

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ ЗАТОПЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНВЕКТИВНО-КОНДУКТИВНОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА

Н.В. Разумов¹, В.Ю. Половников²
Томский политехнический университет
ЭНИН, ТПТ^{1,2}, группа 5БМ52¹

Высокий уровень теплотерь в тепловых сетях [1] и усиление роли децентрализованного теплоснабжения [2] создали предпосылки для разработки новых подходов [3, 4] к исследованию тепловых режимов и анализу фактических тепловых потерь в сетях теплоснабжения. При этом главным фактором, приводящим к повышению уровня теплотерь, является работа теплопроводов тепловых сетей в условиях затопления и увлажнения изоляции [3]. До настоящего времени при проведении анализа тепловых потерь в тепловых сетях, работающих в условиях затопления, область решения ограничивалась внешней поверхностью тепловой изоляции и использовались только кондуктивные модели теплопереноса [3], не учитывающие конвективное движение среды [4] в полости канала при канальной прокладке теплопроводов, являющейся наиболее типичной для России [5].

В качестве примера рассматривается широко распространенная в РФ конфигурация теплопровода подземной прокладки [5] – непроходной железобетонный канал и трубопровод изолированный минеральной ватой и защитным покровным слоем (рисунок). Предполагается, что полость канала (рисунок) заполнена водой, а покровный слой и тепловая изоляция увлажнены.

Для рассматриваемой области (рисунок) решалась двумерная сопряженная стационарная задача конвективно-кондуктивного теплопереноса в системе «слой тепловой изоляции – покровный слой – полость канала – стенка канала теплопровода – грунт – окружающая среда». Математическая модель для рассматриваемой задачи полностью аналогична модели, приведенной в [4]. Решение этой задачи получено методом конечных элементов [6].

Исследования проводились для теплопровода, конфигурация которого аналогична конфигурации описанной в [4]: диаметр условного прохода 600 мм, изоляция – минеральная ватой (толщина 70 мм) [5], покровный слой – песчанно-цементная штукатурка по каркасу из металлической сетки толщиной 20 мм [5]. Рассматривался типичный для тепловых сетей РФ сборный одноячейковый железобетонный ка-

нал марки КЛс210-120 [4] с толщиной стенок 135 мм. Расстояние от поверхности грунта до верхней части канала составляло $H = 1$ метр. Температура внутренней поверхности слоя изоляции принималась равной 373 К, а температура внешней среды – 273 К. Коэффициент теплоотдачи от грунта к внешней среде – 15 Вт/(м²·К).

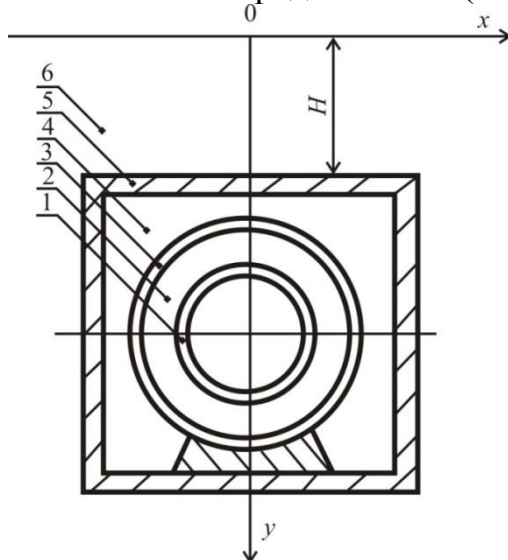


Рис.1. Теплопровод: 1 –стенка трубы; 2 – слой изоляции; 3 – покровный слой; 4 – полость канала; 5 – стенка канала; 6 – грунт.

Теплофизические свойства покровного слоя и тепловой изоляции (рисунок) в условиях их увлажнения определялись как эффективные [7]. Например, эффективный коэффициент теплопроводности тепловой изоляции $\lambda_{и}^{эф}$ вычисляется из соотношения:

$$\lambda_{и}^{эф} = \lambda_{и}\varphi_{и} + \lambda_{в}\varphi_{в},$$

где λ – теплопроводность, φ – объемная доля, и – изоляция, в – вода.

Здесь следует отметить, что максимально возможное объемное содержание воды в покровном слое и тепловой изоляции ограничено значениями открытой пористости материалов и не превышает 73 %. В таблице 1 приведены значения [8] теплофизических характеристик.

Табл. 1. Теплофизические характеристики материалов [8].

Характеристика	Тепловая изоляция	Покровный слой	Стенка канала	Грунт
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0.059	0.87	1.54	1.5
Теплоемкость, Дж/(кг·К)	670	837	887	1150
Плотность, кг/м ³	206	1750	2200	1960

Сопоставление результатов моделирования с известными данными по исследованию теплопереноса в зонах размещения теплотрасс

[9] и экспериментальному определению тепловых потерь теплопроводов в условиях затопления [3] позволяет говорить о хорошем качественном и количественном согласовании результатов. Относительные отклонения между результатами экспериментальных [3] и теоретических (таблица 2) исследований составляют не более 17 %.

В таблице 2 приведены результаты расчета тепловых потерь Q затопленного теплопровода в зависимости от значений объемной доли воды φ_v в структуре тепловой изоляции и покровного слоя, тепловые потери $Q_{СП}$, вычисленные в соответствии с [10], для теплопровода конфигурация которого аналогична рассматриваемой в данной статье и тепловые потери Q_0 [4], рассчитанные для варианта когда полость канала занимает воздух с относительной влажностью 100 %.

Таб. 2. Результаты численного моделирования.

Вариант расчета	Q_0 [4]	$Q_{СП}$	Q				
			$\varphi_v=0.1$	$\varphi_v=0.25$	$\varphi_v=0.5$	$\varphi_v=0.73$	
Объемная доля воды в теплозащитных слоях		$\varphi_v=0.0$					
Тепловые потери, Вт/м	132.29	127.43	134.38	207.16	274.53	337.29	370.66
Средняя температура среды в полости канала, К	298.8	298.4	298.9	312.5	325.3	337.2	343.5
$\delta_0 = \frac{Q - Q_0}{Q} 100\%$	-	-	1.5	30.1	51.8	60.8	64.3

Результаты моделирования позволяют сделать вывод о увеличении тепловых потерь рассматриваемого теплопровода с ростом объемной доли воды в структуре изоляционных слоев. Для рассматриваемого случая увеличение тепловых потерь δ_0 составляет от 1.5 % до 64.3 %. Это обусловлено изменением характеристик покровного слоя и тепловой изоляции при их увлажнении. Сопоставление между собой значений Q_0 и $Q_{СП}$ позволяет сделать вывод о том, что расхождение между ними не превышает 4 %, что подтверждает адекватность методики [4].

Отдельный интерес представляет анализ тепловых потерь рассматриваемой системы без увлажнения теплозащитных слоев (при $\varphi_v=0.0$). В этом случае рост тепловых потерь δ_0 в условиях затопления по сравнению с потерями, когда полость канала занимает влажный воз-

дух, составляет около 1.5 %. Это объясняется тем, что средние температуры среды в полости канала (влажный воздух или вода) отличаются друг от друга не значительно. Разница в значениях средних температур среды в этих условиях составляет не более 0.1 К (таблица 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Фахразиев И. З. Зацаринная Ю. Н. Малая энергетика России. Анализ текущего состояния и перспективы развития // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 20. – С. 350–352.
2. Стенников В. А., Якимец Е. Е., Жарков С. В. Оптимальное планирование теплоснабжения городов // Промышленная энергетика. – 2013. – № 4. – С. 9–15.
3. Кузнецов Г. В., Половников В. Ю. Экспериментальное определение тепловых потерь теплопроводов в условиях затопления // Промышленная энергетика. – 2010. – № 7. – С. 43–45.
4. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Новый подход к анализу тепловых режимов систем транспортировки тепла // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – №2. – С. 64-67.
5. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. / Под ред. А. А. Николаева. – Курган.: Интеграл, 2010. – 357 с.
6. Самарский А. А., Гулин А. Н. Численные методы математической физики. – М.: Научный мир, 2000. – 316 с.
7. Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. – М.-Л.: Физматгиз, 1962. – 456 с.
8. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.
9. Иванов В. В., Вершинин Л. Б. Распределение температур и тепловых потоков в зоне подземных теплотрасс // Вторая Российская национальная конференция по теплообмену: Теплопроводность, теплоизоляция. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – Т. 7. – С. 103–105.
10. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. – М.: Госстрой России, 2001. – 42 с.

Научный руководитель: В.Ю. Половников, к.т.н., доцент кафедры ТПТ ЭНИН ТПУ.