

ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Половников В.Ю., к.т.н., Губанов Ю.Ю.

Томский политехнический университет, Томск

E-mail: polov@tpu.ru

Тепловые режимы теплопроводов равно как и масштабы тепловых потерь в тепловых сетях оказывают существенное влияние на экономичность и эффективность работы систем теплоснабжения. При этом основное влияние на уровень тепловых потерь оказывают состояние тепловой изоляции [1] и условия эксплуатации теплопроводов [2, 3]. Следует отметить, что в настоящее время уровень тепловых потерь в сетях теплоснабжения РФ чрезвычайно велик и составляет 20–30 % [4] в то время как в мире он не превышает 6–8 % [5].

Действующие нормы и правила проектирования тепловой изоляции [6, 7], а, следовательно, и методы анализа тепловых режимов теплопроводов основаны упрощенных аналитических соотношениях и не учитывают множества реальных факторов и процессов, приводящих к интенсификации процессов теплопереноса в элементах конструкций и зонах размещения теплопроводов. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка новых подходов к проектированию и анализу эксплуатационных режимов систем транспортировки тепловой энергии, учитывающих полный комплекс физических процессов, протекающих в рассматриваемых системах.

Целью данной работы является демонстрация возможностей современных подходов к исследованию тепловых режимов и тепловых потерь систем транспортировки тепла на примере работы типичной бесканальной тепловой сети в условиях реальной эксплуатации.

Постановка задачи. Рассматривается типичный теплопровод бесканальной прокладки – трубопроводы изолированные пенополиуретаном и защитным покровным гидроизоляционным слоем из полиэтилена [8] (см. рис. 1). Предполагается, что теплопровод эксплуатируется в условиях промерзания грунта и наличия снежного покрова в зоне над прокладкой. Для рассматриваемой области (см. рис. 1) решается двумерная стационарная задача теплопроводности в системе «бесканальный теплопровод – окружающая среда». Решение нестационарной задачи теплопереноса для рассматриваемой системы (см. рис. 1) не является целесообразным, поскольку нестационарные режимы работы теплопроводов наблюдаются только при вводе тепловых сетей в эксплуатацию после плановых или внеплановых остановок и не являются характерными режимами их работы [9].

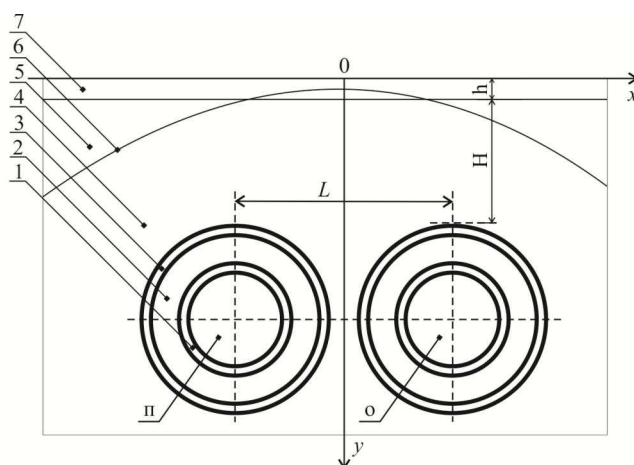


Рис. 1. Схема области решения:

1 – металлическая стенка трубы; 2 – теплоизоляционный слой; 3 – слой гидроизоляции; 4 – грунт талый; 5 – граница раздела между талыми и мерзлыми зонами; 6 – грунт мерзлый; 7 – снег уплотненный; 8 – снег талый; п, о – подающий и обратный теплопроводы; H – расстояние от поверхности грунта до верхних точек слоев гидроизоляции; L – расстояние между осями теплопроводов; h – толщина снежного покрова

В настоящее время имеется ряд работ [10–14], посвященных исследованию тепловых режимов и тепловых потерь бесканальных теплопроводов. В [10–14] приведены результаты анализа влияния различных эксплуатационных факторов на тепловые потери бесканальных теплотрасс, а также описаны проблемы, связанные с проектированием и эксплуатацией предизолированных бесканальных трубопроводов тепловых сетей. При этом в [10–13] не учитывается возможное промерзание грунта в зоне прокладки и изменение его теплофизических характеристик, хотя из [15] известно, что в большинстве регионов России наблюдается сезонное промерзание грунтов с существенными глубинами нулевой изотермы. Только в [14] приведены результаты численного исследования тепловых режимов и тепловых потерь бесканальных теплопроводов с учетом промерзания грунта в зоне прокладки. Данная работа является продолжением исследований [14] в которой учитывается наличие дополнительного термического сопротивления в виде слоя снега над прокладкой (см. рис. 1).

Математическая модель для рассматриваемой задачи аналогична моделям [9, 14], а решение поставленной задачи получено с использованием метода конечных элементов и подробно описано в [14].

Исходные данные для расчета. При проведении численного моделирования использовалась расчетная область размерами 6 м в глубину и по 5 м в стороны от оси симметрии. Размеры расчетной области выбирались на основании серии предварительных численных экспериментов

таким образом, чтобы относительное изменение температур на границах области решения не превышало 0,5 %.

Исследования проводились для трубопроводов с диаметрами условного прохода трубопроводов 600 мм, изготовленных из стали 10 (толщина стенки 8 мм), тепловая изоляция – пенополиуретан (толщина 40 мм) [8], покровный слой – полиэтилен (2 мм) [8]. Расстояния от поверхности грунта до верхних точек слоев гидроизоляции принималось равным $H = 2$ м, а между осями трубопроводов составляло $L = 1,3$ м (см. рис. 1). Предполагалось, что тепловая сеть работает по температурному графику 95/70 °С [6]. Толщина снежного покрова принималась равной количеству осадков выпавших за холодный период года для города Томск [15] $h = 185$ мм (см. рис. 1). Температура окружающей среды принималась равной средней температуре воздуха за отопительный период в городе Томск [15] – 264,2 К. Средний коэффициент теплоотдачи на поверхности раздела «уплотненный снег – окружающая среда» варьировался в пределах от 5 до 30 Вт/(м²·К).

В таблице 1 приведены значения [16] теплопроводности, теплоемкости и плотности грунтов, снега, стенки трубы, тепловой и гидроизоляции, использовавшиеся при проведении численных исследований (см. рис. 1).

Таблица 1. – Теплофизические характеристики

Характеристика	Покровный слой	Тепловая изоляция	Стенка трубы	Грунт				Снег	
				Глинистый		Песчаный		Уплотненный	Начавший таять
				Талый	Мерзлый	Талый	Мерзлый		
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,33	0,033	50,2	1,1	1,3	2,3	3,7	0,35	0,64
Теплоемкость, Дж/(кг·К)	2200	1470	462	1231	959	1486	1005	2100	2100
Плотность, кг/м ³	920	50	7700	1700	1700	2000	2000	350	500

Результаты численного моделирования. Основные результаты численного исследования тепловых режимов бесканальных теплопроводов в условиях промерзания грунта и наличия снежного покрова в зоне прокладки приведены в таблице 2 на рисунке 2.

Обоснованность и достоверность результатов исследований следует из проведенных проверок используемых методов на сходимость и ус-

тойчивость решений на множестве сеток, выполнения условий баланса энергии на границах области расчета, а также подтверждается хорошим качественным согласованием полученных результатов с известными данными других авторов [12, 13]. Относительная погрешность расчетов во всех вариантах численного анализа не превышала 0,2 %, что является приемлемым при оценке тепловых потерь бесканальных теплотрасс.

Таблица 2. – Результаты численного моделирования

Грунт	$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	$Q_1, \text{Вт}/\text{м}$	$Q_2, \text{Вт}/\text{м}$	$Q_{\text{норм}}, \text{Вт}/\text{м}$	$\delta_1 = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} 100\%$	$\delta_2 = \frac{Q_1 - Q_{\text{норм}}}{Q_1} 100\%$
Песчаный	5	124,39	144,70	175,32	14,03	-40,94
	10	126,79	149,94		15,44	-38,27
	20	128,36	152,27		15,70	-37,04
	30	128,91	153,21		15,86	-36,00
Глинистый	5	93,07	102,17	129,73	8,91	-39,39
	10	94,63	104,30		9,27	-37,10
	20	95,42	105,26		9,35	-35,96
	30	95,69	105,62		9,40	-35,57

В таблице 2 приведены тепловые потери рассматриваемой системы (см. Рис. 1) с учета промерзания грунта и наличия снежного покрова над прокладкой Q_1 и без учета наличия слоя снега Q_2 , а также представлено сопоставление Q_1 и Q_2 между собой и с нормативной величиной потерь $Q_{\text{норм}}$, вычисленной в соответствии с [6].

Результаты численного моделирования тепловых потерь бесканальных теплопроводов, приведенные в таблице 2, свидетельствуют об ожидаемом росте тепловых потерь при прокладке теплопроводов в песчаных грунтах, имеющих большие коэффициенты теплопроводности (см. табл. 1). Также наблюдается закономерное возрастание потерь тепловой энергии с ростом интенсивности теплоотдачи на внешнем контуре рассматриваемой системы (см.рис. 1).

Анализ изменения величин тепловых потерь в зависимости от значений коэффициентов теплоотдачи на границе раздела «уплотненный снег – окружающая среда» (см. табл. 2) позволяет сделать вывод о том, что увеличение теплоотдачи в 6 раз приводит к росту тепловых потерь до 3,5 %.

Учет наличия снежного покрова над прокладкой приводит к соответствующему снижению тепловых потерь вследствие увеличения эф-

фактивного термического сопротивления слоя над прокладкой. Сопоставление значений тепловых потерь бесканальных теплопроводов Q_2 и Q_1 позволяет сделать вывод о том, что при наличии снежного покрова и прокладке теплопроводов в песчаных грунтах потери тепла снижаются на $\delta_1 = 14,03 - 15,86 \%$, а в глинистых на $\delta_1 = 8,91 - 9,40 \%$ в зависимости от значений коэффициентов теплоотдачи на внешнем контуре взаимодействия (см. табл. 2).

Следует еще раз отметить, что в нормативной методике [6, 7] отсутствует возможность учета влияния таких факторов как изменение условий теплообмена на границе «снег – окружающая среда» и изменение характеристик грунта при промерзании. Сопоставление результатов численного моделирования (см. табл. 2) в условиях промерзания грунта и наличия слоя снега Q_1 с величиной тепловых потерь $Q_{\text{норм}}$, рассчитанных с использованием методики [6], позволяет говорить о том, что отклонение между ними δ_2 всегда является отрицательной величиной. Это обстоятельство свидетельствует о том, что методика [6] дает завышенные значения тепловых потерь бесканальных теплопроводов. В предельных случаях отклонение δ_2 составляет до минус 40,94 % и до минус 39,39 % при прокладке теплопроводов в песчаных и глинистых грунтах соответственно.

На рисунке 2, в качестве примера, приведено типичное температурное поле в зоне размещения бесканального теплопровода в условиях промерзания грунта и наличия слоя снега при прокладке в песчаном грунте и $\alpha = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. На рисунке 2 изотермическая линия 273 К соответствует границе раздела мерзлых и талых сред.

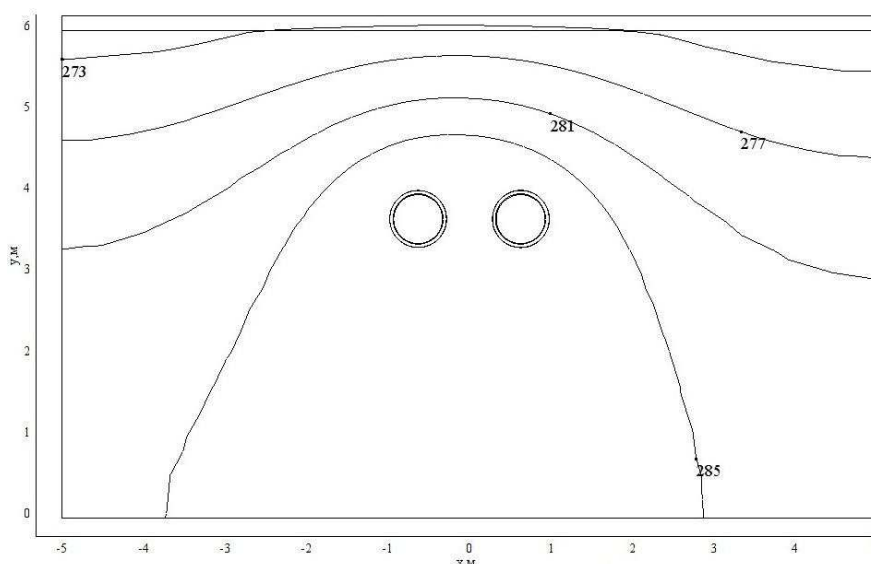


Рис. 2. Типичное температурное поле для рассматриваемой области решения

Распределения температур в рассматриваемой области решения свидетельствуют о том, что изотермические линии (рис. 2) сгущаются непосредственно над трубопроводами и более разрежены при удалении от них, что соответствует представлениям о процессах теплопроводности в твердых телах и качественно соответствует [12, 13].

Выводы:

1. Установлено, что в рамках рассматриваемой задачи тепловые потери бесканальных тепловых сетей с в условиях промерзания грунта и наличии снежного покрова в зоне прокладки снижаются на 8,91–15,86 %, а увеличение интенсивности теплоотдачи на внешнем контуре в 6 раз приводит к росту тепловых потерь до 3,5 %.

2. Отклонение между тепловыми потерями бесканальных теплопроводов с учетом промерзания грунта и наличия слоя снега в зоне прокладки и тепловыми потерями, рассчитанными по методике [6], составляет около 35–40 %, что свидетельствует о необходимости корректировки действующих норм по проектированию тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей [6, 7].

3. Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения разработанного подхода к анализу тепловых режимов и тепловых потерь бесканальных тепловых сетей в условиях реальной эксплуатации и возможности его применения при создании энерго-сберегающих систем транспортировки тепла.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-08-00201-а и грантов Президента РФ № МК-1284.2011.8, № МК-1652.2013.8.

Список литературы:

1. Кириллов Ю.И., Мотлохов М.А., Бычков А.М., Звонарев М.Г. Состояние тепловой изоляции на электростанциях ОАО РАО «ЕЭС России» // Энергетик. – 2005. – № 11. – С. 2 – 5.
2. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Анализ тепловых потерь теплотрубопроводов в условиях взаимодействия с влажным воздухом // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – № 2. – С. 37 – 39.
3. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Оценка масштабов тепловых потерь в магистральных теплотрубопроводах в условиях затопления // Промышленная энергетика. – 2006. – № 8. – С. 32 – 34.
4. Ватин Н.И., Дубов В.В., Петраков Г.П. Внедрение РМД 41-11-2012 Санкт-Петербург «Устройство тепловых сетей в Санкт-Петербурге» // Интернет-журнал «Строительство уникальных зданий и сооружений». – 2013. – № 1(6). – С. 48–54.
5. Шишкин А. Н. О проекте федерального закона «О теплоснабжении» // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 6. – С. 20–24.
6. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. – М.: Госстрой России, 2001. – 42 с.

7. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – СПб.: Деан, 2004. – 61 с.
8. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / под ред. А.А. Николаева. – Курган: Интеграл, 2010. – 357 с.
9. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численное моделирование теплопереноса в зонах прокладки теплотрасс // Известия РАН. Энергетика. – 2012. – № 2. – С. 151 – 159.
10. Слепченко В.С., Рондель А.Н., Шаповалов Н.И. Влияние различных эксплуатационных факторов на тепловые потери в бесканальных подземных трубопроводах тепловой сети // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 6. – С. 18 – 23.
11. Беляков В.А. Опыт и проблемы проектирования бесканальной и канальной прокладки теплотрасс в ППУ-изоляции // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 6. – С. 32–33.
12. 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.
13. Иванов В.В., Шкробко С.В. Моделирование тепловых процессов подземных бесканальных теплотрасс // Вторая Российская национальная конференция по теплообмену: Теплопроводность, теплоизоляция. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – Т. 7. – С. 106–108.
14. Половников В.Ю., Хузеев В.А. Тепловые потери бесканальных теплотрасс в условиях промерзания грунта в зоне прокладки // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2012. – №11-12. – С. 64–71.
15. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – М.: Госстрой России, 2000. – 57 с.
16. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.

УДК 621.9:621.048:621.181

РАЗРАБОТКА ОРИГИНАЛЬНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ НОВЫХ СХЕМЫ ТЭС НА БИОМАСЕ И ОТХОДАХ

Потапов В.Н., к.т.н., Костюнин В.В., Романов Н.О., Меньшиков А.А.

ООО «Вихревые газовые системы», г. Екатеринбург

E-mail: kostuninv@mail.ru

Технологии на интенсивно закрученных потоках (вихрях) часто очень привлекательны. При правильном использовании они создают уникальные условия для воздействия на процессы смесеобразования в любых потоках с горением и без него, и, конечно, на перестройку структуры вихря и на распределение твердой фазы в его отдельных зонах. Но так как до сих пор нет универсальной модели описания этих процессов в интенсивно закрученном вихре (вихре с приосевым обратным током), на практике затруднено создание разнообразных и более эффективных вихревых устройств, тех же газогенераторов. На базе развития наших представлений о главной роли в этих процессах переноса в