

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СУХОМ И ВЛАЖНОМ СОСТОЯНИЯХ

Кускова В.А., Андрушкевич Э.В., студенты

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Кургузова О.Э. – старший преподаватель

В работе представлен экспериментальный анализ эффективности теплоизоляции распространенных материалов (шерсть, вата, поролон, синтепон). Исследовано влияние влажности на теплопроводность утеплителей. Экспериментально подтверждено, что синтетические материалы с закрытой пористой структурой превосходят натуральные аналоги, а намокание снижает теплоизоляционные свойства всех образцов на 15–22% из-за вытеснения воздуха водой, имеющей высокую теплопроводность.

Проблема энергоэффективности и сохранения тепла является актуальной как в строительстве, так и в производстве одежды. Физической основой теплоизоляции служит низкая теплопроводность материала. Согласно закону Фурье, который является основным законом теплопроводности, плотность потока (количество теплоты, проходящее через единицу площади в единицу времени) прямо пропорциональна градиенту температуры:

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T, \quad (1)$$

где \vec{q} – вектор плотности теплового потока, λ – коэффициент теплопроводности материала, $\text{grad } T$ – градиент температуры, показывающий направление и скорость изменения температуры.

Знак минус означает, что тепловой поток направлен в сторону, противоположную вектору градиента, то есть от более горячих участков к более холодным.

Таким образом, количество теплоты, передаваемое через материал, прямо пропорционально градиенту температуры и коэффициенту теплопроводности λ [1]. Идеальным утеплителем является неподвижный воздух, коэффициент теплопроводности которого составляет $\lambda_{\text{возд}} = 0,026$ Вт/(м·К). Большинство современных утеплителей функционируют за счет удержания воздуха в порах своей структуры. Однако существенным фактором, ухудшающим теплоизоляционные свойства, является влага: теплопроводность воды $\lambda_{\text{вод}} = 0,6$ Вт/(м·К), что примерно в 23 раза выше, чем у воздуха [4]. При намокании вода вытесняет воздух из пор, резко увеличивая потери тепла. Отметим, что теплоизоляционные материалы характеризуются низкой теплопроводностью (обычно λ не превышает 0,175 Вт/(м·К)) и плотностью (до 500–600 кг/м³), что достигается за счет пористой или волокнистой структуры. Ключевые свойства таких материалов включают влагостойкость, огнестойкость, прочность на сжатие и стабильность размеров (формостабильность). Основная их функция – удержание тепла за счет замкнутых пор, наполненных воздухом.

Целью данной работы является сравнительный анализ теплоизоляционных свойств четырех доступных материалов (натуральная шерсть, хлопковая вата, поролон, синтепон) в сухом и влажном состояниях, а также количественная оценка деградации их защитных свойств при увлажнении.

Экспериментальная методика была основана на моделировании процесса остывания нагретого тела. Использовались пять стеклянных банок объемом 250 мл. В каждую банку наливали 200 мл воды с начальной температурой $t_0 = 70^\circ\text{C}$. Первая банка служила контрольным образцом без изоляции. Остальные четыре банки были обернуты слоями исследуемых материалов толщиной 2 см. Измерение температуры проводилось каждые 5 минут в течение 40 минут. После завершения первой серии экспериментов процедура была полностью повторена с теми же материалами, предварительно насыщенными водой до состояния полного увлажнения. В результате фиксировалась конечная температура воды спустя 40 минут (t_{40}) после начала измерения.

Результаты эксперимента для сухих материалов представлены в таблице 1. Анализ полученных результатов показывает, что все исследуемые материалы эффективно замедляют процесс теплоотдачи по сравнению с контрольным образцом. Однако наблюдается четкое разделение по эффективности: синтетические материалы (синтепон и поролон) обеспечили сохранение температуры на уровне 53°C , что на 3°C выше показателей натуральных материалов (шерсть и вата). Это объясняется структурными особенностями синтетики: наличие мелких закрытых пор препятствует конвекции воздуха внутри материала и надежнее удерживает газовую прослойку [2]. Натуральные волокна имеют более открытую структуру, что способствует микроконвекции и чуть более интенсивному теплообмену. Таким образом, с точки зрения снижения тепловых потерь в условиях естественного охлаждения синтетические теплоизоляторы демонстрируют преимущество перед натуральными аналогами. Полученные данные согласуются с литературными сведениями о роли пористости и закрытости ячеек в теплозащитных свойствах материалов.

Таблица 1 – Температура воды через 40 минут при использовании сухих утеплителей.

Материал	Температура t_{40} , °C	Разница с контролем, °C
Без изоляции (контроль)	34	-
Шерсть	50	+16
Вата	50	+16
Поролон	53	+19
Синтепон	53	+19

Важным этапом исследования стало изучение влияния влаги на теплоизоляционные свойства различных материалов. Данные сравнения сухих и мокрых образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение эффективности сухих и мокрых материалов

Материал	t_{40} (сухой), °C	t_{40} (мокрый), °C	Потеря эффективности, °C	Относительное падение, %
Синтепон	53	45	8	15,1
Поролон	53	44	9	17
Вата	50	40	10	20
Шерсть	50	39	11	22

Как видно из таблицы 2, намокание приводит к значительному снижению теплоизоляционных свойств всех материалов. Абсолютная потеря температуры составила от 8 до 11°C. Наибольшую устойчивость к влаге продемонстрировал синтепон, потерявший лишь 15% эффективности. Это связано с его гидрофобными свойствами: он практически не впитывает воду в свою структуру, и влага остается преимущественно на поверхности или в крупных межволоконных пространствах, не полностью замещая воздух в порах. Напротив, натуральные материалы (вата и шерсть) обладают высокой гигроскопичностью. Вода активно проникает в капилляры волокон, вытесняя воздух и создавая «мостики холода». Для шерсти падение эффективности составило 22%, что делает мокрую шерстяную одежду опасной для здоровья в зимних условиях.

Полученные результаты согласуются с теоретическими данными о теплофизических свойствах веществ [3]. Увеличение теплопроводности влажного материала объясняется заменой воздуха на воду в объеме утеплителя. Кроме того, во влажных материалах усиливается перенос тепла за счет фазовых переходов и миграции влаги внутри пористой структуры.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы: 1) Среди рассмотренных материалов наилучшими теплоизоляционными свойствами в сухом состоянии обладают синтетические утеплители (синтепон, поролон), превосходящие натуральные аналоги (шерсть, вата) благодаря оптимальной пористой структуре. 2) влажность является фактором, снижающим эффективность любой теплоизоляции. Намокание уменьшает способность материала удерживать тепло в среднем на 18%. 3) Синтетические материалы демонстрируют большую стабильность характеристик во влажной среде по сравнению с натуральными, что обуславливает их преимущество для использования в условиях повышенной влажности и осадков.

Практическая значимость работы заключается в обосновании выбора синтетических утеплителей для зимней одежды и строительных конструкций в климатических условиях Беларуси, где высокая влажность является частым явлением. Рекомендуется приоритетное использование материалов с закрытой пористой структурой и обязательная защита утеплителей от прямого попадания влаги паро- и гидроизоляционными мембранами.

Список использованных источников:

1. Фурье, Ж.Б. Аналитическая теория тепла / Ж.Б. Фурье. – М. : Наука, 1985. – 480 с.
2. Лыков, А.В. Теплообмен: Справочник / А.В. Лыков. – М. : Энергия, 1978. – 480 с.
3. Ягубкин, А.Н. Оценка влияния влажности на теплопроводность строительных и текстильных материалов / А.Н. Ягубкин, А.А. Бакатович // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия А. Естественные и технические науки. – 2025. – № 4. – С. 60–67.
4. ГОСТ 7076-87. Материалы строительные. Метод определения теплопроводности в стационарном тепловом режиме. – Введ. 1988-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1987. – 12 с.