

Комплексное исследование теплозащитных свойств пакета материалов специальной одежды

Е.Ю. Шампаров, И.Н. Жагрина^а, В.В. Попова, Е.Д. Алдушин
Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Российская федерация
^аE-mail: jagrina@mail.ru

Аннотация. Проведено количественное сравнение теплозащитных характеристик материалов для одежды. Определена теплопроводность утепляющих материалов и пакетов. Измерена воздухопроницаемость пакетов и составляющих их материалов. Дана объективная оценка свойств пакета материалов специальной одежды для работников РЖД.

Ключевые слова: тепловой перенос, воздухопроницаемость, нетканый холст, пакет материалов.

Complex Study of Heat-Protective Properties of the Materials Package for Special Clothing

E. Shamparov, I. Jagrina^a, V. Popova, Ye. Aldushin
Russian State University named after A.N. Kosygina (Technology, Design, Art), Russian Federation
^aE-mail: jagrina@mail.ru

Annotation. A quantitative comparison of heat-protective characteristics of materials for clothing is made. The thermal conductivity of insulating materials and packages is determined. The breathability of packages and their constituent materials was measured. An objective assessment of the properties of the materials package for special clothing for employees of Russian Railways is given.

Key words: heat transfer, breathability, nonwoven canvas, materials package.

Описание процессов передачи тепла в окружающую среду отличается высокой сложностью. Передаваемое тепло существенно зависит не только от температуры среды, но и от других окружающих условий – скорости ветра, осадков, влажности, солнечной радиации и т. д. Поэтому для описания теплозащитных свойств одежды необходимо использование множества характеристик, адекватно отражающих те или иные способности передавать тепло. Для сравнения материалов чаще всего используют измерения проходящего через них потока тепла при некоторых «стандартных» внешних условиях. Например, согласно действующему ГОСТ 20489-75 [1] измеряют теплоотдачу расположенного за образцом нагревателя при заданных температурах нагревателя и воздуха (далеко от нагревателя и образца) и заданной скорости, с которой воздухом обдувают образец. К выбору этой схемы измерений есть абсолютно резонные вопросы. Во-первых, чем обусловлен выбор «стандартных» внешних условий? Правильно ли сделан этот выбор? Известно, что основной механизм передачи тепла через воздух – это тепловое излучение. Посчитано, что 85 % тепла поверхность Земли теряет в виде теплового излучения и только 15 % уходит благодаря всему остальному [2]. Доминирующий

механизм передачи тепла этим стандартом никак не регламентирован. Во-вторых, что мы собственно измеряем? Свойства образца или свойства образца и окружающей его среды? Почему разность температур приложена к образцу и окружающему его воздуху? Почему разность температур не приложена непосредственно к самому образцу?

Конечно, есть тонкости, связанные с воздухо- и влагопроницаемостью образцов, но совершенно очевидно, что простое моделирование естественного процесса теплоотдачи – это тупиковый путь, не позволяющий вести адекватные измерения теплозащитных свойств материалов и пакетов для зимней одежды. Подобные измерения несут лишь информацию о том, какой примерно могла бы быть отдача тепла в окружающую среду, и не позволяют получить характеристики самих материалов.

Целью этой работы было измерение и сравнение характеристик теплозащитных свойств утепляющих материалов и пакетов для зимней одежды, составленных на их основе. Для исследования были взяты образцы пакетов специальной одежды из действующего ассортимента изделий. Выбор пал на костюм для работников РЖД.

За железнодорожными путями и подвижным составом необходим соответствующий уход в любое

время года, в том числе и зимой. Работающим на вредных и опасных производствах или в особых температурных условиях в соответствии со статьей 17 Федерального закона «Об основах охраны труда в Российской Федерации» и статьей 221 Трудового кодекса РФ положена специальная одежда. Одежда должна быть достаточно теплой, легкой и удобной. Для исследования теплозащитных свойств нами взят зимний костюм, состоящий из куртки и комбинезона, закупаемый компанией РЖД для своих сотрудников. Предметом исследования была оценка соответствия теплозащитных характеристик костюма имеющимся нормам, а также сравнение входящих в его пакет материалов с другими, более современными утепляющими материалами.

Взяты пробы составляющего костюм пакета целиком и входящих в состав пакета утепляющих материалов – ватина и синтепона.

В состав пакета входят:

1) подкладочная ткань (полиэфир 100 %, 110 г/м², плотняное);

2) холстопршивной ватин (полиэфир 50 %, хлопок 50%);

3) синтепон (полиэфир 100 %);

4) материал верха – ткань смешанная (полиэфир 65 % и хлопок 35 %, 300 г/м², усиленная саржа).

Кроме этого взяты пробы нетканых холстов, выпускаемых под марками «тинсулейт» (с поверхностной плотностью 80 г/м², полиэфир 100 %) и «холлофайбер» (70 г/м², полиэфир 100 %). Из проб вырезаны образцы квадратной формы размером 85×85 мм². В первой серии с помощью установки [3] в соответствии со стандартом [4] при сдавливающем усилии 74 гс (100 Па) измерены толщины образцов. Рассчитано среднее значение толщины d . Каждый из образцов взвешен и найдено среднее значение массы образцов m . По результатам измерений рассчитаны фактические значения объемной ρ и поверхностной γ плотности материалов. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Толщина и масса образцов

Материал	Масса образца, мг				Толщина образца, мм				ρ , кг/м ³	γ , г/м ²
	1	2	3	m	1	2	3	d		
Ватин	2005	1930	1905	1947	4,9	5,0	4,8	4,9	55,0	270
Синтепон	1240	1205	1255	1233	7,2	7,4	7,2	7,27	23,5	170
Ватин + Синтепон	2825	3510	–	3170	10,7	12,1	–	11,4	38,5	440
Пакет спецодежды	5890	6630	–	6260	12,5	13,5	–	13,0	66,6	860
«Тинсулейт»	535	600	595	577	3,5	4	3,7	3,73	21,4	80
«Холлофайбер»	490	510	505	502	4	4,1	4,1	4,07	17,1	70

Определение характеристик материалов проведено на созданной в РГУ им. А.Н. Косыгина установке для измерения тепловой проницаемости [5, 6]. В соответствии с разработанной методикой [6, 7], исключающей вклад теплового сопротивления поверхностей, между которыми приложена разность температур, образцы каждого типа были собраны в пакеты в один, два и три слоя. Пакет был помещен в рабочую область установки сечением 85×85 мм². Для каждого пакета была выставлена толщина (расстояние между нагревателем и холодильником), равная

суммарной толщине всех составляющих пакет образцов (табл. 1). Затем измерена плотность потока, проходящего через пакет тепла при заданной разнице температур нагревателя и холодильника, и вычислено тепловое сопротивление каждого из пакетов. Теплопроводность материала λ рассчитана по наклону линейной зависимости теплового сопротивления пакета R от его толщины d [7]:

$$\lambda = \Delta d / \Delta R.$$

Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Тепловое сопротивление пакетов из одного материала и теплопроводность материалов, тепловое сопротивление и средняя теплопроводность пакетов спецодежды

Материал	Тепловое сопротивление пакета, м ² К/Вт			Теплопроводность, Вт/(м·К)
	в 1 слой	в 2 слоя	в 3 слоя	
«Холлофайбер»	0,107	0,179	0,272	0,0516
«Тинсулейт»	0,111	0,209	0,270	0,0503
Синтепон	0,169	0,282	0,415	0,0569
Ватин	0,110	0,207	0,327	0,0493
Пакет материалов	Тепловое сопротивление, м ² К/Вт			Средняя теплопроводность, Вт/(м·К)
	1-го пакета	2-го пакета	в 2 слоя	
Ватин + Синтепон	0,233	0,238	0,452	0,0506
Пакет спецодежды	0,268	0,272	0,523	0,0495

Из всех исследованных утепляющих материалов наименьшей объемной плотностью обладает «холлофайбер», а наибольшей – ватин. При этом плотность ватина больше в 3,2 раза, тогда как его теплопроводность меньше лишь на 5 %. Плотность «тинсулейта» больше плотности «холлофайбера» на 25 %, зато его теплопроводность на 3 % ниже. Наконец, синтепон имеет одновременно и большую на 40 % плотность и большую на 10 % теплопроводность, чем «холлофайбер». По соотношению между плотностью и теплопроводностью (по тепловому сопротивлению единицы массы материала) наилучшим является «холлофайбер», «тинсулейт» уступает на 20 %, синтепон хуже в полтора раза и ватин хуже в три раза. Более современные утепляющие материалы «холлофайбер» и «тинсулейт» по своим теплозащитным характеристикам очень существенно превосходят ватин и синтепон, примененные в спецодежде.

Тепловое сопротивление пакета материалов практически полностью определяется тепловым сопротивлением входящих в его состав утепляющих материалов. Теплопроводности пакетов примерно равна средней теплопроводности составляющих их материалов. Суммарный вес утепляющей прокладки примерно равен суммарному весу подкладочной ткани и материала верха.

Согласно ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты», величина теплоизоляции должна быть не менее 0,36 м²К/Вт для III климатического региона со средней температурой воздуха зимних месяцев – 9,7°С. Измеренное нами тепловое сопротивление пакета материалов для спецодежды составило всего 0,27 м²К/Вт. Поэтому данный костюм не соответствует заявленному назначению и не может служить средством индивидуальной защиты от пониженных температур воздуха даже в регионах центральной России. При этом надо отметить, что в результате применения вместо ватин-синтепонной утепляющей прокладки «холлофайбера» или «тинсулейта» с поверхностной

плотностью 250 ÷ 300 г/м² можно получить пакет с необходимой теплоизоляцией и в 1,5 раза меньшим весом утеплителя. Использование более качественных материалов для подкладки и верха также могло бы существенно снизить вес изделия и сделать его более комфортным.

Схема наших измерений позволяет найти характеристики самих материалов, но не учитывает теплоотдачу от одежды в окружающую среду. При отсутствии осадков и принудительной конвекции (ветра) основным механизмом передачи является тепловое излучение. Полагая воздух прозрачным для излучения, несложно оценить тепловое сопротивление излучающей поверхности [6]:

$$R=(8\sigma T^3)^{-1} \cdot (2 - \varepsilon) \varepsilon,$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, T – температура окружающей среды и ε – энергетическая светимость поверхности.

При $T = 263$ К (– 10°С) и $\varepsilon \approx 1$, соответствующей нашим образцам, $R \approx 0,1$ м²К/Вт. То есть с учетом теплоотдачи в окружающую среду в безветренную погоду тепловое сопротивление пакета материалов для спецодежды достигнет необходимых 0,36 м²К/Вт, но надо учитывать, что при ветре теплоотдача резко увеличивается. Практика показывает, что уже при легком ветерке (1÷2 м/с) доминирующим механизмом теплоотдачи становится принудительная конвекция.

Наконец, под действием внешнего ветра в пространстве, заполненном утепляющим материалом, возможно заметное движение воздуха. Теплоотдача посредством принудительной внутренней конвекции идет параллельно с кондуктивным и лучистым переносом тепла в утепляющем материале и может заметно снизить его теплозащитные свойства. Поэтому на приборе ВПТМ-2 нами была измерена воздухопроницаемость пакета костюма и составляющих его материалов. Результаты измерений представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Воздухопроницаемость пакета и составляющих материалов, дм³/(м²с)

Ватин	Синтепон	Ватин + Синтепон	Подкладочная ткань	Материал верха	Пакет	Пакет без подкладки
510	800	310	195	115	62	87

Измерения показали, что и пакет в целом и прежде всего материал верха, который в первую очередь должен препятствовать движению воздуха, обладают очень высокой воздухопроницаемостью. Согласно Техническому регламенту Таможенного союза 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты» воздухопроницаемость материала верха или пакета не должна превышать 40 дм³/(м²с). Воздухопроницаемость пакета в полтора, а материала верха почти в три раза выше необходимого значения. Заметим, что логичнее измерять не воздухопроницаемость пакета целиком, а воздухопроницаемость пакета без подкладочной

ткани. В этом случае воздухопроницаемость в 2,5 раза больше, чем необходимо. Понятно, что уже при небольшом ветре в такой одежде будет холодно.

Материал верха выбран крайне неудачно. Неясно, почему вместо обычно используемой плотной ткани из комплексных нитей с низкой круткой взята тяжелая (300 г/м²) рыхлая ткань из пряжи. Современные полиэфирные или полиамидные материалы для верха обладают значительно меньшей воздухопроницаемостью при кратно меньшем весе.

Таким образом, для создания более легкой и теплой одежды и, соответственно, облегчения условий и повышения производительности труда работающих на

открытом воздухе крайне полезно применение в спецодежде более современных утепляющих нетканых материалов и материалов верха. Одежда может быть сделана более теплой и менее тяжелой.

Комплексное исследование свойств материалов позволяет оценить их достоинства и недостатки и правильно проектировать одежду с необходимыми защитными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы для одежды. Метод определения суммарного теплового сопротивления ГОСТ 20489-75. – Взамен ГОСТ 13925-69, ГОСТ 6268-51 ; введ. 01.01.1976. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 11 с.
2. Кондратьев, К. Я. Перенос длинноволнового излучения в атмосфере / К. Я. Кондратьев. – Москва; Ленинград : Гостехиздат, 1950. – 288 с.
3. Жагрина, И. Н. Измерение толщины нетканых утепляющих материалов / И. Н. Жагрина, С. В. Родэ, Е. Ю. Шампаров // Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг : международный сборник научных трудов : научное электронное издание. – Шахты : ИСОиП (филиал) ДГТУ. – 2017. – С. 432–436.
4. ГОСТ 12023-2003 (ИСО 5084:1996). Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения толщины. – 01.12.2005. – М. : Стандартиформ, 2005. – 11 с.
5. Установка для прецизионных бесконвекционных измерений тепловой проницаемости материалов при температурах, близких к комнатной : пат. RU 166709 U1 / Е. Ю. Шампаров, И. Н. Жагрина. – опубл. 10.12.2016.
6. Шампаров, Е. Ю. Исследование теплового переноса в полупрозрачной среде / Е. Ю. Шампаров // Журнал технической физики. – 2018. – № 1. – С. 134–140.
7. Shamparov, E.Yu. Measurement, comparison and improvement of properties of ultra-light thermal protection materials / E. Yu. Shamparov // Proceedings of the International Conference on Innovative Applied Energy IAPE'19. – Oxford, UK.

REFERENCES

1. Materials for clothes. Method for determining the total thermal resistance GOST 20489-75. – Instead of GOST 13925-69, GOST 6268-51; input. 01.01.1976. – M. : Publishing house of standards, 1986. – 11 p.
2. Kondratiev, K. Ya. Transfer of long-wave radiation in the atmosphere / K. Ya. Kondratiev. – Moscow; Leningrad : Gostekhizdat, 1950. – 288 p.
3. Zhagrina, I. N. Measurement of the thickness of non-woven insulating materials / I. N. Zhagrina, S. V. Rode, E. Yu. Shamparov // Technical regulation: the basic basis for the quality of materials, goods and services: international collection of scientific papers: scientific electronic edition. – Mines : ISOiP (branch) DSTU. – 2017. – P. 432–436.
4. GOST 12023-2003 (ISO 5084:1996). Textile materials and products from them. Thickness determination method. – 01.12.2005. – M. : Standartinform, 2005. – 11 p.
5. Installation for precision non-convection measurements of the thermal permeability of materials at temperatures close to room temperature : Pat. RU 166709 U1 / E. Yu. Shamparov, I. N. Zhagrina. – publ. 12.10.2016.
6. Shamparov, E. Yu. Study of heat transfer in a translucent medium / E. Yu. Shamparov // Journal of technical physics. – 2018. – No. 1. – P. 134–140.
7. Shamparov, E.Yu. Measurement, comparison and improvement of properties of ultra-light thermal protection materials / E. Yu. Shamparov // Proceedings of the International Conference on Innovative Applied Energy IAPE'19. – Oxford, UK.

SPISOK LITERATURY

1. Materialy dlja odezhdy. Metod opredelenija summarnogo teplovogo soprotivlenija GOST 20489-75. – Vzaмен GOST 13925-69, GOST 6268-51 ; vved. 01.01.1976. – M. : Izdatel'stvo standartov, 1986. – 11 s.
2. Kondrat'ev, K. Ja. Perenos dlinnovolnovoogo izlucheniija v atmosfere / K. Ja. Kondrat'ev. – Moskva; Leningrad : Gostehizdat, 1950. – 288 s.
3. Zhagrina, I. N. Izmerenie tolshhiny netkanyh utepljajushhh materialov / I. N. Zhagrina, S. V. Rodje, E. Ju. Shamparov // Tehnicheskoe regulirovanie: bazovaja osnova kachestva materialov, tovarov i uslug : mezhdunarodnyj sbornik nauchnyh trudov : nauchnoe jelektronnoe izdanie. – Shahty : ISOiP (filial) DGTU. – 2017. – S. 432–436.
4. GOST 12023-2003 (ISO 5084:1996). Materialy tekstil'nye i izdelija iz nih. Metod opredelenija tolshhiny. – 01.12.2005. – M. : Standartinform, 2005. – 11 s.
5. Ustanovka dlja precizionnyh beskonvekcionnyh izmerenij teplovoj pronicaemosti materialov pri temperaturah, blizkih k komnatnoj : pat. RU 166709 U1 / E. Ju. Shamparov, I. N. Zhagrina. – opubl. 10.12.2016.
6. Shamparov, E. Ju. Issledovanie teplovogo perenosa v poluprozrachnoj srede / E. Ju. Shamparov // Zhurnal tehnichekoj fiziki. – 2018. – № 1. – S. 134–140.

7. Shamparov, E.Yu. Measurement, comparison and improvement of properties of ultra-light thermal protection materials / E. Yu. Shamparov // Proceedings of the International Conference on Innovative Applied Energy IAPE'19. – Oxford, UK.

Статья поступила в редакцию 25.11.2019