УДК 628.144. 2(075.8) doi: 10.23968/2305-3488.2019.24.4.71-78

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТТАИВАНИЯ ГРУНТА ВОКРУГ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

Терехов Л. Д., Майны Ш. Б., Черников Н. А.

EXPERIMENTAL STUDY OF SOIL THAWING AROUND SHALLOW SEWAGE PIPELINES IN WINTER

Terekhov L. D., Mayny Sh. B., Chernikov N. A.

Аннотация

Введение. В статье рассматриваются вопросы теплового взаимодействия канализационных трубопроводов (с полным и неполным заполнением) с грунтом, подверженным глубокому сезонному промерзанию до трех и более метров в районах с суровым климатом. Канализационные трубопроводы являются одним из основных элементов системы водоотведения, определяющих ее надежность и экономичность. Для снижения затрат на строительство канализационных трубопроводов предлагается уменьшение глубины заложения труб, т. е. фактически производить их укладку в слое мерзлого грунта. Проведенные экспериментальные исследования взаимодействия трубопровода с мерзлым грунтом позволили выявить условия, при которых возможна укладка труб в толще мерзлого грунта. **Методы.** Цель данного исследования заключалась в экспериментальном определении размеров талика вокруг трубопровода, уложенного в мерзлый грунт, при пропуске по нему подогретой воды, подаваемой полным сечением и с заполнением трубопровода равным 0,5. Для определения размеров талой зоны была проведена серия лабораторных экспериментов. Дано описание экспериментальной установки, на которой делался эксперимент. **Результаты.** В работе представлены результаты лабораторного эксперимента по определению размеров талой зоны вокруг трубопровода, работающего с разной степенью заполнения. Установлено, что в трубопроводе, работающем полным сечением, контуры талого грунта близки к окружности; в трубопроводе, работающем с заполнением $h/d = 0,5$, талик имеет яйцеобразный вид. Выполненный сравнительный анализ размеров талика, полученных экспериментальным путем и по расчету, показал, что фактические размеры талика на 10–16 % превышают расчетные значения.

Ключевые слова: мерзлые грунты, ореол оттаивания, температурный режим, трубопровод, глубина заложения.

Abstract

Introduction. The article addresses issues related to the thermal interaction of sewage pipelines (with complete and incomplete filling) with soils characterized by deep seasonal freezing up to three or more meters in areas with severe climate. Sewage pipelines represent one of the main elements of the water disposal system, determining its reliability and efficiency. To reduce the costs for the construction of sewage pipelines, it is proposed to reduce the depth of pipe laying, i.e. to lay pipelines in a layer of frozen soil. The conducted experimental studies of the interaction between a pipeline and frozen soil revealed conditions under which it is possible to lay pipes in a layer of frozen soil. **Methods.** The purpose of this study was to determine experimentally the size of the talik around a pipeline laid in frozen soil, with heated water passing through, with the pipeline filling of 0.5 where the water flow covered the full cross-section. To determine the size of the talik, a series of laboratory experiments were carried out. The paper provides a description of the corresponding experimental setup. **Results.** The authors present results of the laboratory experiments aimed to determine the size of the talik around a pipeline operating with different degrees of filling. They established that in a pipeline where the water flow covers full cross-section, the contours of thawed soil are close to a circumference; in a pipeline with the filling h/d = 0,5, the talik is egg-shaped. According to the results of a comparative analysis of the talik sizes obtained experimentally and by calculations, the actual talik sizes exceed the calculated values by 10–16%.

Keywords*:* frozen soils, thawing area, temperature conditions, pipeline, laying depth.

Введение

Республика Тыва расположена в южной части Восточной Сибири, характеризующейся суровым климатом и глубоким сезонным промерзанием грунтов. Республика обладает богатейшими запасами полезных ископаемых и энергетическими ресурсами, представляющими огромный интерес для развития промышленного

потенциала России. Однако освоение республики затруднено в связи с суровыми климатическими условиями и, в частности, наличием мерзлых грунтов, осложняющих решение инженерных задач при строительстве зданий, сооружений и инженерных коммуникаций. В настоящее время на территории республики проживает более 310 тыс. человек, столицей является г. Кызыл. В городе эксплуатируется централизованная система водоотведения. Протяженность канализационных сетей по городу составляет 88,3 км, глубина сезонного промерзания в Кызыле — 3–4 м, средняя глубина заложения трубопроводов, с учетом необходимого уклона — 4–6 м [6–9]. Такое существенное заглубление сетей требует выполнения большого объема земляных работ, затрудняет монтаж и эксплуатацию трубопроводов, увеличивает стоимость и сроки строительства. Весьма существенными при этом являются затраты средств и времени на обнаружение и ликвидацию аварий [11, 12, 15].

Проектирование и строительство инженерных коммуникаций, в частности канализационных трубопроводов, в таких районах представляют весьма актуальную задачу. Это один из наиболее сложных, трудоемких и дорогостоящих видов строительства.

Наибольшие трудности при эксплуатации трубопроводов возникают в зимний период из-за опасности их перемерзания [1–5, 14].

Анализ литературных источников и практика эксплуатации показывают, что теплообмен трубопроводов с окружающей средой изучен недостаточно.

Фундаментальным трудом, основанным на обширном экспериментальном материале по изучению тепловых режимов трубопроводов с разработкой методики тепловых расчетов, используемой до настоящего времени, следует считать пособие, составленное в середине прошлого века группой отечественных ученых под руководством Г. В. Порхаева [10]. Позднее Л. И. Ястребовым на основе этого пособия «Рекомендации по теплотехническим расчетам и прокладке трубопроводов в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов» была выпущена книга с примерами тепловых расчетов трубопроводов различного назначения [17].

Экспериментальные исследования, отвечающие условиям работы теплового режима канализационных трубопроводов в лабораторных условиях, не проводились.

При движении воды по трубам, уложенным в мерзлый грунт вокруг трубопровода, образуется область талого грунта (талик). От размеров и формы этой области зависят эксплуатационные характеристики трубопровода в зимний период [10, 13, 15, 16]. Чем больше талик, тем больше времени на его промерзания, тем выше надежность трубопровода от перемерзание, так как у службы эксплуатации больше времени для выполнения специальных мероприятий по защите трубопровода от перемерзания. За счет теплового влияния трубопроводов на грунт можно значительно уменьшить глубину заложения трубопроводов. Это факт определяет актуальность исследования определения размеров талика для повышения экономического эффекта прокладки трубопроводов в суровых климатических условиях.

Цель экспериментальных исследований заключается в установлении размеров талой зоны вокруг трубопровода, уложенного в мерзлый грунт и работающего с полным и неполным заполнением.

Материал и методы исследования

Эксперимент проводился на базе учебной лаборатории Тувинского государственного университета. Экспериментальная установка представляла собой монолитный блок из мерзлого грунта размерами 315×222×270 мм, внутри которого укладывался трубопровод диаметром 20 мм. В качестве грунта использовался песок. Грунт вместе с трубой помещался в картонную коробку, уплотнялся, затем промораживался в морозильной камере в течение суток, после чего заносился в помещение, где производились исследования. Здесь к трубопроводу присоединялись шланги, по которым из бака пропускалась подогретая вода. Необходимая температура воды в баке поддерживалась с помощью электрического нагревателя. Расход, проходящий по трубопроводу воды, определялся объемным способом. Общий вид установки представлен на рис. 1.

Эксперимент проводился в зимний период 2019 года. Температурный режим в подвальном помещении в период проведения опытов поддерживался в пределах –3...–6°С. Температура воды



Рис. 1. Лабораторная экспериментальная установка: *1* — блок мерзлого грунта; *2* — трубопровод; *3* — бак с погружным насосом; *4* — подающий шланг; *5* — отводящий шланг

и окружающего воздуха измерялась электрическим термометром и дублировалась термометром.

Движение воды происходило по замкнутому циклу: бак (резервуар) → насос → шланг → трубопровод → блок мерзлого грунта → резервуар. Схема установки приведена на рис. 2.

Измерение тепловых параметров осуществлялось с помощью тепловизора марки *Testo 872*. Общий вид измерителя представлен на рис. 3. Прибор позволяет измерить температуру воздуха, воды и талой зоны вокруг трубопровода с точностью измерений 2 °С или ±2% от показаний. Камера позволяет осуществлять измерения инфракрасного излучения, испускаемого поверхностью исследуемого объекта, затем преобразуемого в двухмерное изображение, которое характеризует распределение температуры по этой поверхности.

Основные технические характеристики прибора составлены в табл. 1

Прибор обладает высокой чувствительностью и позволяет фиксировать тепловую картину, проходящую в мерзлом грунте при пропуске по трубопроводу теплой воды с разной температурой. С помощью прибора удается получить термограммы высокого качества, по которым оп-

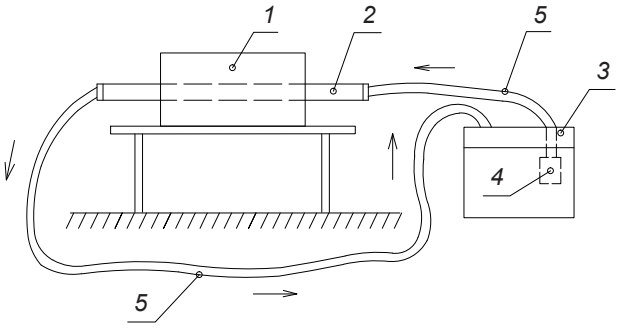


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: *1* — блок мерзлого грунта; *2* — трубопровод; *3* — бак; *4* — насос; *5* — подающий шланг; *6* — отводящий шланг



Рис. 3. Тепловизор *Testo 872*

Таблица 1

Характеристики тепловизора Testo 872

Диапазон температур	–30 °С … +650 °С
Базовая погрешность	±2 °С или 2 %
Размеры приемника излучения	320×240 пикселей
Пространственное разрешение (IFOV)	2,3 мрад (объектив 42° × 30°)
Температурная чувствительность (NETD)	60 мК
Частота обновления кадров	9 Гц
Фокусировка	Минимально 50 см (фиксированный фокус)
Память	Карта памяти Micro SD, встроенная флеш-память
Интерфейс	USB, Wi-Fi, bluetooth
Источник питания	Батарейное (литиево-ионный аккумулятор)

ределяется форма, размер талика и температура грунта.

Результаты и обсуждение

На основе метеорологических данных для г. Кызыле глубина промерзания грунта составляет 3,2 м. На канализационной сети города в качестве эксперимента проложено несколько участков с глубиной заложения 2 м, по данным метеослужбы, температура грунта на этом уровне находится в пределах –4...–6 °С. Поэтому температуру исследуемого мерзлого грунта в нашем эксперименте принимаем равной –4 °С.

По результатам разовых замеров установлено, что температура сточной жидкости на выпусках из зданий находится в пределах 13–21 °С. Поэтому в эксперименте для более полного учета возможных условий работы трубопровода принято значение температуры воды 40, 20 и 1 °С.

Таблица 2

Основные параметры при проведении опытов

Опыты	Движения воды полным сечением, $h/d = 1$	
	Температура грунта, °С	Температура воды, °С
Опыт 1	–4	40
Опыт 2	–4	20
Опыт 3	–4	1
Движения воды с заполнением $h/d = 0{,}5$		
Опыт 4	–4	40
Опыт 5	–4	20
Опыт 6	–4	1

Величина образующегося вокруг трубопровода талика зависит от температуры транспортируемой воды, степени наполнения трубопровода и температуры грунта. В эксперименте принимаем движение воды полным сечением и со степенью заполнения $h/d = 0{,}5$, где h — высота слоя воды в трубопроводе, а d — диаметр трубопровода.

Опыты выполнены в две серии: первая — для полного заполнения трубопровода при $h/d = 1$, вторая — неполного заполнения $h/d = 0{,}5$.

Схема проведения опытов приведена в табл. 2.

Продолжительность проведения одного опыта составляла в среднем от 20 до 30 минут до стабилизации размеров ореола оттаивания грунта вокруг трубопровода.

Через определенные промежутки времени тепловизором снимались и записывались термограммы, на основе которых определялись значения температуры и размеры талой зоны вокруг трубопровода. Из опытов следует, что при температуре воды +40 °С размеры талой зоны вокруг трубопровода больше, чем при подаваемой в трубопровод воды с температурой +20 °С. Из рисунка видно, что при полном заполнении воды в трубопроводе талик имеет форму круга.

На рис. 4 приведены термографии теплового состояния грунта с трубопроводом для разных опытов.

Для расчета определения размеров талика пользовались формулами Г. В. Порхаева [10]. Характерные размеры талика определялись по известным аналитическим зависимостям.

Радиус зоны талого грунта сверху трубы $r_{тв}$ определяется по формуле (1)

$$r_{тв} = h_0\left(1 - y^1\right) + r_u, \qquad (1)$$

где h_0 — глубина заложения трубы, м; y^1 — координата, определяемая по левой ветви кривой $x_1 = 0$ номограммы рис. 11, *а* [9] по значению коэффициента f_1, вычисленного по формуле (2)

$$f_1 = \frac{\left(+\frac{t_{пт}}{t_в}h_0 - 1\right)_м t_в f_2}{\left(-h_0\right)_м t_в - \left(-s_c\right)_т t_{пт}}, \qquad (2)$$

где x — глубина промерзания грунта, м; r_u — внешний радиус теплоизоляции трубы, м; $t_{пт}$ — температура поверхности трубы, °С; $l_м$ — коэффициент теплопроводности грунта в мерзлом состоянии, Вт/мК; $l_т$ — коэффициент теплопроводности грунта в талом состоянии, Вт/мК; $s_с$ —

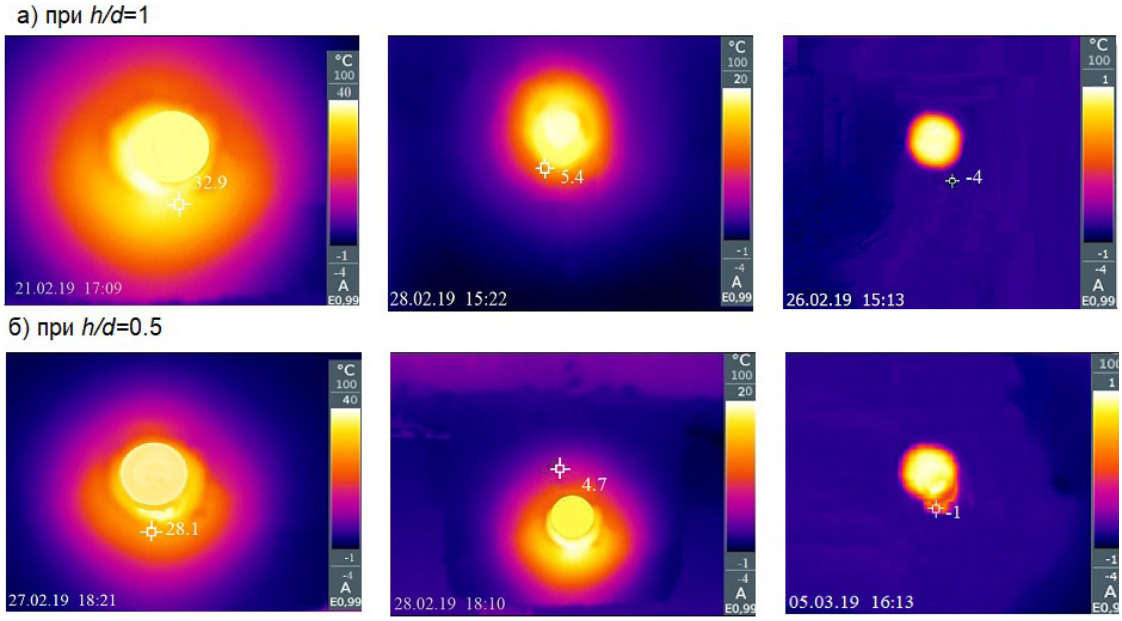


Рис. 4. Термографии опытов

толщина эквивалентного слоя грунта, м; $t_в$ — среднемесячная температура воздуха, °С.

Радиус зоны талого грунта снизу трубы $r_{тн}$ определяется по формуле (3)

$$r_{тн} = y^1 h_0, \quad (3)$$

где y^1 — определяется по правой ветви кривой $x^1 = 0$ номограммы рис. 11, *а* [9] по значению коэффициента f_1, вычисленного по формуле

$$f_1 = \frac{0{,}5\left(-h_0\right)_м t_в f_2}{\left(-h_0\right)_м t_в - \left(+s_с\right)_т t_{пт}} \quad (4)$$

Схема, поясняющая параметры ореола протаивания вокруг трубы, уложенной в мерзлом грунте, представлена на рис. 5.

Фото талика, образующегося вокруг трубы при проведении опытов, показано на рис. 6.

Размеры талика, полученные по результатам расшифровки теплограмм и полученные по результатам теплотехнического расчета, выполненные по методике Г. В Порхаева [10] на основе данных, соответствующих эксперименту, приведены в табл. 3.

Для наглядности на рис. 7 представлены схемы (*а*) с размерами таликов, полученных по эксперименту для опытов 2 и 5. Для этих же опытов при тех же параметрах приведены расчетные значения размеров таликов (*б*).

Опыт 2. Движение воды с полным заполнением, $h/d = 1$

Опыт 5. Движение воды с полным заполнением, $h/d = 0{,}5$

При сравнении размеров талика, полученных в эксперименте, и по расчету следует отметить, что в трубопроводе, работающем полным сечением, контуры талого грунта близки к окружности; в трубопроводе, работающем с заполнением $h/d = 0{,}5$ талик имеет яйцообразный вид. В эксперименте и по расчету толщина талика под трубой в среднем на 5–16 % больше, чем над трубой. Причем, фактические значения талика, полученные экспериментальным путем, в обоих случаях больше расчетных на 10–16 %. Таким образом, можно считать, что в принятой методике расчета по определению размеров талика его величины несколько занижены. Фактически время промерзания талика ввиду его больших размеров будет примерно на 15 % больше значений, полученных по расчету.

Заключение

На основе анализа полученных схем можно сделать следующие выводы:

1. В общем случае для трубопровода, работающего полным сечением, толщина слоя оттаявшего грунта под трубой больше, чем над трубой, причем расхождение в значениях возрастает с увеличением температуры транспортируемой жидкости. При транспортировании воды с темпе-

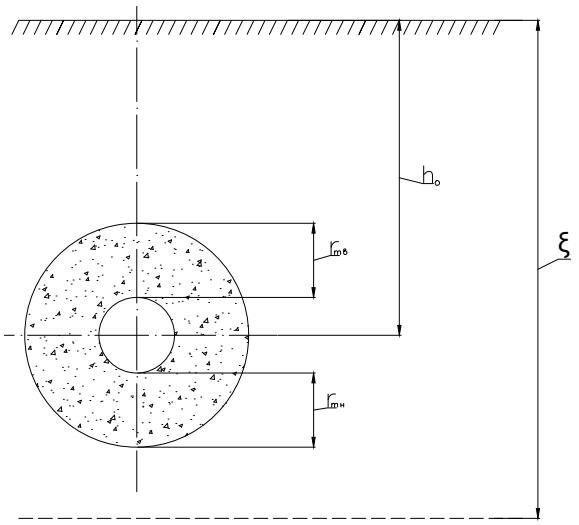
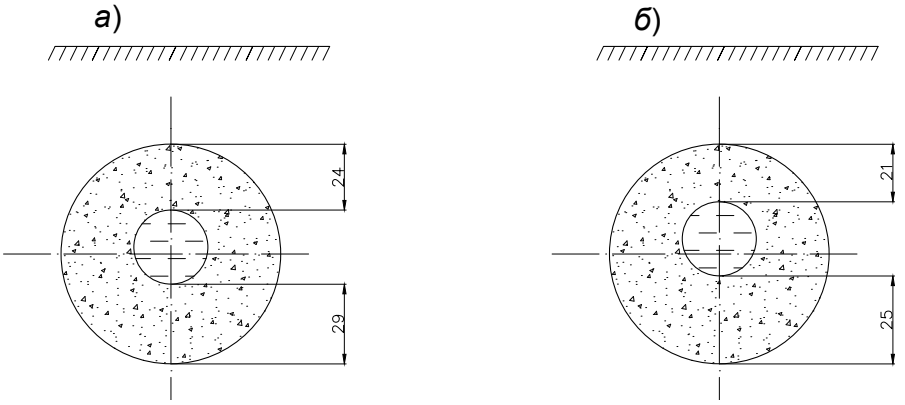


Рис. 5. Схема ореола протаивания вокруг трубы



Рис. 6. Внешний вид талика, полученного на экспериментальной установке

Опыт 2. Движение воды с полным заполнением, *h*/*d* = 1



Опыт 5. Движение воды с полным заполнением, *h*/*d* = 0,5

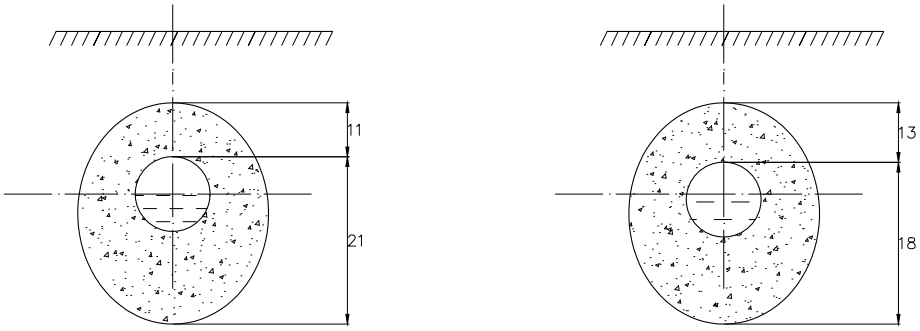


Рис. 7. Значение талика для опытов 2 и 5: *а* — по данным эксперимента; *б* — по расчету

ратурой воды 20 °С толщина талика под трубой больше, чем над трубой на 16 %, а для температуры 40 °С это расхождение возрастает до 22 %. При температуре транспортируемой жидкости 1 °С толщина слоя оттаявшего грунта сверху и снизу трубы является минимальной и практически их значения становятся одинаковыми.

2. Для трубопровода, работающего при степени заполнения *h*/*d* = 0,5 соотношение толщины оттаявшего грунта сверху и снизу трубы возрас-

Таблица 3

Сравнительные результаты экспериментальных и расчетных значений талика

Опыты	Температура воды, °С	Размеры талика, мм			
		Радиус талой зоны сверху трубы над трубой $r_{тв}$, мм		Радиус талой зоны снизу трубы под трубой $r_{тн}$, мм	
		по данным эксперимента	по методике Порхаева Г. В.	по данным эксперимента	по методике Порхаева Г. В.
Движение воды с полным заполнением, $h/d = 1$					
Опыт 1	40	45	40	58	49
Опыт 2	20	24	21	29	25
Опыт 3	1	2,7	2	3	2,2
Движение воды с неполным заполнением, $h/d = 0,5$					
Опыт 4	40	21	19	33	28
Опыт 5	20	15	13	21	18
Опыт 6	1	2,6	2	3	2,2

тает: при температуре воды 40 °С на 32 %, при 20 °С — 27 %, при 1 °С — 9 %.

3. Сравнение размеров талика, полученных по результатам эксперимента, и расчетных показало, что экспериментальные размеры талика превышают расчетные на 10–15 %. С увеличением размеров талика возрастает продолжительность времени его промерзания, благодаря чему увеличивается и безопасное время для проведения ремонтных работ. Таким образом, фактическое время промерзания будет больше расчетного. Широко используемые расчетные зависимости Г. В. Порхаева по определению размеров талика отражают действительную картину с запасом до 15 %.

Литература

1. Алексеев, М. И. и Ермолин, Ю. А. (2015). Надежность сетей и сооружений систем водоотведения. М.: Издательство АСВ, 200 с.

2. Воловник, Г. И., Терехов, Л. Д. и Коробко, М. И. (2005). Общие вопросы технической эксплуатации коммунальных систем водоснабжения и водоотведения: учебное пособие. Хабаровск: Издательство. ДВГУПС, 83 с.

3. Госстрой СССР (1979). СН 510-78 Инструкция по проектированию сетей водоснабжения и канализации для районов распространения вечномерзлых грунтов. М.: Стройиздат, 72 с.

4. Домнин, К. В., Киреев, Г. А., Терехов, Л. Д., и Коробко, М.И. (2007). Оптимизация процессов обезвоживания осадка и активного ила на ОСК г. Хабаровска. Водоснабжение и санитарная техника, № 6-2, сс. 67–69.

5. Ермолин, Ю. А. и Алексеев, М. И. (2018). Мера надежности канализационной сети. Вода и экология: проблемы и решения, № 2 (74), сс. 51–58. DOI: 10.23968/2305–3488.2018.20.2.51–58

6. Майны, Ш. Б. (2010). Температурный режим сезоннопромерзающих грунтов (на примере г. Кызыла). Промышленное и гражданское строительство, № 10, сс. 50–51.

7. Майны, Ш.Б. (2015). Анализ аварий канализационных трубопроводов (на примере г. Кызыла). Вестник гражданских инженеров, № 3 (50), сс. 197–201.

8. Майны, Ш. Б. и Терехов, Л. Д. (2019). Анализ информации о предприятиях, курируемых Министерством строительства и ЖКХ Республики Тыва. В: XXI Международная научно-практическая конференция. Водные ресурсы — основа устойчивого развития поселений Сибири и Арктики в XXI веке, 20–22 марта 2019. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, сс. 346–349.

9. Майны, Ш. Б., Терехов, Л. Д. и Заборщикова, Н. П. (2016). Методика определения минимальной глубины заложения начального участка канализационных трубопроводов в суровых климатических условиях. Вестник гражданских инженеров, № 3 (56), сс. 116–122.

10. Порхаев, Г. В., Александров, Ю. А., Семенов, Л. П. и Шур, Ю. Л. (1975). Рекомендации по теплотехническим расчетам и прокладке трубопроводов в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов. М.: НИИОСП, 91 с.

11. Терехов, Л. Д. и Гинзбург, А. В. (2001). Инерционность замерзания водоводов в зимний период. М.: ВИНИТИ РАН, 43 с.

12. Терехов, Л. Д., Акимов, О. В. и Акимова, Ю. М. (2008). Водоснабжение и водоотведение в северных климатических условиях: учебное пособие. Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 109 с.

13. Терехов, Л. Д., Акимов, О. В. и Акимова, Ю. М. (2009). Назначение оптимальной толщины теплоизоляции водовода. Вестник Иркутского государственного технического университета, № 3 (39), сс. 180–183.

14. Терехов, Л. Д., Петров, В. М. и Акимов, О. В. (2019). Продолжительность безопасной остановки движения воды в трубопроводе в зимний период. В: XXI Международная научно-практическая конференция. Водные ресурсы – основа устойчивого развития поселений Сибири и Арктики в XXI веке, 20–22 марта 2019. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, сс. 389–393.

15. Терехов, Л. Д., Юдин, М. Ю. и Песчанский, Г. Г. (1986). Исследования теплоизоляции водоводов надземной прокладки на БАМе. В: Совершенствование систем железнодорожного водоснабжения и водоотведения в районах Дальнего Востока, зоне БАМа и Забайкалья

(межвузовский сборник научных трудов). Хабаровск: ХабИИЖТ, сс. 32–35.

16. Федоров, Н. Ф. и Заборщиков, О. В. (1979). Справочник по проектированию систем водоснабжения и канализации в районах вечномерзлых грунтов. Л.: Стройиздат, 160 с.

17. Ястребов, А. Л. (1972). Инженерные коммуникации на вечномерзлых грунтах. Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 175 с.

References

1. Alexeev, M. I. and Ermolin, Y. A. (2015). Reliability of networks and structures of water disposal systems. Moscow: Izdatelstvo ASV, 200 p.

2. Volovnik, G. I., Terekhov, L. D. and Korobko, M. I. (2005). General issues of operating and maintaining municipal water supply and disposal systems: study guide. Khabarovsk: Publishing House of Far Eastern State Transport University, 83 p.

3. Gosstroy of the USSR (1979). Construction Regulations SN 510-78. Guidelines for the design of water supply and sewage networks for regions with permafrost soils. Moscow: Stroyizdat, 72 p.

4. Domnin, K. V., Kireev, G. A., Terekhov, L. D. and Korobko, M. I. (2007). Optimization of sludge and activated sludge dewatering at sewage treatment facilities of Khabarovsk. *Water Supply and Sanitary Technique*, No. 6-2. pp. 67–69.

5. Ermolin, Y. A. and Alexeev, M. I. (2018). Reliability measure of a sewer network. *Water and Ecology,* No. 2 (74), pp. 51–58. DOI: 10.23968/2305–3488.2018.20.2.51–58.

6. Mayny, Sh. B. (2010). Temperature seasonally soils (for example, the Kyzyl). *Industrial and Civil Engineering*, No. 10, pp. 50–51.

7. Mayny, Sh. B. (2015). Analysis of accidents taking place at sewer pipelines (on the example of the town of Kyzyl). *Bulletin of Civil Engineers*, No. 3 (50), pp. 197–201.

8. Mayny, Sh. B. and Terekhov, L. D. (2019). Analysis of information on enterprises supervised by the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Republic of Tyva. In: 21st International Scientific and Practical Conference. Water Resources — Basis for Sustainable Development of Settlements in Siberia and the Arctic in the 21st Century», March 20–22, 2019. Tyumen: Tyumen Industrial University, pp. 346–349.

9. Mainy, Sh. B., Terekhov, L. D. and Zaborshchikova, N. P. (2016) Technique of assessing the minimum laying depth of the initial site of sewer pipelines in severe climatic conditions. *Bulletin of Civil Engineers*, No. 3 (56), pp. 116–122.

10. Porkhayev, G. V., Aleksandrov, Yu. A., Semyonov, L. P. and Shur, Yu. L. (1975). Recommendations for heat engineering calculations and laying of pipelines in areas with deep seasonal freezing of soils. Moscow: Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP), 91 p.

11. Terekhov, L. D. and Ginzburg, A. V. (2001). Inertia of water pipe freezing in winter. Moscow: All-Russian Institute of Scientific and Technical Information of the Russian Academy of Sciences, 43 p.

12. Terekhov, L. D., Akimov, O. V. and Akimova, Yu. M. (2008). Water supply and disposal in northern climatic conditions: textbook. Khabarovsk: Publishing House of Far Eastern State Transport University, 109 p.

13. Terehov, L. D., Akimov, O. V. and Akimova, Y. M. (2009). Water line heat insulation optimal thickness setting. *Proceedings of Irkutsk State Technical University,* No. 3 (39), pp. 180–183.

14. Terekhov, L. D., Petrov, V. M. and Akimov, O. V. (2019). Duration of a safe water movement stop in a pipeline in winter. In: 21st International Scientific and Practical Conference. Water Resources — the Basis for Sustainable Development of Settlements in Siberia and the Arctic in the 21st Century», March 20–22, 2019. Tyumen: Tyumen Industrial University, pp. 389–393.

15. Terekhov, L. D., Yudin, M. Yu. and Peschansky, G. G. (1986). Studying thermal insulation of above-ground water pipes at the BAM. In: Improvement of railway water supply and disposal systems in Far East regions, BAM and Transbaikal areas (interuniversity collection of scientific papers). Khabarovsk: Khabarovsk Institute of Railway Transport Engineers, pp. 32–35.

16. Fyodorov, N. F. and Zaborshchikov, O. V. (1979). Handbook for the design of water supply and sewage systems in regions with permafrost soils. Leningrad: Stroyizdat, 160 p.

17. Yastrebov, A. L. (1972). Utilities on permafrost soils. Leningrad: Stroyizdat, 175 p.

Авторы

Терехов Лев Дмитриевич, д-р техн. наук, профессор

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: levter4@rambler.ru

Майны Шончалай Борисовна

Тувинский государственный университет, Кызыл, Россия

E-mail: shonchikspb@mail.ru

Черников Николай Андреевич, д-р техн. наук, профессор

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: water@spbgasu.ru

Authors

Terekhov Lev Dmitrievich, Dr. of Engineering, Professor

Petersburg State University of ways of the message of Imperator Alexander I «Water Supply, Wastewater Disposal and Hydraulics» Department, St. Petersburg, Russia

E-mail: levter4@rambler.ru

Моб.: +7 (981) 956 36 16

Mayny Shonchalay Borisovna

Tuvan State University, Kyzyl, Russia

E-mail: shonchikspb@mail.ru

Chernikov Nikolay Andreyevich, Dr. of Engineering, Professor

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

E-mail: water@spbgasu.ru