

Н. Н. ОСИПОВА
И. М. БЫЧКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА В ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ВАННЕ

STUDY OF THERMAL INTERFERENCE OF ELEMENTS OF THE UNDERGROUND HEAT EXCHANGER IN ELECTROLYTIC BATH

Проведено исследование взаимного теплового влияния трубных элементов грунтовых теплообменников. Определено, что количество трубных элементов грунтового теплообменника наибольшим образом влияет на величину притока тепла из грунтового массива. Установлено, что размещение трубных элементов на расстоянии одного диаметра друг от друга обуславливает значительное уменьшение притока тепла к грунтовому теплообменнику. Увеличение расстояния между трубами снижает тепловую интерференцию элементов. Найдены значения коэффициентов тепловой интерференции при различных конфигурациях грунтовых теплообменников, которые в зависимости от количества труб и расстояния между ними варьируются от 0,621 до 0,99.

Ключевые слова: грунтовый теплообменник, тепловая интерференция, экспериментальные исследования, взаимное тепловое влияние, аналогия, коэффициент

Теоретическое обоснование моделирования. При размещении в котловане грунтового теплообменника, состоящего из нескольких параллельно расположенных трубопроводов, возникает их взаимное тепловое влияние (тепловая интерференция), наличие которой снижает теплоприток к каждому элементу и ко всему грунтовому теплообменнику в целом.

Снижение теплопритока к грунтовому теплообменнику вследствие тепловой интерференции его элементов обуславливает снижение его расчетной паропроизводительности.

Если принять теплоприток к одиночному трубопроводу как Q_o , а теплоприток к трубопроводу, работающему в составе группы $Q_{гр}$, то снижение притока можно определить как

$$\mu = \frac{Q_{гр}}{Q_o}. \quad (1)$$

Анализ литературных источников показывает, что задача тепловой интерференции достаточно просто решается методом электротепловой аналогии [1–4].

A study was made of the mutual thermal effect of the tube elements of soil heat exchangers. It was determined that the number of pipe elements of the soil heat exchanger has the greatest effect on the amount of heat influx from the soil mass. It is established that when placing the pipe elements at a distance of one diameter from each other, it causes a significant decrease in the heat influx to the soil heat exchanger. Increasing the distance between the pipes reduces the thermal interference of the elements. The coefficients of thermal interference are found for various configurations of ground heat exchangers, which depending on the number of pipes and the distance between them vary from 0.621 to 0.99.

Keywords: underground heat exchanger, thermal interference, experimental studies, mutual thermal influence, analogy, coefficient

К преимуществам метода электротепловой аналогии относят: простоту и наглядность проведения эксперимента; минимальное влияние внешних источников, связанных с изменением температуры и влажности окружающей среды; легкую управляемость процессом при изменении и измерении физических параметров.

Сформулируем основные теоретические положения метода электротепловой аналогии применительно к конкретной задаче моделирования теплового взаимодействия группы элементов грунтового теплообменника сжиженного газа с окружающим грунтовым массивом в электролитической ванне [5, 6].

Для решения объемной задачи используем ванну, заполненную водопроводной водой, в которой как в полуограниченном массиве теплопроводностью λ имеется ряд элементов, размеры и конфигурация которых соответствуют размерам и конфигурации элементов грунтового теплообменника сжиженного газа.

Тепловой поток, проходящий через любую поверхность F_n , рассчитываем по уравнению Фурье:

$$Q = -\lambda \int_F \frac{dt}{dn}, \quad (2)$$

где dt/dn – температурный градиент по нормали к изотермической поверхности, при условии

$$dt/dn = 0, \quad (3)$$

где n – нормаль к поверхности F_n .

Используем безразмерную температурную функцию

$$T = \frac{t - t_{то}}{t_{гр} - t_{то}}, \quad (4)$$

где $t_{гр}$ – температура на поверхности массива $F_{пов}$, °C;

$t_{то}$ – температура на поверхности трубы грунтового теплообменника $F_{то}$, °C;

t – температура в любой точке массива, °C.

Функция T непрерывна и принимает значения на граничных поверхностях 0 и 1.

Выразим из (4) температуру массива t и продифференцируем полученное выражение. Найдем первую производную температуры массива по нормали к поверхности F_n :

$$\frac{dt}{dn} = \frac{dT}{dn} (t_{гр} - t_{то}), \quad (5)$$

тогда условие (3) трансформируется в условие

$$\frac{dT}{dn} = 0. \quad (6)$$

Для исследования взаимного влияния элементов грунтовых теплообменников различной конфигурации предположим, что в полуограниченном массиве электропроводностью γ имеется ряд полостей, ограниченных поверхностями $f_{то}$. На поверхности массива $f_{гр}$ поддерживается потенциал $V_{гр}$. На поверхностях полостей $f_{то}$ поддерживается потенциал $V_{то}$ и реализуется граничное условие

$$\frac{dV}{d\delta} = 0. \quad (7)$$

Электрический ток, проходящий через любую эквипотенциальную поверхность массива f_n , включая поверхности $f_{гр}$ и $f_{то}$, рассчитываем по закону Ома:

$$Y = -\gamma \int_F \frac{dV}{d\delta}, \quad (8)$$

где $dV/d\delta$ – градиент потенциала по нормали к эквипотенциальной поверхности.

По аналогии с (4) введем безразмерную функцию U для электрического поля, выразим потенциал в любой точке электрического поля через безразмерную функцию, возьмем первую

производную от потенциала электрического поля по нормали к поверхности f_n и получим:

$$\frac{dU}{d\delta} = 0. \quad (9)$$

Подставим (6) и (9) в выражения (2) и (8). В результате получим:

$$Q = -\lambda (t_{гр} - t_{то}) \int_F \frac{dT}{dn}, \quad (10)$$

$$Y = -\gamma (V_{гр} - V_{то}) \int_F \frac{dU}{d\delta}. \quad (11)$$

Если электрическая модель геометрически подобна тепловому оригиналу $n/\delta = k$, выражение (9) примет следующий вид:

$$\frac{dU}{d\delta} = \frac{dU}{d(n/k)} = \frac{dU}{dn} = 0. \quad (12)$$

С учетом (12) трансформируем формулу (1) и запишем выражение для коэффициента тепловой интерференции:

$$\mu = \frac{Q_{гр}}{Q_o} = \frac{-\lambda (t_{гр} - t_{то}) \left[\int_F \frac{dT}{dn} \right]_{гр}}{-\lambda (t_{гр} - t_{то}) \left[\int_F \frac{dT}{dn} \right]_o} = \frac{\left(\frac{dT}{dn} \right)_{гр}}{\left(\frac{dT}{dn} \right)_o}. \quad (13)$$

Аналогично для электрической модели:

$$\frac{Y_{гр}}{Y_o} = \frac{-\gamma (V_{гр} - V_{то}) k \left[\int_F \frac{dU}{dn} \right]_{гр}}{-\gamma (V_{гр} - V_{то}) k \left[\int_F \frac{dU}{dn} \right]_o} = \frac{\left(\frac{dU}{dn} \right)_{гр}}{\left(\frac{dU}{dn} \right)_o} = \mu. \quad (14)$$

Таким образом, коэффициент μ , полученный на электрической модели, сохраняет свое численное значение при переходе к тепловому оригиналу при условии геометрического подобия теплового и электрического полей.

Описание экспериментальной установки. Для исследования взаимного влияния элементов трубной решетки грунтового теплообменника была сконструирована экспериментальная установка электротеплового моделирования (рис. 1).

В качестве аналога грунтового массива использовалась электролитическая ванна, заполненная водопроводной водой. Как показывают многочисленные опыты по электротепловому моделированию, использование воды как электролита вполне допустимо [7–12]. Исследования проводились в ванне размером 0,4х0,6х0,4 м, внутренние поверхности ванны

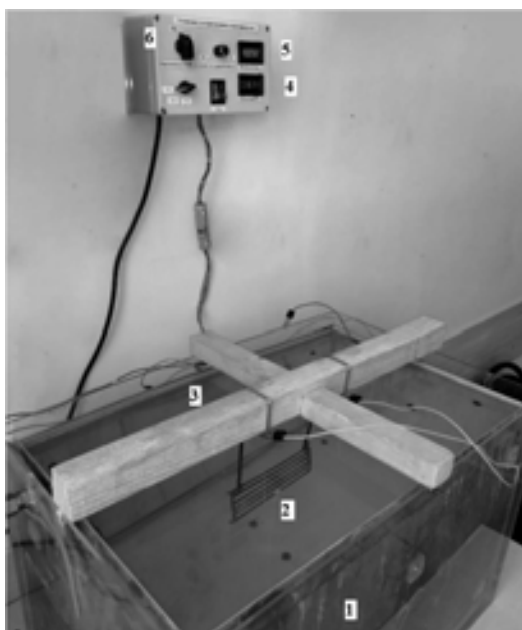


Рис.1. Общий вид экспериментальной установки для моделирования конфигурации грунтовых теплообменников:

- 1 – электролитическая ванна;
- 2 – исследуемый грунтовый теплообменник;
- 3 – рабочий экран;
- 4 – миллиамперметр;
- 5 – милливольтметр;
- 6 – лабораторный автотрансформатор

выполнены из оргстекла. Свободная поверхность грунтового массива имитировалась листовым алюминием на одной из боковых стенок ванны. Электроды, имитирующие различные конфигурации грунтовых теплообменников, закреплялись на перекладине – удаленной от поверхности грунтового массива в соответствии с масштабом расстояния, имитирующего заглубление в грунтовой массив. Различные конфигурации грунтовых теплообменников моделировались из медной проволоки диаметром $d = 3,2$ мм, выполненные геометрически подобными тепловым оригиналам – грунтовым теплообменникам в форме прямоугольной трубной решетки, змеевика, шестиугольной трубной решетки, как представлено на рис. 2.

Питание модели осуществлялось от сети постоянного тока 50 Гц через лабораторный автотрансформатор. Измерение разности потенциалов между электродами и экраном $V_{то} - V_{тр}$ и величины электрического тока проводилось многопредельными приборами AC 80.0-300.0 V 0.01-100 A и DC 0-3.0000 A с классом точности 0,5.

Проведение исследований и анализ полученных результатов. Моделирование полугораниченного грунтового массива в ванне

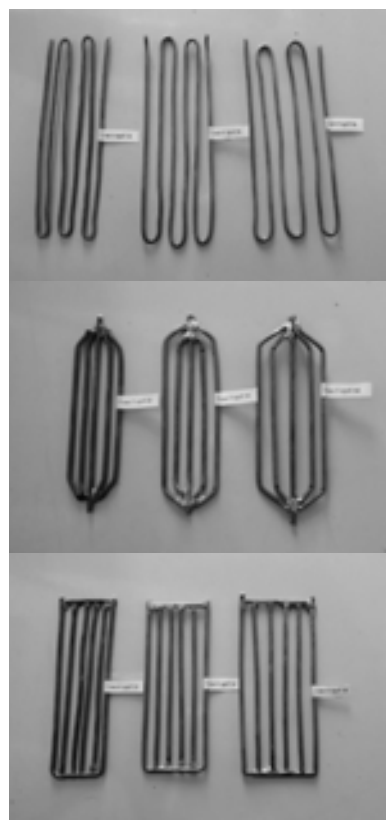


Рис. 2. Общий вид исследуемых электродов

конечных размеров вносит определенную погрешность в результаты исследований.

Для снижения влияния поверхностей ванны на результаты эксперимента используют полупроводящие покрытия стенок ванны в виде токопроводящей резины, металлических решеток или пространственных сеток специально подобранных сопротивлений [6]. Недостатком таких устройств является сложность изготовления. Наиболее простым решением является учет влияния конечных размеров ванны по методу двойного измерения [5].

В основе метода лежит проведение двух опытов при двух граничных условиях на стенках экспериментальной установки:

- все стенки ванны, исключая рабочий экран, являются электроизоляторами, для чего стенки ванны и ее днище закрывались в рабочей области съемными экранами из поливинилхлорида;

- все стенки модели, включая рабочий экран, являются токопроводящими, для чего все стенки ванны и ее днище закрывались в рабочей области съемными экранами из листового алюминия.

Проведенные замеры силы тока при различных граничных условиях позволили оценить влияние конечных размеров ванны на результаты соответствующих измерений.

В качестве примера исследовалась система второго типа (змеевик) из 6 труб с расстоянием между осями труб 4d. Указанный вариант реализует наибольшие размеры исследуемой системы, а значит и максимальную погрешность от влияния стенок ванны на результаты эксперимента (табл.1).

Как следует из табл.1, максимальные расхождения результатов измерений составляют 2,01 %. Учитывая незначительное влияние конечных размеров модели, в последующих опытах измерения силы тока проводились только при токопроводящих стенках ванны.

Таблица 1

Оценка влияния конечных размеров ванны на результаты исследований

Вид грунтового теплообменника	Разность потенциалов ΔV , В	Сила тока при граничных условиях		Погрешность измерений $\delta = \frac{Y_0 - Y_n}{Y_n} 100\%$
		Стенки ванны с экраном Y_0 , А	Стенки ванны без проводящих экранов Y_n , А	
Второй тип (змеевик), 6 труб, расстояние между осями труб 4d	1,2460	0,0102	0,0101	0,98
	2,5667	0,0139	0,0137	1,44
	3,9411	0,0145	0,0142	2,01
	6,0557	0,0154	0,0151	1,95
	8,4069	0,0161	0,0158	1,86
	9,9878	0,0164	0,0162	1,22

Исследуемый электрод, имитирующий одну из конфигураций грунтового теплообменника, крепился на деревянной перекладине, погружаясь в электролит на равноудаленные расстояния от стенок, и размещался на заданном расстоянии h от рабочего экрана. Расстояние h принималось с учетом коэффициента подобия модели в соответствии с размером дополнительного слоя $H_{доп}$ [13, 14].

Задавая разность потенциалов $V_{то} - V_{гр}$ измеряем соответствующие значения тока Y_0 . Зная значение приложенного напряжения ΔV и силу тока Y_0 для одиночного электрода, имитирующего одиночный трубопровод, величину удельного электрического тока, приходящуюся на единицу приложенного напряжения, можно определить по формуле

$$\mu_0 = \frac{Y_0}{\Delta V}. \quad (15)$$

Аналогично задаем разность потенциалов между электродами и экраном $V_{то} - V_{гр}$ и проводим замеры силы тока $Y_{гр}$ для теплообменников различной конфигурации, состоящих из нескольких труб.

Величина удельного электрического тока, проходящего между экраном и всеми электродами при данной конфигурации теплообменника, определялась по формуле

$$\mu_n = \frac{Y_{гр}}{\Delta V}. \quad (16)$$

Для исключения промаха при проведении экспериментальных исследований значения μ_0 и μ_n вычислялись как среднее по результатам 6 измерений разности потенциалов и силы тока.

Учитывая, что отношение (15) для одиночного электрода принимается за единицу, определим величину коэффициента m , который учитывает уменьшение электрического тока к исследуемому электроду при конфигурации с групповым размещением элементов:

$$m = \frac{\mu_n}{n\mu_0}, \quad (17)$$

где n – число трубных элементов в конструкции грунтового теплообменника.

Определение численного значения коэффициента m при выборе конфигурации грунтового теплообменника проводилось при расстояниях между ними в осях S , равных 2d, 3d, 4d.

Результаты исследований коэффициента тепловой интерференции m , в зависимости от числа трубных элементов в конструкции грунтового теплообменника n и типа его конфигурации и расстояния между элементами, представлены в табл.2.

Как видно из табл. 2, коэффициент m уменьшается с увеличением количества трубных элементов n в группе и с сокращением расстояния S между элементами. Так, например, при расстоянии S , равном 2d, коэффициент m изменяется от 0,89 (теплообменник из двух труб) до 0,621 (теплообменник из 6 трубных элементов). Аналогично для шестиугольной

Таблица 2

Значение коэффициента тепловой интерференции трубных элементов
грунтового теплообменника m

Конфигурация грунтового теплообменника	Количество элементов в группе n	Расстояние между трубными элементами S		
		2d	3d	4d
Шестиугольная решётка	2	0.890	0.9702	0.999
	3	0.751	0.922	0.991
	4	0.679	0.8915	0.996
	5	0.655	0.865	0.989
	6	0.647	0.842	0.979
Змеевик	2	0.840	0.9485	0.993
	3	0.732	0.908	0.991
	4	0.671	0.8907	0.996
	5	0.648	0.842	0.993
	6	0.63	0.835	0.969
Прямоугольная решётка	2	0.826	0.940	0.999
	3	0.732	0.909	0.997
	4	0.6616	0.8903	0.984
	5	0.6372	0.830	0.992
	6	0.621	0.825	0.979

решетки при количестве трубных элементов $n=3$ коэффициент m изменяется от 0,991 (при расстоянии 4d) до 0,751 (при расстоянии 2d).

Выводы. Конструктивное исполнение грунтового теплообменника и расстояние между трубами оказывают значительное влияние на величину притока тепла из грунтового массива. Полученные в работе значения коэффициентов тепловой интерференции позволят корректно определять паропроизводительность грунтовых теплообменников, что значительно повышает точность инженерных расчетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин В.М., Бойков Г.П., Видин Ю.В. Основы технической теплофизики. М.: Машиностроение-1, 2004. 172 с.
2. Иосель Ю.Я. Расчет потенциальных полей в энергетике. Л.: Энергия, 1978. 350 с.
3. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. Т. I. Изд. 12. М.: ДМК-Пресс, 2007. 942 с.
4. Измайлов В.В., Чаплыгин С.А. Электротепловая аналогия и расчет проводимости дискретного контакта деталей машин // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т.8, № 2. <http://naukovedenie.ru/PDF/26TVN216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/26TVN21
5. Гребер Г. Основы учения о теплообмене. М.: Изд-во иностр. лит., 1958. 561 с.
6. Никитин Н.И., Курицын Б.Н. Тепловая интерференция подземных резервуаров сжиженного газа при групповом размещении // Использование газа в народном хозяйстве: сб. науч. тр. ГипроНИИгаз. Саратов: Изд-во «Коммунист», 1969. Вып. 8. 149 с.

7. Осипова Н.Н. Тепловая интерференция подземных резервуаров сжиженного газа при групповом размещении в грунте // Разработка современных технологий и материалов для обеспечения энергосбережения, надежности и безопасности объектов архитектурно-строительного и дорожного комплекса: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2010. С.137–142.

8. Рулев А.В., Усачев А.П., Шурайц А.Л., Усачева Т.А. Электротепловое моделирование теплообмена в системе: трубчатые электронагреватели – испарительный змеевик СУГ, заплавленные в алюминиевый массив с цилиндрической полостью в его центральной части // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 1(37). С. 130–134.

9. Усачев А.П., Рулев А.В., Фролов А.Ю., Усачева Т.А. Электротепловая аналогия и ее применение к решению задачи теплообмена в змеевиковом испарителе сжиженного углеводородного газа с твердотельным теплоносителем // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. Т.1, № 2(23). С. 127–132.

10. Курицын Б.Н., Осипова Н.Н. К моделированию тепловой интерференции подъемных резервуаров сжиженного газа в электролитической ванне // Межвузовский научный сборник. Саратов, 2000. С. 29–34.

11. Рулев А.В., Усачев А.П., Курицын Б.Н., Шурайц А.Л., Бессонова С.А. Исследования теплообмена между трубчатыми электронагревательными элементами и испарительным трубопроводным змеевиком, расположенными в цилиндрическом массиве из алюминия, на основе метода электротепловой аналогии // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения. Саратов: СГТУ, 2010. Т. 1. № 1 (4). С. 103–123.

12. Курицын Б.Н., Кузнецов С.С., Бычкова И.М. Тепловая интерференция элементов трубных решеток в грунтовом массиве // Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург, 2014. № 1–1(20). С. 37–40.

13. Иоффе И.А. О стационарном температурном поле в полуграниченном массиве с внутренними цилиндрическими источниками тепла // Журнал технической физики. Л.: Изд-во ЛФТИ, 1958. № 5. т.28. С. 1084–1088.

14. Курицын Б.Н., Осипова Н.Н., Максимов С.А., Седяев А.А. Моделирование теплообмена при хранении сжиженного газа в подземных резервуарных установках под воздействием естественных температур грунта и наружного воздуха // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. Воронеж, 2012. № 2(26). С. 35–45.

REFERENCES

1. Fokin V.M., Boykov G.P., Vidin Yu.V. *Osnovy tekhnicheskoy teplofiziki* [Fundamentals of engineering Thermophysics]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2004. 172 p.

2. Iossel' Yu.Ya. *Raschet potentsial'nykh poley v energetike* [Calculation of potential fields in energy]. Leningrad, Energiya Publ., 1978. 350 p.

3. Tittse U., Shenk K. *Poluprovodnikovaya skhemotekhnika* [Solid state circuitry]. Vol. I., ed. 12. Moscow, DMK-Press Publ., 2007. 942 p. ISBN 5940741487.

4. Izmaylov V.V., Chaplygin S.A. The electrothermal analogy and the calculation of the conductivity of the discrete contact of machine parts. *Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE»* [Online journal «SCIENCE»]. Vol. 8, no. 2, 2016. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/26TVN216.pdf> DOI: 10.15862/26TVN21

5. Greber G. *Osnovy ucheniya o teploobmene* [Fundamentals of the doctrine of heat]. Moscow, Izdatel'stvo inostrannoy literatury Publ., 1958. 561 p.

6. Nikitin N.I., Kuritsyn B.N. Thermal interference of underground tanks of liquefied gas in group accommodation. *Ispol'zovanie gaza v narodnom khozyaystve: Sbornik nauchnykh trudov Gipronigaz* [The use of gas in the national economy: a Collection of scientific papers Gipronigaz]. Saratov, Kommunist Publ., 1969. i. 8. 149 p. (in Russian)

7. Osipova N.N. Thermal interference of underground liquefied gas tanks at group placement in the ground. *Razrabotka sovremennykh tekhnologiy i materialov dlya obespecheniya energosberezheniya, nadezhnosti i bezopasnosti ob"ektov arkhitekturno-stroitel'nogo i dorozhnogo kompleksa: sbornik nauchnykh trudov* [Development of modern technologies and materials for energy saving, reliability and safety of objects of architectural and road complex: collection of scientific works]. Saratov, SGTU Publ., 2010. Pp.137–142. (in Russian)

8. Rulev A.V., Usachev A.P., Shurayts A.L., Usacheva T.A. Electrothermal modeling of heat transfer in the system: tubular electric heaters-evaporative coil LPG,

melted into an aluminum array with a cylindrical cavity in its Central part. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov State Technical University]. Saratov, SGTU Publ., 2009. Vol. 1, no. 1 (37). Pp. 130–134. (in Russian)

9. Usachev A.P., Rulev A.V., Frolov A.Yu., Usacheva T.A. Electrothermal analogy and its application to solving the problem of heat transfer in a coil evaporator of liquefied hydrocarbon gas with a solid-state coolant. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov State Technical University]. Saratov, SGTU Publ., 2007. Vol. 1, no. 2 (23). Pp. 127–132. (in Russian)

10. Kuritsyn B.N., Osipova N.N. Modeling of thermal interference of underground liquefied gas reservoirs in an electrolytic bath. *Mezhdunarodskiy nauchnyy sbornik* [Interuniversity Scientific Collection]. Saratov, 2000. Pp. 29–34. (in Russian)

11. Rulev A.V., Usachev A.P., Kuritsyn B.N., Shurayts A.L., Bessonova S.A. Studies of heat transfer between tubular electric heating elements and evaporative pipeline coil located in a cylindrical array of aluminum, based on the method of electrothermal analogy. *Nauchno-tekhnicheskie problemy sovershenstvovaniya i razvitiya sistem gazoenergostonabzheniya* [Scientific and technical problems of improvement and development of gas supply systems]. Saratov, SGTU Publ., 2010. Vol. 1, no. 1 (4). Pp. 103–123. (in Russian)

12. Kuritsyn B.N., Kuznetsov S.S., Bychkova I.M. Thermal interference of the elements of the tube sheet in soil. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal]. Yekaterinburg, 2014, no. 1-1 (20). Pp. 37–40. (in Russian)

13. Ioffe I.A. On a stationary temperature field in a semi-bounded array with internal cylindrical heat sources. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* [Journal of Technical Physics]. Leningrad, LFTI Publ., 1958, no. 5, vol. 28. Pp. 1084–1088. (in Russian)

14. Kuritsyn B.N., Osipova N.N., Maksimov S.A., Sedaev A.A. Modeling of heat transfer during storage of liquefied gas in underground tank installations under the influence of natural temperatures of soil and outside air. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Scientific Bulletin of the Voronezh state University of Architecture and Construction. Construction and Architecture.]. Voronezh, 2012, no. 2 (26). Pp. 35–45. (in Russian)

Об авторах:

ОСИПОВА Наталия Николаевна

доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Институт урбанистики, архитектуры и строительства
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
тел. (8452)99-88-93
E-mail: osnat75@mail.ru

OSIPOVA Natalia N.

Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Head of the Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Hydro-Gas Dynamics Yury Gagarin State Technical University of Saratov Institute of Urban Studies, Architecture and Construction
410054, Russia, Saratov, Polytechnicheskaya str., 77
tel. (8452) 99-88-93
E-mail: osnat75@mail.ru

БЫЧКОВА Ирина Михайловна

аспирант кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Институт Урбанистики, архитектуры и строительства
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
тел. (8452)99-88-93
E-mail: bychkovaim@mail.ru

BYCHKOVA Irina M.

Postgraduate Student of the Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Hydro-Gas Dynamics Yury Gagarin State Technical University of Saratov Institute of Urban Studies, Architecture and Construction
410054, Russia, Saratov, Polytechnicheskaya str., 77
tel. (8452) 99-88-93
E-mail: bychkovaim@mail.ru

Для цитирования: *Осипова Н.Н., Бычкова И.М.* Исследование тепловой интерференции элементов грунтового теплообменника в электролитической ванне // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 33–39. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.5.

For citation: *Osipova N.N., Bychkova I.M.* Study of Thermal Interference of Elements of the Underground Heat Exchanger in Electrolytic Bath // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 33–39. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.5.

Уважаемые читатели!

Гидрохимическая лаборатория приглашает к сотрудничеству.

Руководитель *Гульнева Ирина Владимировна*

Контакты:

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 173
тел. (846) 339-14-85
E-mail: labvv173@mail.ru