

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.31

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-5-133-144

Д.А. СУГЛОБОВ¹, Е.И. ВЯЛКОВА¹, Е.Ю. ОСИПОВА²,

¹Тюменский индустриальный университет,

²Томский государственный архитектурно-строительный университет

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ КАНАЛИЗАЦИИ В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. Территории Арктических зон России расположены, как правило, в местах распространения многолетнемерзлых грунтов, которые намного осложняют эксплуатацию и строительство сетей канализации в населенных пунктах. Для обеспечения эффективного энергосбережения при сохранении степени надежности функционирования системы предлагаются к использованию в проектировании варианты теплотехнического расчета участков трубопроводов напорной и самотечной хозяйственно-бытовой канализации.

По результатам расчетов разработаны диаграмма и графики, позволяющие достаточно быстро и точно определить параметры теплоизоляции и способы поддержания положительных температур сточных вод при их транспортировке в холодное время года. Полученные расчетные данные помогут на практике выбрать наиболее энергосберегающий и надежный вариант проектного решения. Рекомендации, разработанные на основе теплотехнического анализа, помогут принять верное инженерное решение при проектировании сетей канализации в специфических условиях севера.

Ключевые слова: сети канализации, многолетнемерзлые грунты, теплотехнический расчет, теплоизоляция, энергосбережение

Для цитирования: Суглобов Д.А., Вялкова Е.И., Осипова Е.Ю. Особенности проектирования сетей канализации в арктических условиях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 5. С. 133–144.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-5-133-144

D.A. SUGLOBOV¹, E.I. VYALKOVA¹, E.YU. OSIPOVA²,

¹Industrial University of Tyumen,

²Tomsk State University of Architecture and Building

WASTEWATER SYSTEM DESIGN IN ARCTIC CONDITIONS

Abstract. Purpose: The Arctic territories of Russia are mostly situated on the permafrost soils, which greatly complicate the service and construction of wastewater systems in urban

areas. *Design*: Options are proposed for the thermal and technical calculation of pipeline sections of the pressure and gravity domestic sewage system to ensure an effective energy saving while maintaining reliability of the system operation. *Research findings*: Diagrams are suggested to quickly and accurately determine the thermal insulation parameters and ways to maintain positive wastewater temperatures during their transportation in a cold season. *Practical implications*: The obtained data can be used to select the most energy-efficient and reliable design solution. *Originality/value*: Recommendations on the thermal analysis will help to draw the right engineering decision in designing sewerage networks in northern conditions.

Keywords: sewerage network, permafrost soil, thermal analysis, thermal insulation, energy saving

For citation: Suglobov D.A., Vyalkova E.I., Osipova E.Yu. Osobennosti proektirovaniya setei kanalizatsii v arkticheskikh usloviyakh [Wastewater system design in arctic conditions]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 5. Pp. 133–144. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-5-133-144

Введение

Многолетнемерзлые грунты занимают примерно одну четверть всей территории суши нашей планеты, из которых на долю территории России приходится около 65 %. При этом в Сибири площадь «вечной мерзлоты» занимает 85 %, а в Республике Саха – 95 %. При населении в Арктической зоне РФ более 2 млн чел. небольшие поселения интенсивно развивают свои инфраструктуры, включая централизованные системы водоснабжения и водоотведения [1]. В связи со сложными природными, гидрологическими и геологическими условиями, возникает необходимость в мероприятиях по предотвращению промерзания трубопроводов, транспортирующих воду. Однако себестоимость воды в северных районах в 20–30 раз выше, чем в средней полосе страны. Это связано со значительным потреблением электроэнергии на транспортирование и подогрев воды на 15–20 °C [2].

В сложившейся современной практике проектирования при разработке проектов систем водоснабжения и канализации исполнители чаще всего не делают подробных теплотехнических расчетов ввиду их сложности и отсутствия отработанной методики, а ориентируются на типовые решения. По этой причине возникают завышенные затраты на теплоизолирующие материалы, а также расход электроэнергии для поддержания сетей в рабочем состоянии или существенно снижается надежность работы инженерных систем в холодный период года. Более точные технические расчеты и обоснованные инженерные решения с точки зрения энергосбережения позволят сократить капитальные и эксплуатационные затраты строительных объектов [3].

Теплотехнический анализ систем, транспортирующих воду по трубам в условиях многолетнемерзлых грунтов, освещался в работах А.В. Гинзбурга, А.А. Кунаховича, М.М. Андрияшева, А.П. Ястребова и других ученых [2, 4–6].

Известно, что из-за наличия вечной мерзлоты и сурового климата возникает проблема обеспечения проектного расположения трубопровода. Значительная глубина (до 2 м и более) слоя сезонного оттаивания и низкая несущая способность талых грунтов повлияли на практику распространения надземных способов прокладки труб на опорах или эстакадах. Трубопровод, проложенный

над поверхностью земли, наиболее подвержен влиянию отрицательных температур по сравнению с подземным способом прокладки. Следовательно, необходимо обеспечивать надежную теплоизоляцию и эффективный обогрев труб в холодный период года [7].

В публикациях О.Г. Латуевой, М.В. Дементьевой, А.А. Курохтина и Н.Н. Хренкова [8–10] рассматриваются методы по предотвращению промерзания трубопроводов и резервуаров в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов на основании опыта проектирования и исследования реальных объектов с точки зрения технико-экономической эффективности.

Анализ систем обогрева трубопроводов показал, что экономически выгодно использовать паропровод от местных паронагнетательных установок или котельных. Если это достаточно протяженный участок трубы, то применение паропровода неэффективно. Также на слишком коротких участках целесообразно использование электрического кабеля [8].

При выборе способа надежного метода обогрева блоков канализационных насосных станций (КНС) рассматривалось два метода внутреннего поддержания тепла стоков: 1 – с помощью греющего электрокабеля; 2 – за счет водяного теплообменника. При этом учитывались следующие критерии: трудозатраты и экономичность строительства, затраты на эксплуатацию. Наиболее целесообразным оказался вариант поддержания тепла с помощью греющего электрокабеля, поскольку такое решение имеет автономный источник обогрева внутри блоков КНС, что обеспечивает дополнительный резерв и повышает надежность работы системы [9].

Н.Н. Хренков [10] провел моделирование и расчет тепловых режимов обогрева стального и пластикового трубопровода саморегулирующимися кабелями при температуре минус 40 °С. Низкая теплопроводность пластикового трубопровода в случае остановки потока вызывает перегрев воды, это может вызвать значительные деформации труб. Стальные трубы такому явлению не подвержены и работают более надежно. Но в данном случае не учитывается агрессивность сточных вод по отношению к стали, особенно при повышении температуры воды. В любом случае следует избегать перегрева системы не только с целью предупреждения высоких энергозатрат, но и по причине возможного сокращения срока исправной эксплуатации системы в целом.

В настоящей работе сделана попытка решить следующие задачи: выполнение теплотехнических расчетов трубопроводов систем водоотведения для напорных и безнапорных участков сети с использованием различных типов теплоизоляционных материалов; разработка рекомендаций для проектирования сетей водоотведения в условиях Арктики с учетом энергосбережения и надежности сооружений.

Методы и материалы

Теплотехнический расчет напорного участка сети хозяйственно-бытовой канализации принят согласно СП 61.13330.2012 [11] и основан на принципе расчета тепловых сетей. Тепловые потери через изолированную поверхность трубопроводов при надземной прокладке и при известной толщине изоляции определялись по формуле (1), а термические сопротивления по формуле (2).

$$q_L = \frac{(t_b - t_n)K}{\sum_{i=1}^n R_i^L + R_n^L}, \quad (1)$$

где K – коэффициент дополнительных потерь, учитывающий теплопотери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях, обусловленных наличием в них крепежных деталей и опор; t_b – температура среды внутри изолируемого объекта (в данном случае – минимально допустимая температура сточной воды), °С; R_i^L – полное линейное термическое сопротивление однослойной цилиндрической изоляции, м·°С/Вт; R_n^L – линейное термическое сопротивление теплоотдаче наружной изоляции, м·°С/Вт.

$$R_{ст}^L = \frac{\lambda_{ст}}{\delta_{ст}}, \quad (2)$$

где $R_{ст}^L$ – линейное термическое сопротивление трубопровода, м·°С/Вт; $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки трубопровода, м·°С/Вт; $\delta_{ст}$ – толщина стенки трубопровода, м.

Расчет толщины тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока для однослойных конструкций выполняется по формуле (3) для однослойных цилиндрических поверхностей диаметром менее 2 м:

$$\ln B = 2\pi\lambda_{из} \left[\frac{K(t_b - t_n)}{q_L^n} - R_n^L \right]. \quad (3)$$

Коэффициент дополнительных тепловых потерь K через опоры трубопроводов принимается равным 1. Приближенные значения R_n^L принимаются по табл. В.3 [12]; $\delta_{из}$ – толщина изоляции, принята по расчету исходя из толщины стенки трубы, м.

Для сравнительного анализа рассмотрены следующие случаи: а) сравнение толщины теплоизоляции для трубопровода (условный диаметр 50–200 мм) для стальных труб в ППУ-изоляции; б) сравнение материалов теплоизоляции (ППУ – пенополиуретан; ППС – экструдированный пенополистирол; СВА – стекловата марки Rockwool; МВА – минеральная вата, полуцилиндры) в зависимости от материала трубопровода (СТ – стальная труба по ГОСТ 10704–91; ПЭ – полиэтилен напорный по ГОСТ 18599–2001) при равных условиях диаметрах, толщине стенок и толщине слоя изоляции ($\delta_{из} = 25–100$ мм). Исходные данные для проектирования и теплотехнических расчетов напорного участка сети канализации надземной прокладки, расположенного в Ямало-Ненецком автономном округе, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для проектирования и расчетов [12, 13]

№ п/п	Наименование параметра	Значение, единица измерения
1	Скорость ветра	5,2 м/с
2	Температура окружающей среды минимальная	–54 °С,

Окончание табл. 1

№ п/п	Наименование параметра	Значение, единица измерения
3	Температура наиболее холодной пятидневки	–44 °С
4	Температура средняя за год	–12 °С
5	Минимальная температура сточной воды	+4 °С
6	Коэффициент дополнительных потерь	СТ – 1,2; ПЭ – 1,7
7	Коэффициент теплоотдачи изоляции	20 Вт/(м·°С)
8	Коэффициент теплопроводности для ППУ	0,025 Вт/(м·°С)
9	Коэффициент теплопроводности для ППС	0,033 Вт/(м·°С)
10	Коэффициент теплопроводности для СВА	0,044 Вт/(м·°С)
11	Коэффициент теплопроводности для МВА	0,05 Вт/(м·°С)
12	Коэффициент теплоотдачи от трубы к воде	50 Вт/(м·°С)
13	Коэффициент теплопроводности трубы СТ	80 Вт/(м·К)
14	Коэффициент теплопроводности трубы ПЭ	0,43 Вт/(м·К)

Для самотечного участка сети канализации (диаметром 150 мм с уклоном 0,008, в ППУ-изоляции толщиной 50 мм), проложенного подземным способом, теоретически исследована возможность прокладки на максимальное расстояние без какого-либо подогрева. При этом труба не промерзает на начальном участке за счет собственной температуры сточных вод. Методика расчета изложена в справочнике Ю.Я. Велли [14]. Падение температуры сточных вод по длине трубы определяется из выражений (4) и (5):

$$\log \frac{t_2^* - \frac{\lambda_m}{\lambda_r} t_r^*}{t_1^* - \frac{\lambda_m}{\lambda_r} t_r^*} = -0,43 \frac{l}{R \cdot Q \cdot \gamma \cdot C}, \quad (4)$$

$$t_{1,2}^* = t_{1,2} - t_0; \quad t_r^* = t_r - t_0, \quad (5)$$

где $t_{1,2}$ – температура жидкости в начале (15 °С) и конце (4 °С) расчетного участка соответственно, °С; t_0 – температура начала замерзания грунтовой влаги, $t_0 = -1$ °С; t_r – температура грунта на глубине заложения оси трубопровода, –16,4 °С; λ_m , λ_r – коэффициенты теплопроводности мерзлого и талого грунта, 2,3 и 1,3 ккал/(м·ч·°С); l – длина расчетного участка, м; Q – расход жидкости, 0,54 м³/ч; γ – удельный вес жидкости, кг/м³; C – весовая теплоемкость жидкости, ккал/(кг·°С); R – суммарное сопротивление теплопередаче, ккал/(кг·°С).

Результаты исследований и обсуждение

В рамках данной работы определялись теплотери через слой изоляции (50 м) для стальных и полиэтиленовых труб (условным диаметром 80 мм, с толщиной стенки 5 мм), транспортирующих в напорном режиме сточные воды (табл. 2).

Таблица 2

Тепловые потери на 1 м трубы в теплоизоляции

Показатель	Материал труб и вид теплоизоляции							
	СТ в ППУ	ПЭ в ППУ	СТ в ППС	ПЭ в ППС	СТ в СВА	ПЭ в СВА	СТ в МВА	ПЭ в МВА
$R_{\text{теп}}^L$	4,76	4,76	3,61	3,61	2,70	2,70	2,38	2,38
$R_{\text{н}}^L$	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
$R_{\text{ст}}^L$	$1 \cdot 10^{-4}$	0,012	$1 \cdot 10^{-4}$	0,012	$1 \cdot 10^{-4}$	0,012	$1 \cdot 10^{-4}$	0,012
q_L	11,40	11,37	14,96	14,91	19,80	19,72	22,41	22,30

Расчеты показали, что влияние материала труб на значения теплотерь незначительно, особенно если речь идет о районах Арктической зоны с низкими отрицательными температурами в зимнее время. По тепловым потерям полиэтилен себя показывает несколько лучше, чем стальной трубопровод, но отличие не превышает 1 %.

В табл. 3 предоставлены результаты расчета оптимальной толщины изоляции и её стоимости на 1 м для стальных труб диаметром 57–219 мм. В итоге оказалось, что самая дешёвая изоляция – МВА, которая на 17 % дешевле, чем изоляция ППУ; самая дорогая – СВА, которая на 40 % выше, чем изоляция ППУ. Наименьшая требуемая толщина – для теплоизоляции ППУ, которая составила от 40 до 62 мм. Самый толстый слой изоляции – из минеральной ваты, который, по расчетам, равен от 100 до 160 мм. Далее, при разработке расчетной диаграммы (рис. 1) приняты два вида теплоизоляции (ППУ и ППС) для стальных труб, как наиболее востребованные и распространенные в практике строительства в северных районах. Небольшое расхождение в теплотерях (не более 1 %) позволяет данную диаграмму применять и для расчета напорных полиэтиленовых труб.

Таблица 3

Технико-экономическое сравнение теплоизоляции стальных труб

Расчетная стоимость теплоизоляции на 1 м трубы, руб.*				
Толщина слоя изоляции, м				
Диаметр трубы, мм	Тип теплоизоляции			
	ППУ	ППС	СВА	МВА
57	<u>160,60</u>	<u>217,77</u>	<u>235,58</u>	<u>139,02</u>
	0,04	0,061	0,103	0,133
89	<u>168,04</u>	<u>215,86</u>	<u>212,95</u>	<u>118,53</u>
	0,041	0,061	0,096	0,120
108	<u>253,07</u>	<u>185,78</u>	<u>171,83</u>	<u>92,00</u>
	0,056	0,055	0,083	0,102
159	<u>255,76</u>	<u>326,69</u>	<u>315,29</u>	<u>172,30</u>
	0,056	0,081	0,124	0,152
219	<u>295,66</u>	<u>372,22</u>	<u>349,39</u>	<u>187,45</u>
	0,062	0,089	0,132	0,160

*Стоимость теплоизоляции рассчитана без учета расходных материалов (креплений, лакокрасочных покрытий, верхних покровных слоев и др.).

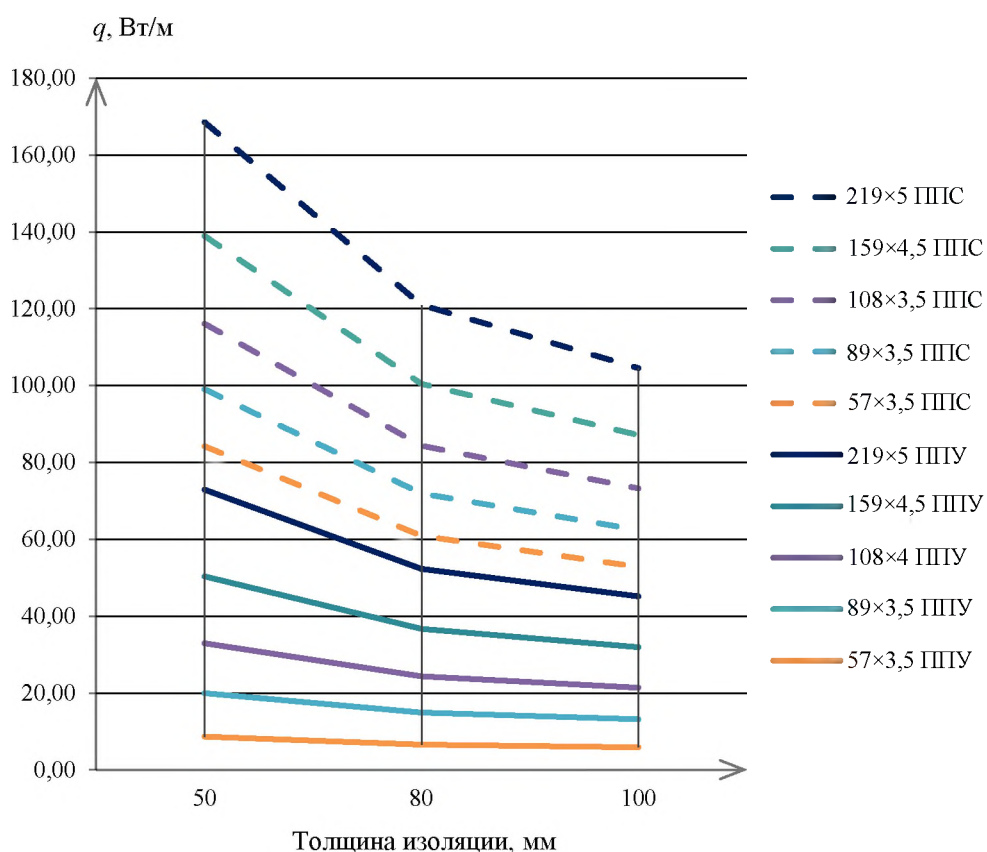


Рис. 1. Диаграмма для определения теплопотерь в стальных трубах напорной канализации в зависимости от вида и толщины теплоизоляции

Для расчета безнапорного участка сети канализации рассмотрено два случая: 1) рельеф земли абсолютно ровный, при этом глубина заложения трубы изменяется по длине соответственно уклону трубы (диаметр 150 мм, уклон 0,008; глубина деятельного слоя 2,9 м); 2) уклон поверхности земли совпадает с уклоном трубы, т. е. глубина заложения трубопровода остается постоянной на всем протяжении расчетного участка – 1 м.

Результаты расчетов сведены в табл. 4–6, в которых представлены расчетные параметры и суммарные теплопотери. На рис. 2 приведены графики изменения температуры в сети самотечной хозяйственно-бытовой канализации для двух характерных случаев устройства трубопровода. Линия падения температуры для двух случаев практически совпадает, при этом максимальное расхождение находится в пределах до 1 °С. Средняя скорость снижения температуры в трубе для первого случая на участке до 250 м составляет 0,021 °С/м; во втором случае на участке до 800 м – 0,0148 °С/м. Это подтверждает тот факт, что в случае заглубления трубы не более чем на 1 м в многолетнемерзлых грунтах температура сточных вод способна обогревать систему на начальных участках достаточно большой протяженности.

Таблица 4

**Расчетная таблица изменения температуры сточной воды от выпуска
при идеально ровной поверхности земли**

[illegible]

Таблица 5

Расчетная таблица изменения температуры сточной воды от выпуска при равных уклонах поверхности земли и трубы (при длине до 200 м)

Расчетные параметры	Протяженность трубопровода, м						
	10	40	70	100	130	160	200
$t_{\text{нач}}, ^\circ\text{C}$	15,00	14,79	14,24	13,71	13,18	12,66	12,15
$R_t, \text{ккал}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$	0,38	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
$R_{\text{из}}, \text{ккал}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$	3,55	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
$R_{\text{общ}}, \text{ккал}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$	3,93	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16
$t_2, ^\circ\text{C}$	14,80	14,24	13,71	13,18	12,66	12,15	11,48
$q, \text{Вт}/\text{м}$	12,81	11,67	11,47	11,27	11,07	10,88	10,70

Таблица 6

**Расчетная таблица изменения температуры сточной воды
при равных уклонах поверхности земли и трубы (при длине от 250 до 800 м)**

[illegible]

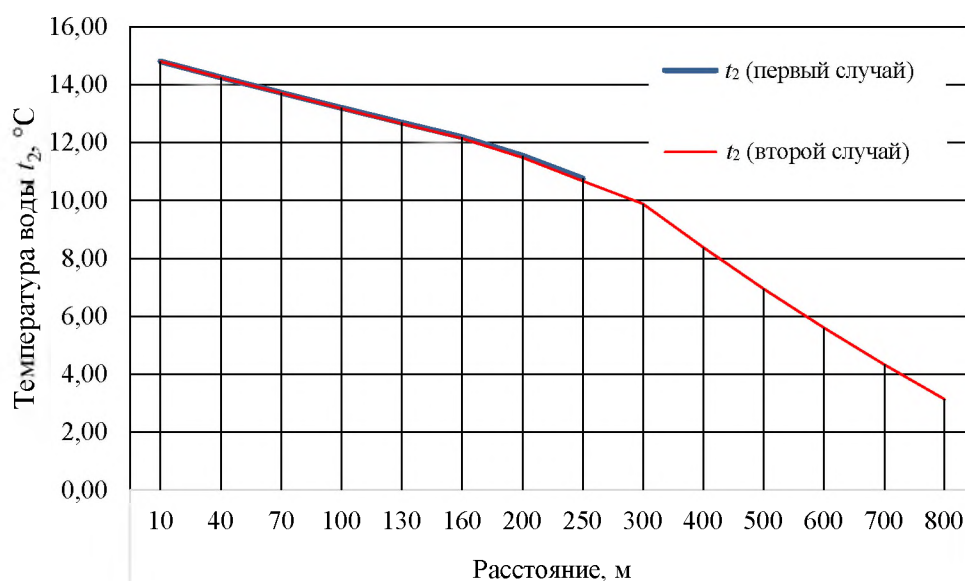


Рис. 2. Графики изменения температуры в сети самотечной хозяйственно-бытовой канализации для двух случаев:

1 – ровный рельеф земли, 2 – уклон земли равен уклону трубы

Согласно проведенным расчетам, доказано, что начальные участки труб внутриквартальной самотечной сети хозяйственно-бытовой канализации от выпуска на протяжении до 250 (при неизменном уклоне поверхности земли, до максимально допустимой глубины заложения деятельного слоя 2,9 м) и до 700 м (если глубина заложения трубы не менее 1 м, минимальная температура +4 °C) можно прокладывать без дополнительного обогрева в теплоизоляции ППУ (50 мм). На данном участке температура сточной воды снизится с +15 °C до +4 °C, но не замерзнет. Это позволит существенно сэкономить энергозатраты на работу электрокабеля или другой системы искусственного обогрева трубопровода.

На практике необходимо все же предусмотреть резервный сброс горячей воды в ночное время на начальном участке, чтобы исключить промерзание, когда расход сточных вод минимален или равен нулю. В этом случае, согласно тарифу (3 руб. за 1 кВт/ч), возможная экономия на электрообогреве объекта может составить 16 тыс. руб. в месяц.

Выводы

Таким образом, проблему энергосбережения сетей и сооружений водотведения в северных районах строительства возможно решить еще на этапе проектирования обоснованным выбором материала труб, вида и толщины теплоизоляции.

По результатам проведенных расчетов и анализов для Ямало-Ненецкого автономного округа предлагаются следующие рекомендации при проектировании сетей и сооружений канализации:

– начальные участки труб (от выпуска до КНС) возможно прокладывать в деятельном слое, который может составлять 0,7–2 м, без применения искусственного подогрева сети в зимнее время на достаточно большие расстояния, и это позволит сэкономить расходы на энергозатраты в холодный период года;

– с точки зрения теплопотерь материал труб (сталь или полиэтилен) не играет значительной роли из-за достаточно низких температур окружающей среды, но стоит отметить, что современный морозостойкий полиэтилен обладает несколькими лучшими показателями и при определении тепловых потерь, к тому же обладает высокой антикоррозийной стойкостью, долговечностью, что является плюсом для эксплуатации канализационных сетей;

– в качестве изоляционного материала рекомендуется использовать пенополиуретановую изоляцию (ППУ), которая в теории показала себя самым энергоэффективным и экономически целесообразным материалом для тепловой изоляции напорных и самотечных труб канализации.

В дальнейшем планируется проверка теоретических результатов на практике с использованием современных методов и приборов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукин Ю.Ф. Статус, состав, население Российской Арктики // *АиС*. 2014. № 15. С. 57–94.
2. Гинзбург А.В., Терехов Л.Д., Акимов О.В., Ганус А.Н. Энергосберегающие технологии при проектировании водоводов на Севере // *Проектирование и строительство транспортных объектов в условиях Республики Саха (Якутия)* : сб. материалов науч.-практ. конф. Якутск : Як. фил. Изд. СО РАН, 2003. С. 86–95.
3. Гинзбург А.В. Экономические условия эксплуатации водонесущих систем на Севере // *Коммунальный комплекс России*. 2005. № 1 (7). С. 66–69.
4. Кунахович А.А. Установка глубокой очистки бытовых сточных вод для применения в поселках северной климатической зоны // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2012. № 5. С. 61–65.
5. Андрияшев М.М. Гидравлические и тепловые расчеты водопроводных линий и сетей // Москва: Изд-во МКХ РСФСР, 1956. 172 с.
6. Ястребов А.П. Инженерные коммуникации на вечномёрзлых грунтах // Ленинград: Стройиздат, 1972. 175 с.
7. Vialkova E., Maksimova S., Zemlyanova M., Maksimov L., Vorotnikova A. Integrated Design Approach to Small Sewage Systems in the Arctic Climate // *Environmental Processes*. 2020. № 7 (2). P. 673–690.
8. Латуева О.Г. Особенности проектирования систем водоснабжения и канализации при обустройстве нефтяных месторождений // *Молодежь и наука* : сб. материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2014. URL: <https://elibrary.sfu-kras.ru/handle/2311/19178>
9. Дементьева М.Е., Курохтин А.А. Особенности эксплуатации канализационно-насосных станций теплоэлектростанций в условиях Крайнего Севера // *Вестник МГСУ*. 2019. № 14. Вып. 3. С. 356–366.
10. Хренков Н.Н. Сопоставление температурных режимов обогрева стальных и пластиковых трубопроводов // *Промышленный электрообогрев и электроотопление*. 2014. № 1. С. 28–36.
11. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003 : дата введения 2013-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200091050>
12. Карнаухов Н.Н. Механика мерзлых грунтов и принципы строительства нефтегазовых объектов в условиях Севера. Москва : ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. 432 с.

13. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированное издание СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» : дата введения 2021-06-25. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358/>
14. Велли Ю.Я., Докучаев В.В., Федоров Н.Ф. Здания и сооружения на Крайнем Севере. Ленинград : Госстройиздат, 1963. 492 с.

REFERENCES

1. Lukin Yu.F. Status, sostav, naselenie Rossiiskoi Arktiki [Status, composition, and population of the Russian Arctic]. *AiS*. 2014. No. 15. Pp. 57–94. (rus)
2. Ginzburg A.V., Terekhov L.D., Akimov O.V., Ganus A.N. Energoberegayushchie tekhnologii pri proektirovanii vodovodov na Severe [Energy-saving technologies in water pipeline design in the North]. In: Proektirovanie i stroitel'stvo transportnykh ob"ektov v usloviyakh Respubliki Sakha (Yakutiya): sb. materialov nauch.-prakt. konf. Yakutsk (*Proc. Sci. Conf. 'Design and Construction of Transport Facilities in the Republic of Sakha (Yakutia)'*), 2003. Pp. 86–95. (rus)
3. Ginzburg A.V. Ekonomicheskie usloviya ekspluatatsii vodonesushchikh sistem na Severe [Economic conditions of water-carrying system operation in the North]. *Kommunal'nyi kompleks Rossii*. 2005. No. 1 (7). Pp. 66–69. (rus)
4. Kunakhovich A.A. Ustanovka glubokoi ochestki bytovykh stochnykh vod dlya primeneniya v poselkakh severnoi klimaticheskoi [Deep treatment of domestic wastewater for settlements in northern climate]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2012. No. 5. Pp. 61–65. (rus)
5. Andriyashov M.M. Gidravlicheskie i teplovye raschety vodoprovodnykh linii i setei [Hydraulic and thermal calculations of water lines and networks]. Moscow, 1949. 254 p. (rus)
6. Yastrebov A.P. Inzhenernye kommunikatsii na vechnomerzlykh gruntakh [Engineering communications on permafrost soils]. Leningrad: Stroiizdat, 1972. 175 p. (rus)
7. Vialkova E., Maksimova S., Zemlyanova M., Maksimov L., Vorotnikova A. Integrated design approach to small sewage systems in the arctic climate. *Environmental Processes*. 2020. No. 7 (2). Pp. 673–690.
8. Latueva O.G. Osobennosti proektirovaniya sistem vodosnabzheniya i kanalizatsii pri obustroistve neftyanykh mestorozhdenii [Water supply and sewage system design in oil field development]. In: Molodezh' i nauka: sb. materialov 10 Yubileinoi Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 80-letiyu obrazovaniya Krasnoyarskogo kraia (*Proc. 10th All-Russ. Sci. Conf. of Students and Young Scientists 'Science and Youth'*). Krasnoyarsk, 2014. Available: <https://elibrary.sfu-kras.ru/handle/2311/19178> (rus)
9. Dement'eva M.E., Kurokhtin A.A. Osobennosti ekspluatatsii kanalizatsionno-nasosnykh stantsii teploelektrostantsii v usloviyakh Krainego Severa [Sewage pumping station operation of thermal power plants in the Far North]. *Vestnik MGSU*. 2019. No. 14. Pp. 356–366. (rus)
10. Khrenkov N.N. Sopostavlenie temperaturnykh rezhimov obogreva stal'nykh i plastikovykh [Comparison of heating modes of steel and plastic pipelines]. *Promyshlennyye elektroobogrev i elektrootoplenie*. 2014. No. 1. Pp. 28–36. (rus)
11. СП 61.13330.2012. Teplovaya izolyatsiya oborudovaniya i truboprovodov [Thermal insulation of equipment and pipelines.]. Available: <https://docs.cntd.ru/document/1200091050> (rus)
12. Karnaukhov N.N. Mekhanika merzlykh gruntov i printsipy stroitel'stva neftegazovykh ob"ektov v usloviyakh Severa [Frozen soil mechanics and principles of oil and gas facility construction in the North]. Moscow, 2008. 432 p. (rus)
13. СП 131.13330.2020. Stroitel'naya klimatologiya [Construction climatology]. Available: <https://docs.cntd.ru/document/573659358/> (rus)
14. Velli Yu.Ya., Dokuchaev V.V., Fedorov N.F. Zdaniya i sooruzheniya na krainem severe [Buildings in the far north]. Leningrad: Gosstroizdat, 1963. 492 p. (rus)

Сведения об авторах

Суглобов Даниил Алексеевич, магистрант, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, suglovoda@gmail.com

Вялкова Елена Игоревна, канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, vyalkova-e@yandex.ru

Осипова Елена Юрьевна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kyky60@bk.ru

Authors Details

Daniil A. Suglovov, Graduate Student, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, suglovovda@gmail.com

Elena I. Vyalkova, PhD, A/Professor, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, vyalkova-e@yandex.ru

Elena Yu. Osipova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kyky60@bk.ru