

А.В. ЖДАНОВА, студент гр. ТЭБ-231 (КузГТУ)  
А.Б. КУЗНЕЦОВ, студент гр. ТЭБ-221 (КузГТУ)  
Научный руководитель К.Ю. УШАКОВ, к.т.н., доцент (КузГТУ)  
г. Кемерово

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЖИДКОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ TSMCERAMIC-S**

Тепловое потребление является одной из основных статей топливно-энергетического баланса России. На удовлетворение тепловой нагрузки РФ ежегодно расходуется более 600 млн. т условного топлива, что составляет порядка 30% всех используемых первичных топливно-энергетических ресурсов [1]. Целью теплоснабжения является создание комфортных условий жизнедеятельности, а также организации некоторых производственных процессов. В городе Кемерово система централизованного теплоснабжения обеспечивает потребителей, в основном, за счёт источников с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергий. По состоянию на 31.12.2022 года общая площадь жилых помещений жилищного фонда города Кемерово составила 14 551,67 тыс. м<sup>2</sup>, в том числе оборудованных централизованным отоплением 11 594,77 тыс. м<sup>2</sup>. Основным звеном системы теплоснабжения конечных потребителей является подача теплоносителя по тепловым сетям (трубопроводам). Обслуживающие теплосетевые компании стремятся организовать передачу с наибольшей экономической выгодой. Одним из мероприятий по повышению эффективности теплоснабжения является снижения тепловых потерь на пути от источника до потребителя. Это достигается за счет использования специальных теплоизолирующих материалов на поверхностях трубопроводов. За счет низкой теплопроводности таких материалов тепловой поток, направленный в окружающую среду, снижается, что свидетельствует о снижении тепловых потерь и повышении эффективности теплоснабжения.

Теплоизоляционные материалы предназначены для уменьшения потерь тепла трубопроводами и оборудованием тепловых сетей, поддержания заданной температуры теплоносителя, а также недопущения высокой температуры на поверхности теплопроводов и оборудования. Уменьшение транспортных потерь тепла является главнейшим средством экономии топлива. Учитывая сравнительно небольшие затраты на теплоизоляцию трубопроводов (5-8% от капиталовложений в строительство тепловых сетей), очень важным в вопросах сохранения транспортируемого тепла по трубопроводам является их покрытие высококачественными и эффективными теплоизоляционными материалами [2]. Так, в нескольких районах

г. Москва были модернизированы тепловые сети: уложены трубопроводы с пенополиуретановой изоляцией, что позволило снизить тепловые потери в 10 раз (20-40% потерь на старых типах трубопроводов против 2% на новых типах) [3].

Переходя к рассмотрению современных теплоизоляционных материалов, необходимо отметить, что в настоящее время существует большой выбор различных теплоизоляционных покрытий на основе как синтетических, так и неорганических компонентов. Данные о некоторых видах существующих теплоизоляционных покрытий приведены в таблице 1 [4].

Таблица 1

Материалы и изделия, применяемые в конструкциях теплоизоляционных покрытий

Наименование материала (изделия)	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
Пенопласты		
Заливочные и напыляемые пенополиуретаны	0,025 – 0,045	40 – 200
Фенольные пенопласты	0,030 – 0,040	65 – 85
Пенополистирол экструдированный	0,028 – 0,033	38 – 50
Изделия из минеральной ваты и стеклянного волокна		
Маты минераловатные прошивные	0,045 – 0,080	102 – 132
Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем	0,040 – 0,070	55 – 150
Маты и вата из стеклянного и базальтового волокна	0,033 – 0,047	60 – 80
TSMCeramic-S	0,0016	350-390

Исходя из данных, представленных в таблице 1 следует, что производители TSMCeramic-S заявляют высокие теплоизоляционные показатели, на порядок превышающие аналогичные показатели традиционных теплоизоляционных материалов типа минеральной ваты или пенополистирола. Кроме того, жидкая консистенция тепловой изоляции позволяет просто и быстро наносить теплоизоляторы на поверхности любой формы, в том числе и в самых труднодоступных местах.

Для изучения фактических значений коэффициентов теплопроводности была разработана экспериментальная установка, представленная на рисунке 1. Нагретая до температуры 70°C в термостате (типа U15) вода циркуляционным насосом термостата по подающему трубопроводу поступает на вход медной трубки (исследуемого трубопровода), где происходит измерение температуры теплоносителя. Измерение расхода циркуляционной воды производился с использованием счетчика воды СВК 15-1,5 «БЕТАР». Для измерения температуры применяются термопары ТХА с прибором «ОВЕН». Затем, при прохождении через медную трубку происходит сни-

жение параметров теплоносителя в виду теплообмена с окружающей средой через стенку трубки. Температура теплоносителя после взаимодействия с поверхностью трубы фиксируется на выходе. Для увеличения разности температур на входе и выходе из трубы, установка помещается в холодильный ларь (TEFCOLD SE-45 Series) с температурой  $-30^{\circ}\text{C}$ . Разность температур на входе\выходе дополнительно может регулироваться расходом теплоносителя с использованием регулирующей арматуры на обратном трубопроводе. В каждом эксперименте было выполнено 10 измерений (1 раз в минуту).

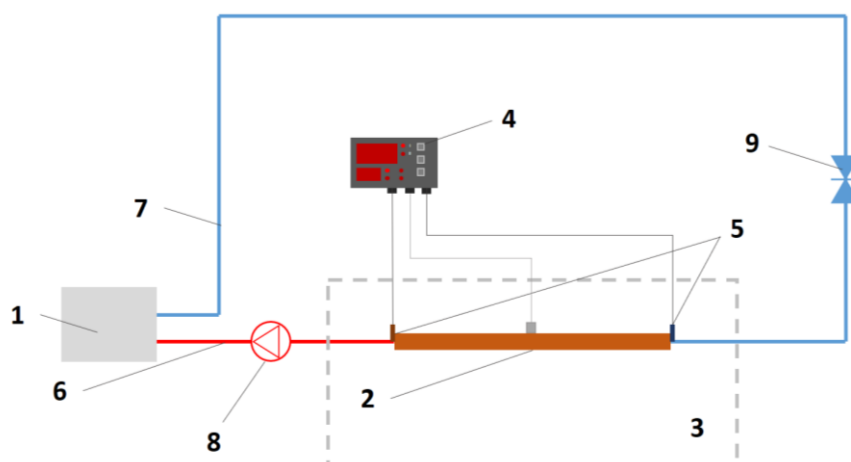


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – термостат; 2 – медная трубка (исследуемый образец); 3 – холодильный ларь; 4 – ОВЕН; 5 – термопары; 6 – подающий трубопровод; 7 – обратный трубопровод; 8 – расходомер; 9 – регулирующая арматура

Замеры проводились при следующих параметрах: исходная трубка (без изоляции), 4 слоя изоляции, толщина изоляции по слоям указаны в таблице 2. Толщина слоя фиксировалась с использованием микрометра МК-25 с точностью до 0,001 мм.

Таблица 2

Толщины слоев тепловой изоляции

Номер слоя, п/п	Толщина изоляции $\delta_{\text{из}}$ , мм
1	0,285
2	0,875
3	0,965
4	1,305

Результаты замеров (средние значения по 10 записям) представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты экспериментов

$\delta_{из}$ , мм	Темп. воды на входе $t_1$ , °C	Темп. воды на выходе $t_2$ , °C	Объёмный расход $V$ , м³/мин	Темп. стенки $t_{стенка}$ , °C	Q, Вт
0 (без изоляции)	70,72	68,44	0,000754	65,1	117,37
1,305	70,59	68,4	0,00075	42,9	111,63

Расчет коэффициента теплопроводности тепловой изоляции проводился в соответствии с [5] по формуле 1.

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из}(t_в - t_n)}{\alpha_{из}(t_n - t_n)}, \quad (1)$$

где  $\delta_{из}$  – толщина тепловой изоляции, м;  $\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности тепловой изоляции, Вт/(м · К);  $t_в$  – температура теплоносителя, °C;  $t_n$  – температура окружающего воздуха, °C;  $t_n$  – температура поверхности, °C;

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности теплоизоляции (в соответствии с [1] принимался равным 12).

Коэффициент теплопроводности тепловой изоляции  $\lambda_{из}$  рассчитывается по формуле 2.

$$\lambda_{из} = \frac{\delta_{из}\alpha_n(t_n - t_n)}{(t_в - t_n)} \quad (2)$$

Расчет проводился для крайнего, 4-го слоя изоляции, т.к. толщина изоляции в предыдущих экспериментах является меньше рекомендуемой производителем минимальной толщины в 1 мм. Температура поверхности стенки для 4-го слоя изоляции составила 42,9 °C. Температура фиксировалась в центральной части трубки и принималась как среднее значение температуры поверхности трубки.

Температура теплоносителя принималась как среднее значение между температурой на входе  $t_1$  и выходе  $t_2$  и составила 69,5 °C.

Тогда коэффициент теплопроводности тепловой изоляции составил:

$$\lambda_{из} = \frac{0,001305 \cdot 12 \cdot (42,9 - (-14,53))}{(69,5 - 42,9)} = 0,0338 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Полученный в результате исследования коэффициент теплопровод-

ности значительно отличается от заявленного производителем (0,0016 Вт/(м·К)), что свидетельствует о том, что материал TSMCeramic-S обладает сопоставимыми теплоизоляционными свойствами с давно зарекомендовавшими себя материалами (минеральная вата, пенополиуретан и др.) и их замена на жидкую керамическую теплоизоляцию является нецелесообразной, при этом применение материал TSMCeramic-S для новых строительных тепловых сетей и при замене существующих может быть рассмотрено в рамках технико-экономических расчетов.

#### Список литературы:

1. Вафин, Д.Б. Теплоснабжение и тепловые сети: учебное пособие – Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014. – 228 с.
2. Копко, В.М. Теплоизоляция трубопроводов теплосетей: учеб.-метод. пособие – Минск: Технопринт, 2002. – 160 с.
3. Манюк, В.И., Майзель, И.Л. Новое поколение тепловых сетей – высокоэффективные системы трубопроводов с пенополиуретановой изоляцией // Сантехника, 2004. – №5. – С. 54-58.
4. Филиппов, П.В. Обзор различных типов теплоизоляции для магистральных трубопроводов, прокладываемых в многолетнемерзлых грунтах / П. В. Филиппов // Севергеоэкотех – 2019 : Материалы XX Международной молодежной научной конференции, Ухта, 20–22 марта 2019 года. – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2020. – С. 173-178. – EDN MHLRKN.
5. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – Москва: Минрегион России, 2012. – 51 с.

#### Информация об авторах:

Жданова Анастасия Вячеславовна, студент гр. ТЭБ-231, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, zhdanova.av2705@gmail.com

Кузнецов Артем Борисович, студент гр. ТЭБ-221, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, shpala\_04@mail.com

Ушаков Константин Юрьевич, к.т.н., доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, ushakovkju@kuzstu.ru