

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗДЕЛИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Научная статья

УДК 691-494

EDN ERHEYX

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-1-71-19-24>

Владислав Викторович Иванов¹

Юрий Михайлович Трещалин²

Михаил Юрьевич Трещалин³

Алексей Юрьевич Матрохин⁴

Никита Андреевич Онипченко⁵

Наталья Александровна Грузинцева⁶

¹ ООО «Термопол», ТМ «Холлофайбер», Москва, Россия

^{2,3} Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

^{4,5,6} Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Россия

¹ i-vlad@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9233-8604>

² antropog@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0006-9314-4362>

³ mtreschalin@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-4022-4716>

⁴ matrokhin.igta@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2373-3904>

⁵ onipchenko.nikita@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0003-8996-3160>

⁶ gna76@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4312-6901>

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СЪЕМНО-РАЗЪЕМНЫЕ ТЕРМОЧЕХЛЫ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ: ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОСЕТЕЙ

Аннотация. В статье приведен комплексный анализ теплофизических и эксплуатационных свойств высокопористых термоскрепленных нетканых материалов на полиэфирной основе для обоснования их применения в качестве эффективного функционального слоя в полифункциональных съемно-разъемных термочехлах для трубопроводных систем. Проведены лабораторные испытания образцов нетканых полотен с различной поверхностной и объемной плотностью. Определены их эффективные коэффициенты теплопроводности. Для моделирования теплообмена использован подход к волокнистому материалу как к сплошной пористой среде. Термическое сопротивление и параметры изоляционного слоя рассчитаны по классическим методикам для многослойных стенок. Установлено, что нетканый материал обладает эластичностью, формоустойчивостью, технологичностью монтажа, устойчивостью к УФ-излучению и безопасностью. Высокопористые нетканые материалы на полиэфирной основе научно обоснованы как высокоэффективная, технологичная и долговечная альтернатива традиционным утеплителям (например, минеральной вате) для энергоэффективных термочехлов. Полученные расчетные зависимости позволяют проводить оптимизированное проектирование изоляционных конструкций.

Ключевые слова: трубопроводы, теплозащитные чехлы и покрытия, многофункциональные волокнистые материалы, оборудование, эластичные волокнистые материалы, нетканые материалы, энергоэффективность

Для цитирования: Полифункциональные съемно-разъемные термочехлы из волокнистых материалов: оптимизация теплозащиты трубопроводов и оборудования теплосетей / В. В. Иванов, Ю. М. Трещалин, М. Ю. Трещалин, А. Ю. Матрохин, Н. А. Онипченко, Н. А. Грузинцева // Технологии и качество. 2026. № 1(71). С. 19–24. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-1-71-19-24>.

Original article

Vladislav V. Ivanov¹

Yuriy M. Treshchalin²

Mihail Yu. Treshchalin³

Aleksey Yu. Matrohin⁴

Nikita A. Onipchenko⁵

Natal'ya A. Gruzinceva⁶

¹ Thermopol, LLC, Hollowfiber®, Moscow, Russia

^{2,3} Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

^{4,5,6} Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

MULTIFUNCTIONAL REMOVABLE AND DETACHABLE THERMAL COVERS MADE OF FIBROUS MATERIALS: OPTIMIZATION OF THERMAL PROTECTION OF PIPELINES AND HEATING SYSTEM EQUIPMENT

Abstract. *The article presents a comprehensive analysis of the thermophysical and operational properties of highly porous thermally bonded polyester-based nonwovens to justify their use as an effective functional layer in multifunctional removable and detachable thermal protective coatings for pipeline systems. Laboratory tests of samples of nonwovens with different surface and bulk densities have been carried out. Their effective coefficients of thermal conductivity are determined. An approach to a fibrous material as a continuous porous medium is used to model heat transfer. The heat resistance and parameters of the insulating layer are calculated according to classical methods for multilayer walls. It has been established that non-woven fabric has elasticity, shape stability, ease of installation, UV resistance and safety. It has been scientifically proven that polyester-based highly porous nonwovens present a highly efficient, technologically advanced and durable alternative to traditional insulating materials (e.g. mineral wool) for creating energy-efficient thermal insulation coatings. The calculated dependences obtained make it possible to optimise the design of thermal insulation structures.*

Keywords: *pipelines, thermal covers, multifunctional non-woven materials, equipment, elastic nonwovens, non-woven materials, energy efficiency*

For citation: Ivanov V. V., Treshchalin Yu. M., Treshchalin M. Yu., Matrohin A. Yu., Onipchenko N. A., Gruzinceva N. A. Multifunctional removable and detachable thermal covers made of fibrous materials: optimisation of thermal protection of pipelines and heating system equipment. *Technologies & Quality*. 2026. No 1(71). P. 19–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-1-71-19-24>.

Повышение энергоэффективности и снижение потерь тепловой энергии в трубопроводных системах технологических процессов, теплоснабжения и ЖКХ является критически важной задачей для национальной экономики и экологии. Традиционные решения (минераловатные, пенополиуретановые, вспененные каучуковые изоляции), хотя и широко применяются, обладают рядом системных недостатков в контексте эксплуатации сложных трубопроводных контуров. К ним относятся: неэластичность, приводящая к образованию «мостиков холода» на стыках и в сложных узлах; гигроскопичность с потерей изоляционных свойств при увлажнении; низкая ремонтпригодность (неразъемные конструкции); деградация и потеря целостности при циклических температурных и вибрационных нагрузках, особенно в условиях отрицательных температур. Эти недостатки обуславливают повышенные эксплуатационные расходы, необходимость частой заме-

ны и, как следствие, недостаточный общий энергосберегающий эффект.

В качестве инновационной альтернативы рассматриваются полифункциональные эластичные съемно-разъемные термочехлы. Ключевым элементом их конструкции выступает утепляющий слой на основе современных нетканых материалов, к которому, помимо высоких теплоизоляционных свойств, предъявляются обязательные требования по огнестойкости и устойчивости к УФ-излучению. Эти характеристики являются критически важными для обеспечения долговечности, пожарной безопасности и эксплуатационной надежности изделий, особенно при наружном или промышленном использовании. Перспективным материалом, способным соответствовать данному комплексу требований, является нетканый материал на полиэфирной основе с соответствующими модификациями. Такой материал способен сохранять эластичность, механическую целостность и изоляционные свойства в широком диапазоне тем-

ператур, включая отрицательные, демонстрируя при этом необходимые показатели пожаробезопасности и стойкости к солнечной радиации.

Основной целью исследования является комплексный анализ и экспериментальное обоснование эффективности применения отечественных нетканых материалов, отвечающих в том числе требованиям огнестойкости и УФ-устойчивости, в качестве функционального теплоизоляционного слоя для создания энергоэффективных полифункциональных термочехлов. Для достижения поставленной цели:

- проведен анализ современных отечественных высокопористых нетканых материалов, обладающих параметрами, обеспечивающими теплоизоляцию (плотность, толщина, пористость, теплопроводность в диапазоне рабочих температур и т. п.), а также необходимыми показателями огнестойкости и устойчивости к ультрафиолетовому излучению;
- определена зависимость коэффициента теплопроводности исследуемых материалов от температуры (включая отрицательный диапазон) и от степени сжатия/деформации, моделирующей монтаж на трубопроводе сложной конфигурации;
- сформулированы рекомендации по выбору конкретных видов (марок) нетканых материалов для различных температурных диапазонов и условий эксплуатации с учетом требований пожарной безопасности и УФ-защиты, а также по оптимизации конструкции термочехлов для максимального энергосберегающего эффекта.

МЕТОДЫ. Методология исследования базируется на синтезе экспериментального анализа материала и последующего инженерно-физического моделирования, направленного на оценку его поведения в реальной конструкции. Исследование проводилось с использованием

отечественных образцов объемных термоскрепленных нетканых полотен на основе 100 % полиэфира (ТМ «Холофайбер»), различающихся по поверхностной и объемной плотности. Теплофизические испытания проведены в лаборатории НИИ Строительной физики РААСН в соответствии с требованиями ГОСТ [1–3].

При измерении коэффициента теплопроводности использовался метод динамического калориметра. Замеры проводились на модифицированном измерителе теплопроводности ИТ-λ-400 в температурном интервале от –45 до 200 °С, с относительной погрешностью измерений не более 10 %.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем.

Испытываемый образец, диаметром 15 мм, помещался на контактную пластину тепломера, после чего закрывался подвижной оболочкой, которая предохраняет измерительную ячейку от контакта с окружающей средой. Затем устанавливалась температура, до которой необходимо нагреть образец, и включался электронагреватель. Тепловой поток $Q(t)$, направленный снизу вверх, нагревал образец до заданной температуры. Этот момент определялся прохождением стрелки микроамперметра через нулевую отметку. Как только стрелка регистрирующего прибора достигала нуля, замерялись значения n_0 и n_T (в микроамперах) путем переключения тумблера, расположенного на передней панели прибора. После определения n_0 и n_T устанавливается новое значение температуры и измерения повторяются.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. При исследовании теплофизических свойств экспериментально установлены значения эффективного коэффициента теплопроводности $\lambda_{эф}$ для трех образцов нетканых полотен (табл.).

Т а б л и ц а

Значения эффективного коэффициента теплопроводности $\lambda_{эф}$ нетканых материалов

Наименование материала (волоконный состав ПЭ-100 %)	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина, мм	Объемная плотность, кг/м ³	Эффективный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Пористость
Образец № 1	2823	100,5	28,10	0,0371	0,955
Образец № 2	3498	100,3	34,88	0,0365	0,944
Образец № 3	3732	100,3	37,20	0,0365	0,940

Принимая во внимание экспериментальные данные, а также осредненные характеристики волоконистого состава ($d_x = 0,00003305$ м и $\rho_x = 622,08$ кг/м³ – диаметр и объемная плотность одиночной полиэфирной мононити, соответственно), проведены комплексные исследования нетканых полотен [4], в результате которых выведены эмпирические зависимости $\lambda_{эф}$ от клю-

чевых структурных параметров: пористости ξ и плотности ρ материала:

$$\lambda_{эф}(\xi) = -0,12029\xi^{2,5} - 2,66946 \cdot 10^{-3}\xi^{0,5} + 0,149;$$

$$\lambda_{эф}(\rho) = -0,014033\rho^{0,35} - 8,287732 \cdot 10^{-4}\rho^{0,75}. \quad (1)$$

Для оценки теплопроводящей способности нетканых материалов, состоящих иногда из нескольких разнородных слоев (так называемый пакет или применяемый в теплотехнике термин «многослойная стенка»), используется понятие термического (теплого) сопротивления R , ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт. Выражение для полного термического сопротивления R теплоизолированного трубопровода, где доминируют сопротивление изоляции и внешней теплоотдачи, имеет вид:

$$R = \frac{1}{2} \lambda_{\text{эф}} \ln \frac{d_i}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_1}, \quad (2)$$

где d_1 , d_i – диаметр теплоизоляции, внешний и внутренний диаметры трубопровода соответственно;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к внутренней стенке трубы.

На основе (1) получены расчетные формулы для определения необходимого диаметра и толщины изоляционного слоя.

$$\begin{aligned} d_i &= d_1 e^A; \\ \delta_i &= \frac{d_i - d_1}{2}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{где } A = 2 \lambda_{\text{эф}} \left[R - \frac{1}{\alpha_2 d_1} \right].$$

К целесообразности применения в качестве теплоизоляции высокопористых нетканых материалов следует также отнести проблему увеличения энергопотерь вследствие износа агрегатов и деталей защищаемого термочехлами теплового оборудования, подверженного системному и длительному, на протяжении всего периода эксплуатации, изменению термического и влажностного режимов. В связи с этим практически нулевая гигроскопичность (0,6...0,9%) является существенным преимуществом указанных нетканых полотен по сравнению с применяемыми в настоящее время материалами с высокими показателями гигроскопичности, например с минеральной ватой.

Результатом проведенного исследования является комплекс оптимальных технических решений для термочехлов, направленный на преодоление фундаментальной проблемы существующих конструкций – их намокания и сорбции влаги. Данная проблема, возникающая из-за суточных и эксплуатационных колебаний температуры, конденсации и попадания влаги, приводит к резкой деградации изоляционных свойств. Сущность решений заключается в применении специально подобранных нетканых материалов

(основными критериями отбора являются минимальные значения коэффициента теплопроводности и толщины теплоизоляционного материала, соотношение которых определяет основной параметр – термическое сопротивление), которые не только принципиально повышают влагостойкость системы, но и обеспечивают высокие и стабильные теплоизоляционные показатели в условиях реальной эксплуатации. Теплоизоляционную эффективность таких материалов и созданных на их основе многослойных конструкций (количество слоев определяется максимально возможными геометрическими размерами термочехла и минимальными теплопотерями в окружающую среду) целесообразно рассматривать через призму моделирования сложного теплообмена в ограниченном пространстве. При этом каждый слой подбирается из условия минимальных значений коэффициента теплопроводности и толщины.

В соответствии с принятой аналогией, передача тепла через материал описывается законами теплопроводности. Для однородного слоя предполагается линейное изменение температуры по его толщине, тогда как для многослойного «пакета» график перепада температур становится ломаной линией. При этом крутизна изменения температуры на каждом участке обратно пропорциональна коэффициенту теплопроводности соответствующего слоя. Таким образом, целенаправленный подбор материалов с оптимальными характеристиками позволяет проектировать термочехлы с управляемым и устойчивым температурным полем, гарантирующим максимальный энергосберегающий эффект.

Намокание и адсорбция, отмеченная даже однократно на распространенных и применяемых конструкциях, например с минеральной ватой, способны не только повлиять на снижение теплозащитных характеристики термочехла в целом, но и спровоцировать коррозионные процессы, образование ржавчины на трубопроводных системах, запорной и регулирующей арматуре тепловых сетей, прочем оборудовании теплосетей. Немаловажно снижение эстетической функции изделий, подверженных коррозии и прочим негативным особенностям воздействия влаги (грибок, плесень и пр.).

Нулевая гигроскопичность важна для теплоизоляции фланцевых соединений, а также для требующих регулярного обслуживания задвижек, затворов, предохраняющих и регулирующих клапанов, вентилялей, фильтров, компенсаторов, теплообменников.

Преимущественным фактором, связанным с показателями гигроскопичности, является возможность оперативной очистки загрязнений съемно-разъемного термочехла, его ополаскива-

ния, принудительного смачивания, в некоторых конструкциях – стирки, не менее важна и устойчивость к воздействию мелкодисперсных растворов, маслянистых загрязнений и к их удалению.

Для анализа теплоизоляции были выбраны волокнистые материалы в виде полотен. Все они изготовлены из различных извитых упругих волокон пружинистой структуры, в том числе полых. Эти полотна оптимальны для простегивания в пакете с различными тканями, тканями с добавленными свойствами, пропитками, поверхностными слоями, неткаными материалами, ПВХ и пр., а также пригодными для получающего широкое распространение термического бесшовного соединения (термошов). Указанные материалы были применены как конструктивный компонент, снижающий интенсивность теплопередачи. Следует отметить, что используемый нетканый материал имеет в составе огнестойкие (в том числе полиэфирные) химические волокна, скрепленные термическим способом без клеевого связующего, который в течение всего срока службы сохраняет свои огнестойкие свойства [5].

Проведенный комплексный анализ позволяет заключить, что нетканые материалы обладают значительными преимуществами для применения в термочехлах, особенно в случаях, когда предъявляются повышенные требования к пожарной безопасности и гигиеническим нормам. К основным преимуществам следует отнести [6–8]:

- устойчивость к УФ-излучению (не деградируют под воздействием солнечного света, что важно при повреждении внешнего слоя);
- эластичность и формоустойчивость (оптимально облегают сложные контуры, минимизируют пустоты, сохраняя стабильный изолирующий слой воздуха);
- технологичность и удобство монтажа (легко режутся, сшиваются, соединяются различными способами (внахлест, встык, с крепежом, клеями), что упрощает создание и установку съемно-разъемных конструкций);
- экологичность и безопасность (безопасны для органов дыхания, не привлекательны для грызунов и насекомых);
- механическая стойкость (обладают прочностью, устойчивостью к истиранию и многократным деформациям (сжатию/восстановлению));
- широкий ассортимент и адаптивность (отечественная промышленность предлагает огромный выбор рецептур, позволяющий подобрать материал под конкретные требования (температура, среда, нагрузка));

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 54855–2011. Материалы и изделия строительные. Определение расчетных значений теплофизических характеристик. М. : Стандартинформ, 2019. 12 с.

– потенциал для интеграции (возможность встраивания в структуру материала обогревательных элементов (греющий кабель, проводящие нити)).

Недостатком нетканых материалов является ограничение по температуре применения (обычно до $\sim 200^\circ\text{C}$), требующее дополнительной огнезащиты для высокотемпературных сред.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Результаты исследования подтверждают высокий потенциал нетканых материалов как основы для создания современных энергоэффективных теплозащитных систем. Волокнистые материалы на полиэфирной основе являются высокоэффективной, технологичной и долговечной альтернативой традиционным утеплителям для съемно-разъемных термочехлов, особенно в условиях переменного влажностного режима. Результаты исследования могут быть использованы в инженерно-расчетной базе для внедрения нетканых материалов с целью повышения энергоэффективности трубопроводных систем.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально подтверждены низкие значения эффективного коэффициента теплопроводности ($\lambda_{\text{эф}} \approx 0,0365...0,0371$ Вт/(м·К)) для исследованных высокопористых ($\xi \geq 0,94$) термоскрепленных нетканых полотен на полиэфирной основе, что обеспечивает их эффективность в качестве «температурного демпфера».

2. Получены эмпирические зависимости $\lambda_{\text{эф}}$ от ключевых структурных параметров – пористости ξ и плотности ρ материала, а также выведены расчетные формулы для определения необходимой толщины изоляционного слоя на основе термического сопротивления R . Это позволяет проводить оптимизированное проектирование термочехлов.

3. Низкая гигроскопичность (0,6...0,9%) материала является критически важным преимуществом по сравнению с традиционными утеплителями (например, минеральной ватой). Это исключает потерю теплоизоляционных свойств и развитие коррозии на оборудовании из-за влаги, конденсата или протечек, а также позволяет очистку и мойку съемных чехлов.

4. Нетканый материал сочетает высокую эластичность и формоустойчивость для плотного облегания сложного контура, технологичность монтажа, устойчивость к УФ-излучению, механическую стойкость и безопасность для человека. Широкий ассортимент отечественных материалов позволяет адаптировать решение под конкретные задачи.

2. ГОСТ ISO 4116–2016. Система стандартов безопасности труда. Одежда и материалы для защиты от тепла и пламени. Ограниченное распространение пламени. Требования к огнестойкости. М. : Стандартиформ, 2019. 7 с.
3. ГОСТ 7076–99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. М., 1999. 22 с.
4. Трещалин Ю. М., Трещалин М. Ю. Системно-аналитический подход к исследованию волокнистых материалов. М. : БОС, 2018. 76 с.
5. Патент № 2702642 С1 Российская Федерация, МПКD01 F6/18. Нетканый теплоизоляционный огнестойкий дугостойкий материал: № 2019110895: заявл. 11.04.2019: опублик. 09.10.2019 / С. А. Махов, Е. В. Мезенцева, В. А. Гонтарь, В. В. Иванов [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО «Термопол».
6. Трещалин Ю. М., Трещалин М. Ю. Физика нетканых материалов. М. : БОС, 2024. 172 с.
7. Создание композитного теплоизоляционного материала с применением синтетических текстильных полотен / А. А. Кусенкова, Н. А. Грузинцева, М. А. Лысова, Б. Н. Гусев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6(396). С. 303–307.
8. Мезенцева Е. В., Мишаков В. Ю., Ерофеев О. О. Аналитический подход в исследовании теплофизических свойств нетканых материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 6(384). С. 174–181.

REFERENCES

1. GOST R 54855–2011. *Materialy i izdeliya stroitel'nye. Opredelenie raschetnyh znachenij teplofizicheskikh harakteristik* [State Standard R 54855–2011. Building materials and products. Method for determining design thermal value]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 12 p. (In Russ.)
2. GOST ISO 4116–2016. *Sistema standartov bezopasnosti truda. Odezhda i materialy dlya zashchity ot tep-la i plameni. Ogranichennoe rasprostranenie plameni. Trebovaniya k ognestojkosti*. [State Standard ISO 4116–2016. Occupational safety standards system. Clothing and materials for protection against heat and flame. Limited flame spread. Fire resistance requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 7 p. (In Russ.)
3. GOST 7076–99. *Materialy i izdeliya stroitel'nye. Metod opredeleniya teploprovodnosti i termicheskogo soprotivleniya pri stacionarnom teplovom rezhime* [State Standard 7076–99. Building materials and products. Method for determining thermal conductivity and thermal resistance under steady-state thermal conditions]. Moscow, 1999. 22 p. (In Russ.)
4. Treshchalin Yu. M., Treshchalin M. Yu. A system-analytical approach to the study of fibrous materials: monograph. Moscow, BOS Publ, 2018. 76 p. (In Russ.)
5. Makhov S. A., Mezentseva E. V., Gontar V. A., Ivanov V. V., Nazarcev A. A. Patent No. 2702642 C1 Russian Federation, IPC D01F 6/18. Non-woven thermal insulation fire-resistant arc-resistant material: No. 2019110895: application 11.04.2019: published 09.10.2019 /; the applicant is Thermopol Limited Liability Company. (In Russ.)
6. Treshchalin Yu. M., Treshchalin M. Yu. Physics of nonwoven materials. Moscow, BOS Publ., 2024. 172 p. (In Russ.)
7. Kusenkova A. A., Gruzintseva N. A., Lysova M. A., Gusev B. N. Creation of composite thermal insulation material with the use of synthetic textile fabric. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2021;6(396):303–307. (In Russ.)
8. Mezentseva E. V., Mishakov V. Yu., Erofeev O. O. Analytical approach in research thermal properties of non-woven materials. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2019;6(384):174–181. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 15.10.2025
Принята к публикации 09.02.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

В. В. Иванов, кандидат филологических наук,
Ю. М. Трещалин, доктор технических наук, доцент
М. Ю. Трещалин, доктор технических наук, профессор,
А. Ю. Матрохин, доктор технических наук, профессор,
Н. А. Олимпченко, аспирант,
Н. А. Грузинцева, доктор технических наук, доцент