

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

2021, №3, Том 6 / 2021, No 3, Vol 6 <https://kostumologiya.ru/issue-3-2021.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL321.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Шарпар Н.М., Жмакин Л.И., Полуцыган Е.О., Сорокин А.Н. Экспресс-методики исследования теплофизических свойств нестационарными методами двухсоставного калориметра и тонкого цилиндрического зонда нетканых материалов, являющихся неотъемлемой частью зимней спецодежды работников жилищно-коммунального хозяйства // Научный журнал «Костюмология», 2021 №3, <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL321.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Sharpar N.M., Zhmakin L.I., Polutsygan E.O., Sorokin A.N. (2021). Express methods of investigation of thermophysical properties by non-stationary methods of a two-component calorimeter and a thin cylindrical probe of nonwovens, which are an integral part of winter workwear of housing and communal services workers. *Journal of Clothing Science*, [online] 3(6). Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL321.pdf> (in Russian)

УДК 677.071.2:536.2

ГРНТИ 64.29.81

Шарпар Николай Михайлович

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Доцент

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: sharpar753@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=744693

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/E-5345-2014>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=54401776000>

Жмакин Леонид Иванович

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Профессор

Доктор технических наук, профессор

E-mail: li_zhmakin@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=26045

Полуцыган Елена Олеговна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Аспирант

E-mail: Lnpn14@mail.ru

Сорокин Александр Николаевич

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Аспирант

E-mail: red_3@inbox.ru

**Экспресс-методики исследования теплофизических свойств
нестационарными методами двухсоставного калориметра и
тонкого цилиндрического зонда нетканых материалов,
являющихся неотъемлемой частью зимней спецодежды
работников жилищно-коммунального хозяйства**

Аннотация. При разработке спецодежды для работников жилищно-коммунального хозяйства на стадии проектирования, необходимо чтобы впоследствии она была способна обеспечить эффективную теплозащиту человека от неблагоприятных климатических воздействий на его организм. Каждая зимняя спецодежда состоит из пакета материалов, среди которых можно выделить нетканую группу, их производство интенсивно развивается во всем мире. Эти материалы отличаются гибкостью, химической стойкостью, экологической безопасностью и достаточной прочностью. Для реализации данной задачи требуются разнообразные теплофизические параметры составных элементов входящих в пакет одежды. Одним из таких параметров является теплопроводность материалов, которая способствует выбору определяющих свойств теплоизоляционной защиты.

Нетканые материалы широко применяют в легкой промышленности в качестве утеплителя для одежды, при изготовлении головных уборов и обуви. А также они встречаются в различных отраслях промышленности для тепловой изоляции арматуры, трубопроводов, технологического оборудования; используются при производстве средств защиты персонала, работающего в тяжелых условиях производства (при крайнем холоде и в горячих цехах). Их применяют в сельском хозяйстве и в строительстве для утепления зданий.

Современные технологии позволяют создавать новые нетканые материалы с заранее заданными свойствами, которые проявляют значительное воздействие на их теплозащитные характеристики. Появляется проблема, связанная с контролем теплофизических свойств нетканых материалов, причем как на стадии их производства, так и при эксплуатации в разных внешних условиях.

Для реализации этой цели можно применить как дорогостоящие стационарные приборы, в них измерительный цикл осуществляется за несколько часов, так и приборы экспресс-анализа, позволяющие установить тепловые характеристики материала в течении 5...15 минут, они доступны по цене, как потребителям, так и производителям материалов теплоизоляционного назначения. В аналогичных приборах при работе используется нестационарный метод регулярного теплового режима.

Ключевые слова: нетканые материалы; температуропроводность; теплопроводность; спецодежда; регулярный режим; калориметр; зонд

Обеспечение комфортных и безвредных для организма условий труда в спецодежде работников ЖКХ, является неотъемлемым требованием, которое зависит во многом от теплозащитных параметров а, в частности, от теплопроводности материала, используемого на стадии изготовления изделия. Учитывая модельный ряд разнообразных зимних костюмов, найти коэффициенты теплопроводности, не только пакетов, но и отдельных нетканых покрытий, содержащихся в их комплексе, визуально неосуществимо, при этом существенным источником определения аналогичной информации по-прежнему является экспериментальное исследование [1–3].

В статье проведены экспериментальные исследования при помощи экспресс-методик для определения теплофизических свойств [4–8] нетканых материалов, на основе которых предлагается использовать методы измерений зондовый и двухсоставного калориметра.

Появление на рынке современных утеплителей [9] открыли обширные возможности для разработки и проектирования зимней специальной одежды, как в условиях широкого спектра использования, так и узконаправленного, например, зимней спецодежды работников жилищно-коммунального хозяйства, здесь человеку требуется производить значительные физические нагрузки, при разнообразной интенсивности находясь при этом в значительном интервале неблагоприятных внешних воздействий [10].

Нетканые материалы не только природного, но и искусственного происхождения широко применяются в роли эффективной тепловой изоляции [11; 12], в связи с этим требуется развивать проведение исследований их теплопроводности [13–17], уровень которых пока отстает от нынешних потребностей. Необходима разработка автоматизированных современных экспресс-методик выполнения экспериментов, позволяющих определить опытные данные при их приемлемой точности. Все рассматриваемые методики основываются на измерениях нестационарных температурных полей.

1. Методика регулярного режима двухсоставного калориметра

Рассматриваемый метод относится к категории достаточно несложных экспресс-методик, позволяющих определять опытные параметры по тепловым характеристикам нетканых материалов с приемлемой точности поиска в диапазоне 5...15 минут. По своей сути он относится к методам регулярного охлаждения в условиях цилиндрической геометрии исследуемых материалов.

Избыточная температура изучаемого тела, как известно в условиях регулярного теплового режима изменяется во времени экспоненциально: $\nu = A \exp(-m\tau)$. Ее логарифм $\ln \mathcal{G} = \ln A - m\tau$ линеен и изменяется в интервале времени, но темп охлаждения (иначе относительная скорость этой температуры) стабильна по полной цепи точек изучаемого материала и не изменяется с течением времени. Темп охлаждения — « m » устанавливают из эксперимента, а по его значениям определяют тепло-физические характеристики изучаемого материала.

Можно отразить также, по паре любых точек разность температур исследуемого образца ($t_1 - t_2$), она аналогично будет меняться со временем согласно линейному закону, а отношение ее у избыточных температур рассматриваемых точек будет постоянным, т. е. $\mathcal{G}_1/\mathcal{G}_2 = b$ — константа b находится в интервале 0...1. У двухсоставного цилиндрического калориметра ее определяют, как:

$$b = \frac{J_0(\varepsilon_1 r_1/R)}{J_0(\varepsilon_2 r_2/R)}, \quad (1)$$

В формуле (1) содержатся следующие обозначения: $J_0(\varepsilon_1 r_1/R)$ — функции Бесселя нулевого порядка I-го рода [18]; ε_1 и ε_2 — корни характеристического уравнения; R и r_1 — фактический радиус цилиндра и радиус расположения термопары на периферии (рис. 1а). Для материалов цилиндрической геометрии в частном случае, при условии, что одна из ряда его точек расположена на оси цилиндра, а другая на периферии ячейки, тогда b определяется как:

$$b = J_0(\varepsilon_1 r_1/R), \quad (2)$$

где R — действительный радиус цилиндра. Если $R = r_1$, тогда $b = J_0(\varepsilon_1)$.

Существенным удобством этого метода служит то, что число Био при выполнении экспериментов может составлять любое значение. Так, к примеру, реализацию опытов можно осуществлять и на воздухе.

Зависимость $\ln \mathcal{G} = f(\tau)$ по нестационарному методу 2-х точек приведена на рисунке 1б.

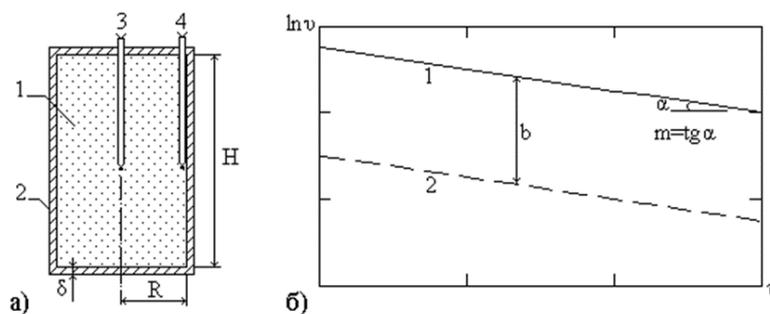


Рисунок 1. Методика двухсоставного цилиндрического калориметра: а) схема рабочего участка: 1 — испытуемый материал; 2 — ячейка устройства; 3, 4 — терморпарные датчики б) зависимости метода 2-х определяющих точек

Реализовать рассматриваемый в статье метод позволила сконструированная опытная установка. Рабочая ячейка, в ней имела цилиндрическую форму. Изучаемый нетканый материал укомплектовывается внутрь стальной жесткой ячейки показанной на рисунке 1а. Цилиндрическая ячейка обладает диаметром 49 мм, с высотой 92 мм и толщиной стенки — 1 мм. Ячейку плотно набивают испытуемым материалом, после чего ее закрывают крышкой. Регистрация температур осуществляется с помощью хромель — копелевых термопар, расположенных внутри капсулы.

Затем ячейка двухсоставного калориметра с изучаемым материалом длительное время находится в сушильном шкафу при температуре 65...90 °С, а затем проходит процесс охлаждения на воздухе с температурой в помещении. По изменяющимся со временем значениям температур вычислялся темп охлаждения m , и константа b . Благодаря рассматриваемой константе, и таблицам функции Бесселя [18], устанавливаем корень характеристического уравнения ε_1 , согласно формуле:

$$a = m(R/\varepsilon_1)^2 \quad (3)$$

находим коэффициент температуропроводности образца.

Коэффициента теплопроводности определяется по известной зависимости, связывающей теплофизические характеристики веществ:

$$\lambda = a\rho c. \quad (4)$$

здесь c и ρ — теплоемкость и плотность.

Нетканый материал рассматривался как капиллярно-пористая структура, состоящая из волокон и воздуха. Аналогичный состав можно охарактеризовать при помощи массовой доли ω или же пористости Π , определяемой по соотношению массы воздуха находящегося в изучаемом образце к его массе.

По данным о массе M_{HM} и объеме внутри ячейки V_K определяется плотность образца ρ , как:

$$\rho = M_{HM} / V_K,$$

удельная теплоемкость c при этом находится, по принципу аддитивности, согласно формуле:

$$c = c_1\omega + c_2(1 - \omega)$$

где c_1 и c_2 — теплоемкость воздуха и исследуемого материала (полиэфирного волокна).

2. Зондовая методика измерений

Вторым перспективным способом поиска теплофизических показателей нетканых материалов служит зондовая методика, в ее основе расположена динамика нагрева тонкого цилиндрической зонда, заключенного в неограниченном массиве [19]. В качестве зоны представлена проволока, нагреваемая электрическим током, на ней находится термпарный датчик, прикрепленный по средствам сварки. Контакт зонда с внешней средой предполагается идеальным. Предполагается, что в начале проведения измерений температуры зонда и материала одинаковы и известны.

На рисунке 2 рассмотрена схема реализации задачи по тепловому распределению в неограниченной среде образца (1), и электронагревателя (2), представляющего тонкую проволоку радиусом r_0 .

Дифференциальное уравнение теплопроводности, для нетканого материала, в цилиндрических координатах, примет вид:

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} = a_1 \nabla^2 t_1 = a_1 \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 t_1}{\partial r^2} \right] \quad (5)$$

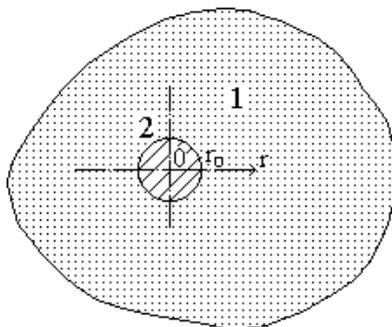


Рисунок 2. Схема реализации задачи при кондуктивном теплопереносе

Здесь a — температуропроводность рассматриваемого материала, определяемая по формуле (4); t_1 — его температура; r — радиальная координата, содержащаяся в интервале $r_0 \leq r < \infty$; $\tau > 0$ — время.

Для уравнения (5) запишем условия однозначности, как:

а) начальное условие: при $\tau = 0$ система изотермична, т. е. $t_1 = t_2 = t_0$.

б) граничные условия:

- при $r = r_0$ $-\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial r} = \frac{q_l}{2\pi r_0} - \frac{m_l c_2}{2\pi r_0} \cdot \frac{\partial t_2}{\partial \tau}$ и $-\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial r} = \frac{t_2 - t_1}{R_k}$;

- при $r \rightarrow \infty$ $\frac{\partial t_1}{\partial r} = 0$.

В записанных формулах R_k , c_2 — контактное термическое сопротивление нагревателя по поверхности и его теплоемкость; q_l (Вт/м) и m_l (кг/м) — линейные плотности теплового потока и проволочного нагревателя. Если величину R_k мы не принимать во внимание, то можно записать, что $r = r_0$ в каждой временной точке равенство температур имеет вид $t_1(\tau) = t_2(\tau)$.

В монографии авторов Карслоу Г. и Егера Д. [20] было установлено аналитическое решение, согласно уравнению (5). С его помощью, возможно, охарактеризовать зависимость избыточной температуры по поверхности соприкосновения «нетканый материал — проволочный нагреватель» от радиуса зонда, его теплофизических параметров среды, времени и теплового потока:

$$\theta(\tau) = t_2(\tau) - t_0 = t_1(\tau) - t_0 = -\frac{q}{4\pi a_1} \left[-Ei\left(-\frac{r_0^2}{4a_1\tau}\right) \right]. \quad (6)$$

где t_1 и t_2 — температуры нетканого материала и зонда, расположенного на его поверхности одинаковые, r_0 — радиус зонда, $\tau > 0$ — время выполнения эксперимента, остальные параметры согласно уравнению (5):

- параметр $q = q_l / (\rho_1 c_1)$, где $q_l = W/l$, является линейной плотностью теплового потока нагревателя (l — длина, а W — его мощность);

- $-Ei\left(-\frac{r_0^2}{4a_1\tau}\right) = \int_{r_0^2/4a_1\tau}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$ — показательная интегральная функция.

Для рассматриваемой функции $-Ei(-x)$ разумеется, что разложение в ряд выполняется по ее аргументу. При небольших показателях аргумента данный ряд стремится к немедленной сходимости, тогда в нем возможно ограничиться лишь учетом двух первых членов:

$$-Ei(-x) \approx \gamma + \ln x = \ln(Cx),$$

здесь $\gamma \approx 0,5722$ постоянная Эйлера, а $C = e^\gamma \approx 1,772$ — константа.

Введем безразмерное время, $Fo = a_1\tau/r_0^2$ т. е. число Фурье, тогда выражение (6) при учете принятых ранее обозначений примет вид:

$$\theta(\tau) = \frac{q_l}{4\pi\lambda_1} \ln\left(\frac{4a_1\tau}{Cr_0^2}\right) = \frac{q_l}{4\pi\lambda_1} \ln\left(\frac{4}{C} Fo\right) = \frac{q_l}{4\pi\lambda_1} (0,814 + \ln Fo) \quad (7)$$

При экспериментальном поиске избыточной температуры по поверхности нагревателя в различные временные моменты τ_1 и τ_2 (когда $\tau_2 > \tau_1$), то в соответствии с (7) запишем систему:

$$\begin{cases} \theta_1 = \frac{q_l}{4\pi\lambda_1} (0,814 + \ln Fo_1) \\ \theta_2 = \frac{q_l}{4\pi\lambda_1} (0,814 + \ln Fo_2) \end{cases},$$

из нее установим коэффициент теплопроводности для исследуемого образца:

$$\lambda_1 = \frac{q_l}{4\pi\Delta T} \ln\left(\frac{Fo_2}{Fo_1}\right) = 0,0796 \frac{q_l}{\Delta T} \ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right), \quad (8)$$

здесь $\Delta T = \theta_2 - \theta_1$.

Так зависимость избыточных температур, позволит определить температуропроводность изучаемого материала:

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{\ln(4a_1\tau_2/Cr_0^2)}{\ln(4a_1\tau_1/Cr_0^2)}, \quad (9)$$

однако, придется использовать метод последовательных итераций.

Реализация оценочных расчетов у разных нетканых материалов привели к тому, что уже при $Fo > 30$ (интервал времени составляет 15 секунд после начала опыта) отклонения приближенных и точных параметров функции $Ei(-x)$ снижается на 0,07 %, и могут использоваться формулы (7) и (8).

Как отмечалось ранее, в основе зондовых экспериментов присутствует пропускание электрического постоянного тока установленной мощности через несколько минут по тонкой цилиндрической проволоки, размещенной в слое изучаемого материала, и определение температуры ее поверхности. Поиск мощности нагревателя осуществлялся по известной методике амперметра-вольтметра, а измерения температуры датчиками термопар, объединенных с вторичными приборами.

На рисунке 3 разобрана схема рабочей ячейки зондового измерителя теплопроводности нетканых материалов. Она содержит следующие элементы: выполненный из нихромовой проволоки нагреватель 1 с диаметром 0,5 мм; хромель-копелевый термопарный (ТХК) датчик 2 с диаметром термоэлектрода 0,2 мм, измеряющий температуру поверхности нагревателя; выпрямитель 3 со стабильной регулировкой мощности; приборы контроля напряжения и тока; воздушный термостат 4; крепление для образца 5.

Источник питания рассматриваемой измерительной системы содержал выпрямитель с фильтром емкостей и лабораторный автотрансформатор. Для повышения точности прибора при выполнении измерений тока нагревателя, замеры осуществляли по падению напряжения — эталонного сопротивления R_s и при помощи амперметра.

Система обработки и записи данных, приходящих с термопары, расположенной на нагревателе, была выполнена на базе контроллера ТРМ-101 марки «Овен». Связь контроллера с персональным компьютером 6 осуществлялась по каналу связи RS-485. Регистрация опытных точек с заданной периодичностью и в последующем их архивирования осуществлялась в программном обеспечении компании «Овен». Абсолютная максимальная погрешность при работе промышленного контроллера в режиме замера температур составляла 0,2 °С.

Исследования осуществлялись на нетканом материала состоящем из полиэфирных волокон диаметром 200 мкм с линейной плотностью 0,82 текс и толщиной пробы 4 мм. Образцы сформировывались из двух слоев текстильного полотна. Вначале в крепление помещали нижний слой полотна, после на него размещали нагреватель с приваренным к нему термопарным датчиком и электродами потенциометра, а затем сверху накрывали верхний слой материала. Далее собранный пакет, расположенный на неподвижно фиксированной опоре, размещали в сушильном шкафу, это позволяло предотвратить смещение материалов при выполнении эксперимента. Сушильный шкаф позволял осуществлять измерения температур от комнатных до 150 °С.

Перед выполнением обработки полученных температур при помощи датчиков термопар предшествовало построение зависимости вида $\theta = f[\ln(\tau)]$ и выделения на ней линейных участков. Впоследствии по формуле (9) вычислялись значения теплопроводности по значениям двух соседних точек экспериментальных кривых. В связи с этим каждый проведенный опыт позволял определить несколько значений коэффициента теплопроводности.

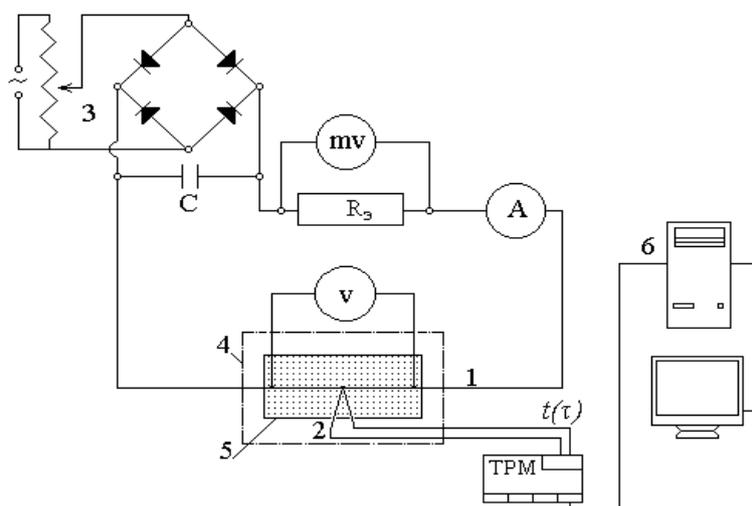


Рисунок 3. Принципиальная схема рабочей ячейки для измерений по зондовой методике

Перед выполнением опытов образцы исследуемого нетканого материала находились длительное время при температуре помещения; после запускали процесс нагрева проволочного зонда, содержащегося в пакете материалов, и затем выполняли регистрацию повышения температуры во времени.

3. Результаты измерений

При использовании 2-х точечного калориметра было реализовано 6 опытов, благодаря им были определены теплофизические характеристики рассматриваемого в работе нетканого материала при его пористости в 0,83. Материал изготовлен из полиэфирных волокон, линейная плотность, которых составляет 0,82 текс. Эксперименты проводились в двух режимах: нагрев капсулы с материалом в термостате, и охлаждение ее на воздухе; типичные зависимости $\ln v = f(\tau)$ приведены на рисунке 4. Коэффициент температуропроводности материала находился в интервале $(5,75...6,54) \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ со среднеквадратичным отклонением по результатам опытов 3,4 %, а погрешность измерения не составляла более 12 %. Вычисления коэффициента теплопроводности проводились по формуле (4) с применением данных по теплоемкости из литературы [18; 21–25].

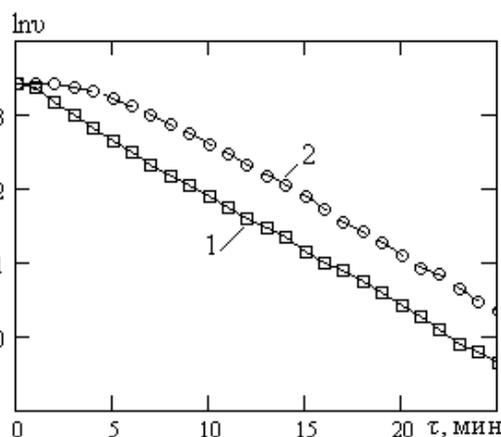


Рисунок 4. Динамика зависимости $\ln v = f(\tau)$ при изменении температур стенки (1) и на оси (2) ячейки калориметра

При применении зондовой методики образцы выдерживались при комнатной температуре; затем запускался нагрев зонда и снимался рост его температуры с течением времени. На рисунке 5 представлены данные найденные в процессе измерений избыточных температур зонда одного из режимов, с линейной плотностью теплового потока в зонде $q_l = 7,07$ Вт/м.

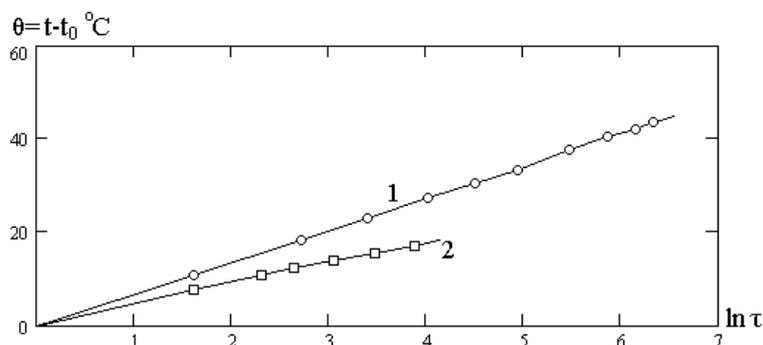


Рисунок 5. Избыточная температура нетканого материала в функции от времени в полулогарифмических координатах: 1 — сухой; 2 — влажный

Из рис. 5 видно, что зависимости приведенных избыточных температур по зонду от логарифма времени достаточно близки к линейным, что показывает их обоснованность упрощающих гипотез рассматриваемой методики.

Экспериментальные исследования нетканого материала выполнялись для двух типов образцов, представленных на рисунке 5 в виде кривых: 1 — сухого и 2 — насыщенный с влагосодержанием $W = 0,86$.

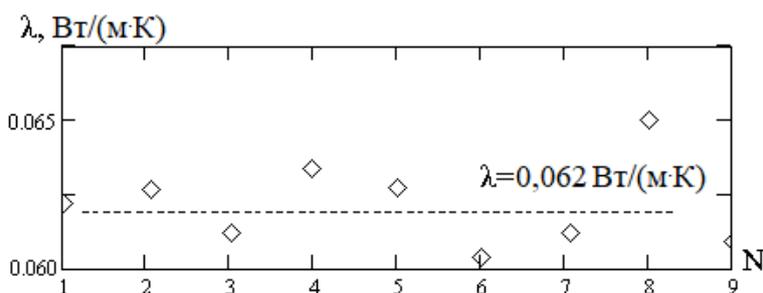


Рисунок 6. Экспериментальные данные со средним значением теплопроводности для сухого нетканого материала

Разброс опытных точек для средних значений теплопроводности сухого и влажного нетканого материала, изготовленного из полиэфирных волокон показан на рисунках 6 и 7.

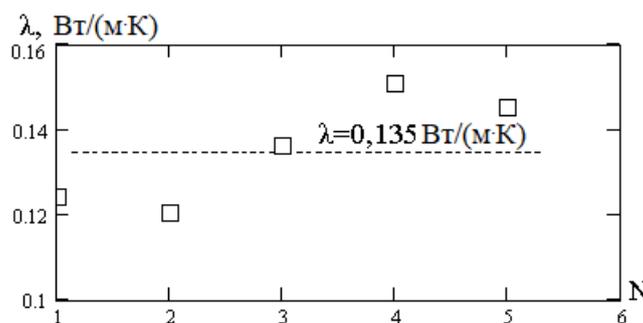


Рисунок 7. Экспериментальные данные со средним значением теплопроводности для влажного

Выводы

В методе двухсоставного калориметра коэффициент теплопроводности образцов, рассчитанный по формуле (4) с привлечением литературных данных по теплоемкости, находился в диапазоне 0,044...0,050 Вт/(мК). Погрешность его определения составила 15 %. При помощи зондовой методики можно относительно просто проанализировать влияние на теплопроводность структуры нетканого материала, его пористости и влажности. Для сухих образцов среднее значение теплопроводности составило 0,062 Вт/(мК), а для влажных 0,135 Вт/(мК); максимальные отклонения от средних не превышали 10 %. Значения теплопроводности сухих образцов полиэфирного полотна примерно на 24 % выше полученных с помощью двухсоставного калориметра. Причины расхождений, вероятно, связаны с методическими проблемами проведения измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теплофизические измерения и приборы / [Е.С. Платунов, С.Е. Буравой, В.В. Курепин, Г.С. Петров]; Под общ. ред. Е.С. Платунова. — Л.: Машиностроение: Ленингр. отд-ние, 1986. — 255 с.
2. Экспресс-метод и приборы для измерения теплопроводности. Беляев Ю.И. и др. Приборы, 2003. № 8. — С. 32–35.
3. Шарпар Н.М., Жмакин Л.И., Маркова К.А. Экспериментальное исследование теплопроводности текстильных материалов, входящих в состав одежды силовых структур и специальных ведомств // Костюмология, Т. 5. № 4. 2020. С. 18.
4. Кондратьев Г.М. Тепловые измерения. — М.-Л.: Машиностроение, 1967, 244 с.
5. Филиппов Л.П. Направления развития методов измерений теплофизических свойств веществ и материалов // Энергетика, 1980. — № 3. — 125 с.
6. Ефимов М.В., Жмакин Л.И., Шарпар Н.М. Моделирование теплофизических характеристик нетканого полиэфирного полотна. В сборнике: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации-2018). Сборник материалов Международной научно-технической конференции, 2018. — С. 73–76.
7. Справочник по специальным функциям / Под ред. Абрамовица М. и Стиган И. — М.: Наука, 1979, 512 с.
8. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. — М.: Наука, 1964, 488 с.
9. Родичева М.В., Абрамов А.В., Павловская А.А. Исследование теплофизических показателей современных утеплителей // Технология текстильной промышленности, 2011, № 5(334). — С. 17–20.
10. Мокеева Н.С., Заев В.А., Жилисбаева Р.О. Прогнозирование теплозащитных свойств многослойной одежды в условиях воздействия низких температур // Технология текстильной промышленности, 2016, № 5(365), — С. 65–68.
11. Таласпаева, А.А. Исследование влияния нетканых материалов на теплозащитные показатели спецодежды / А.А. Таласпаева, Р.О. Жилисбаева. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 12(92). — С. 329–331. — URL: <https://moluch.ru/archive/92/20351/> (дата обращения: 27.12.2021).

12. Булыгина С.Г. Учет теплозащитных характеристик спецодежды при моделировании теплообмена человека с окружающей средой / С.Г. Булыгина, О.А. Сотникова // Научный журнал Инженерные системы и сооружения. — 2012. — № 1(6). — С. 60–70.
13. Лыков А.В. Явление переноса тепла в капиллярно-пористых телах. — М.: Гостехиздат, 1954. — 296 с.
14. Исаев В.В. Исследование теплопроводности текстильных полотен / Сб. науч. трудов «Новое в науке и производстве текст. и лег. пром.», вып. 4. — М.: Изд. РосЗИТЛП, 2009. — с. 30–38.
15. Светлов Д.О. Эффективная теплопроводность материалов капиллярно-пористой и волокнистой структуры на основе макроквантового термодинамического метода / Д.О. Светлов, В.В. Исаев, Ю.В. Светов // Фундаментальные исследования. — С. 1–11.
16. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа. 1967. — 600 с.
17. Осипов В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. М.: Энергия. 1969 — 391 с.
18. Корнюхин И.П. Тепломассообмен в теплотехнике текстильных производств: учебное пособие. — М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2004. — 598 с.
19. Ефимов М.В., Жмакин Л.И., Шарпар Н.М. Моделирование теплофизических характеристик нетканого полиэфирного полотна. В сборнике: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации-2018). Сборник материалов Международной научно-технической конференции, 2018. — С. 73–76.
20. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. Изд-во: Наука, 1964. — 488 с.
21. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Наука, 1972, 720 с.
22. Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. Кикоина И.К. — М.: Атомиздат, 1976, 270 с.
23. Теплотехнический справочник, т. 2 / Под ред. Юренева В.К. и Лебедева П.Д. — М.: Энергия, 1976, 430 с.
24. Шарпар Н.М. Разработка методов исследования теплофизических свойств нетканых материалов: Дисс. ... канд. техн. наук. Москва, 2013 — 135 с.
25. Sharpar N.M., Zhmakin L.I., Osmanov Z.N. A Study of the Heat Capacity of Textile Materials // Fibre Chemistry. March 2017, T. 48, № 6, С. 515–518.

Sharpar Nikolai Mikhailovich

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: sharpar753@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=744693
Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/E-5345-2014>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=54401776000>

Zhmakin Leonid Ivanovich

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: li_zhmakin@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=26045

Polutsygan Elena Olegovna

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: Lnpn14@mail.ru

Sorokin Alexander Nikolaevich

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: red_3@inbox.ru

Express methods of investigation of thermophysical properties by non-stationary methods of a two-component calorimeter and a thin cylindrical probe of nonwovens, which are an integral part of winter workwear of housing and communal services workers

Abstract. When developing workwear for housing and communal services workers at the design stage, it is necessary that later it should be able to provide effective thermal protection of a person from adverse climatic influences on his body. Each winter workwear consists of a package of materials, among which a non-woven group can be distinguished, their production is intensively developing all over the world. These materials are characterized by flexibility, chemical resistance, environmental safety and sufficient strength. To implement this task, various thermophysical parameters of the constituent elements included in the clothing package are required. One of these parameters is the thermal conductivity of materials, which contributes to the selection of the defining properties of thermal insulation protection.

Non-woven materials are widely used in light industry as insulation for clothing, in the manufacture of hats and shoes. And they are also found in various industries for thermal insulation of valves, pipelines, process equipment; they are used in the production of protective equipment for personnel working in harsh production conditions (in extreme cold and in hot workshops). They are used in agriculture and in construction to insulate buildings.

Modern technologies make it possible to create new nonwovens with predetermined properties that have a significant impact on their thermal protection characteristics. There is a problem associated with the control of the thermophysical properties of nonwovens, both at the stage of their production and during operation in different external conditions.

To achieve this goal, you can use both expensive stationary devices, in which the measuring cycle is carried out in a few hours, and express analysis devices that allow you to establish the thermal characteristics of the material within 5...15 minutes, they are affordable for both consumers and manufacturers of thermal insulation materials. In similar devices, a non-stationary method of regular thermal regime is used during operation.

Keywords: non-woven materials; thermal conductivity; thermal conductivity; overalls; regular mode; calorimeter; probe

REFERENCES

1. Thermophysical measurements and devices / [E.S. Platunov, S.E. Buravoy, V.V. Kurepin, G.S. Petrov]; Under the general editorship of E.S. Platunov. — L.: Mashinostroenie: Leningr. otd-nie, 1986 — 255 p.
2. Express method and devices for measuring thermal conductivity. Belyaev Yu.I. et al. Instruments, 2003. No. 8. — pp. 32–35.
3. Sharpar N.M., Zhmakin L.I., Markova K.A. Experimental study of thermal conductivity of textile materials that are part of the clothing of power structures and special departments // *Costumology*, T. 5. № 4. 2020. P. 18.
4. Kondratiev G.M. Thermal measurements. — M.-L.: Mechanical engineering. 1967. — 244 p.
5. Filippov L.P. Directions of development of measurement methods of thermophysical properties of substances and materials // *Energetika*, 1980. — № 3. — 125 p.
6. Efimov M.V., Zhmakin L.I., Sharpar N.M. Modeling of thermophysical characteristics of nonwoven polyester fabric. In the collection: Design, technologies and innovations in the textile and light industry (Innovations-2018). Collection of materials of the International Scientific and Technical Conference, 2018. — pp. 73–76.
7. Reference for special functions / Ed. Abramovitsa M. and Stigan I. — M.: Nauka, 1979, 512 p.
8. Karslow G., Yeger D. Thermal conductivity of solids. — M.: Nauka. 1964. — 488 p.
9. Rodicheva M.V., Abramov A.V., Pavlovskaya A.A. Investigation of thermophysical indicators of modern insulation materials // *Technology of textile industry*, 2011, № 5(334). — Pp. 17–20.
10. Mokeeva N.S., Zaev V.A., Zhilisbayeva R.O. Forecasting of heat-protective properties of multilayer clothing under conditions of exposure to low temperatures // *Technology of textile industry*, 2016, № 5(365), — Pp. 65–68.
11. Talaspaeva, A.A. Investigation of the influence of nonwovens on the heat-protective performance of workwear / A.A. Talaspaeva, R.O. Zhilisbayeva. — Text: direct // *Young scientist*. — 2015. — № 12(92). — pp. 329–331. — Address: <https://moluch.ru/archive/92/20351/> (date of reference: 12/27/2021).
12. Bulygina S.G. Accounting for heat-protective characteristics of workwear when modeling human heat exchange with the environment / S.G. Bulygina, O.A. Sotnikova// *Scientific journal Engineering Systems and Structures*. — 2012. — № 1(6). — pp. 60–70.
13. Lykov A.V. The phenomenon of heat transfer in capillary-porous bodies. — M.: Gostekhizdat, 1954. — 296 p.
14. Isaev V.V. Investigation of thermal conductivity of textile fabrics / Collection of scientific works "New in science and production text. and leg. prom", T. 4. — M.: Izd. Roszhitp, 2009. — S. 30–38.

15. Svetlov D.O. Effective thermal conductivity of the material of capillary-porous and fibrous structure on the basis of macro-quantum thermodynamic method / D.O. Svetlov, V.V. Isaev, Yu.V. Lights // Fundamental research. — pp. 1–11.
16. Lykov A.B. Theory of heat conduction. M.: Higher school. 1967. — 600 p.
17. Osipov V.A. Experimental study of heat transfer processes. M.: Energiya. 1969 — 391 p.
18. Korniyukhin I.P. Heat and mass transfer in the heat engineering of textile industries: textbook. — M.: Kosygin Moscow State Technical University, 2004. — 598 p.
19. Efimov M.V., Zhmakin L.I., Sharpar N.M. Modeling of thermophysical characteristics of nonwoven polyester fabric. In the collection: Design, technologies and innovations in the textile and light industry (Innovations-2018). Collection of materials of the International Scientific and Technical Conference, 2018. — pp. 73–76.
20. Karslow G., Jaeger D. Thermal conductivity of solids. Publishing house: Nauka, 1964. — 488 p.
21. Vargaftik N.B. Handbook of thermophysical properties of gases and liquids. — M.: Nauka, 1972, 720 p.
22. Tables of physical quantities. Guide / Ed. Kikoina I.K. — M.: Atomizdat, 1976, 270 p.
23. Heat engineering Handbook, т. 2 / Ed. Yureneva V.K. and Lebedeva P.D. — M.: Energiya, 1976, 430 p.
24. Sharpar N.M. Development of methods for the study of thermophysical properties of nonwovens: Diss. ... Candidate of Technical Sciences. Moscow, 2013 — 135 с.
25. Sharpar N.M., Zhmakin L.I., Osmanov Z.N. A Study of the Heat Capacity of Textile Materials // Fibre Chemistry. March 2017, T. 48, № 6, pp. 515–518.