

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 132–143.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (5): 132–143.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 628.31

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-132-143

EDN: UETTSG

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ-НАКОПИТЕЛЕЙ СТОЧНЫХ ВОД В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

**Даниил Алексеевич Суглобов¹, Елена Игоревна Вялкова¹,
Елена Юрьевна Осипова²**

¹*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

²*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

***Аннотация.** Развитие инфраструктуры арктических поселений связано с устройством современных систем водоснабжения и водоотведения.*

***Актуальность.** Низкие температуры воздуха и многолетнемерзлые грунты существенно осложняют строительство и эксплуатацию резервуаров, предназначенных для сбора и хранения сточных вод.*

С целью обеспечения эффективного энергосбережения проводились предпроектные теплотехнические расчеты стальных емкостей в теплоизоляции ППС. Сравнивались методики вычислений и результаты, которые послужили основой для построения расчетных диаграмм.

***Выводы.** Полученные зависимости позволяют достаточно быстро и точно определить теплотери при полном или частичном заполнении резервуара водой. Это существенно облегчит процесс принятия решений на стадии проектирования северных объектов, расположенных в Ямало-Ненецком автономном округе.*

***Ключевые слова:** резервуары-накопители сточных вод, теплотехнический расчет, теплоизоляция, потери тепла, энергосбережение*

***Для цитирования:** Суглобов Д.А., Вялкова Е.И., Осипова Е.Ю. Особенности проектирования резервуаров-накопителей сточных вод в арктических условиях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 132–143. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-132-143. EDN: UETTSG*

ORIGINAL ARTICLE

DESIGN OF EFFLUENT STORAGE TANKS IN ARCTIC CONDITIONS

Daniil A. Suglobov¹, Elena I. Vyalkova¹, Elena Yu. Osipova²

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

²Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Purpose: The development of the Arctic settlements' infrastructure is associated with the installation of the modern water supply and sanitation systems. Low air temperatures and permafrost soils significantly complicate the construction and operation of tanks designed for effluent collection and storage.

Approach: For the effective energy saving, pre-design heat engineering calculations are conducted for effluent storage tanks with PPS thermal insulation.

Research findings: Calculation techniques and results are compared, which served as a basis for the construction of calculation diagrams.

Practical implications: The obtained dependences allow to rapidly and accurately determine the heat loss when the tank is completely or partially filled with water.

Originality/value: This study will considerably facilitate the decision-making process at the design stage of facilities locating in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug.

Keywords: effluent storage tanks, heat engineering calculation, heat insulation, heat loss, energy saving

For citation: Suglobov D.A., Vyalkova E.I., Osipova E.Yu. Design of effluent storage tanks in Arctic conditions. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 132–143. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-132-143. EDN: UETTSG

Введение

Российская стратегия развития Арктической зоны направлена на создание поселений с современной инфраструктурой, приоритетом для которых являются эффективные и энергосберегающие системы жизнеобеспечения¹. Выполнение поставленных задач существенно зависит от климатических, геологических и гидрогеологических условий Севера. Зона многолетнемерзлых грунтов занимает обширные территории России [1]. Например, в Ямало-Ненецком автономном округе практически вся территория приходится на «вечную мерзлоту» [2] или зону многолетнего криолитогенеза, в которой горные породы не оттаивают от одного-двух лет до нескольких тысячелетий. В данных условиях строительство и эксплуатация сооружений для транспортирования и хранения воды не только усложняются технологически, но и связаны с большими затратами на энергосбережение [3, 4].

При проектировании систем водоотведения в состав сооружений практически всегда входят различные емкости-накопители сточных вод: усреднители поступающих на очистку стоков по концентрациям и/или расходам; буферные емкости на сетях и приемные резервуары насосных станций; септики

¹ Указ Президента Российской Федерации № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности до 2035 года». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972> (дата обращения: 06.02.2022).

и другие виды накопителей. Резервуары, как и сети, также требуют утепления и/или устройства систем подогрева воды. Это необходимо с целью предотвращения промерзания и обеспечения технологических температур исходных стоков перед подачей на сооружения биологической очистки в период осень-зима-весна. Подобные сооружения характеризуются высокими энергозатратами и с точки зрения эффективного энергосбережения требуют точных расчетов возможных теплопотерь. Это особенно актуально при проектировании, строительстве и эксплуатации в регионах, где холодный период года с отрицательными температурами воздуха может длиться от 6 до 9 месяцев.

Как правило, проектировщики не выполняют предварительных теплотехнических расчетов и обычно принимают типовые решения по теплоизоляции резервуаров и оборудованию для подогрева воды. Это является причиной перерасхода электроэнергии и строительных материалов и в итоге увеличения капитальных и эксплуатационных затрат. Для повышения надежности сооружения, ресурсо- и энергосбережения необходимы более точные инженерные расчеты, являющиеся обоснованием для грамотных технических решений [5].

О.Г. Латуева, М.В. Дементьева, А.А. Курохтин и Н.Н. Хренкова в работах [6, 7, 8] затрагивают проблемы промерзания резервуаров с водой в условиях севера с точки зрения технико-экономической эффективности. Более детальные теплотехнические расчеты емкостей представлены в работах П.И. Тугунова, В.Ф. Новоселова, А.А. Коршака, А.М. Шаммазова, А.И. Пилипенко, А.А. Лукина и других инженеров [9, 10].

В предыдущей публикации были затронуты проблемы проектирования трубопроводов канализации, прокладываемых в условиях сурового арктического климата России [11]. В настоящей статье предлагаются варианты расчета резервуаров для хранения сточных вод в условиях низких температур с учетом минимальных эксплуатационных энергозатрат для вариантов: а) без учета газового пространства, т. е. на полное заполнение резервуара водой; б) с учетом газового пространства, когда резервуар заполнен частично (рис. 1). Расчеты выполнялись для стальных горизонтальных цилиндрических резервуаров (типа РС) в теплоизоляции (слой пенополистирола или ППС плюс слой фольги сверху), предназначенных для временного хранения бытовых сточных вод.

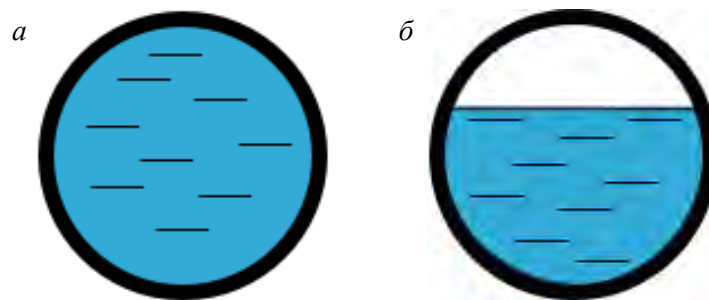


Рис. 1. Расчетные схемы резервуаров с водой:

a – полное наполнение; *б* – частичное наполнение

Fig. 1. Schematic of water tanks:

a – full; *b* – partially filled

Методы и материалы

Теплотехнический расчет резервуара производился по двум методикам [9, 10], результаты которых сравнивались. Согласно методике П.И. Тугунова [9], тепловые потери от резервуара в окружающую среду Q (Дж) определяются по формуле

$$Q = K_{ст} \cdot F \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где $K_{ст}$ – коэффициент теплопередачи от воды в резервуаре в окружающую среду, Вт/(м²·К); F – общая площадь поверхности резервуара, м²; ΔT – разность температур между водой в резервуаре и окружающей средой, К.

Коэффициент теплопередачи ($K_{ст}$) через стенку емкости определяется из уравнения зависимости, Вт/(м²·К):

$$\frac{1}{K_{ст}} = \frac{1}{\alpha_{1ст}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{2ст} + \alpha_{3ст}}, \quad (2)$$

где $\alpha_{1ст}$ – коэффициент теплоотдачи от воды к стенке резервуара; $\alpha_{2ст}$ – от наружной поверхности резервуара в окружающую среду; $\alpha_{3ст}$ – от стенки емкости радиацией, Вт/(м²·К); δ_i – толщина стенки емкости с учетом изоляции, м; λ_i – коэффициент теплопроводности материала стенки емкости с учетом изоляции, Вт/(м²·К).

При определении безразмерных критериев теплотехнического расчета определяющим размером является длина резервуара L , м. Коэффициент теплоотдачи конвекцией от воды к стенке емкости для цилиндрических емкостей и труб можно определить по формуле

$$\alpha_{1ст} = 0,5 \frac{\lambda_{в}}{L} (\text{Grh} \cdot \text{Pr}_{в})^{0,25} \left(\frac{\text{Pr}_{в}}{\text{Pr}_{ст}} \right)^{0,25}, \quad (3)$$

где $\lambda_{в}$ – коэффициент теплопроводности воды, Вт/(м²·К); L – длина резервуара, м; Grh – параметр Грасгофа; $\text{Pr}_{в}$ и $\text{Pr}_{ст}$ – параметр Прандтля при средней температуре воды или для стенки резервуара соответственно.

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{2ст}$ при вынужденной конвекции или обдувании холодным ветром резервуара, расположенного на земле, определяется по формуле

$$\alpha_{2ст} = C \frac{\lambda_{возд}}{d_{н}} \text{Re}_{возд}^n, \quad (4)$$

где $d_{н}$ – наружный диаметр резервуара, м; $\lambda_{возд}$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м²·К); $\text{Re}_{возд}$ – коэффициент Рейнольдса для воздуха, который зависит от расчетной скорости ветра (w , м/с) и кинематической вязкости воздуха ($\nu_{возд}$, м²/с):

$$\text{Re}_{возд} = \frac{w \cdot d_{н}}{\nu_{возд}}. \quad (5)$$

Коэффициент теплоотдачи радиацией от стенки $\alpha_{3\text{ст}}$, Вт/(м²·К), определяется по формуле

$$\alpha_{3\text{ст}} = \varepsilon_{\text{ст}} \cdot C_s \frac{\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{возд}}}{100}\right)^4}{T_{\text{ст}} - T_{\text{возд}}}, \quad (6)$$

где $C_s = 5,768$ Вт/(м²·К⁴) – коэффициент лучеиспускания; $\varepsilon_{\text{ст}}$ – степень черноты поверхности стенки, равная для алюминиевой фольги 0,055.

Согласно исследованиям А.И. Пилипенко [10], расчет удельных тепловых потерь ($Q_{\text{уд}}$) резервуара выполняется по методике подбора электронагревателей для обогрева резервуара для случая плоской многослойной стенки:

$$Q_{\text{уд}} = \frac{\Delta T_1}{\sum_{i=1}^n R_{in} + R_n}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{уд}}$ – удельные теплотери с поверхности резервуара, Вт/м²; ΔT_1 – разница между температурой стенки резервуара и температурой окружающей среды, °С; $\sum_{i=1}^n R_{in}$ – сумма термических сопротивлений корпуса резервуара, теплоизоляционных и защитных слоев, определяется по формуле (8), м²·°С/Вт; R_n – термическое сопротивление теплопередаче от кожуха резервуара к окружающей среде, определяемое по формуле (9), м²·°С/Вт.

$$R_{in} = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (8)$$

где δ_i – толщина i -го слоя теплоизоляции, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя теплоизоляции, Вт/(м²·°С).

$$R_n = \frac{1}{\alpha_n}, \quad (9)$$

где α_n – коэффициент теплопередачи от поверхности кожуха к окружающей среде, Вт/(м²·°С).

Полные теплотери резервуара определяются как

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{уд}} \cdot S, \quad (10)$$

где $Q_{\text{пот}}$ – полные теплотери с поверхности резервуара, Вт; $Q_{\text{уд}}$ – удельные теплотери с поверхности резервуара, рассчитанные по формуле (7), Вт/м²; S – площадь поверхности резервуара по теплоизоляции, м².

Исходные данные для расчетов наземных горизонтальных цилиндрических резервуаров-накопителей сточных вод из стали (типа РГС) в теплоизоляции ППС, расположенных в Ямало-Ненецком автономном округе, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для проектирования и расчетов резервуара

Table 1

Initial parameters for storage tank design

Наименование параметра	Значение, единица измерения
Скорость ветра	5,2 м/с
Температура окружающей среды минимальная	-54 °С; 219,15 К
Температура наиболее холодной пятидневки	-44 °С
Температура средняя за год	-12 °С
Минимальная температура сточных вод	+4 °С
Максимальная температура сточных вод	+14 °С
Номинальный объем резервуара	10–300 м ³
Материал резервуара	Сталь
Теплоизоляция резервуара: напыляемый слой ППС толщиной $\delta_{из}$ слой алюминиевой фольги	50–300 мм 0,2 мм
Коэффициент теплопроводности резервуара $\lambda_{ст}$	80 Вт/(м·К)
Теплоемкость стали $C_{ст}$	461 Дж/(кг·К)
Плотность стали $\rho_{ст}$	7850 кг/м ³
Теплоемкость теплоизоляции ППС $C_{из}$	840 Дж/(кг·К)
Плотность теплоизоляции ППС $\rho_{из}$	15 кг/м ³
Теплоемкость воды $C_{в}$	4200 Дж/(кг·К)
Плотность воды $\rho_{в}$	1000 кг/м ³

Расчеты проводились для нескольких вариантов заполнения резервуара – от 10 до 100 %, на основании которых строились сводные диаграммы, позволяющие определять тепловые потери при любых условиях. Для резервуаров с неполным заполнением вводится коэффициент теплопроводности для верхнего безводного слоя $K_{кр}$, который характеризует передачу тепла от газового пространства через резервуар к наружному воздуху.

Результаты исследований и обсуждение

В результате исследования была установлена зависимость изменения теплотерь (Q , кВт) от наполнения емкости водой (h/D). Для примера рассчитан стальной резервуар РГС-100 с наполнением h/D от 0,1 до 1 по методике П.И. Тугунова [9]. Были приняты следующие размеры резервуара: диаметр внутренний – 3,24 м; длина – 12,2 м; толщина стенки – 4 мм; номинальный объем воды – 100 м³. Результаты расчета занесены в табл. 2, а также построен график $Q = f(h/D)$, показывающий изменение теплотерь резервуара в зависимости от степени наполнения его сточной водой (рис. 2).

Таблица 2

**Расчет теплотерь резервуара РГС-100 в зависимости
от степени его наполнения сточной водой**

Table 2

**Calculation of heat losses of RGS-100 tank depending
on its filling with wastewater**

Расчетные параметры	Наполнение резервуара водой h/D						
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1
$h_{гн}$, м	2,92	2,27	1,62	0,97	0,65	0,32	0,00
$F_{кр}$, м ²	111,9	88,76	70,34	51,91	41,52	28,81	0,00
$F_{ст}$, м ²	28,81	51,91	70,34	88,76	99,15	111,86	140,67
$K_{кр}$	0,299	0,299	0,299	0,299	0,299	0,299	–
$K_{ст}$	0,08	0,13	0,17	0,20	0,23	0,25	0,31
Q , кВт	0,79	1,24	1,60	1,96	2,16	2,40	2,97

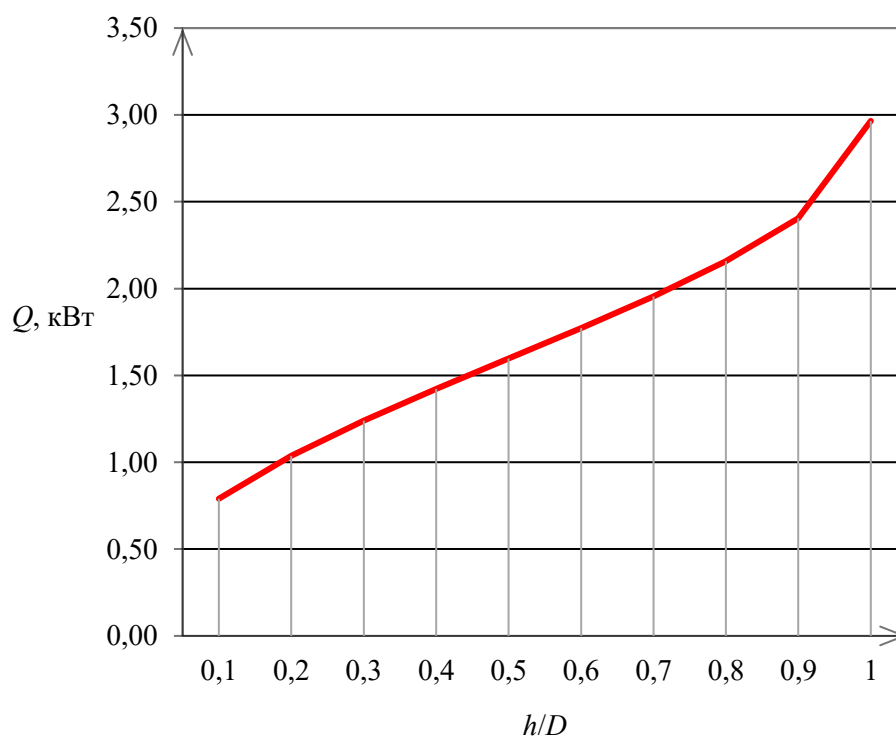


Рис. 2. График зависимости изменения теплотерь (Q , кВт) резервуара РГС-100 от его наполнения (h/D)

Fig. 2. Dependence of heat losses (Q , kW) of RGS-100 tank on its filling (h/D)

Анализ изменения теплотерь резервуара РГС-100 (рис. 3) выявил, что газовое пространство очевидно выступает отличным теплоизоляционным свойством и зависимость теплотерь от его наполнения прямо пропорцио-

нальна. При проектировании систем обогрева для резервуара принято рассчитывать его на максимальное наполнение, т. е. для обогрева потребляется энергия, рассчитанная на полное заполнение емкости сточной водой. Однако необходимо учитывать тот факт, что режим поступления сточных вод весьма неравномерный, и 100%-е наполнение достигается лишь в отдельные часы суток. При этом, если резервуар загружен более чем на 70 %, происходит значительный скачок теплопотерь (рис. 2). Поэтому предельным расчетным наполнением резервуара можно считать $h/D = 0,7$.

Если проводить данный расчет по методике А.И. Пилипенко [10], то при прочих равных условиях значения теплопотерь получаются на 10,5 % выше, чем по методике П.И. Тугунова [9], т. е. с небольшим запасом. Поэтому далее производился анализ теплопотерь при изменении объема воды и толщины изоляции резервуара по формулам, приведенным в работе [10].

Для установления влияния объема и толщины изоляции резервуара на теплопотери взяты горизонтальные типовые резервуары типа РГС объемами от 50 до 300 м³. В табл. 3 представлены типоразмеры выпускаемых резервуаров марки РГС и некоторые технические данные (масса продукта, корпуса и теплоизоляции).

Таблица 3

Типовые размеры и другие характеристики резервуаров марки РГС

Table 3

Typical dimensions and other characteristics of RGS tanks

Типовые размеры резервуара	Марка резервуара РГС					
	50	100	150	200	250	300
Длина L , м	8,8	12,2	18	24,4	22	24
Диаметр d , м	2,76	3,24	3,24	3,24	3,8	4
Объем V , м ³	52,62	100,54	148,33	201,07	249,38	301,44
Площадь S , м ²	88,22	140,60	199,61	264,72	285,17	326,56
Масса, т:						
воды	52,5	105	157,5	210	262,5	315
корпуса	2,77	4,41	6,27	8,31	8,95	10,25
теплоизоляции	0,13	0,21	0,30	0,40	0,43	0,49

Результаты определения теплопотерь в зависимости от объема воды и толщины изоляции ППС для резервуаров РГС приведены в табл. 4, на основании данных которой построена диаграмма (рис. 3). Марка изоляционного материала, тип стали и другие условия для резервуара остаются неизменными.

Данную зависимость (рис. 3) можно описать прямолинейным уравнением (11), позволяющим без расчета спрогнозировать теплотехнические параметры для любого горизонтального цилиндрического резервуара при конкретной толщине теплоизоляции:

$$Q_{\text{пот}} = a \cdot W_{\text{рез}} + b, \tag{11}$$

где $Q_{\text{пот}}$ – потери с поверхности резервуара в процессе разогрева, кВт; $W_{\text{рез}}$ – объем резервуара, м³; a и b – параметры в зависимости от толщины данной теплоизоляции, приведенные в табл. 5. Величина достоверности аппроксимации линейного сглаживания во всех случаях равна примерно $R^2 = 0,98$, и это говорит о том, что предлагаемые прямолинейные уравнения вполне приемлемы в описании зависимости $Q = f(W)$ для данной толщины теплоизоляции ППС.

Таблица 4

Теплопотери для резервуаров РГС в зависимости от толщины изоляции

Table 4

Heat losses for RGS tanks depending on insulation thickness

Толщина изоляции ППС, мм	Объем резервуара РГС, м ³						
	10	50	100	150	200	250	300
50	1,04	3,24	5,16	7,33	9,72	10,47	11,99
100	0,53	1,66	2,65	3,76	4,98	5,37	6,15
150	0,36	1,11	1,77	2,51	3,33	3,59	4,11
200	0,27	0,84	1,33	1,89	2,51	2,70	3,09
250	0,21	0,67	1,07	1,52	2,01	2,16	2,48
300	0,18	0,56	0,89	1,26	1,68	1,81	2,07

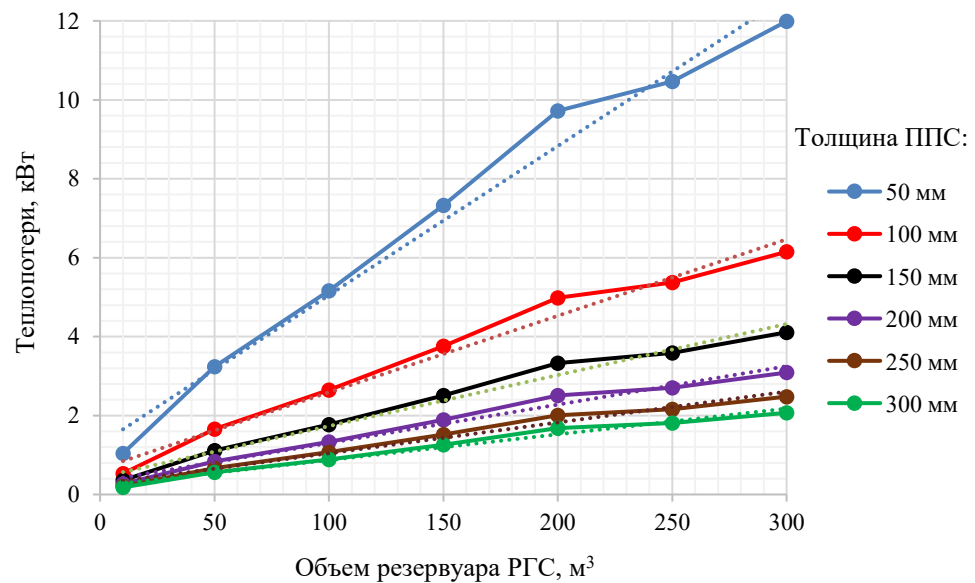


Рис. 3. График изменения теплопотерь (Q , кВт) резервуаров РГС объемом от 10 до 300 м³ в зависимости от слоя теплоизоляции ППС

Fig. 3. Dependences of heat losses (Q , kW) of RGS tanks with the volume 10 to 300 м³ on PPS thermal insulation layer

Таблица 5

Параметры a и b в зависимости от толщины ППС-изоляции

Table 5

Parameters a and b depending on PPS insulation thickness

Коэффициенты	Толщина изоляции резервуара, мм					
	50	100	150	200	250	300
a	0,038	0,019	0,013	0,01	0,008	0,007
b	1,27	0,65	0,44	0,33	0,26	0,22

На основании приведенного расчета дополнительно была установлена зависимость между энергопотреблением и количеством резервуаров на заданный общий объем. Например, для нагрева одного резервуара объемом 300 м^3 требуется 144 кВт энергии; для двух резервуаров по 150 м^3 – 145,96 кВт (разница составляет 1,96 кВт); для шести резервуаров по 50 м^3 – 148,62 кВт (разница – 4,62 кВт). При увеличении количества резервуаров и сохранении одинакового общего объема энергозатраты существенно возрастают. При замене двух резервуаров объемом 200 м^3 каждый на четыре объемом 100 м^3 каждый затраты энергии на нагрев и поддержание заданной температуры сточных вод могут возрасти на 35 %.

Выводы

Таким образом, теплотехнический расчет стального резервуара-накопителя сточных вод показал, что общие теплопотери сооружения зависят от объема резервуара, его наполнения водой и толщины изоляции при прочих равных условиях. Сравнивая методики расчета теплопотерь емкостных сооружений с водой при одинаковых исходных данных, можно утверждать, что значения теплопотерь для резервуара по П.И. Тугунову [9] на 10,5 % меньше, чем по А.И. Пилипенко [10].

Оптимальное значение наполнения (h/D) с точки зрения энергосбережения составляет не более 0,7. Если резервуар заполнить полностью, то потери тепла возрастут примерно в 1,5 раза. Это связано с тем, что газовое надводное пространство обладает теплосберегающим эффектом для воды.

Полученная диаграмма (рис. 3) позволяет определить тепловые потери резервуаров типа РГС в зависимости от объема резервуара и толщины изоляции ППС для районов строительства в Ямало-Ненецком автономном округе. Используя полученные данные, можно сделать прогноз по энергопотреблению резервуаров-накопителей сточных вод и подобрать необходимое электрооборудование для подогрева воды в зимнее время. Предварительный теплотехнический анализ существенно облегчит задачу проектировщика при выборе оптимального варианта теплоизоляции резервуара.

Количество резервуаров существенно влияет на энергопотребление: с точки зрения энергосбережения выгоднее устраивать меньшее количество емкостей с максимальным объемом сточных вод.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лукин Ю.Ф. Статус, состав, население Российской Арктики // Арктика и Север. 2014. № 15. С. 57–94.
2. Громадский А.Н. Основные факторы, оказывающие воздействие на вечномёрзлые грунты и анализ их взаимодействия // Научный вестник ЯНАО. Экология Арктики. 2016. № 4 (93). С. 20–24.
3. 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.
4. 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.
5. Гинзбург А.В. Экономические условия эксплуатации водонесущих систем на Севере // Коммунальный комплекс России. 2005. № 1 (7). С. 66–69.
6. 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://elibr.sfu-kras.ru/handle/2311/19178> (дата обращения: 06.02.2023).
7. Дементьева М.Е., Курохтин А.А. Особенности эксплуатации канализационно-насосных станций теплостанций в условиях Крайнего Севера // Вестник МГСУ. 2019. № 14. Вып. 3. С. 356–366.
8. Хренков Н.Н. Сопоставление температурных режимов обогрева стальных и пластиковых трубопроводов // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2014. № 1. С. 28–36.
9. Тугунов П.И., Новоселов В.Ф., Коршаков А.А., Шаммазов А.М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2002. 658 с.
10. Пилипенко А.И., Лукина А.А. Методика подбора электронагревателей для обогрева резервуара // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2012. № 4. С. 30–36.
11. 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. URL: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-5-133-144>

REFERENCES

1. Lukin Y.F. Status, composition, population of Russian Arctic. *Arktika i Sever*. 2014; (15): 57–94. (In Russian)
2. Gromadskiy A.N. Main factors affecting permafrost soils and analysis of their interaction. *Nauchnyi vestnik YaNAO. Ekologiya Arktiki*. 2016; 4 (93): 20–24. (In Russian)
3. Ginzburg A.V., Terekhov L.D., Akimov O.V., Ganus A.N. Energy-saving technologies in the design of water conduits in the North. In: *Proc. Sci. Conf. 'Design and Construction of Transportation Facilities in the Republic of Sakha (Yakutia)'*, 2003, Pp. 86–95. (In Russian)
4. 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): 673–690.
5. Ginzburg A.V. Economic conditions of water-bearing systems operation in the North. *Kommunal'nyi kompleks Rossii*. 2005; 1 (7): 66–69. (In Russian)
6. Latueva O.G. Features of design of water supply and sewerage systems in the development of oil fields. In: *Proc. 10th All-Russ. Sci. Conf. 'Youth and Science'*, Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2014. Available: <https://elibr.sfu-kras.ru/handle/2311/19178> (accessed February 6, 2023). (In Russian)

7. *Dementieva M.E., Kurokhtin A.A.* Operation of sewage-pumping stations of thermal power plants in the Far North. *Vestnik MGSU*. 2019; 14 (3): 356–366. (In Russian)
8. *Khrenkov N.N.* Comparison of temperature modes of heating steel and plastic pipelines. *Promyshlennyye elektrobogrev i elektrotoplenie*. 2014; (1): 28–36. (In Russian)
9. *Tuginov P.I., Novoselov V.F., Korshak A.A., Shammazov A.M.* Typical calculations for design and operation of oil depots and oil pipelines. Ufa: DizainPoligrafServis, 2002. 658 p. (In Russian)
10. *Pilipenko A.I., Lukina A.A.* Methodology of selection of electric heaters for tank heating. *Promyshlennyye elektrobogrev i elektrotoplenie*. 2012; (4): 30–36. (In Russian)
11. *Suglovov D.A., Vyalkova E.I., Osipova E.Yu.* Wastewater system design in Arctic conditions. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2022; 24. (5): 133–144. (In Russian)

Сведения об авторах

Суглобов Даниил Алексеевич, аспирант, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, suglovovda@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, Research Assitant, 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

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.07.2023
Одобрена после рецензирования 25.08.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 10.07.2023
Approved after review 25.08.2023
Accepted for publication 21.09.2023