

Выработка тепловой энергии от городской канализационной сети*

Рецензия эксперта на статью получена 19.01.2018 [Expert review on the article was received on January 19, 2018].

* Статья подготовлена на основе доклада на IV Отраслевой научно-практической конференции по тепловым насосам «Тепловые насосы. Стимулирование и внедрение в мире и РФ».

Энергосбережение является одним из приоритетных направлений развития государственной политики на протяжении всего времени, но особый статус оно приобрело в сегодняшнее нестабильное время. Из-за экономических и экологических волнений во всём мире Россия взяла курс на сокращение так называемых «лишних потерь» энергоресурсов. По различным данным, годовое потребление топлива на душу населения в нашей стране составляет 6,4–6,6 т.у.т. [1, 2]. В связи с этим Правительство РФ в небывалых масштабах начало поиск использования различных энергосберегающих мероприятий, особый статус в которых занимают тепловые насосы.

В этой работе рассмотрен совершенно другой взгляд на получение теплоты от сточных вод — бесконтактный способ, а именно использование принципа «труба в трубе» при реконструкции или создании новых канализационных сетей. Этот принцип применяется для различных водоводяных теплообменников, где в трубках протекает один теплоноситель, а в межтрубном пространстве — другой. Новый смысл заключается в том, что новая «труба-кожу» надевается поверх старой или реконструируемой трубы, а пространство между старой трубой и кожухом заполняется теплоносителем. Ввиду того, что канализационные сети прокладываются ниже глубины промерзания [3], мы имеем право в качестве данного теплоносителя использовать воду.

Во многих странах широкое распространение получили грунтовые тепловые насосы, у которых удельный теплосъём от одного метра трубы в среднем составляет 50 Вт/м. Конечно, для многих подземных источников он различен. На-

пример, для сухих осадочных пород он составляет 20 Вт/м, для каменной почвы и насыщенных водой осадочных пород — 50 Вт/м, каменные породы с высокой теплопроводностью характеризуются удельным теплосъёмом 70 Вт/м, подземные воды — 80 Вт/м. Но ни один производитель не учитывает влияния попеременного охлаждения и нагревания грунта на эксплуатируемое здание, которое может повлечь просадку или разрушение сооружения.

Теоретическая модель расчёта получена по методу подобия [4] с помощью чисел подобия. Общие случаи теплообмена при течении различных веществ в каналах были отражены в разработках В.П. Исаченко, В.А. Осипова и ряда других авторов [5–7].

Исходные данные

Характеристики расчётного участка канализационной трубы: температура сточных вод в трубе $t_{\text{ст.вод}} = 15^\circ\text{C}$; температура окружающего грунта $t_{\text{г}} = 5^\circ\text{C}$; условный диаметр трубопровода $d_{\text{усл}} = 300$ мм; скорость сточных вод в трубе $V_{\text{ст.вод}} = 0,5$ м/с; наполненность трубы жидкой фазой $n = 0,5$. В расчётах принимаем, что газовый слой в трубе движется попутно с жидкостным слоем, то есть примерно с той же скоростью.

Общий вид уравнения теплопередачи через цилиндрическую стенку (для граничных условий третьего рода при стационарном режиме):

$$Q_l = K \pi d_l \ln(t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) = K \pi 2 R_l \ln(t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}), \text{ Вт}, \quad (1)$$

где K — коэффициент теплопередачи, Вт/($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$); R_l — гидравлический радиус, м; l — длина рассматриваемого отрезка по центру оси трубопровода, м; $t_{\text{вн}}$ — темпе-

УДК 620.97

Выработка тепловой энергии от городской канализационной сети

А. Г. Рымаров, к.т.н., доцент; **М. А. Разаков**, бакалавр; **Рио-Рита В. Чернова**, бакалавр, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Авторами предлагается совершенно новый способ получения теплоты от подземных инженерных сетей города, а именно — добыча полезной тепловой энергии из тепловых потерь трубы. В данной статье приведён пример расчёта количества теплоты от одного метра участка трубы безнапорной городской канализационной сети (ГКС) хозяйственно-бытового назначения. Также приводится схема кожуха со вторичным теплоносителем — принципиальная схема получения тепловой энергии от городских канализационных сетей с помощью теплового насоса. Приводится инженерная модель тепловых потерь от городской канализационной трубы со сточными водами. Кроме того, рассматривается сравнение различных тепловых потенциалов от одного метра трубы с различными грунтовыми источниками тепловой энергии. Проведён расчётный эксперимент, доказывающий эффективность получения теплоты от трубы безнапорной городской канализационной сети и последующее использование данной теплоты в инфраструктуре города.

Ключевые слова: тепловой насос, городская канализационная сеть, сточные воды, тепловые поступления от сточных вод, кожух для трубы.

UDC 620.97

Production of heat energy from the pipes of the city sewerage system

A. G. Rymarov, PhD, Associate Professor; **M. A. Razakov**, the bachelor; **Rio-Rita V. Chernova**, the bachelor, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSI) National Research University

The authors propose a completely new way of getting heat from underground engineering systems of the city, especially the production of useful thermal energy from heat loss of the pipe. In this article we used calculation experiment of heat calculation from one meter section of the pipeline is gravity public sewers (GPS) for living purposes. Besides provides a schematic description of the sheath for pipe with the secondary heat transfer fluid and the concept of getting thermal energy from municipal sewage systems with a heat pump. In this article it has been used engineering model of heat losses from the city sewer pipes to the wastewater. In addition a comparison of different heat potentials from one meter of pipe with different ground sources of heat. The experiment has been calculated to prove the efficiency of getting heat from the pipe in gravity sewerage system of the city and its following use in the infrastructure of the city.

Keywords: heat pump, sewerage system, waste water, heat proceeds from wastewater, sheath for pipe.

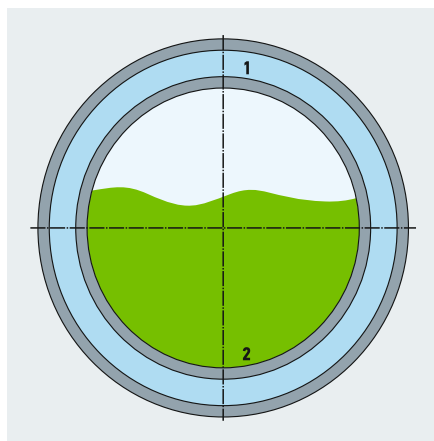


Рис. 1. Принципиальная схема трубы с кожухом со вторичным теплоносителем (1 — пространство со вторичным теплоносителем; 2 — трубопровод городской канализационной сети)

ратура сточных вод внутри трубопровода [8], °C; t_n — температура вторичного теплоносителя, °C.

Число Рейнольдса определяет режим течения жидкости:

$$Re = \frac{\omega d_y}{\nu}, \quad (2)$$

где ω — скорость течения сточных вод в трубопроводе, м/с; ν — коэффициент кинематической вязкости [8], м²/с.

Средний коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{d_y}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}, \quad (4)$$

где Nu — число Нуссельта; λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C).

Для данных условий получается, что теплосъём с одного метра такой трубы составит 120 Вт. Но это без учёта потерь теплоты вторичного теплоносителя (через кожух) в грунт.

Самая идея применения кожуха для трубы в городских канализационных сетях с использованием теплового насоса является уникальной и может быть реа-

К определённому участку канализационной сети присоединяется эксплуатационный узел с тепловым насосом, в который входят: 1 — индикатор кислотности теплоносителя; 2 — аварийная задвижка; 3 — блок теплового насоса; 4 — насосный блок. Иногда, ввиду различных проектных решений, такое присоединение к сети невозможно, поэтому данная схема применима лишь на прямых участках трубопровода. Всё это оборудование необходимо для предотвращения попадания сточных вод в контур с вторичным теплоносителем — на случай разрушения трубы городской канализационной сети.

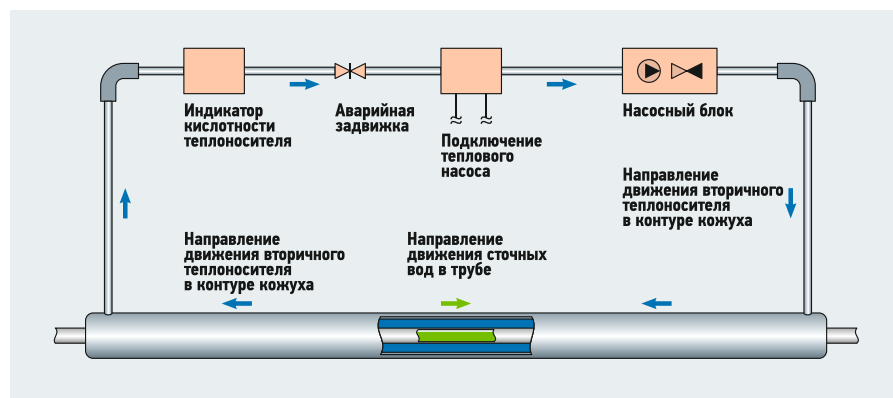


Рис. 2. Схема получения теплоты от трубопровода городской канализационной сети

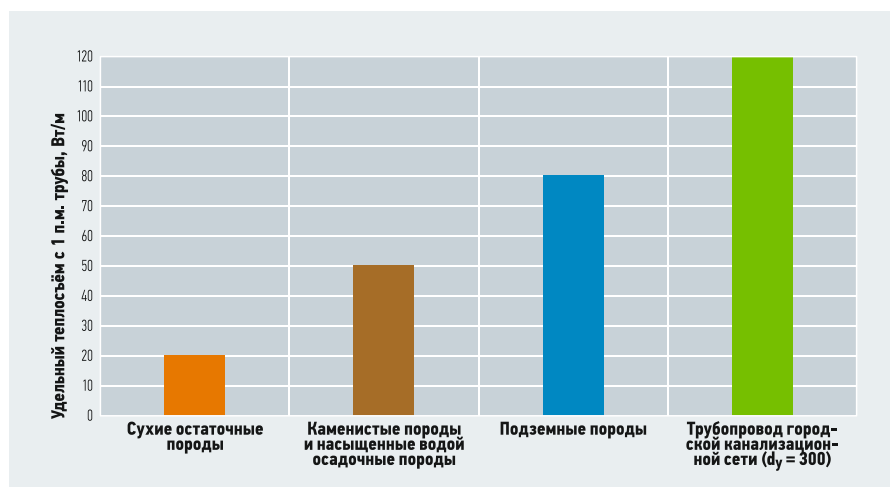


Рис. 3. Гистограмма удельного теплосъёма с погонного метра трубопровода

Общий случай критериального уравнения конвективного теплообмена:

$$Nu = c Re^n Gr^b Pr^m \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}, \quad (3)$$

где c , n , b и m — числовые показатели, определяемые опытным путём; Re — число Рейнольдса, определяет режим течения жидкости; Gr — число Грасгофа, характеризует соотношение подъёмной силы в жидкости; Pr — число Прандтля, определяется по таблицам; $Pr_{ст}$ — число Прандтля при данной температуре стенок, определяется по таблицам.

лизована только в нынешнее время при современных технологиях.

На рис. 1 представлена предлагаемая схема трубы с кожухом в городской канализационной сети (ГКС). Внутри трубы движутся сточные воды с определённым режимом течения. Снаружи трубы (в пространстве между наружной поверхностью трубы и наружной поверхностью кожуха) течёт вторичный теплоноситель — в данном случае вода.

На рис. 2 представлена схема получения теплоты от сточных вод из городской канализационной сети.

Выводы

1. Городская канализационная труба является самым мощным источником теплосъёма в сравнении с грунтовыми источниками теплоты.
2. С экологической точки зрения грунтовые тепловые насосы также проигрывают данному типу получения теплоты.

1. Разаков М.А., Хроменкова А.А. Энергоёмкость и энергопотребление стран СНГ: Сб. мат. студ. науч.-техн. семинара «Энергосбережение и рациональное использование ресурсов инженерных системах зданий и сооружений» / Отв. ред. А.П. Андриянов. 2017. С. 39–42.
2. Гагарин В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплосащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы, 2010. №3. С. 8–16.
3. Воронов Ю.В., Алексеев Е.В., Пугачёв Е.А., Саломеев В.П. Водоотведение: Учеб. изд. — М.: Изд-во «АСВ», 2014. 416 с.
4. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. Изд. 2-е. — М.: Высшая школа, 1973. 296 с.
5. Лариов Н.Н. Теплотехника: Учеб. для вузов. Изд. 3-е, расш. и доп. — М.: Стройиздат, 1985. 432 с.
6. Исаченко В.П., Осипов В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учеб. для вузов. Изд. 3-е, расш. и доп. — М.: Энергия, 1975. 488 с.
7. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учеб. для вузов. Изд. 2-е, расш. и доп. — М.: Высшая школа, 1982. 415 с.
8. Отставнов А.А., Устюгов В.А., Хренов К.Е. Применение формулы (14) СНиП 2.04.03–85 для гидравлических расчётов канализационных трубопроводов из полимерных труб. Табл. 2 // Сантехника, 2008. №2. С. 38–43. Режим доступа: abok.ru. Дата обращ.: 02.02.2018.

References — see page 94.

**Production of heat energy from the pipes of the city sewerage system.
Pp. 64–65.**

A. G. Rymarov, PhD, Associate Professor; **M. A. Razakov**, the bachelor; **Rio-Rita V. Chernova**, the bachelor, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) National Research University

1. Razakov M.A., Hromenkova A.A. *Jenergoemkost' i jenergopotreblenie stran SNG: Sb. mat. stud. nauch.-tehn. seminar "Jenergosberezhenie i racional'noe ispol'zovanie resursov inzhernykh sistemah zdaniy i sooruzhenij"* [Energy intensity and energy consumption of the CIS countries: Collection of materials of the student scientific and technical seminar "Energy saving and rational use of resources of engineering systems of buildings and structures"] / Otv. red. [Managing Editor] A.P. Andrianov. 2017. Pp. 39–42.
2. Gagarin V.G. *Makroekonomicheskie aspekty obosnovaniya jenergosberegajushhih meropriyatij pri povyshenii teplozashhity ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy* [Macroeconomic aspects of the rationale for energy-saving measures in improving the thermal protection of building envelopes]. *Stroitel'nye materialy* ["Construction Materials" Magazine]. 2010. No. 3. Pp. 8–16.
3. Voronov Ju.V., Alekseev E.V., Pugachev E.A., Salomeev V.P. *Vodootvedenie: Ucheb. izd.* [Wastewater: Educational Edition]. Moscow. Izdatel'stvo "ASV" ["ASV" Publishers]. 2014. 416 p.
4. Guhman A.A. *Vvedenie v teoriju podobija*. Izd. 2-e [Introduction to the theory of similarity. 2nd edition]. Moscow. Vysshaja shkola ["High School" Publishers]. 1973. 296 p.
5. Larikov N.N. *Teplotekhnika: Ucheb. dlja vuzov*. Izd. 3-e, rassh. i dop. [Heat engineering: A Textbook for High Schools. 3rd edition, rev. and exp.]. Moscow. Strojizdat ["Building Publishing House"]. 1985. 432 p.
6. Isachenko V.P., Osipov V.A., Sukomel A.S. *Teploperedacha: Ucheb. dlja vuzov*. Izd. 3-e, rassh. i dop. [Heat transfer: A Textbook for High Schools. 3rd edition, rev. and exp.]. Moscow. Jenergiya ["Energy" Publishers]. 1975. 488 p.
7. Bogoslovskij V.N. *Stroitel'naja teplofizika (teplofizicheskie osnovy otoplenija, ventiljacija i kondicionirovanija vozduha): Ucheb. dlja vuzov*. Izd. 2-e, rassh. i dop. [Building thermophysics (Thermophysical basis of heating, ventilation and air conditioning): A Textbook for High Schools. 2nd edition, rev. and exp.]. Moscow. Vysshaja shkola ["High School" Publishers]. 1982. 415 p.
8. Otstavnov A.A., Ustjugov V.A., Hrenov K.E. *Primenenie formuly (14) SNiP 2.04.03–85 dlja gidravlicheskih raschetov kanalizacionnyh truboprovodov iz polimernykh trub. Tabl. 2* [Application of the formula No. (14) from the Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) 2.04.03–85 for hydraulic calculations of sewer pipelines from polymer pipes. Table No. 2]. *Santehnika* ["Sanitary engineering" Magazine]. 2008. No. 2. Pp. 38–43. Web-source: abok.ru. Data of ent.: February 2, 2018.