

УДК 620.97

ВОЗМОЖНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОПТЕРЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОТРАСС ДЛЯ ПОДОГРЕВА ПЕШЕХОДНЫХ ЗОН

В.Ю. Фартушин, В.Д. Колодин, Е.В. Хаустова, В.Ю. Соколов

Рассмотрен рациональный способ использования тепловых потерь отопления и ГВС на участках между тепловыми камерами в чертах города Оренбурга. Рассматриваемым вариантом полезного использования тепловых потерь на поверхность грунта является отопление пешеходных зон, что наиболее эффективно в зимний период времени: не будет наледи и снега на асфальтированной дорожке, не будет необходимости в очистке данного участка. Предложено решение отказаться от асфальтобетонного покрытия в пользу тротуарной плитки, которая окупает себя в кратчайшие сроки. Исследования подтверждены математическими расчётами, графически показаны потери и влияние их на поверхность земли.

Ключевые слова: потери; тепловая магистраль; камеры; пешеходная зона; тротуарная плитка; прокладка; трубопровод; тепловые сети; тепловизионная съёмка; математический расчёт.

МАГИСТРАЛДЫК ЖЫЛУУЛУК ТРАССАЛАРЫНДАГЫ ЖОГОТУУУГА УЧУРАГАН ЖЫЛУУЛУКТУ ЖӨӨ АДАМДАР ЖҮРҮҮЧҮ ЖОЛДОРДУ ЖЫЛЫТУУ УЧҮН ПАЙДАЛАНУУ МҮМКҮНЧҮЛҮГҮ

В.Ю. Фартушин, В.Д. Колодин, Е.В. Хаустова, В.Ю. Соколов

Бул макалада Оренбург шаарынын четиндеги жылуулук камераларынын ортосундагы аймактарда жылуулук жана ысык суу менен камсыз кылууда жоготууга учурап жаткан жылуулукту пайдалануунун рационалдуу ыкмасы каралды. Жер үстүндөгү жоготууга учурап жаткан жылуулукту пайдалуу колдонуу варианты болуп жөө адамдар жүрүүчү жолдорду жылытуу болуп эсептелет, мунун өзү кыш мезгилинде бир кыйла натыйжалуу. Асфальтталган жолдо муз катмарлары жана кар болбойт, бул аянтты тазалоо зарылдыгы келип чыкпайт. Асфальт-бетон жолдон баш тартып, тротуардык плиткаларды колдонуу сунушталат, алар кыска убакыттын ичинде эле өзүн актайт. Изилдөө математикалык эсептөөлөр менен тастыкталды, график түрүндө жоготуулар жана алардын жер үстүнө тийгизген таасири көрсөтүлдү.

Түйүндүү сөздөр: жоготуулар; жылуулук магистралы; камералар; жөө адамдар жүрүүчү жолдор; тротуардык плитка; төшөлмө; өткөргүч түтүктөр; жылуулук тармактары; математикалык эсептөө.

POSSIBLE USE OF HEAT LOSS OF MAIN HEATING LINES FOR HEATING PEDESTRIAN ZONES

V.Yu. Fartushin, V.D. Kolodin, E.V. Haustova, V.Yu. Sokolov

A rational method of using heat losses of heating and hot water in the areas between heat chambers in the city of Orenburg is considered. The considered option for the useful use of heat losses on the ground surface is the heating of pedestrian zones, which is most evident in the winter period. There will be no ice and snow on the paved path, which will not need to clean this area. It is also suggested that the decision to abandon the asphalt pavement and pay attention to paving slabs, which pays for itself in the shortest possible time. Our study was confirmed by a mathematical calculation that graphically shows the losses and their impact on the earth's surface.

Keywords: losses; thermal highway; cameras; pedestrian zone; paving slabs; laying; pipeline; heat networks; thermal imaging; mathematical calculation.

Традиционные технологии прокладки трубопровода осуществляются в виде канального или бесканального способа. Большим недостатком любой подземной прокладки являются тепловые потери при транспортировке горячего теплоносителя потребителю [1].

Тепловые потери трубопроводов при канальной и бесканальной прокладке обусловлены физическими свойствами грунтов и условиями теплообменных процессов в грунте, зависящими от количества и взаимного расположения труб в грунте. Влажность грунта на глубине заложения теплопровода решающим образом влияет на теплотери, и определяет характер температурного поля вблизи него.

Вне зависимости от способа прокладки тепловых сетей, поверхность неизолированных трубопроводов теряет теплоту в несколько раз интенсивнее, чем поверхность изолированных трубопроводов, поэтому восстановление разрушенного теплоизоляционного покрытия очень быстро окупается.

Тепловые потери с поверхности трубопроводов увеличиваются при увлажнении теплоизоляции. Влага к поверхности трубопровода поступает при затоплении его грунтовыми и поверхностными водами [2]. Данная проблема приобретает особую актуальность, если учесть, что в целом по стране свыше 12 % тепловых сетей периодически или постоянно затапливаются грунтовыми или поверхностными водами, а в отдельных городах этот показатель может достигать 70 % общей длины теплотрасс. Другим источником увлажнения теплоизоляции является естественная влага, содержащаяся в грунте. Если трубопроводы проложены в каналах, то на поверхности перекрытий каналов возможна конденсация влаги из воздуха и попадание ее в виде капель на поверхность трубопроводов. Для снижения воздействия капель на твердую изоляцию необходима вентиляция каналов тепловых сетей [3].

Большинство тепловых сетей при проектировании закладываются как двухтрубные, подающими одновременно тепло на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и технологические нужды. Данная система является одной из самых надёжных и удобных в эксплуатации. Но даже в самых «идеальных» системах есть свои изъяны. Одна из таких проблем может проявить себя на протяжении небольшого промежутка времени. Это тепловые потери при движении горячего теплоносителя. Этой проблемы практически невозможно избежать. Но можно использовать методику решения этой проблемы, не вскрывая грунт, в котором находится магистральная линия, и постараться извлечь из этих потерь огромную пользу в зимний промежуток времени [1, 4, 5].

Кроме того, авторы изучили индивидуальные характеристики каждой разновидности труб, чтобы понять, в каких случаях целесообразно применять тот или иной тип изделия.

Но даже при несущественных потерях, без затрат на ремонт трубопровода, можно извлечь пользу и из утечек.

Стоит обратить внимание, что на выбранном для опыта участке по ул. Брестская (рисунок 1), была произведена замена трубопровода и углубление тепловых камер, соответствующих СНиП 41-02-2003 и закону №476-р от 22.04.1996 (ред. от 18.07.2001) «О защите подземных сооружений при производстве работ на территории города Оренбурга». Закон подразумевает, что прокладка надземных и наземных тепловых трасс должна быть перенесена под землю.

На этом участке в течение первого квартала года проводился ремонт магистральной линии теплоснабжения потребителей [2]. Работы проводили в два этапа и спустя 4–5 месяцев после проведения ремонта, на участке были обнаружены тепловые потери, которые четко проявлялись на поверхности грунта (снег таял). С помощью тепловизора Flir T600 была произведена съёмка, на которой было обнаружено, что потери достаточно велики и температура поверхности земли в месте утечек превышает +10, с учётом того, что температура воздуха на улице составляла –8 (рисунок 1).

При последующей съёмке, были взяты участки большей длины, результаты показали, что потери отчётливо видны на всём участке магистральной линии (рисунок 2).

На рисунке 2 представлен участок, на котором проводился ремонт в первой половине квартала.

На рисунке 3 показан участок, лежащий в другую сторону. На нем работы были проведены во второй половине первого квартала. Потери, как можно заметить, не так очевидны, как на участке,

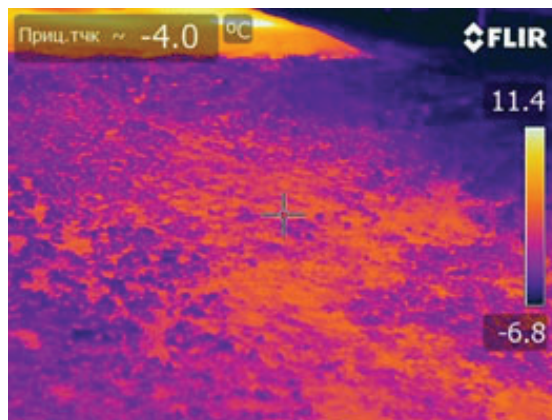


Рисунок 1 – Участок дороги по ул. Брестская, г. Оренбург



Рисунок 2 – Участок дороги между Брестской 16 и Брестской 3, г. Оренбург



Рисунок 3 – Участок дороги между Брестской 16 и Брестской 20, г. Оренбург

описанном выше. Но отчётливо виден протаявший участок земли, который свидетельствует о уже имеющихся потерях в месте стыков трубопровода. Труба длиной 4 м заложена на протяжении всей трассы, и по всей длине можно наблюдать такие протаивания.

Авторами выполнен математический расчёт градиента температур от трубы к поверхности земли.

Термическое сопротивление теплоотдаче от поверхности изоляции в воздушное пространство составляет:

$$R_{\text{возд}} = \frac{1}{\pi \cdot a \cdot (0,53 \cdot 2\delta)} = \frac{1}{3,14 \cdot 8 \cdot (0,53 \cdot 2 \cdot 0,09)} = 0,417 \frac{\text{м} \cdot ^\circ \text{C}}{\text{Вт}}$$

Эквивалентный диаметр сечения канала в свету:

$$d_{\text{экв}} = \frac{2 \cdot h \cdot b}{h + b} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 1,2}{0,6 + 1,2} = 0,8 \text{ м.}$$

Термическое сопротивление теплоотдаче от воздуха в канале к грунту:

$$R_{\text{возд.кан}} = \frac{1}{\pi \cdot a \cdot d_{\text{экв}}} = \frac{1}{3,14 \cdot 8 \cdot 0,8} = 0,049 \frac{\text{м} \cdot ^\circ \text{C}}{\text{Вт}}$$

Термическое сопротивление массива грунта:

$$R_{\text{гр.}} = \frac{\ln(3,5 \cdot \left(\frac{H}{h}\right) \cdot \left(\frac{h}{b}\right) \cdot 0,25)}{\lambda_{\text{гр.}} \cdot (5,7 + 0,5 \cdot \left(\frac{b}{h}\right))} = \frac{\ln(3,5 \cdot \left(\frac{1,5}{0,6}\right) \cdot \left(\frac{0,6}{1,2}\right) \cdot 0,25)}{2,56 \cdot (5,7 + 0,5 \cdot \left(\frac{1,2}{0,6}\right))} = 0,155 \frac{\text{м} \cdot ^\circ \text{C}}{\text{Вт}}$$

Температура воздуха в канале:

$$t_{\text{кан.}} = \frac{\frac{t_{\text{нр.г}}}{R_{\text{из}} + R_{\text{возд}}} + \frac{t_{\text{оср.г}}}{R_{\text{из}} + R_{\text{возд}}} + \frac{t_{\text{грн.г}}}{R_{\text{возд.кан}} + R_{\text{гр.}}}}{\frac{1}{R_{\text{из}} + R_{\text{возд}}} + \frac{1}{R_{\text{из}} + R_{\text{возд}}} + \frac{1}{R_{\text{возд.кан}} + R_{\text{гр.}}}} = \frac{\frac{65,2}{1,14 + 0,417} + \frac{48,5}{1,14 + 0,417} + \frac{4,5}{0,049 + 0,155}}{\frac{1}{1,14 + 0,417} + \frac{1}{1,14 + 0,417} + \frac{1}{0,049 + 0,155}} = 31,38^\circ \text{C}$$

$$t_{\text{сп}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{92 + 70}{2} = 81^\circ \text{C}.$$

Критерий Прандтля для движущейся жидкости: $Pr_{c1} = 1760$.

Коэффициент теплопроводности медных труб $\lambda_c = 388,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Формула для расчета среднего значения критерия Нуссельта:

$$Nu_1 = 1,4 \cdot \left(\frac{d}{100}\right) \cdot Re_1 \cdot Pr_1^{\frac{5}{6}} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_c}\right)^{0,25} = 1,4 \cdot \left(\frac{0,012}{100}\right) \cdot 411 \cdot 865_1^{\frac{5}{6}} \cdot \left(\frac{865}{1760}\right)^{0,25} = 3,35.$$

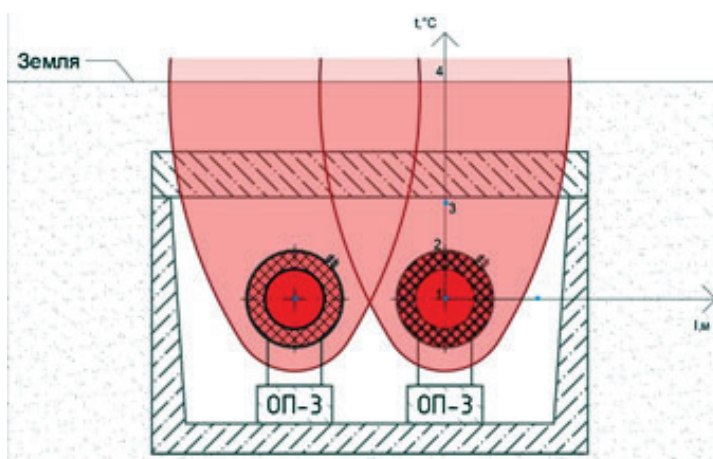


Рисунок 4 – Тепловые потери от трубопровода:

1 – температура горячего теплоносителя (вода) 85 °С; 2 – температура внешней стенки трубы 43 °С;
3 – температура воздуха в канале 31 °С; 4 – температура поверхности земли 10 °С

Можно записать формулу для определения среднего коэффициента теплоотдачи для греющего теплоносителя:

$$a_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_e} = \frac{3,35 \cdot 47,8 \cdot 10^{-2}}{0,53} = 28,3 \frac{Вт}{м \cdot К}.$$

Вычислим средний коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c}} = \frac{1}{\frac{1}{28,3} + \frac{0,008}{388,6}} = 28,57 \frac{Вт}{м \cdot К}.$$

Средний температурный напор для прямоточных и противоточных ТОА с учетом перекрестного тока вычисляется по формуле:

$$\Delta t_n = \frac{\Delta t_{\sigma} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\sigma}}{\Delta t_m}} \cdot \varepsilon_{\Delta t} = \frac{92 - 70}{\ln \frac{92}{70}} \cdot 0,75 = 53,47 \frac{Вт}{м \cdot К}.$$

Найдем температуру стенки трубы (рисунок 4):

$$t_{c1} = t_1 - \frac{K \cdot \Delta t_n}{a_1} = 80 - \frac{28,57 \cdot 53,47}{28,3} = 53,89 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Очевидно, что нецелесообразно проводить ремонтные работы на данном участке спустя менее чем 6 месяцев. Это как экономически невыгодно, так и доставляет неудобства проживающим неподалёку людям. Результаты исследований показали, что можно использовать эти потери для отопления пешеходных дорожек. Если обратить внимание на рисунок 2, то можно отчётливо видеть, что дорожка располагается от магистральной линии всего на расстоянии 5–10 см. Поэтому проблем с переносом пешеходной дорожки не возникнет.

При последующих работах по углублению тепловых камер на уровень грунта, можно смело утверждать, что прокладка тротуара поверх магистральной линии вполне целесообразна [3].

В то же время следует отойти от идеи асфальтирования дорожек. Этот метод является общепринятым, но он уже устарел и стал экологически и финансово невыгодным, поскольку требует больших затрат на ремонт и эксплуатацию. Поэтому авторы предлагают другое решение покрытия пешеходной зоны – выкладку ее тротуарной плиткой. Плитка удобна в монтаже и при эксплуатации. Кроме того, достаточная прочность является основным преимуществом данного материала: она не боится влаги и перепадов температуры (для нас это важно), выдерживает большие нагрузки. Не стоит снимать со счетов и цену тротуарной плитки – её стоимость начинается от 300 р. Кроме того, это решение позволяет без особых проблем производить экстренный ремонт трубопровода. Плитку можно легко снять и использовать повторно после завершения работ.

Таким образом, предложен способ использования тепловых потерь, которых пока избежать невозможно, используя их на обогрев пешеходных зон города.

Литература

1. Нестационарные температурные режимы. URL: https://studopedia.ru/3_44180_nestatsionarniy-teplovoy-rezhim-ograzhdeniya.html
2. Рекомендации по проектированию теплоизоляционных конструкций магистральных трубопроводов. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/54/54143/>
3. Кузнецов Г.В. Процессы тепло- и массопереноса в конструкциях и зонах размещения подземных тепловых сетей: монография / Г.В. Кузнецов, В.Ю. Половников; отв. ред. А.П. Скуратов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2019. 280 С. 260–279.
4. Долинин Д.В. Проектирование энергосберегающих технологий в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (на примере здания Технопарка на объекте «ИЦС Сколково») / Д.В. Долинин: выпускная квалификационная работа. Орск, 2019. 77 с.
5. Баскаков А.П. Теплотехника: Справочник / А.П. Баскаков: URL: https://www.studmed.ru/baskakov-ap-teplotehnika_ab87645402b.html