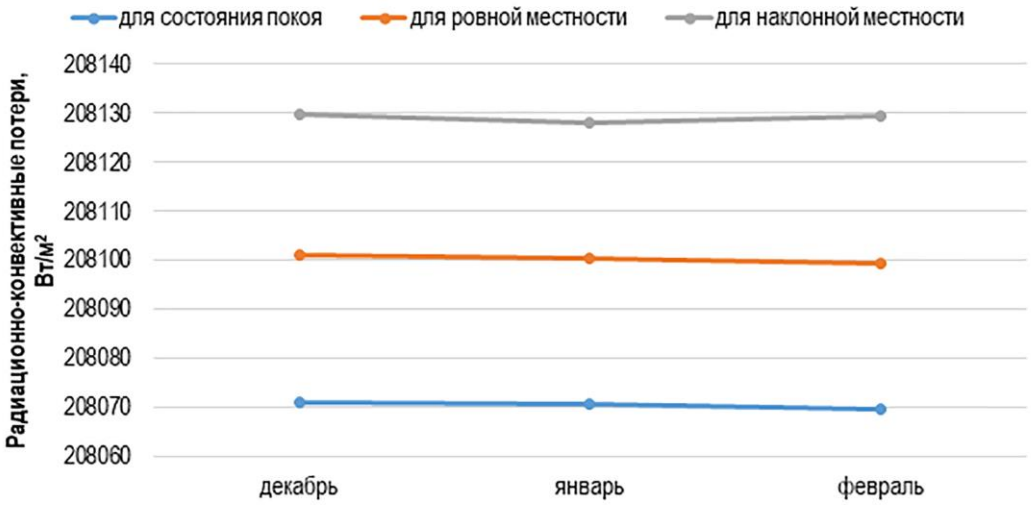

Рисунок 1 – Значения радиационно-конвективных теплопотерь в зимние месяцы в зависимости от состояния человека

Тогда тепловой поток в данные месяца будет равен, соответственно:

$$q_{тул.\,дек} = \frac{112{,}3 \cdot 1{,}8}{100} \times 21{,}8 = 44{,}07\ Вт / м^2\ .$$

$$q_{тул.\,янв} = \frac{112 \cdot 1{,}8}{100} \times 21{,}8 = 43{,}95\ Вт / м^2 .$$

$$q_{тул.\,фев} = \frac{111{,}7 \cdot 1{,}8}{100} \times 21{,}8 = 43{,}83\ Вт / м^2 .$$

На следующем этапе по значению теплового потока с поверхности туловища человека определяют уровень температуры кожи человека, который будет наблюдаться по истечению 1 часа пребывания на холоде. В свою очередь, это дает возможность оценить теплоизоляционный эффект для одежды $t_{тул}$, ^{0}С, который можно определить из формулы [1]:

$$t_{тул} = 0{,}074 \cdot q_{тул} - 37{,}5. \qquad (5)$$

Тогда теплоизоляционный эффект для одежды в данные месяцы будет равен, соответственно:

$$t_{тул.\,дек} = 0{,}074 \cdot 44{,}07 - 37{,}5 = 34{,}24^0 C,$$

$$t_{тул.\,янв} = 0{,}074 \cdot 43{,}95 - 37{,}5 = 34{,}25^0 C,$$

$$t_{тул.\,фев} = 0{,}074 \cdot 43{,}83 - 37{,}5 = 34{,}26^0 C.$$

Затем рассчитывается средневзвешенное термическое сопротивление одежды в целом, исходя из средневзвешенных температуры кожи $t_{свк}$ и теплового потока $q_{свт}$.

$$R_{сум} = \frac{t_{свк} - t_в}{q_{свт}}, \qquad (6)$$

где $t_в$ – температура воздуха, ^{0}С.

При температуре воздуха -9^0 С ÷ -12^0 С средневзвешенный тепловой поток должен быть равен 72 Вт/м^2. Выразим $t_{свк}$ из формулы (6).

Тогда $t_{свк}$=39,8-72*0,078=34,18 ^{0}С.

Следовательно, суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{сум}$, С·м^2/Вт по месяцам будет равно:

$$R_{сум.\,дек} = \frac{34{,}18 + 9}{112{,}3} = 0{,}39\ С{\cdot}м^2 / Вт,$$

$$R_{сум.\,янв} = \frac{34{,}18 + 10}{112} = 0{,}39\ С{\cdot}м^2 / Вт,$$

$$R_{сум.\,фев} = \frac{34{,}18 + 12}{111{,}7} = 0{,}41\ С{\cdot}м^2 / Вт.$$

Далее по термическому сопротивлению (формула 7) определяется толщина пакета материалов h на различных участках тела человека, обеспечивающая расчетное значение термического сопротивления.

$$R_{сум} = 24{,}02 \cdot 10^{-3} \cdot h + 0{,}085. \quad (7)$$

Тогда

$$h = \frac{R_{сум} - 0{,}085}{24{,}02 \cdot 10^{-3}}. \quad (8)$$

Подставив данные теплового сопротивления по месяцам, получим необходимую толщину пакета в зависимости от температуры воздуха:

$$h_{дек} = \frac{0{,}39 - 0{,}085}{0{,}02402} = 12{,}7 \text{ мм},$$

$$h_{янв} = \frac{0{,}39 - 0{,}085}{0{,}02402} = 12{,}7 \text{ мм},$$

$$h_{фев} = \frac{0{,}41 - 0{,}085}{0{,}02402} = 13{,}5 \text{ мм}.$$

Следовательно, средняя толщина пакета одежды для защиты от холода, эксплуатируемой в зимний период на территории Республики Беларусь, равна 13 мм. Рекомендуемая толщина пакета согласно данным литературы [1] при средней $t_в$ = -10 ºС и скорости ветра 4 м/с составляет от 12,0 до 12,8 мм.

Известно, что толщина пакета одежды зависит от участка тела человека.

Тогда согласно данным таблицы 2 [1, 3] рассчитаем его толщину на различных участках тела человека с целью подбора рационального пакета материалов.

Таблица 2 – Коэффициент (показатель) распределения толщины пакета материалов

Участок тела	Коэффициент (показатель) распределения толщины пакета материалов при средней толщине пакета, мм			Толщина участков одежды, мм $\delta = K_р \times \Sigma\delta$
	$\Sigma\delta$ =6 ÷ 12	$\Sigma\delta$ =13 ÷ 24	$\Sigma\delta$ =25 ÷ 36	
Туловище	1,26	1,31	1,45	1,31*13=17,03
Плечо и предплечье	1,13	1,24	1,23	1,24*13=16,12
Бедро	1,13	1,08	1,07	1,08*13=14,04
Голень	0,80	0,81	0,86	0,81*13=10,53

Таким образом, в результате теплового расчета установлена рациональная толщина пакета материалов одежды для защиты от холода на участках тела человека при эксплуатации мужской куртки, что создаст благоприятные условия для теплоотдачи и обеспечит нормальную топографию температуры кожи. Полученные данные также позволяют осуществить подбор пакета материалов и разработать конструкцию одежды для защиты от холода в зимний период на территории Республики Беларусь, что планируется выполнить на последующих этапах работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Делль, Р. А. Гигиена одежды : учеб. пособие для вузов легкой промышленности / Р. А. Делль, Р. Ф. Афанасьева, З. С. Чубарова. – 2–е изд., перераб. и доп. – Москва : Легпромбытиздат, 1991. – 160 с.

2. Ботезат, Л. А. Проектирование гигиенических свойств одежды : учебное пособие / Л. А. Ботезат. – Витебск : УО «ВГТУ», 2006. – 128 с.

3. Куликов, Б. П. Гигиена, комфортность и безопасность одежды : учебное пособие / Б. П. Куликов, Н. А. Сахарова, Ю. А. Костин. – Иваново : ИГТА, 2006. – 256 с.

4. Погода в городе Витебск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://weatherarchive.ru/Temperature. – Дата доступа: 01.03.2019.

REFERENCES

1. Dell, R. A. Hygiene of clothes : studies. manual for universities of light industry / R. A. Dell, R. F. Afanasieva, Z. S. Chubarova. – 2nd ed., rev. and dop. – Moscow : Legprombytizdat, 1991. – 160 p.

2. Botezat, L. A. Design of hygienic properties of clothes : textbook / L. A. Botezat. – Vitebsk : UO «VSTU», 2006. – 128 p.

3. Kulikov, B. P. Hygiene, comfort and safety of clothing : textbook / B. P. Kulikov, N. A. Sakharova, Yu. A. Kostin. – Ivanovo : IGTA, 2006. – 256 p.

4. Weather in Vitebsk [Electronic resource]. – Access mode: http://weatherarchive.ru/Temperature. – Date of access: 01.03.2009.

SPISOK LITERATURY

1. Dell', R. A. Gigiena odezhdy : ucheb. posobie dlja vuzov legkoj promyshlennosti / R. A. Dell', R. F. Afanas'eva, Z. S. Chubarova. – 2–e izd., pererab. i dop. – Moskva : Legprombytizdat, 1991. – 160 s.

2. Botezat, L. A. Proektirovanie gigienicheskih svojstv odezhdy : uchebnoe posobie / L. A. Botezat. – Vitebsk : UO «VGTU», 2006. – 128 s.

3. Kulikov, B. P. Gigiena, komfortnost' i bezopasnost' odezhdy : uchebnoe posobie / B. P. Kulikov, N. A. Saharova, Ju. A. Kostin. – Ivanovo : IGTA, 2006. – 256 s.

4. Pogoda v gorode Vitebsk [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: http://weatherarchive.ru/Temperature. – Data dostupa: 01.03.2019.

Статья поступила в редакцию 13.02.2019