

бочее тело теплового насоса дросселируется в регулирующем вентиле 4, в результате снижается температура, давление до давления в испарителе, и цикл теплового насоса повторяется. В результате сгорания топлива в парогенераторе 10 образуется пар, направляемый в турбину 11. Пар в турбине совершает полезную работу, после чего направляется в конденсатор 7.

Таким образом, осуществляется перевод низкопотенциального тепла циркуляционной воды конденсатора турбины в теплоту воздуха, подаваемого далее в парогенератор для горения.

УДК 621.643.001:536.2

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Половников В.Ю. , Глазырин Е.С.
Томский политехнический университет

В современной российской [1–4] и зарубежной [5–8] периодической литературе исследованиям по развитию и повышению эффективности систем теплоснабжения посвящено достаточно большое количество работ. При этом особое место занимают работы, связанные с анализом тепловых потерь в тепловых сетях [9–12].

В настоящее время известно [3], что уровень тепловых потерь при транспортировке теплоносителя в тепловых сетях РФ составляет 20–30 %, в то время как в мире он не превышает 6–8 % [13]. Основными причинами такого положения являются высокий износ оборудования сетей теплоснабжения [14] и необходимость усовершенствования регламентирующей базы [15]. При этом основным мероприятием по снижению потерь тепла в тепловых сетях является применение перспективных конструкций теплопроводов и высокоэффективной тепловой изоляции [1, 4, 16–19]. Однако реализация этого мероприятия не приведет к устойчивому положительному эффекту без соответствующей корректировки действующих методов проектирования [20] тепловой изоляции теплопроводов различных конфигураций и назначения.

Действующая методика [20] основана на использовании упрощенных аналитических соотношениях стационарной теплопроводности и в определенной мере далека от современных подходов к прогностическому моделированию тепловых режимов теплопроводов [11, 12, 17, 21, 22].

Одним из перспективных подходов к исследованию режимов работы теплопроводов в условиях реальной эксплуатации является исполь-

зование разнообразных коммерческих или открытых пакетов прикладных программ, позволяющих учитывать различные эффекты и процессы, приводящие к интенсификации процессов переноса в рассматриваемых системах. Следует отметить, что за рубежом как минимум 30 лет назад [23], вследствие роста стоимости энергии, отказались от использования упрощенных подходов к проектированию тепловой изоляции и для каждого конкретного объекта с помощью специальных программных продуктов, учитывающих множество факторов, определяются экономически выгодные параметры изоляционной конструкции, вариант ее компоновки и размещения.

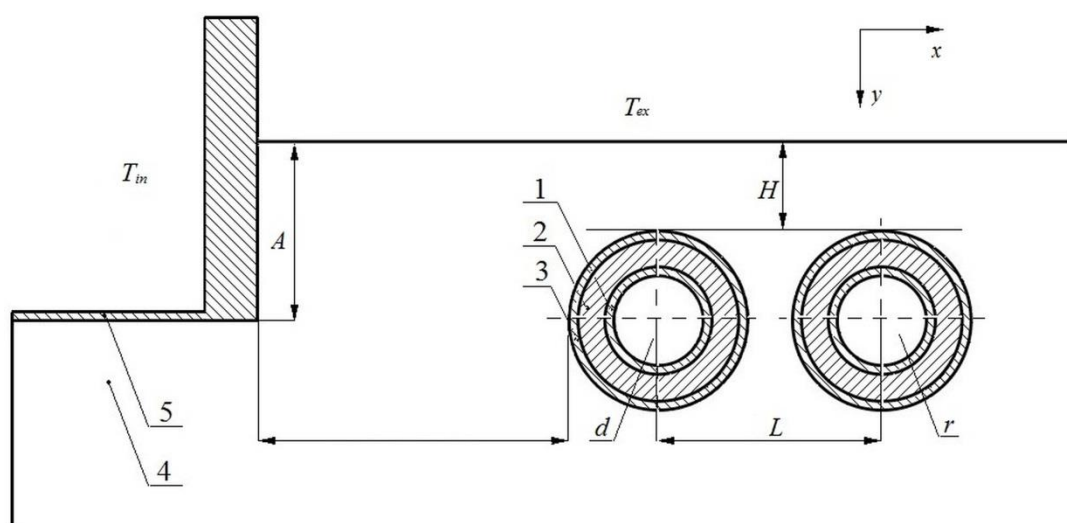


Рис. 1. Схема поперечного сечения области решения:

1 – металлическая стенка трубы; 2 – теплоизоляционный слой; 3 – слой гидроизоляции; 4 – грунт; 5 – инженерное сооружение; d , r – подающий и обратный теплопроводы; H – расстояние от поверхности грунта до верхних точек слоев гидроизоляции; L – расстояние между осями теплопроводов; A – заглубление фундамента; B – расстояние от крайней точки теплопровода до инженерного сооружения.

Целью работы является математическое моделирование тепловых режимов бесканальных теплопроводов, проложенных в зонах влияния инженерных сооружений (тепловые камеры, подвалы зданий), и численный анализ тепловых потерь рассматриваемых объектов в подобных условиях.

Рассматривается типичный теплопровод бесканальной прокладки – трубопроводы, изолированные пенополиуретаном и защитным покровным гидроизоляционным слоем из полиэтилена [24]. Предполагается, что теплопровод эксплуатируется в зоне размещения инженерного сооружения – отапливаемый подвал здания. На рисунке 1 показано схематическое изображение области решения рассматриваемой задачи.

Для рассматриваемой области (рис. 1) решается двумерная стационарная задача теплопроводности в системе «подземный бесканальный теплопровод – окружающая среда» с учетом наличия инженерных сооружений в зоне прокладки.

Следует отметить, что решение нестационарной задачи теплопереноса для рассматриваемой системы (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 [21, 22].

При постановке задачи приняты следующие допущения:

1. На границах между слоями выполняются условия идеального теплового контакта (рис. 1).

2. Теплофизические свойства веществ являются постоянными и известными величинами.

3. Не рассматриваются процессы теплопереноса в теплоносителях подающего и обратного трубопроводов.

4. Потери тепла не влияют на температуру внутренней поверхности трубы. Считается, что на внутренней поверхности труб подающего и обратного трубопроводов поддерживаются постоянные температуры, равные температурам теплоносителей.

Принятые допущения не накладывают принципиальных ограничений на общность постановки задачи и отражают достаточно реальный режим работы бесканального трубопровода тепловой сети.

Математическая модель базируется на традиционных подходах к моделированию физических процессов [11, 12, 21, 22, 25–27] и в предлагаемой постановке будет описываться следующими уравнениями:

$$\nabla^2 T_{d,p} = 0; \quad (1)$$

$$\nabla^2 T_{r,p} = 0; \quad (2)$$

$$\nabla^2 T_{d,i} = 0; \quad (3)$$

$$\nabla^2 T_{r,i} = 0; \quad (4)$$

$$\nabla^2 T_{d,h} = 0; \quad (5)$$

$$\nabla^2 T_{r,h} = 0; \quad (6)$$

$$\nabla^2 T_g = 0; \quad (7)$$

$$\nabla^2 T_f = 0. \quad (8)$$

На внутренних поверхностях подающего и обратного трубопроводов поддерживаются постоянные температуры, равные температурам теплоносителя в трубах:

$$T_{d,p,1} = T_d = \text{const}; \quad (9)$$

$$T_{r,p,1} = T_r = \text{const}. \quad (10)$$

На границах слоев реализуется условия идеального теплового контакта:

$$\lambda_p \text{grad}(T_{d,p,2}) = \lambda_i \text{grad}(T_{d,i,2}); T_{d,p,2} = T_{d,i,2}, \quad (11)$$

$$\lambda_p \text{grad}(T_{r,p,2}) = \lambda_i \text{grad}(T_{r,i,2}); T_{r,p,2} = T_{r,i,2}, \quad (12)$$

$$\lambda_i \text{grad}(T_{d,i,3}) = \lambda_h \text{grad}(T_{d,h,3}); T_{d,i,3} = T_{d,h,3}, \quad (13)$$

$$\lambda_i \text{grad}(T_{r,i,3}) = \lambda_h \text{grad}(T_{r,h,3}); T_{r,i,3} = T_{r,h,3}, \quad (14)$$

$$\lambda_h \text{grad}(T_{d,h,4}) = \lambda_g \text{grad}(T_{d,g,4}); T_{d,h,4} = T_{d,g,4}, \quad (15)$$

$$\lambda_h \text{grad}(T_{r,h,4}) = \lambda_g \text{grad}(T_{r,g,4}); T_{r,h,4} = T_{r,g,4}, \quad (16)$$

$$\lambda_g \text{grad}(T_{g,5}) = \lambda_f \text{grad}(T_{f,5}); T_{g,5} = T_{f,5}. \quad (17)$$

На поверхности раздела «грунт – окружающая среда», «внутренняя поверхность стены – воздух внутри инженерного сооружения», «поверхность пола – воздух внутри инженерного сооружения» и «внешняя поверхность стены – окружающая среда» реализуется условия конвективного теплообмена:

$$-\lambda_g \text{grad}(T_{g,6}) = \alpha_6 (T_{g,6} - T_{ex}); \quad (18)$$

$$-\lambda_f \text{grad}(T_{f,7}) = \alpha_7 (T_{f,7} - T_{in}); \quad (19)$$

$$-\lambda_f \text{grad}(T_{f,8}) = \alpha_8 (T_{f,8} - T_{in}); \quad (20)$$

$$-\lambda_f \text{grad}(T_{f,9}) = \alpha_9 (T_{f,9} - T_{ex}). \quad (21)$$

На внешних границах области решения (рисунок 1) градиенты температур равны нулю:

$$\text{grad}(T_g) = 0, x \rightarrow \pm\infty; y \rightarrow -\infty; \quad (22)$$

$$\text{grad}(T_f) = 0, x \rightarrow -\infty; y \rightarrow +\infty. \quad (23)$$

Обозначения: T – температура, К; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К).

Индексы: d – подающий; r – обратный; p – труба; i – изоляция; h – гидроизоляция; g – грунт; f – фундамент; in – внутренний; ex – наружный; 1 – внутренняя поверхность трубы; 2 – 9 соответственно границы разделов «труба – тепловая изоляция», «тепловая изоляция – гидроизоляция», «гидроизоляция – грунт», «грунт – фундамент», «грунт – окружающая среда», «внутренняя поверхность стены – воздух внутри инженерного сооружения», «поверхность пола – воздух внутри инженерного сооружения», «внешняя поверхность стены – окружающая среда».

Рассматриваемая задача (1)–(23) решена с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics с использованием модуля General Heat Transfer [28], базирующемся на решении задач методом конечных элементов [29, 30].

Исследования проводились на неравномерной конечно-элементной сетке, состоящей из 36015 элементов и 18038 узлов. Количество элементов выбиралось из условий сходимости решения, сгущение сетки проводилось с использованием подпрограммы Mesh COMSOL Multiphysics [28].

Несмотря на то, что при постановке задачи предполагалось использование области решения неограниченных размеров (выражения (22, 23)), при проведении численного моделирования использовалась расчетная область размерами 7 м по вертикали и 16 м по горизонтали. 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 наружным диаметром 0,377 м, изготовленных из стали 10 (толщина стенки 6 мм), тепловая изоляция – пенополиуретан (толщина 0,0553 м) [24], покровный слой – полиэтилен толщиной 6,2 мм [24]. Расстояние от поверхности грунта до верхней части теплопроводов составляло $H=1,5$ м (рис. 1). Расстояние между осями трубопроводов составляло $L=0,65$ м. Расстояние B от оболочки бесканальной прокладки до фундамента здания, выполненного из железобетона, принималось равным 2 и 5 м (рис. 1), а заглубление фундамента составляло $A=2$ м. Температуры внутренней поверхности трубы подающего и обратного теплопровода T_d и T_r принимались равными среднегодовым температурам теплоносителей в подающих и обратных трубопроводах водяных тепловых сетей [31], работающих по температурному графику 95/70°C. Температура окружающей среды принималась равной средней температуре воздуха за отопительный период в городе Томск $T_{ex}=264,35$ К [32], а температура воздуха внутри инженерного сооружения составляла $T_{in}=275,15$ К и 293,15 К. Согласно [33] коэффициенты теплоотдачи на внутренней поверхности ограждающих конструкций инженерного сооружения соответственно для стен и пола по грунту составляли $\alpha_7=8,7$ Вт/(м²·К) и $\alpha_8=4,5$ Вт/(м²·К), для наружной поверхности – $\alpha_9=23$ Вт/(м²·К), от грунта к окружающей среде – $\alpha_6=15$ Вт/(м²·К).

В таблице 1 приведены значения [34] теплопроводности (λ), теплоемкости (C) и плотности (ρ) грунта, фундамента (железобетон), стенки

трубы, тепловой- и гидроизоляции, использовавшиеся при проведении исследований.

Основные результаты численного исследования тепловых режимов бесканальных теплопроводов, проложенных в зоне влияния инженерных сооружений, приведены в таблице 2 на рисунках 2–4.

Обоснованность и достоверность результатов исследований следует из проведенных проверок используемых методов на сходимость и устойчивость решений на множестве сеток, выполнения условий баланса энергии на границах области расчета, а также подтверждается сравнением полученных результатов с известными данными [35, 36] других авторов. Относительная погрешность расчетов во всех вариантах численного анализа не превышала 0,5 %, что является приемлемым при проведении исследований тепловых режимов систем транспортировки тепла.

Таблица 1. Теплофизические характеристики материалов

Материал	Покровный слой	Тепловая изоляция	Стенка трубы	Грунт	Железобетон
λ , Вт/(м·К)	0,33	0,033	50,2	1,5	1,54
C , Дж/(кг·К)	2200	1470	462	1150	887
ρ , кг/м ³	920	50	7700	1960	2200

Таблица 2. Результаты численного моделирования ($q_1=74,74$ Вт/м;
 $q_{\text{норм}}=99,50$ Вт/м)

B , м	T_{in} , К	q_2 , Вт/м	$\delta_1 = \frac{q_1 - q_2}{q_1} 100\%$	$\delta_2 = \frac{q_{\text{норм}} - q_2}{q_{\text{норм}}} 100\%$
5	275,15	73,36	1,85	26,27
	293,15	70,96	5,06	28,68
2	275,15	72,17	3,44	27,47
	293,15	66,68	10,79	32,99

В таблице 2 приведены значения тепловых потерь q_2 бесканального теплопровода проложенного в зоне влияния инженерного сооружения (рисунок 1), а также проведено сравнение этих значений с потерями идентичного теплопровода при отсутствии близ расположенных инженерных сооружений q_1 и потерями бесканального теплопровода $q_{\text{норм}}$, рассчитанными по нормативной методике [20, 31].

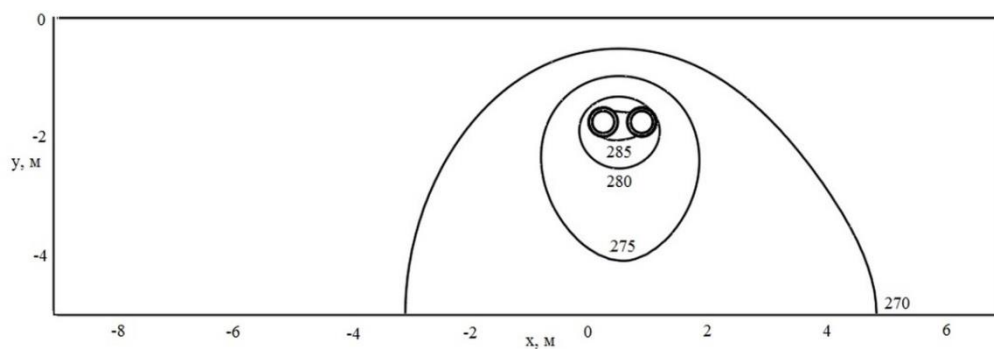


Рис. 2. Температурное поле в зоне прокладки бесканального теплопровода

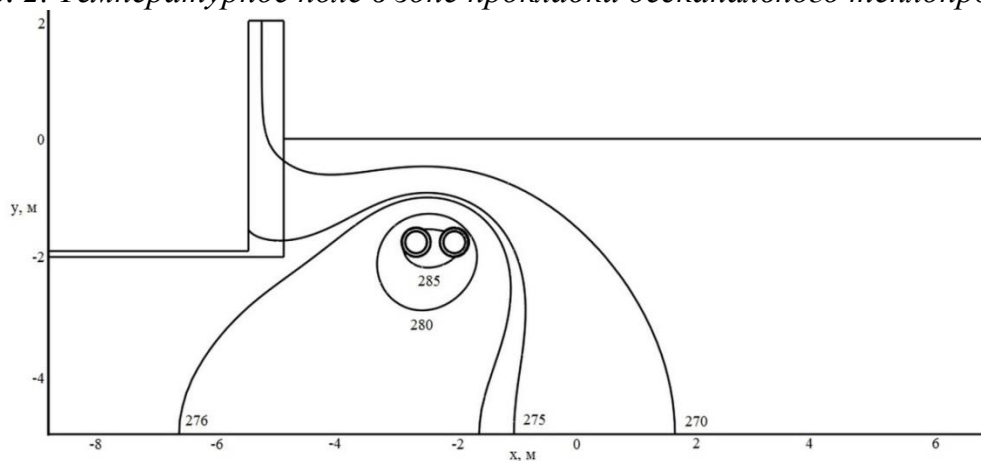


Рис. 3. Температурное поле в зоне прокладки бесканального теплопровода при наличии близ расположенных инженерных сооружений ($B=2$ м, $T_{in}=275,15$ K)

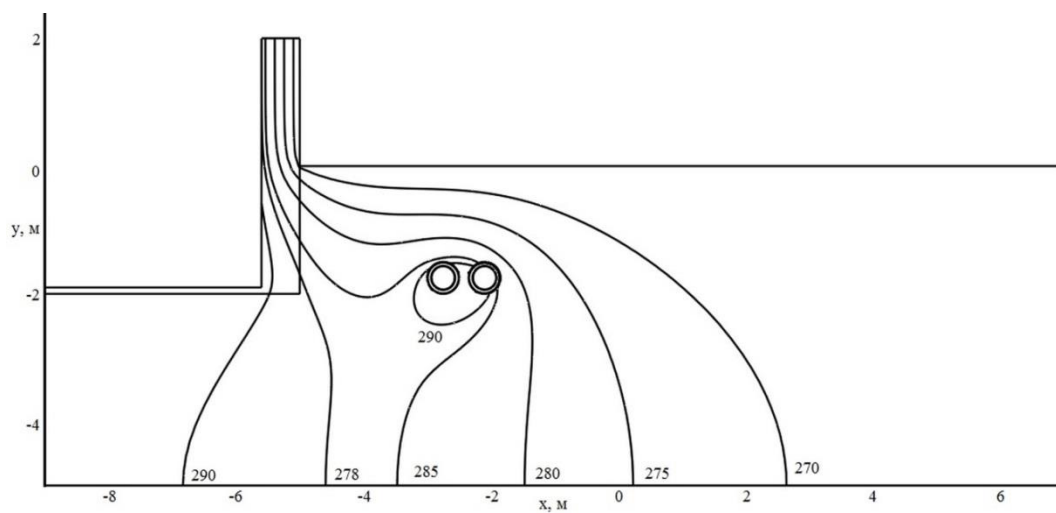


Рис. 4. Температурное поле в зоне прокладки бесканального теплопровода при наличии близ расположенных инженерных сооружений ($B=2$ м, $T_{in}=293,15$ K)

Результаты численного анализа тепловых потерь бесканального теплопровода, приведенные в таблице 2, свидетельствуют об ожидаемом уменьшении тепловых потерь q_2 теплопровода при его прокладке в зоне влияния инженерных сооружений. Анализ изменения величин тепловых потерь в зависимости от расстояния между оболочкой бесканальной прокладки и фундаментом здания позволяет сделать вывод о том, что уменьшение расстояния от 5 м до 2 м приводит к снижению тепловых потерь на 1,62 % при температуре внутри инженерного сооружения $T_{in}=275,15$ К и на 6,03 % при $T_{in}=293,15$ К. Также наблюдается закономерное снижение потерь тепловой энергии, с увеличением температуры воздуха внутри инженерного сооружения, в зоне влияния которого расположен теплопровод. При повышении температуры внутри инженерного сооружения от 275,15 К до 293,15 К снижение тепловых потерь составляет 3,27 % при расстоянии между оболочкой бесканальной прокладки и фундаментом здания $B=5$ м и на 7,61 % при $B=2$ м.

Сопоставление между собой значений q_1 и q_2 (таблица 2) говорит о том что, тепловые потери бесканальных теплопроводов проложенных в зонах влияния инженерных сооружений уменьшаются в диапазоне от $\delta_1=1,53$ % до $\delta_1=10,79$ % в зависимости от значений T_{in} и B .

Сравнение результатов расчета тепловых потерь бесканального теплопровода, проложенного в зоне влияния инженерного сооружения q_2 с тепловыми потерями $q_{норм}$, полученными с использованием методики [20, 31], свидетельствует о том, что методика [20, 31] дает завышенные значения тепловых потерь бесканальных теплопроводов. В предельных случаях отклонение δ_2 составляет от 26,27 до 32,99 %.

На рисунках 2–4, в качестве примеров, приведены типичные температурные поля в зоне размещения бесканального теплопровода при отсутствии близ расположенных инженерных сооружений (рисунок 2) и при их наличии (рисунки 3, 4).

Распределения температур в рассматриваемых областях решения свидетельствуют о том, что изотермические линии (рисунки 2–4) сгущаются непосредственно над трубопроводами, а также вблизи инженерного сооружения и более разрежены при удалении от них, что соответствует представлениям о процессах теплопроводности и хорошо согласуется с результатами предыдущих исследований [21, 22] и теоретическими работами других авторов [35, 36]. При этом необходимо отметить, что в [35, 36] приведено недостаточно сведений для детализированного количественного сопоставления результатов моделирования с данными исследований [35, 36].

Следует еще раз отметить, что результаты проведенных исследований тепловых потерь бесканальных теплопроводов (таблица 2) позволяют сделать вывод о том, что методика [20, 31] является недостаточно корректной и дает завышенные значения тепловых потерь. По этой причине можно рекомендовать ужесточение норм тепловых потерь для бесканальных теплопроводов.

Проведен численный анализ тепловых режимов и тепловых потерь бесканальных теплопроводов, расположенных в зоне влияния инженерных сооружений.

Установлено, что в рамках предложенной модели, тепловые потери теплопровода находящегося в зоне влияния отапливаемого подвала здания уменьшаются в диапазоне от 1,53 до 10,79 в зависимости от температуры внутри инженерного сооружения и расстояния между оболочкой бесканальной прокладки и фундаментом здания.

Выявлено, что нормативная методика [20, 31] дает существенно завышенные значения тепловых потерь бесканальных теплопроводов. Отклонения результатов численного моделирования от данных методики [20, 31] составляет около 33 %.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения разработанного подхода к анализу тепловых режимов и тепловых потерь теплопроводов, находящихся в зоне влияния инженерных сооружений и возможности его применения при создании энергосберегающих систем транспортировки тепла.

Список литературы:

1. Слепченко В.С., Петраков Г.П. Повышение энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей северных и северо-восточных регионов России // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4(22). С. 26-32.
2. Слепченко В. С., Петраков Г.П. Система теплоснабжения Санкт-Петербурга на современном этапе и возможности ее модернизации // Инженерно-строительный журнал. 2009. №7. С. 26-29.
3. 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.
4. Королев И.А., Петраков Г.П. Создание испытательного центра для проверки качества пенополиуретановой изоляции предизолированных трубопроводов, применяемых в системах теплоснабжения // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1. С. 23-25.
5. Rezaie B., Rosen M.A. District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements // Applied Energy. 2012. V.93. Pp. 2–10.
6. Magnusson D. Swedish district heating – A system in stagnation: Current and future trends in the district heating sector // Energy Policy. 2012. V.48. Pp. 449–459.

7. Hawkey D.J.C. District heating in the UK: A Technological Innovation Systems analysis // *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2012. V.5. Pp. 19–32.
8. Fahlén E., Ahlgren E. O. Accounting for external costs in a study of a Swedish district-heating system – An assessment of environmental policies // *Energy Policy*. 2010. V.38. Pp. 4909–4920.
9. Comakli K., Yuksel B., Comakli O. Evaluation of energy and exergy losses in district heating network // *Applied Thermal Engineering*. 2004. V.24. No.7. Pp. 1009–1017.
10. Dalla Rosa A., Li H., Svendsen S. Method for optimal design of pipes for low- energy district heating, with focus on heat losses // *Energy*. 2011. V.36. No.5. Pp. 2407–2418.
11. Kuznetsov G.V., Polovnikov V.Yu. Numerical Investigation of Thermal Regimes in Twin-Tube-Channel Heat Pipelines Using Conductive-Convective Model of Heat Transfer // *Thermal Engineering*. 2012. Vol. 59. No. 4. Pp. 310–315.
12. Kuznetsov G.V., Polovnikov V.Yu. The conjugate problem of convective-conductive heat transfer for heat pipelines // *Journal of Engineering Thermophysics*. 2011. V. 20. No 2. Pp. 217–224.
13. Шишкин А. Н. О проекте федерального закона «О теплоснабжении» // *Новости теплоснабжения*. 2010. № 6. С. 20–24.
14. Умеркин Г. Х., Дроздов С. А., Гончаров А. М., Демиденко Н. Н. Определение остаточного ресурса тепловых сетей по статистическим данным об авариях // *Новости теплоснабжения*. – 2007. – № 11. – С. 42–46.
15. Шойхет Б. М., Ставрицкая Л. В. О нормативной базе промышленной тепловой изоляции // *Энергосбережение*. – 2003. – № 6. – С. 86–89.
16. Байбаков С. А., Тимошкин А. С. Основные направления повышения эффективности тепловых сетей // *Электрические станции*. – 2004. – № 7. – С. 19–25.
17. Eriksson D., Sunden B. Heat and mass transfer in polyurethane insulated district cooling and heating pipes // *Journal of Building physics*. 1998. V. 22. No 1. Pp. 110–131.
18. Emmanuel C. Nsofor & Veera Vijay Pipe Insulation Model for Energy Conservation in Buildings // *Energy Engineering*. 2011. V. 108. No. 3. Pp. 37–50.
19. Lotz W.A. Pipe insulation specification process // *Heating, Piping, Air Conditioning Engineering*. 2003. V. 75. No. 10. Pp. 58–59.
20. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – СПб.: Деан, 2004. – 61 с.
21. Половников В.Ю., Хузеев В.А. Численный анализ влияния промерзания грунта в зоне прокладки на тепловые потери бесканальных теплопроводов // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. №2(37). С. 19–24.
22. Кузнецов Г. В., Половников В. Ю. Численное моделирование теплопереноса в зонах прокладки теплотрасс // *Известия РАН. Энергетика*. – 2012. – № 2. – С. 151–159.
23. Козлов Ю. В. Тепловая изоляция энергооборудования // *Энергетическое строительство за рубежом*. – 1983. – № 4. – С. 25–30.
24. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / под ред. А.А. Николаева. – Курган: Интеграл, 2010. – 357 с.

25. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Transient heat and mass transfer at the ignition of vapor and gas mixture by a moving hot particle // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2010. V. 53. № 5-6. Pp. 923–930.
26. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Distinctive features of the gas-phase ignition of a mixture of a kerosene vapor and air by a steel wire heated to high temperatures // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2009. V. 82. № 6. Pp. 1059–1065.
27. Glushkov D.O., Strizhak P.A. Heat and Mass Transfer at Ignition of Solid Condensed Substance with Relatively Low Calorific Power by a Local Energy Source // Journal of Engineering Thermophysics. 2012. V. 21. № 1. Pp. 69–77.
28. Бирюлин Г. В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.
29. Garcia A.L. Numerical methods for physics. New York: Prentice Hall, 2000. – 423 p.
30. Reddy J. N. An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis. New York: Oxford University Press, 2004. – 480 p.
31. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. М.: Госстрой России, 2001. – 42 с.
32. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
33. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 46 с.
34. Гува А. Я. Краткий теплофизический справочник. Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.
35. Иванов В. В., Шкребко С. В. Моделирование тепловых процессов подземных бесканальных теплотрасс // Вторая Российская национальная конференция по теплообмену. Т. 7. Теплопроводность, теплоизоляция. М.: МЭИ, 1998. С. 106–108.
36. Иванов В. В., Василенко В. В., Черныш С. В. К оценке тепловых потерь подземных теплотрасс // Известия ВУЗов. Строительство. 2000. № 1. С. 66–69.

УДК 621.643.001:536.2

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Половников В.Ю., Губанов Ю.Ю.
Томский политехнический университет

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 сверхнормативных 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 составляет [4] от 10 до 30 % и более, в то время как в мире он не превышает 6-8 % [5].