

УДК 681.5.08

DOI 10.22213/2413-1172-2017-3-111-113

В. А. Куликов, доктор технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
И. Л. Охильков, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В ТОЧКЕ ОТ ОБЩИХ ТЕПЛОПOTЕРЬ ТЕПЛОТРАССЫ

Основным мероприятием, связанным со снижением тепловых потерь при транспорте теплоносителя по протяженным трубопроводам, является замена старой, пришедшей в негодность тепловой изоляции на новую [1]. Для наиболее оптимального планирования проведения ремонтных работ необходимо располагать сведениями о состоянии изоляции теплотрасс, участвующих в доставке тепла до потребителя. С целью выявления участков теплотрассы, требующих внимания, производится аудит теплотрасс.

Для решения задачи аудита предлагается метод оценки тепловых потерь путем проведения измерений теплофизических величин в грунте. В основе метода лежит эффект теплообмена механизмом теплопроводности, означающим перенос тепла от более нагретых тел к менее нагретым.

Идея метода состоит в том, что тепловой поток от трубопровода напрямую зависит от температуры протекающей жидкости-теплоносителя, которая может считаться известной, формы, геометрических размеров конструкции и, что немаловажно, от качества изолирующих материалов. Иными словами, при ухудшении качества изоляции тепловой поток, свойственный исправной конструкции, будет неизбежно изменяться, что и позволит в результате применения предложенного метода проводить аудит теплотрассы.

Для построения профиля градиента теплового потока в грунте предлагается последовательно производить измерения теплового потока в нескольких узловых точках, положение которых определяется конструкцией теплотрассы. С целью установления положения этих точек предлагается проведение математического моделирования стационарного теплового поля различных компьютерных моделей теплотрасс и случаев их взаимного расположения в программе конечно-элементного моделирования ANSYS.

Цель данной работы – проведение исследования зависимости значений теплового потока двухтрубной тепловой сети канальной прокладки при пролегании подающей и обратной трубы в одном железобетонном коробе от качества теплоизоляции, а также исследование влияния общих тепловых потерь теплоносителя на тепловой поток в грунте.

Основные выводы и зависимости, представленные в данной статье, основываются на проведении статического теплового моделирования в математическом пакете ANSYS 17.1. Базовая расчетная модель представляет собой бесконечно протяженный исправный трубопровод двухтрубной канальной топологии с физическими габаритами, соответствующими СНиП 3.05.03–85 [2]. Описанная модель имеет тепловую схему и материалы, представленные на рис. 1 и в табл. 1.

Согласно исследованиям [3], выполненным методом электротеплового моделирования, несмотря на высокую точность градиентных датчиков поверхностной плотности теплового потока, их показания в значительной степени зависят от изменения условий окружающей среды, таких как температура и коэффициент теплоотдачи, что делает невозможным их применение для измерения плотности теплового потока в объеме грунта. Исходя из того же исследования [4], для теплотрассы однострунной канальной конфигурации для обеспечения зависимости колебаний теплового потока в грунте не более чем на $0,2 \text{ Вт/м}^2$ от колебаний наземной температуры достаточно заглубить датчик теплового потока на глубину $0,5 \text{ м}$.

Исходя из вышеописанного здесь и далее производится расчет распределения теплового потока и температуры в горизонтальном срезе грунта на глубине 50 см , что имитирует последовательное погружение датчика теплового потока или температуры на глубину 50 см по поверхности теплотрассы в перпендикулярном ей направлении. Результат моделирования отображается на рис. 2, а, где горизонтальная шкала отображает расстояние, а вертикальная – модуль теплового потока. Середина теплотрассы находится в точке $2,5 \text{ м}$. Температура приведена на рис. 2, б за вычетом постоянной температуры поверхности (снижена на $12 \text{ }^\circ\text{C}$). При расчете использовано значение теплопроводности, равное $0,054 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$ [5], что соответствует исправной теплотрассе.

Как видно из графиков, наблюдается колоколообразная форма распределения теплового потока. Учитывая, что тепло с поверхности труб на стенки бетонного короба переносится без участия теплообме-

на и преимущественно конвекцией посредством воздуха [6], на таких участках теплотрассы влияние порывов изоляции подающего и обратного трубопроводов обеспечивает схожую картину распределения теплового потока в грунте. В данном случае в мак-

симальной точке прирост температуры составил 4,61 °С, тепловой поток равен 7,44 Вт/м². Общие тепловые потери, вычисленные как интеграл по поверхности бетонного короба протяженностью 1 м, в данном случае 196 Вт.

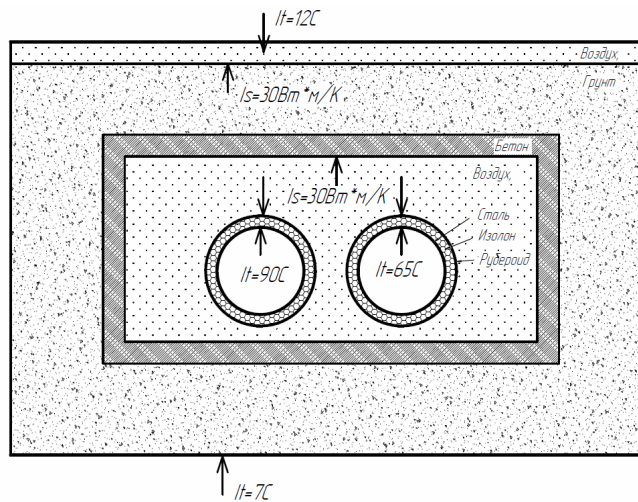


Рис. 1. Граничные условия

Таблица 1. Теплофизические свойства используемых материалы

Материал	Описание
Воздух	Воздух влажностью 40 %
Сталь	Теплопроводность 47Вт/м · К
Бетон	Теплопроводность 1,75Вт/м · К. Степень черноты 0,82
Грунт	Теплопроводность 0,86Вт/м · К
Изоляция	Теплопроводность 0,054Вт/м · К
Рубероид	Теплопроводность 1,41Вт/м · К. Степень черноты 0,94
Среда в коробе	Коэффициент теплоотдачи 20 Вт/м ²

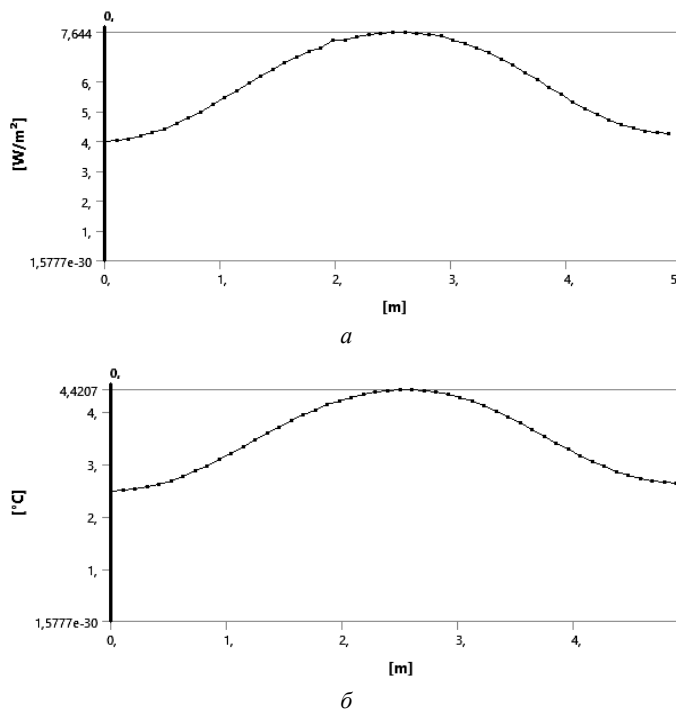


Рис. 2. Тепловой поток и температура над исправной теплотрассой на глубине 50 см от поверхности в зависимости от направления, параллельного поверхности, при коэффициенте теплоотдачи в среду внутри короба 20 Вт/м²: а – тепловой поток; б – температура

Далее схожим образом рассчитываются температура, тепловой поток и общие тепловые потери на участке для разных степеней износа теплотрассы из расчета, что при наихудшем износе теплотрассы теплопроводность не может быть выше $0,3 \text{ Вт/м}^2$ [6]. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Для удобства восприятия и обработки на основе величин, представленных в табл. 2, строятся зависимости температуры и теплового потока от теплопотерь теплотрассы в виде графика.

Таблица 2. Влияние состояния теплоизоляции на тепловые и теплофизические величины в грунте при коэффициенте теплоотдачи в среду внутри короба 20 Вт/м^2

Степень износа, %, теплопроводность	Тепловой поток, Вт/м^2	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Теплопотери, Вт/м
0 % (0,054 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$)	7,44	4,61	196
20 % (0,1 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$)	8,14	4,7	240
40 % (0,15 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$)	8,63	4,97	290
60 % (0,2 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$)	9,03	5,21	332
80 % (0,25 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$)	9,4	5,41	371

Исходя из табл. 2 получим следующую зависимость: увеличение тепловых потерь на 1 Вт/м влечет за собой увеличение теплового потока над трубой на $0,011 \text{ Вт/м}^2$ и увеличение температуры на $0,0046 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Причем указанная зависимость практически линейна во всем диапазоне теплопотерь, полученных в ре-

Получено 30.05.2017

зультате расчета. Таким образом, можно сделать вывод, что чувствительность датчика теплового потока при одинаковых условиях измерения оказывается почти втрое выше, чем чувствительность датчика температуры (при одинаковой дискретности выходной величины датчиков), из чего следует, что применение такого типа датчиков будет более предпочтительно при проведении аудита теплотрассы.

Выводы

1. При проведении исследований теплофизических величин в грунте наиболее целесообразно применять датчики теплового потока погружаемого типа ввиду большей их чувствительности к изменениям тепловых потерь теплотрассы.

2. Увеличение тепловых потерь теплотрассы на 1 Вт/м влечет за собой увеличение теплового потока над трубой не более чем на $0,011 \text{ Вт/м}^2$ и увеличение температуры не более чем на $0,0046 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Библиографические ссылки

1. <http://www.rosteplo.ru/> (дата обращения: 11.03.16).
2. СНиП 3.05.03–85. Тепловые сети.
3. Куликов В. А., Сяктерева В. В., Никитин К. А. Экспериментальные исследования информационно-измерительной системы для измерения теплопроводности грунта // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1(17).
4. Там же.
5. Там же.
6. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомал А. С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1975.
7. Копко В. М. Теплоизоляция трубопроводов и теплосетей: учеб.-метод. пособие. – Минск: Технопринт, 2002. – 160 с.: ил.