



Н. М. ВЕСЕЛОВА
П. П. КОНДАУРОВ
А. Д. ЛЁГКИЙ

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ПРЕДПРОЕКТНОЙ СТАДИИ

ON THE ISSUE OF DETERMINING HEAT LOSSES THROUGH THERMAL
INSULATION STRUCTURES OF PIPELINES OF HEAT SUPPLY SYSTEMS
AT THE PRE-DESIGN STAGE

В работе получены зависимости удельных коэффициентов теплопередачи для разных условий прокладки тепловой сети и разных грунтов от расхода теплоносителя. Отклонения удельного коэффициента теплопередачи при разных видах тепловой изоляции трубопроводов не превышают 1,9 %, что дает возможность пренебречь этим условием. Предложен метод определения тепловых потерь на основе распределенной нагрузки теплоносителя. Для модели тепловой сети произведено сравнение суммарных потерь тепловой энергии: нормативных; реальных, полученных на основе теплотехнического расчета; потерь, полученных методом распределенной нагрузки. Расхождения между методами нахождения потерь тепловой энергии по отношению к распределенным потерям составили менее 8 %.

Ключевые слова: теплоснабжение, тепловая сеть, коэффициент теплопередачи, материальная характеристика тепловой сети, нормируемые потери тепловой энергии, распределенные тепловые потери

In the work of obtained the dependences of specific heat transfer coefficients for different conditions of laying a thermal network and different soils from the flow rate of the coolant. Deviations of the specific heat transfer coefficient for different types of thermal insulation of pipelines do not exceed 1,9 %, which makes it possible to ignore this condition. A method for determining heat losses based on the distributed load of the coolant is proposed. For the model of the thermal network, a comparison of the total losses of thermal energy is made: normative; real, obtained on the because of thermal engineering calculation, losses obtained by the distributed load method. The discrepancy between the methods of finding thermal energy losses in relation to distributed losses was less than 8 %.

Keywords: heat supply, heat network, heat transfer coefficient, material characteristics of the heat network, standardized heat losses, distributed heat losses

Введение

По мере роста урбанизации городских территорий растет количество потребителей теплоты и, следовательно, растет тепловая нагрузка. Для увеличения пропускной способности тепловой сети можно провести ее реконструкцию с перекладкой трубопроводов

другого диаметра, что является весьма капиталозатратным мероприятием, или снизить нагрузку на тепловые сети другими возможными способами. Нагрузка сетей обуславливается не только тепловыми потоками, расходуемыми потребителями, но и тепловыми потерями. По оценке некоторых экспертов суммарная доля потерь энергии, связанных с процессом тепло-

передачи через ограждающие конструкции, в тепловых сетях Волгоградской области достигает 30–40 %, в среднем по стране – 20–30 % [1]. Еще большая доля потерь приходится на утечки теплоносителя. Большая часть тепловых потерь выявляется на этапе эксплуатации тепловых сетей и связана с несвоевременным техническим обслуживанием и ремонтом сетей [2, 3]. В то же время для проектируемой тепловой сети можно определить экономически оправданные тепловые потоки, заложив потери тепловой энергии в основу гидравлических расчетов выбора диаметра трубопроводов [4].

Одной из основополагающих задач на стадии предпроектных решений для тепловой сети является определение суммарных тепловых потоков, в которые входят тепловые потери ограждающих конструкций [5]. Суммарная тепловая мощность будет оказывать влияние на тепловую и гидравлический режим сетей и может рассматриваться как ориентир для дальнейшей эксплуатации тепловых сетей.

В соответствии с вышеизложенным необходимо решить следующие задачи в ходе проектирования тепловых сетей:

1) исследовать влияние различных типов изоляции конструкций тепловой сети на тепловые потери;

2) определить укрупненные параметры тепловой сети, отражающие потери тепловой энергии ограждающими конструкциями сети;

3) предложить методику определения тепловых потерь на этапе предпроектных решений или при проектировании источника тепловой энергии.

Методы

В современных методиках существует три вида расчета потерь тепловой энергии в тепловых сетях:

- на основе проведения измерений и получения экспериментальных данных;
- на основе показаний приборов учета потребителей;
- на основе математического моделирования удельных потерь тепловой энергии в тепловой сети.

Нормируемые потери теплоты на участках сети можно определить по методике [6]:

$$Q_n = k_1 \cdot k_u \cdot q_n \cdot L \cdot \beta, \quad (1)$$

где k_1 – поправочный коэффициент фактических тепловых потерь, $k_1 = 1,29$ для Волгограда; k_u – коэффициент, учитывающий тип изоляции, для ППУ $k_u = 0,65$; для тилитовой $k_u = 0,73$;

для базальтовой $k_u = 1,07$; для минеральной ваты $k_u = 1,14$; q_n – нормированные удельные часовые потери теплоты трубопроводами для среднесезонных условий эксплуатации; L – длина участка трубопровода; β – коэффициент местных тепловых потерь, принимается для диаметров трубопроводов до 150 мм $\beta = 1,2$, для трубопроводов диаметром выше 150 мм и для бесканальной прокладки $\beta = 1,15$.

В существующих методиках определения температуры τ у абонентов [7] предполагается, что потери теплоты по всей длине участка тепловой сети остаются неизменными. Тогда, согласно этим положениям, математическое моделирование расчетных потерь тепловой энергии для водяных тепловых сетей будет базироваться на балансовом уравнении

$$Q_p = (\tau - t_o) \cdot K \cdot L = G \cdot c \cdot (\tau - \tau_k), \quad (2)$$

где τ – температура теплоносителя, °С; t_o – температура воздуха для среднесезонных условий эксплуатации трубопроводов; $K = \beta / R$ – удельная тепловая проводимость конструкций трубопровода с учетом условий прокладки и вида изоляции (удельный коэффициент теплопередачи); R – термическое сопротивление конструкции трубопровода, м·°С / Вт; G – расход теплоносителя, кг/с; c – удельная теплоемкость теплоносителя, кДж/кг·°С; $(\tau - \tau_k)$ – падение температуры теплоносителя в трубопроводе; τ_k – температура теплоносителя в конечной точке трубопровода.

В общем виде выражение определения потерь тепла (2) для участка трубопровода может быть записано как

$$Q_p^2 - Q_p (\tau_k - t_o) \cdot K \cdot L - G \cdot c \cdot K \cdot L = 0. \quad (3)$$

Решением данного уравнения будет выражение

$$Q_p = 0,5 K \cdot L \cdot \Delta\tau + 0,5 \sqrt{(K \cdot L \cdot \Delta\tau)^2 + 4 \cdot G \cdot c \cdot K \cdot L}, \quad (4)$$

где $\Delta\tau = (\tau_k - t_o)$ – температурный напор между теплоносителем и окружающей средой.

Если рассматривать сеть целиком, то очевидно, что величина K будет зависеть от вида изоляции, способа прокладки и от диаметров трубопроводов, которые в свою очередь зависят от расхода теплоносителя.

Коэффициент теплопередачи определяется на основе СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов», для его нахождения подставлялись следующие коэффициенты теплопроводности: 0,028 Вт/(м·°С) для ППУ изоляции, 0,039 Вт/(м·°С) для тилито-

вой изоляции, 0,046 Вт/(м⁰.С) для базальтовой изоляции, 0,058 Вт/(м⁰.С) для минераловатной изоляции, 58 Вт/(м⁰.С) для стальных труб, 2,04 Вт/(м⁰.С) для железобетона, 5,86 Вт/(м⁰.С) для грунта Волгоградской области при 10 % влажности [8]. Глубина заложения трубопроводов 0,7 м. Толщина изоляции варьировалась в зависимости от диаметра трубопровода на основе имеющегося опытного применения.

Термическое сопротивление на поверхности трубопровода, проложенного на открытом воздухе, зависит от температуры окружающей среды и скорости ветра [9]:

$$R_{нов} = \frac{1}{0,21 \cdot \pi \cdot \beta_{\phi} \cdot Re^{0,6} \cdot \lambda_{в}}, \quad (5)$$

где β_{ϕ} – поправочный коэффициент, учитывающий направление воздушного потока по отношению к оси теплопровода; Re – критерий Рейнольдса; $\lambda_{в}$ – коэффициент теплопроводности воздуха.

Параметры воздуха принимались для Волгоградского региона: $\omega = 4,8$ м/с – среднесезонная скорость ветра; $t_c = -3,4$ °С – среднесезонная температура воздуха.

Результаты расчета показали, что для любых способов прокладки термическая проводимость конструкций трубопроводов с различными теплоизоляционными материалами имеют близкие по значению зависимости (рис. 1). Наибольшее отклонение между коэффициентами теплопередачи составило 1,9 %, т. е. вид тепловой изоляции глобально не влияет на коэффициент теплопередачи. Поэтому можно вести обобщенный расчет потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции трубопроводов без учета типа тепловой изоляции.

Так как на предпроектной стадии гидравлический расчет тепловых сетей еще отсутствует, то диаметры трубопроводов D можно выразить через расходы теплоносителя G, используя материальную характеристику сети [7, 10]:

$$D = \frac{A_d^{\beta}}{R_a^{0,19}} \cdot G^{0,38} = 0,0344 \cdot G^{0,38}, \quad (6)$$

где $A_d^{\beta} = 0,0723$ – коэффициент, отнесенный к диаметру трубопровода, зависящий от шероховатости трубы; $R_a = 50$ – удельное линейное падение давления, кг/(м²м).

Учитывая выражение (6), можно получить зависимость удельных коэффициентов теплопередачи от расходов:

$$K = f(G). \quad (7)$$

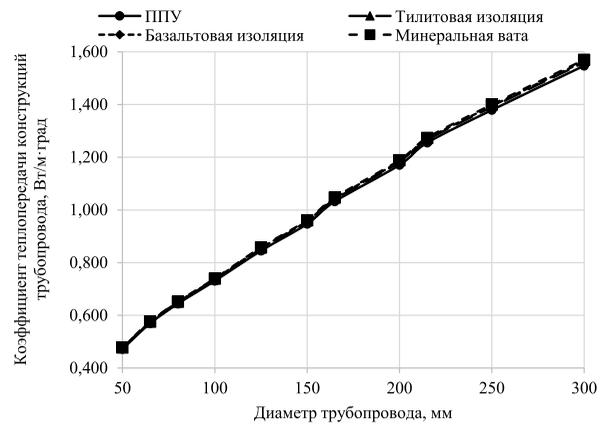


Рис. 1. Зависимости суммарных термических сопротивлений теплоизоляционных конструкций трубопроводов, проложенных в непроходных каналах от диаметров

Fig. 1. Dependences of total thermal resistance of heat insulation structures of pipelines laid in non-pass channels on diameters

В работе удельные коэффициенты теплопередачи в зависимости от расхода теплоносителя были рассмотрены для вариантов различных грунтов при различном способе прокладки тепловой сети. В расчетах принимались коэффициенты теплопроводности грунтов согласно РД 39-0147103-87 «Выбор расчетных значений коэффициентов теплопроводности грунта при проектировании трубопроводов» (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты теплопроводности почв при 20 % влажности
Table 1. Thermal conductivity coefficients of soils at 20 % humidity

Вид грунта	λ , Вт/м·град	Вид грунта	λ , Вт/м·град
Известковые почвы	5,86	Лёссовые почвы	1,64
Скальные породы	3,48	Суглинки	1,51
Песчаные почвы	2,56	Глинистые почвы	1,3
Супеси	1,8	Заторфенные почвы (черноземы)	0,84

Удельные коэффициенты теплопередачи различных конструкций хорошо аппроксимируются степенными зависимостями от величины расхода теплоносителя (величина достоверности аппроксимации 0,9995):

$$K = f(G) = k_{\sigma} \cdot G_i^{\sigma}. \quad (8)$$

Для условий Волгоградской области аппроксимация удельных коэффициентов теплопередачи тепловой сети при прокладке ее в непроходных каналах представлена на рис.2.

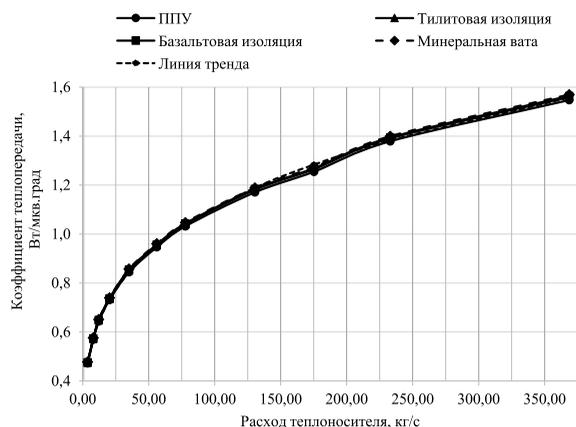


Рис. 2. Коэффициент теплопередачи теплоизоляционных конструкций трубопроводов с различными теплоизоляционными материалами, проложенными в непроходных каналах в зависимости от расхода теплоносителя

Fig. 2. Heat transfer coefficient of heat insulation structures of pipelines with various thermal insulation materials laid in non-pass channels depending on the coolant flow rate

В результате рассмотрения различных видов прокладки трубопроводов при различных грунтах были получены степенные зависимости для канальной прокладки, для бесканальной прокладки и наземной прокладки (табл. 2). Для условий Волгоградской области такие зависимости показаны на рис. 3.

Таблица 2. Удельные коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций трубопроводов
Table 2. Specific heat transfer coefficients of pipeline enclosing structures

Вид грунта	Удельный коэффициент теплопередачи $K = k_{\sigma} \cdot G_i^{\sigma}$		
	Способ прокладки тепловой сети		
	в непроходных каналах	бесканальный	наземный
Известковые почвы (для Волгоградской области)	$0,335 \cdot G^{0,26}$	$0,39 \cdot G^{0,245}$	$0,39 \cdot G^{0,274}$
Скальные породы	$0,336 \cdot G^{0,256}$	$0,38 \cdot G^{0,24}$	
Песчаные почвы	$0,334 \cdot G^{0,25}$	$0,376 \cdot G^{0,236}$	
Супеси	$0,33 \cdot G^{0,25}$	$0,364 \cdot G^{0,23}$	
Лёссовые почвы	$0,33 \cdot G^{0,247}$	$0,36 \cdot G^{0,23}$	
Суглинки	$0,328 \cdot G^{0,246}$	$0,357 \cdot G^{0,226}$	
Глинистые почвы	$0,326 \cdot G^{0,24}$	$0,35 \cdot G^{0,22}$	
Заторфенные почвы (черноземы)	$0,317 \cdot G^{0,234}$	$0,325 \cdot G^{0,21}$	

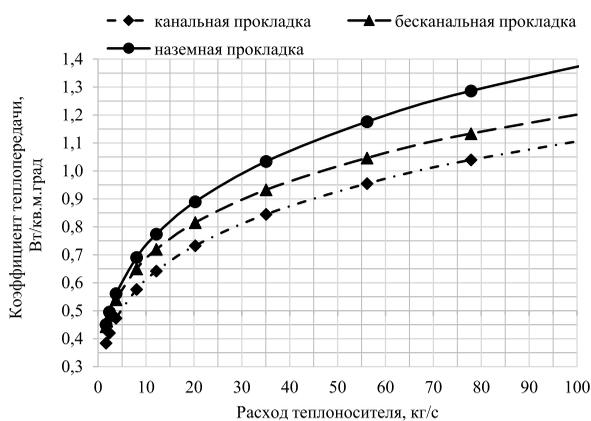


Рис. 3. Коэффициент теплопередачи конструкций трубопроводов для различных условий прокладки в условиях Волгоградской области в зависимости от расхода теплоносителя

Fig. 3. Heat transfer coefficient of pipeline structures for different laying conditions in the Volgograd region depending on the coolant flow rate

Результаты

При равномерно распределенной нагрузке магистрального трубопровода от источника к удаленному потребителю можно внести допущение, что расход теплоносителя на участке будет определяться как $G = g_i \cdot L$. С учетом этого формула (4) преобразуется:

$$Q_p = 0,5 \cdot k_{\sigma} \cdot g_i^{\sigma} L^{(1+\sigma)} \cdot \Delta\tau + 0,5 \sqrt{[k_{\sigma} \cdot g_i^{\sigma} L^{(1+\sigma)} \cdot \Delta\tau]^2 + 4 \cdot c \cdot k_{\sigma} \cdot g_i^{(1+\sigma)} L^{(2+\sigma)}}, \quad (9)$$

где k_{ω} – удельный коэффициент теплопередачи при $\omega = 0$, кВт/(м³·°С); ω – показатель степени функции $K = f(G)$; g_i – распределенный расход по длине трубопровода, кг/(с·м), определялся по аналогии с распределенной мощностью для электрической сети (MW-mile method) [11]:

$$g_i = \sum_{j=1}^n (G_{yч.i} / l_{\Sigma}), \quad (10)$$

здесь $G_{yч.i}$ – расход на i -м участке, кг/с; l_{Σ} – суммарная длина от источника до i -го участка, м; j – количество потребителей, участвующих в нагрузке i -го участка тепловой сети.

Данное выражение будет характеризовать распределенные тепловые потери в тепловых водяных сетях.

В работе были рассчитаны тепловые потери для сети, представленной на рис. 4, используя метод нормированных удельных потерь (1), теплотехнический расчет (4) и метод распределенного теплового потока (9).

Нормированные потери были приняты исходя из условий Волгоградской области по СП 61.1333.2012 для тепловой сети 115/70 °С.

Исходными данными для определения тепловых потерь на участках тепловых сетей на основе выражения (4) и выражения (9) являлись: теплоперепад между среднесезонными температурами теплоносителя и окружающей среды $\Delta t = (t_{\kappa} - t_0) = (73,3 + 3,4) = 76,6$ °С; теплоемкость теплоносителя $c = 4185$ Дж/(кг·град).

Результаты расчетов суммарных тепловых потерь для рассматриваемой сети, проложенной в непроходных каналах, показаны в табл. 3.

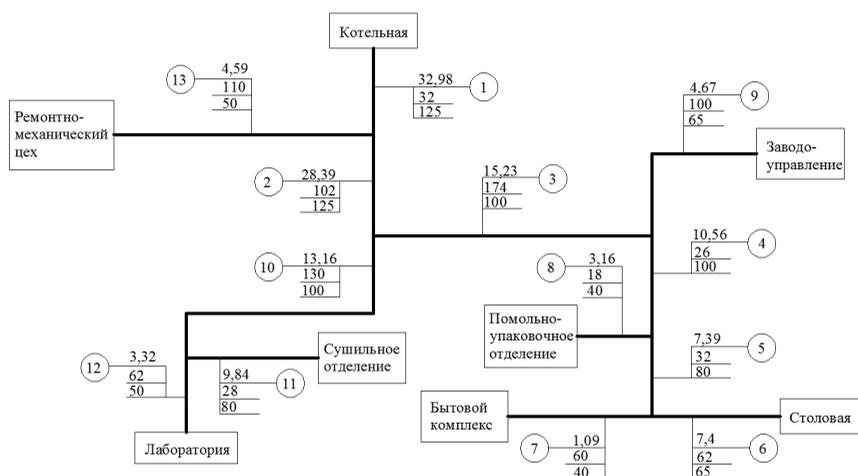


Рис. 4. Модель тепловой сети
Fig. 4. Heating network model

Таблица 3. Расчет суммарных тепловых потерь для сети (см. рис. 3)
Table 3. Calculation of total heat losses for the network (see fig. 3)

№ участка	Условный диаметр	Диаметр трубопровода	Δt	Длина, м	Нормируемые потери		Расчетные потери		Распределенные потери	
					$q_{нр}$, Вт/м	$Q_{нр}$, Вт	K , Вт/м ³ ·град	$Q_{р}$, Вт	Удельный расход, кг/м·с	$Q_{р-р}$, Вт
1	125	133x4	76,7	32	47	1940,2	0,846	2076,4	1,516	3860,2
2	125	133x4		102	47	6184,3	0,846	6618,6	0,454	9188,2
3	100	108x4		174	42	9427,3	0,736	9822,5	0,142	11641,9
4	100	108x4		26	42	1408,7	0,736	1467,7	0,081	923,7
5	80	89x3,5		32	37	1527,4	0,648	1590,5	0,040	955,2
6	65	76x3,5		62	34	2719,3	0,582	2767,6	0,017	1702,9
7	40	45x2,5		60	27	2089,8	0,472	2172,1	0,003	969,5
8	40	45x2,5		18	27	626,9	0,472	651,6	0,009	300,8

Окончание табл. 3

№ участка	Условный диаметр	Диаметр трубопровода	Δt	Длина, м	Нормируемые потери		Расчетные потери		Распределенные потери	
					$q_{н'}$, Вт/м	$Q_{н'}$, Вт	K , Вт/м ³ ·град	$Q_{р'}$, Вт	Удельный расход, кг/м·с	$Q_{р-р'}$, Вт
9	65	76х3,5	76,7	100	34	4386,0	0,582	4463,9	0,011	2762,1
10	100	108х4		130	42	7043,4	0,736	7338,7	0,100	7253,5
11	80	89х3,5		28	37	1336,4	0,648	1391,6	0,034	767,5
12	50	57х3,5		62	31	2479,4	0,516	2453,8	0,010	1468,3
13	50	57х3,5		110	31	4398,9	0,516	4353,5	0,032	4174,8
Всего:						45568,0		47168,7		45968,6

Обсуждения

Потери на участках тепловой сети, полученные методом распределенных тепловых потоков, как видно из табл. 3, существенно отличаются от нормативных потерь и потерь, полученных на основе теплотехнического расчета. По причине этого пользоваться данным методом при проектировании и эксплуатации тепловой сети нельзя.

Потери, полученные на основе теплотехнического расчета, превышают нормируемые. Это говорит о том, что в нормативных документах не учитывают свойства грунта при подземной прокладке коммуникаций.

При расчете подземных способов прокладки должны быть учтены (в СП 61.1333.2012 об этом говорится) и термическое сопротивление грунта, и термическое сопротивление канала, и даже влияние трубопроводов друг на друга).

Метод расчета тепловой изоляции по нормируемым тепловым потерям подразумевает выбор фактической толщины тепловой изоляции такой, чтобы фактические тепловые потери были не больше нормируемых.

В то же время суммарные потери теплоты для всей тепловой сети, рассчитанные разными методами, имеют хорошую сходимость. Погрешность между распределенными потерями и нормативными составляет 0,9 %, погрешность между разными методами – не более 3,5 %.

По аналогии были рассчитаны тепловые потери для данной модели сети при прокладке ее бесканально и наземно. Нормируемые потери и потери, полученные теплотехническим расчетом, практически не отличаются. Расхождения между суммарными распределенными потерями и нормативными потерями составляют менее 8 %.

Это дает право применять методику распределенных тепловых потерь на стадии проектных решений, когда требуется определить искомую мощность источника теплоты или падение температуры в трубопроводах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Терентьева А.С. Анализ основных проблем централизованного теплоснабжения в России на современном этапе // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2020. № 18. С. 253–273. DOI: 10.47711/2076-318-2020-253-273.
2. Бадах В.Ф., Кузнецова А.Д. Определение потерь в сетях коммунального теплоснабжения // Техничко-технологические проблемы сервиса: Организационно-экономические аспекты сервиса. 2010. №3 (13). С. 84–92.
3. Чулков А.А., Вытчиков Ю.С., Кудинов И.В. Исследование динамических характеристик отопительных приборов // Градостроительство и архитектура. 2016. № 4(25). С. 44–48. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.8.
4. Нияковский А.М., Гончаров Э.И., Мишутто О.И. К выбору плотности теплового потока при проектировании тепловой изоляции тепловых сетей // Вестник Полоцкого государственного университета, Серия F «Строительство». Прикладные науки. 2017. № 8. С. 147–155.
5. Зарубин С.Н. Качественное проектирование тепловых сетей – основа надёжной работы системы теплоснабжения [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id = 4170 (дата обращения: 14.02.2024).
6. Ахметова И. Г., Чичирова Н.Д. К вопросу о методике расчёта тепловых потерь в сетях централизованного теплоснабжения [Электронный ресурс]. URL: www.rosteplo.ru/nt/200 (дата обращения: 14.02.2024).
7. Melkumov V.N., Tulskaaya S.G., Chuykina A.A., Dubanin V.Yu. Solving the multi-criteria optimization problem of heat energy transport // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. V. 1258. P. 3–10. DOI: 10.1007/978-3-030-57450-5_1.
8. Рулев А.С., Рулева О.В. Теплофизические свойства почв Волгоградской области. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, №5. С. 337–348. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-5-337-348.
9. Гавей О.Ф., Панферов В.И. Оценка влияния температуры теплоносителя на тепловые потери теплопроводов // Вестник ЮУрГУ. Строительство и архитектура. 2012. № 38(15). С. 50–54.

10. Чуйкина А.А., Лобода А.В., Сотникова О.А. Проектирование оптимальной трубопроводной трассы тепловой сети // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. №2. С. 28–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-2-28-37.

11. Gaurav J., Kanwardeep S., Dheeraj K. P. Transmission wheeling cost evaluation using MW-Mile methodology // Nirma university international conference on engineering, NUiCONE-2012, 06-08 December. Ahmedabad, India. 2012. P. 1–6. DOI: 10.1109/NUiCONE.2012.6493264.

REFERENCES

1. Terentyeva A.S. Analysis of the main problems of district heating in Russia at the present stage. *Nauchnye trudy: Institut narodnohozjajstvennogo prognozirovaniya RAN* [Scientific works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences], 2020, no. 18, pp. 253–273. (in Russian) DOI: 10.47711/2076-318-2020-253-273

2. Badakh V.F., Kuznetsova A.D. Determination of losses in public heat supply networks. *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa: Organizacionno-jekonomicheskie aspekty servisa* [Technical and technological problems of service: Organizational and economic aspects of service], 2010, no. 3(13), pp. 84–92. (in Russian)

3. Chulkov A.A., Vytchikov Yu.S., Kudinov I.V. Study of dynamic characteristics of heating devices. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban planning and architecture], 2016, no. 4(25), pp. 44–48. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.8

4. Niyakovskiy A.M., Goncharov E.I., Mishuto O.I. To the choice of heat flux density in the design of thermal insulation of heating networks. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya F «Stroitel'stvo». Prikladnye nauki* [Bulletin of Polotsk State University, Series F "Construction." Applied sciences], 2017, no. 8, pp. 147–155. (in Russian)

5. Zarubin S.N. High-quality design of heating networks is the basis for reliable operation of the heat supply system. Available at: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id = 4170 (accessed 14 February 2024).

6. Akhmetova I.G., Chichirova N.D. On the method of calculating heat losses in district heating networks. Available at: www.rosteplo.ru/nt/200 (accessed 14 February 2024).

7. Melkumov V.N., Tulskaia S.G., Chuykina A.A., Dubanin V.Yu. Solving the multi-criteria optimization problem of heat energy transport. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. V. 1258. P. 3–10. DOI: 10.1007/978-3-030-57450-5_1

8. Rulev A.S., Ruleva O.V. Thermal properties of soils of the Volgograd region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. V. 14. N 5. P. 337–348. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-5-337-348

9. Gavey O.F., Panferov V.I. Assessment of the Influence of Coolant Temperature on Thermal Losses of Heat Pipelines. *Vestnik JuUrGU. Stroitel'stvo i arhitektura* [SUSU Bulletin. Construction and architecture], 2012, no. 38(15), pp. 50–54. (in Russian)

10. Chuikina A.A., Loboda A.V., Sotnikova O.A. Design of the optimal pipeline route of the heating network. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova* [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov], 2021, no. 2, pp. 28–37. (in Russian) DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-2-28-37

11. Gaurav J., Kanwardeep S., Dheeraj K. P. Transmission wheeling cost evaluation using MW-Mile methodology. Nirma university international conference on engineering. NUiCONE-2012, 06-08 December. Ahmedabad. India. 2012. P. 1–6. DOI: 10.1109/NUiCONE.2012.6493264

Об авторах:

ВЕСЕЛОВА Наталья Михайловна

кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции
Волгоградский государственный технический университет
400074, Россия, г. Волгоград, ул. Академическая, 1
E-mail: veselovanm28@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8182-9774

VESELOVA Natalya M.

PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of the Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Volgograd State Technical University
400074, Russia, Volgograd, Akademicheskaya st., 1
E-mail: veselovanm28@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8182-9774

КОНДАУРОВ Павел Петрович

кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции
Волгоградский государственный технический университет
400074, Россия, г. Волгоград, ул. Академическая, 1
E-mail: pavka_kpp@mail.ru
ORCID: 0009-0003-0581-3086

KONDAUROV Pavel Petrovich

PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of the Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Volgograd State Technical University
400074, Russia, Volgograd, Akademicheskaya st., 1
E-mail: pavka_kpp@mail.ru
ORCID: 0009-0003-0581-3086

ЛЁГКИЙ Александр Дмитриевич

старший преподаватель кафедры энергообеспечения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции
Волгоградский государственный технический университет
400074, Россия, г. Волгоград, ул. Академическая, 1
E-mail: alegkii@mail.ru
ORCID: 0009-0004-0708-0530

LEGKII Aleksandr Dmitriyevich

Senior Lecturer of the Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Volgograd State Technical University
400074, Russia, Volgograd, Akademicheskaya st., 1
E-mail: alegkii@mail.ru
ORCID: 0009-0004-0708-0530

Для цитирования: *Веселова Н.М., Кондауров П.П., Лёгкий А.Д.* К вопросу определения тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов систем теплоснабжения на предпроектной стадии // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 4. С. 25–32. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.04.04.

For citation: *Veselova N.M., Kondaurov P.P., Legkii A.D.* On the issue of determining heat losses through thermal insulation structures of pipelines of heat supply systems at the pre-design stage. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 4, pp. 25–32. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.04.04.