

Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2025, Том 12, № 4 / 2025, Vol. 12, Iss. 4 <https://t-s.today/issue-4-2025.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/19SATS425.pdf>

DOI: 10.15862/19SATS425 (<https://doi.org/10.15862/19SATS425>)

2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кудрявцев, С. А. Оценка причин деформаций водопропускных металлических гофрированных труб в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов / С. А. Кудрявцев, М. В. Парамонов, В. Н. Парамонов, И. И. Сахаров // Транспортные сооружения. — 2025. — Т. 12. — № 4. — URL: <https://t-s.today/PDF/19SATS425.pdf>. DOI: 10.15862/19SATS425.

For citation:

Kudryavtsev S.A., Paramonov M.V., Paramonov V.N., Sakharov I.I. Assessing the causes of deformation of metal corrugated culverts in permafrost soils. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2025;12(4): 19SATS425. Available at: <https://t-s.today/PDF/19SATS425.pdf>. DOI: 10.15862/19SATS425. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 624.139

Кудрявцев Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, Россия
Заведующий кафедрой «Мосты, тоннели и подземные сооружения»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: olgakudr56@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5414-7567>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=614674

Парамонов Максим Владимирович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: soilproject@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=783131

Парамонов Владимир Николаевич

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
Санкт-Петербург, Россия
Заведующий кафедрой «Основания и фундаменты»
Доктор технических наук, доцент
E-mail: parvn@georec.spb.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8212-7897>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=404519

Сахаров Игорь Игоревич

АО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева»,
Санкт-Петербург, Россия
Профессор
Доктор технических наук, профессор
E-mail: i.sakharov2014@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=828665

**Оценка причин деформаций водопропускных
металлических гофрированных труб в условиях
распространения многолетнемерзлых грунтов**

Аннотация. В связи с неуклонным развитием транспортной инфраструктуры в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов возникает необходимость оценки работы сооружений как на этапе строительства, так и на этапе эксплуатации с учетом множества факторов и процессов. Нередко возникают трудности с эксплуатацией из-за некорректно проведенных инженерно-геологических изысканий, что приводит к выводу из строя отдельных конструкций эксплуатируемой дороги. В настоящей статье авторами рассмотрена ситуация, связанная с определением критических деформаций металлических водопропускных труб искусственных сооружений для объекта «Строительство путепровода через транссибирскую железную дорогу в поселке городского типа Новобурейский». Авторами рассмотрены причины продолжающихся деформаций. Также в статье авторами показан подход к оценке различных факторов риска при эксплуатации насыпи путепровода. При сопоставлении данных ранее выполненных и текущих изысканий выявлено различие в гранулометрическом составе крупнообломочных грунтов, а именно: на первом этапе изысканий до начала строительства отмечался повсеместно гравийный грунт, в настоящее же время по результатам лабораторных исследований грунтов, отобранных под телом насыпи, выявлены изменения их гранулометрического состава, выраженные в уменьшении содержания фракции песчаных частиц, из чего сделан вывод о том, что под действием гравитационных сил и гидравлического воздействия подземных вод произошло вымывание мелкой фракции, что, возможно, привело к снижению плотности грунта и его несущей способности. Рассмотрен вариант развития деформаций земляного полотна в процессе фильтрационной консолидации основания насыпи при неизменности ее характеристик во времени. Предложены варианты мероприятий, обеспечивающих возможность дальнейшей эксплуатации объекта строительства: заключающиеся в устройстве МГТ в теле существующей насыпи или в объединении существующих МГТ в единую обойму.

Ключевые слова: осадка грунта; металлические гофрированные трубы; эксплуатация транспортной инфраструктуры в криолитозоне; гидрогеологические процессы; инженерно-геологические изыскания; моделирование PLAXIS

1. Обоснование проблемы

Большая часть территории Российской Федерации и значительная часть Северного полушария подвержены сезонным колебаниям температуры [1]. Считается, что при среднегодовой отрицательной температуре грунт находится в состоянии вечной мерзлоты, однако на юго-западной периферии криолитозоны ввиду высокой инсоляции мерзлые грунты могут отсутствовать (например, в городе Братске, расположенном в Иркутской области России) [2]. Строительство и проектирование зданий на таких грунтах — сложный многофакторный процесс, основные положения которого регламентируются нормативной документацией [3]. Строительство транспортной инфраструктуры в таких регионах является ключевым фактором их успешного и быстрого развития. Однако, как производство работ, так и дальнейшая эксплуатация осложнены рядом факторов и явлений [4; 5].

Основными проблемами при строительстве в сложных криологических условиях представляются следующие:

- некорректные геологические изыскания;
- глобальное потепление;
- гидрогеологическое воздействие.

Обводнение территорий в придорожных полосах автомобильных дорог является одним из наиболее распространённых негативных явлений, обусловленных интенсивной инфильтрацией воды в грунты основания и земляного полотна. Этот процесс ведёт к переувлажнению грунтов,

что способствует изменению их физико-механических свойств. В результате возникают предпосылки для формирования деформаций и возможных повреждений дорожных конструкций.

Наиболее уязвимыми элементами дорожной инфраструктуры, подверженными развитию деформаций под воздействием избыточной гидромеханической нагрузки, являются водопропускные трубы. Неравномерное вертикальное перемещение лотка водопропускной трубы в поперечном сечении земляного полотна, вызванное как изменениями характеристик грунтов, так и суффозией, протекающей в основании сооружения, способствует образованию застойных зон воды у входных и выходных оголовков, а также внутри тела трубы. Нарушение геометрии и лотка водопропускной трубы вызывает изменение гидравлического режима за счёт застоя воды в её теле, что в условиях сезонных климатических колебаний ведёт к образованию наледных отложений в зимний период. Ледяные образования значительно снижают пропускную способность и надёжность эксплуатации водопропускных сооружений, создавая потенциальные угрозы их разрушения, что может негативно сказаться на безопасности и долговечности дорожной инфраструктуры. Во время пиковых гидромеханических нагрузок, таких как весной, при повышенном расходе воды, указанный эффект усиливается, что необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации данных сооружений.

Выявление рисков для стадии эксплуатации является сложной задачей, включающей в себя и работу изыскателей, и обследование конструкций, а также геотехническую оценку с использованием численных и аналитических методов [6–8].

Целью настоящего исследования являлось установление причин деформаций водопропускных металлических гофрированных труб (МГТ) на автомобильных подходах и формирование объективных выводов о возможности дальнейшей эксплуатации искусственных сооружений для объекта «Строительство путепровода через Транссибирскую железную дорогу в поселке городского типа Новобурейский» [9; 10].

2. Материалы и методы

В рамках строительства путепровода через Транссибирскую железную дорогу в поселке городского типа Новобурейский Амурской области предусматривается строительство автодорог и МГТ.

Начало трассы ПК 0+00.00 расположено на км 3+550.0 автомобильной дороги «Обход п. Буря». На ПК 2+15.0 трасса отходит от существующей автодороги и пролегает в северо-восточном направлении с пересечением Транссибирской железной дороги на ПК 17+03.5. Конец трассы находится на ПК 23+60.00 с расчетом перспективного направления к федеральной трассе Р-297 «Амур» (рис. 1). На ПК 21+43.56 находится ПК 0+00.00 проектируемого примыкания вправо под углом 94° к автомобильной дороге «Гомелевка-Новобурейск- Куликовка». Конец примыкания ПК 7+73.46.

Проектной документацией предусмотрено устройство на автомобильных подходах металлических гофрированных труб на слабых основаниях с выполнением замены грунтов [11].

В ходе натурного обследования объекта и инструментальной съемки были установлены деформации металлических гофрированных труб на ПК 13+08, ПК 20+46, образовавшиеся в период консолидации насыпи и вследствие обводнения участков заложения металлических гофрированных труб [12]. Максимальная величина осадки металлических гофрированных труб на ПК 13+08 с 06.02.2024 составила до 460 мм, на ПК 20+46 составила до 570 мм.

Линия продольного профиля запроектирована в зависимости от рельефа местности и гидрологических условий как плавная кривая в увязке с искусственными сооружениями (водопропускные трубы, путепровод), пересекаемыми коммуникациями, кривыми в плане, и существующей дорожной сетью.

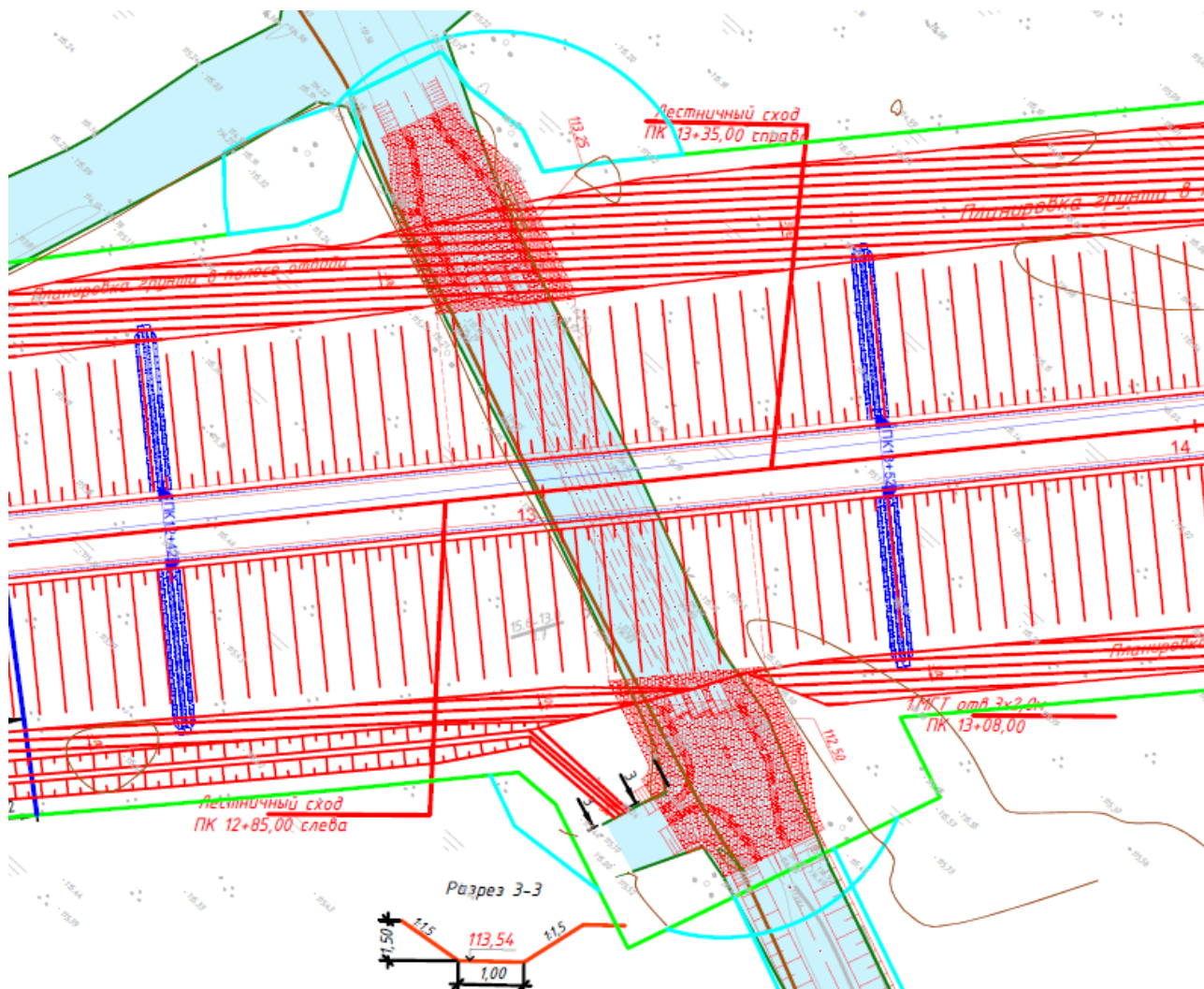


Рисунок 1. Схема расположения участка ПК 13+08 (разработан авторами)

Конструкция поперечных профилей земляного полотна назначена на основе решений по продольному профилю, почвенно-грунтовых, геологических, гидрологических и климатических условий, а также дорожно-климатической зоны и типа местности по характеру и степени увлажнения.

Ширина земляного полотна принята в соответствии с требованиями ГОСТ 33475-2015 для дороги III категории и равна 12 м.

Ширина проезжей части покрытия с учетом краевой полосы у обочины 8 м, обочин 2,5 м.

Ширина земляного полотна принята в соответствии с требованиями ГОСТ 33475-2015 для дороги IV категории и равна 10 м.

Ширина проезжей части покрытия с учетом краевой полосы у обочины 7 м, обочин 2,0 м.

Крутизна откосов насыпей назначена 1:1,5 м в соответствии с СП 34.13330.2012, исходя из условий обеспечения устойчивости откосов, снегонезаносимости дороги, обеспечения требований безопасности движения, а также с учетом вписывания проектируемой дороги в ландшафт местности.

Проектом предусмотрено строительство металлической гофрированной трубы отверстием 3×2,0 м на ПК 13+08,00 под углом 70°00' к оси дороги; МГТ отверстием 2,0 м на ПК 20+46,00 (рис. 2).

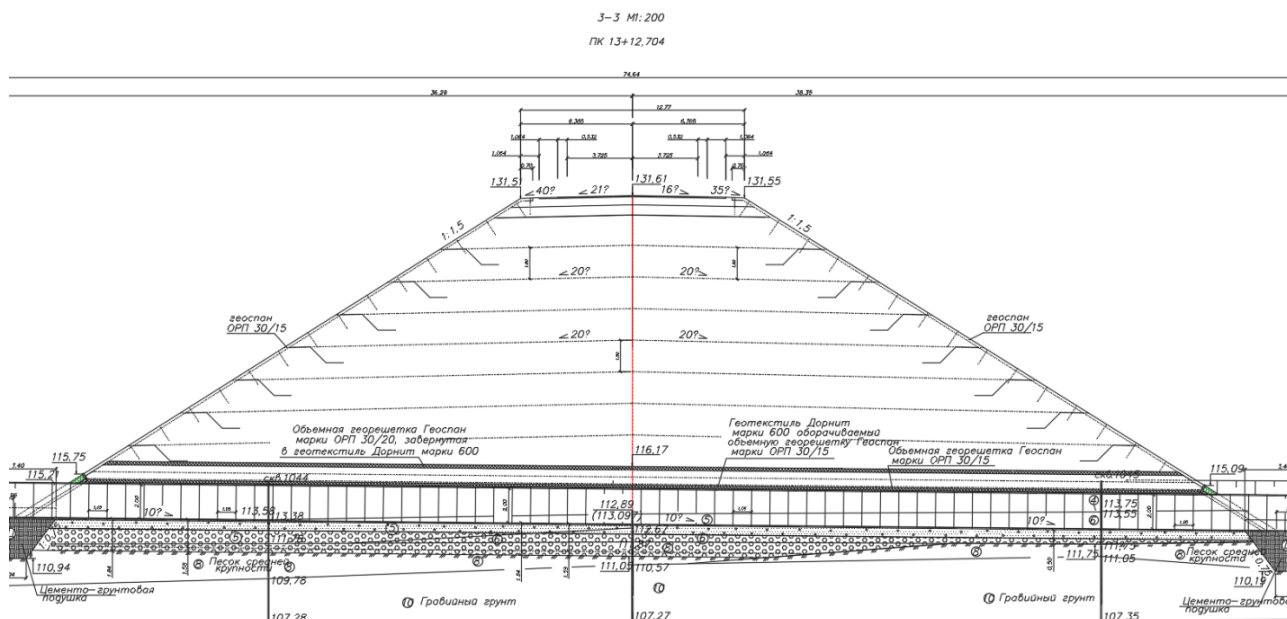


Рисунок 2. Профиль насыпи с МГТ отв. $3 \times 2,0$ м, ПК 13+08 (разработан авторами)

В связи с развитием продолжительных деформаций металлических гофрированных труб, установленных в ходе натурного обследования объекта и инструментальной съемки на ПК 13+08, ПК 20+46, на рассматриваемом объекте в 2025 г. были выполнены дополнительные инженерно-геологические изыскания. Изыскания выполнялись с целью определения глубины залегания подстилающей подушки из насыпных грунтов и уточнения геологического строения и свойств грунтов на участках прокладки водопропускных труб.

Новыми выработками установлена глубина подошвы насыпного грунта, согласно архивным данным на этих отметках находились слабые глинистые грунты, которые были удалены в ходе строительства путепровода, положения границ нижележащих слоев совпадают, внешне грунты не отличаются, однако согласно лабораторным данным гранулометрический состав отличается, если там, где по архивным данным залегал песок средней крупности насыщенный водой, то при последних изысканиях это был песок пылеватый (ПК 20+46,00).

По результатам проведенных изысканий было выявлено, что в основании дорожной насыпи залегает галечниковый грунт.

В сравнении с архивными материалами инженерно-геологических изысканий выявлено, что галечниковый грунт имеет неоднородную плотность, о чем свидетельствуют испытания грунта статическим зондированием, где сопротивление грунта под конусом зонда изменяется скачкообразно и варьирует от 1,35 до 50 МПа. Значения модуля деформации по данным зондирования колеблется в интервале 17–50 МПа, по результатам штамповых испытаний составляет 24–26 МПа.

При сопоставлении данных ранее выполненных и текущих изысканий выявлено различие в гранулометрическом составе крупнообломочных грунтов, а именно: на первом этапе изысканий до начала строительства повсеместно отмечался гравийный грунт, при том в настоящее время по результатам лабораторных исследований грунтов, отобранных под телом насыпи, выявлены изменения их гранулометрического состава, выраженные в уменьшении содержания мелкой фракции песчаных частиц, из чего можно сделать вывод о том, что под действием гравитационных сил и гидравлического воздействия подземных вод произошло вымывание мелкой фракции, что, возможно, повлияло на уменьшение плотности грунта и его несущей способности.

3. Возможные причины деформаций по результатам обследования

В соответствии с данными отчета о расследовании происшествия на данном объекте было установлено следующее:

После завершения строительства металлических гофрированных труб на ПК 13+08 и ПК 20+46 в комплексе с устройством водоотводных каналов согласно проектной документации в период с марта 2024 г. по апрель 2025 г. был установлен факт обводнения приоткосной части насыпи, элементов укрепления входного и выходного оголовков металлических гофрированных труб. Данный факт обусловлен застоем воды в водоотводных каналах водопропускных труб, отсутствием мелиоративных каналов как продолжений водоотводных каналов водопропускных труб строящегося объекта, и высоким заложением существующих водопропускных труб региональной автомобильной дороги 10К-035 «Гомелевка-Новобурейский-Куликовка», не обеспечивающим выполнение функций по отводу воды в полном объеме.

С наступлением положительных температур в 2025 году водоотводные каналы металлических гофрированных труб ПК 13+08 продолжали быть заполненными водой с образованием наледи на поверхности. При этом внутри металлические гофрированные трубы на ПК 13+08 были заполнены льдом на 89 %.

Была установлена деформация металлической гофрированной водопропускной трубы на ПК 13+08 на величину до 22 см, образовавшаяся в период консолидации насыпи и вследствие обводнения участка заложения металлических гофрированных труб. Максимальная величина деформаций труб МГТ на ПК 13+08 составляла до 46 см (рис. 3).

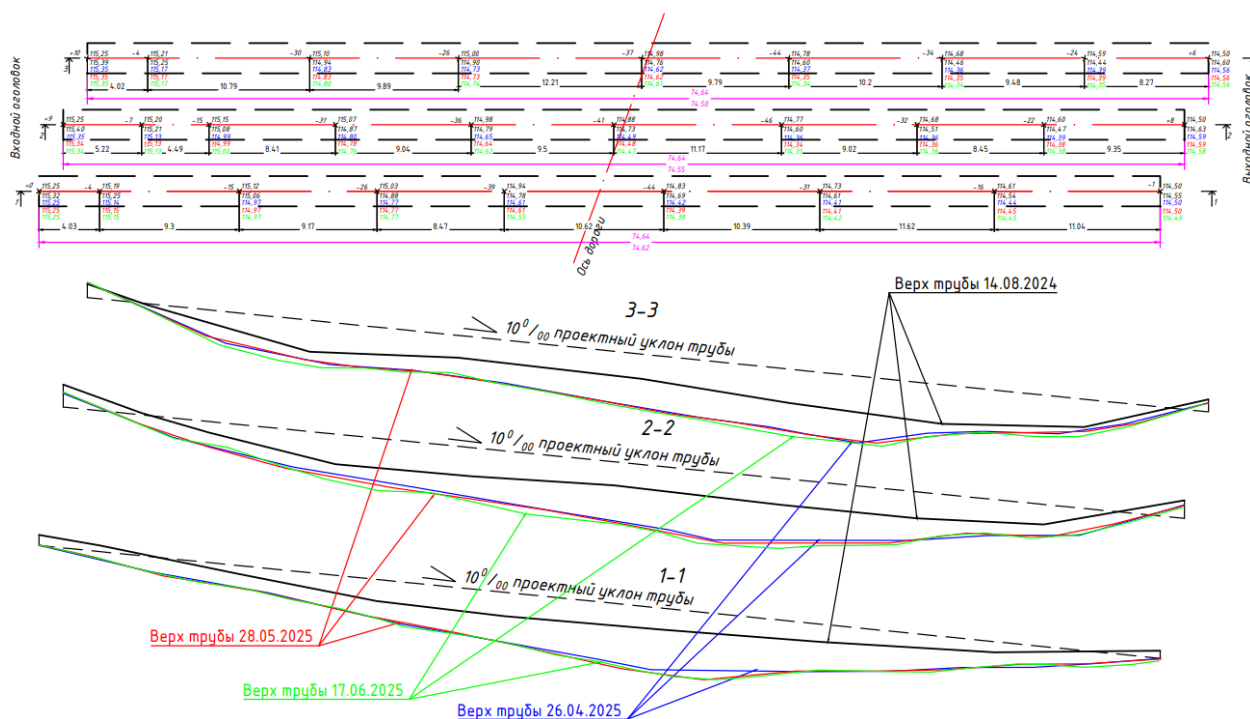


Рисунок 3. Съемка верха трубы в МГТ отв. 3×2,0 м, ПК 13+08 (разработан авторами)

На ПК 20+46 с наступлением оттепели и в осенне-летний период при строительстве объекта в 2024 году было установлено обводнение насыпи на участке ПК 17+65 — ПК 23+60 слева по ходу пикетажа, которое также было зафиксировано в летний и осенний периоды 2023 года. С наступлением положительных температур в 2025 году на прилегающей территории участка ПК 17+65 — ПК 23+60 основной дороги образовался застой воды на местности с образованием наледи, водоотводные каналы МГТ трубы ПК 20+46 были

заполнены водой с образованием наледи на поверхности. При этом внутри МГТ на ПК 20+46 была заполнена льдом на 80 %.

В весенне-летний период наблюдалось повсеместное обводнение насыпи в районе трубы, водоотводные каналы водопропускной трубы на ПК 20+46 были полностью заполнены стоячей водой без возможности дальнейшего водотока. Деформация металлической гофрированной водопропускной трубы на ПК 20+46, образовавшаяся в период консолидации насыпи вследствие обводнения участка заложения МГТ трубы, составила за весь период до 57 см (рис. 4). Кроме того, было установлено оседание земляного полотна на участке ПК 20+00 — ПК 21+00 величиной до 30 см, включая укрепление земляного полотна объемной георешеткой с заполнением камнем.

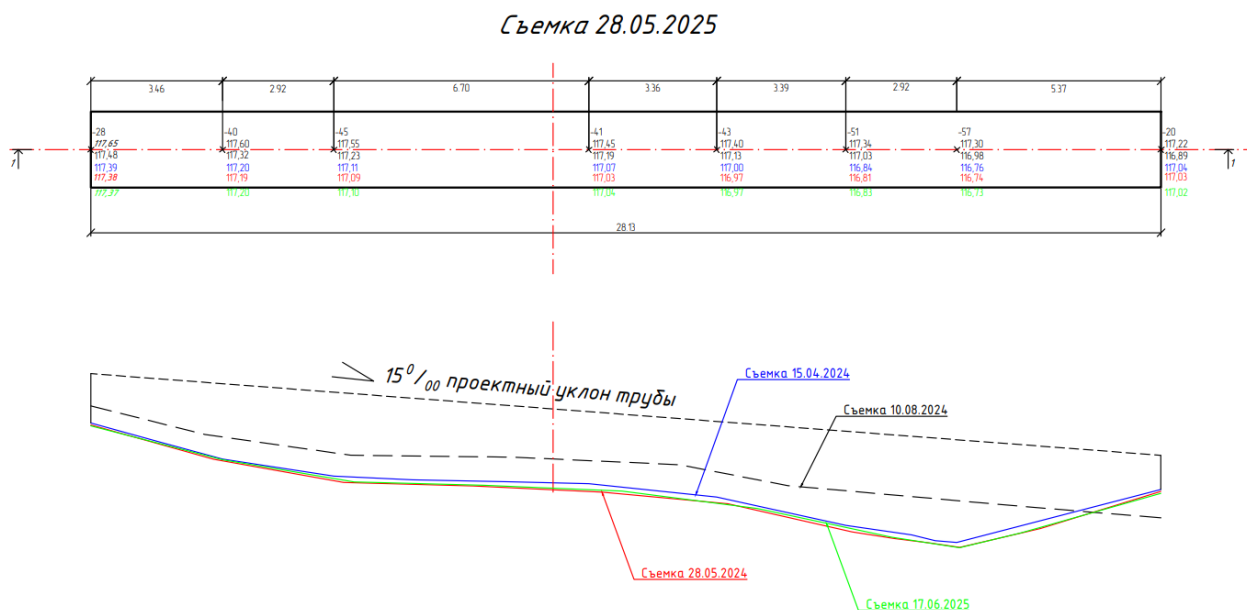


Рисунок 4. Съемка верха трубы в МГТ отв. 2,0 м, ПК 20+46 (разработан авторами)

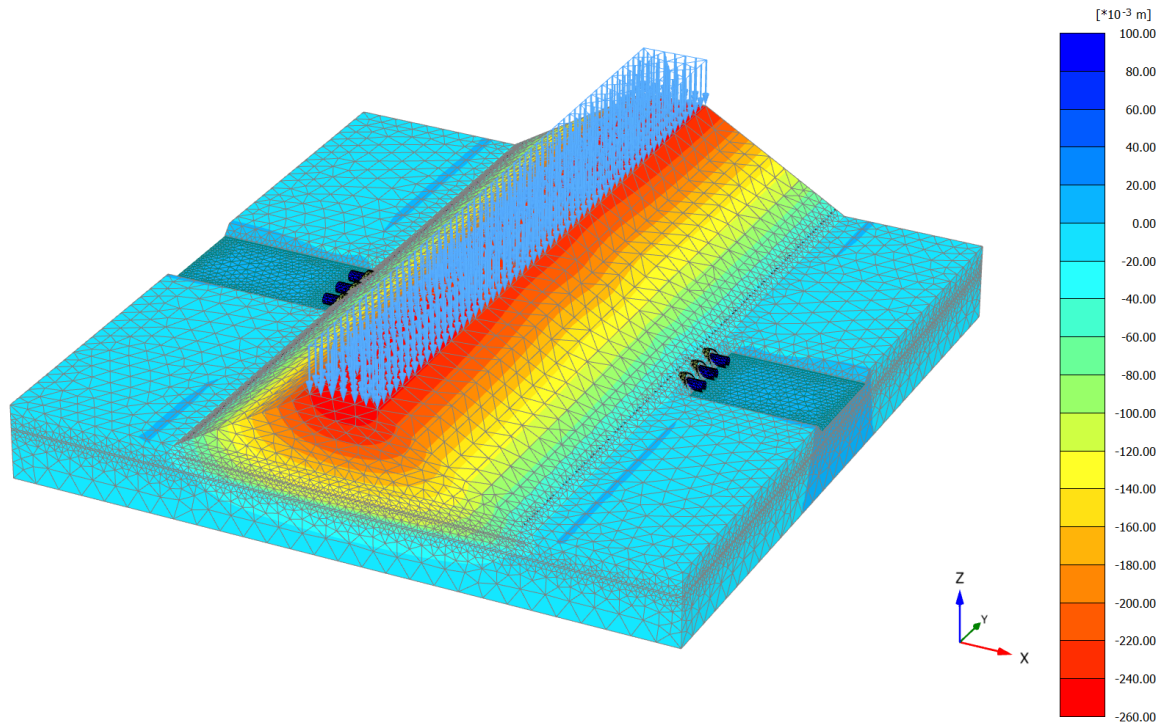
4. Результаты математического моделирования

С целью оценки причин деформаций водопропускных металлических гофрированных труб на автомобильных подходах и формирования объективных выводов о возможности дальнейшей эксплуатации искусственных сооружений были выполнены геотехнические расчеты.

Геотехнические расчеты были реализованы численными методами в трехмерной постановке задачи в программном сертифицированном комплексе PLAXIS [13]. Геомеханическая модель основания строилась на основе анализа и обобщения материалов инженерно-геологических изысканий, выполненных на объекте строительства. Расчет деформаций оснований сооружений выполнялся с учетом этапности производства строительных работ [14].

Работа грунта описывалась с помощью упругопластической модели с двойным упрочнением (Hardening Soil Model) и идеально-упругопластической модели грунта (Мора-Кулона) [15]. Параметры модели приняты на основании результатов проведенных инженерно-геологических изысканий на площадке строительства.

На этапе начала эксплуатации сооружения осадки насыпи составят порядка 25 см (рис. 5). Деформации же самих МГТ составили около 14 см (рис. 6) при давлении на конструкции около 40 кПа (рис. 7).

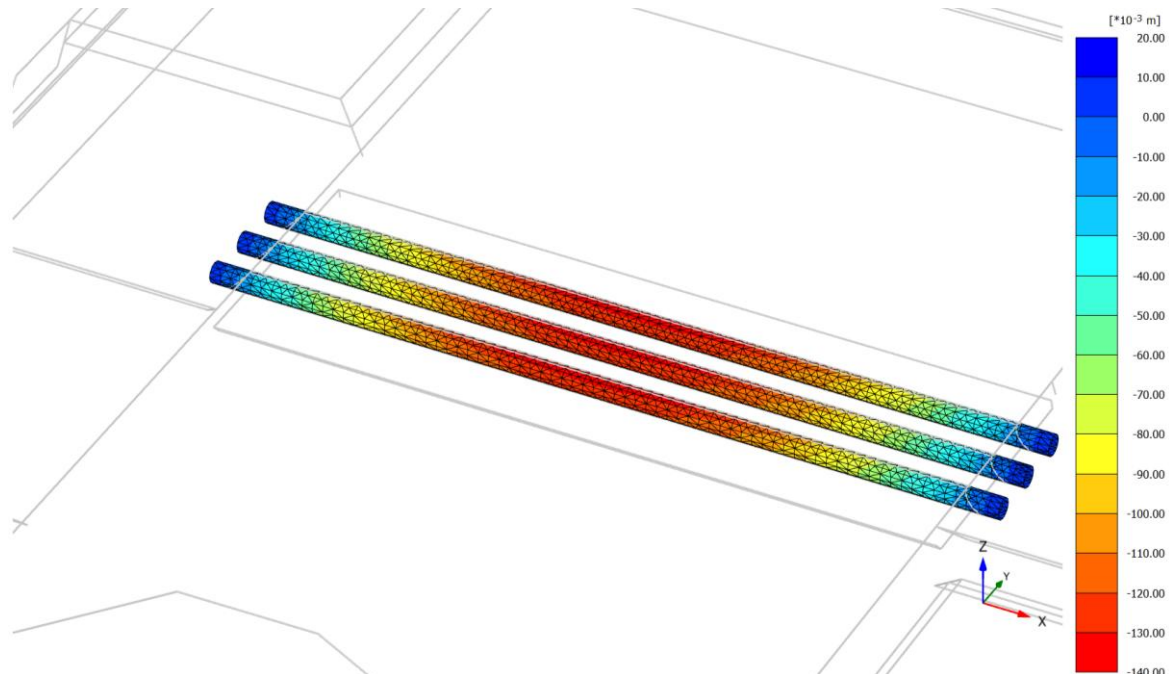


Total displacements u_z (scaled up 20.0 times) (Time 9698 day)

Maximum value = 0.09730 m (Element 90084 at Node 123354)

Minimum value = -0.2518 m (Element 21 at Node 51954)

Рисунок 5. Изополя вертикальных деформаций основания на этапе начала эксплуатации сооружения (разработан авторами)



Total displacements u_z (scaled up 50.0 times) (Time 9698 day)

Maximum value = 0.01043 m (Element 532 at Node 9982)

Minimum value = -0.1394 m (Element 947 at Node 1668)

Рисунок 6. Изополя деформаций МГТ на этапе начала эксплуатации сооружения (разработан авторами)

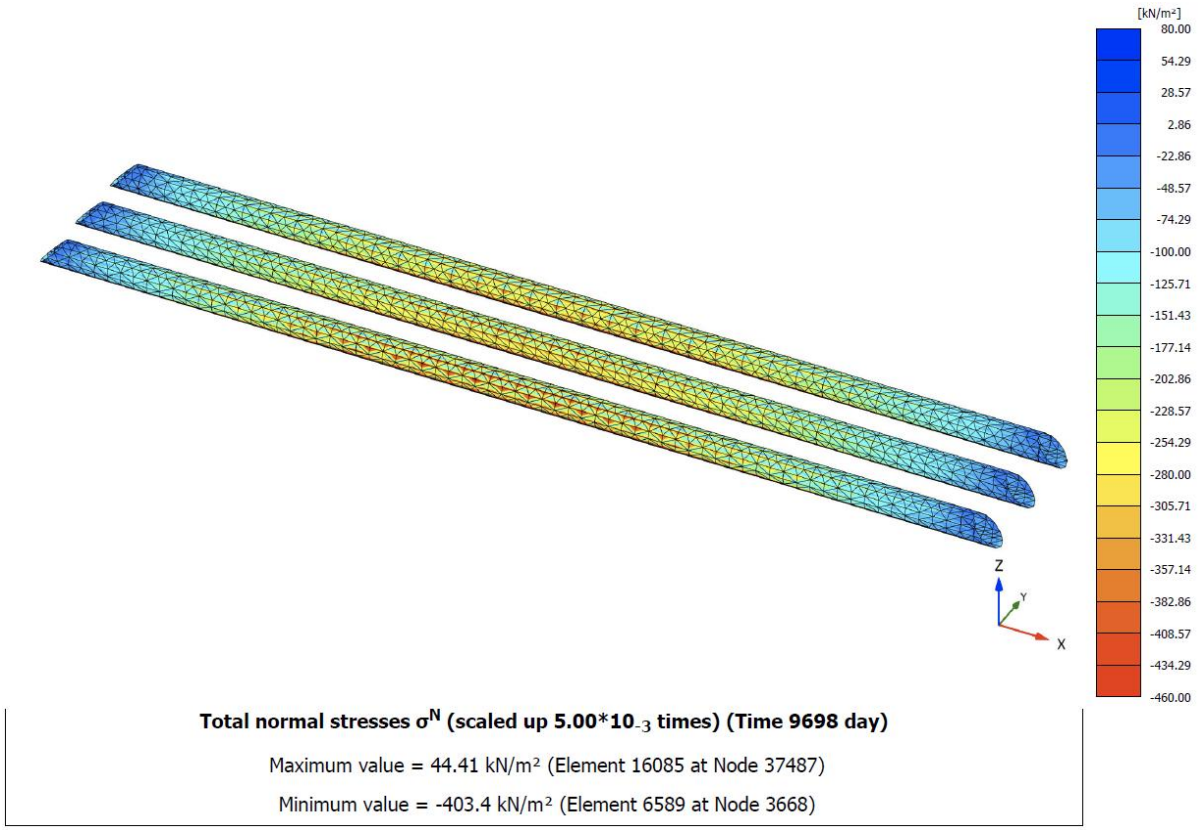


Рисунок 7. Изополя давлений на МГТ на этапе начала эксплуатации сооружения (разработан авторами)

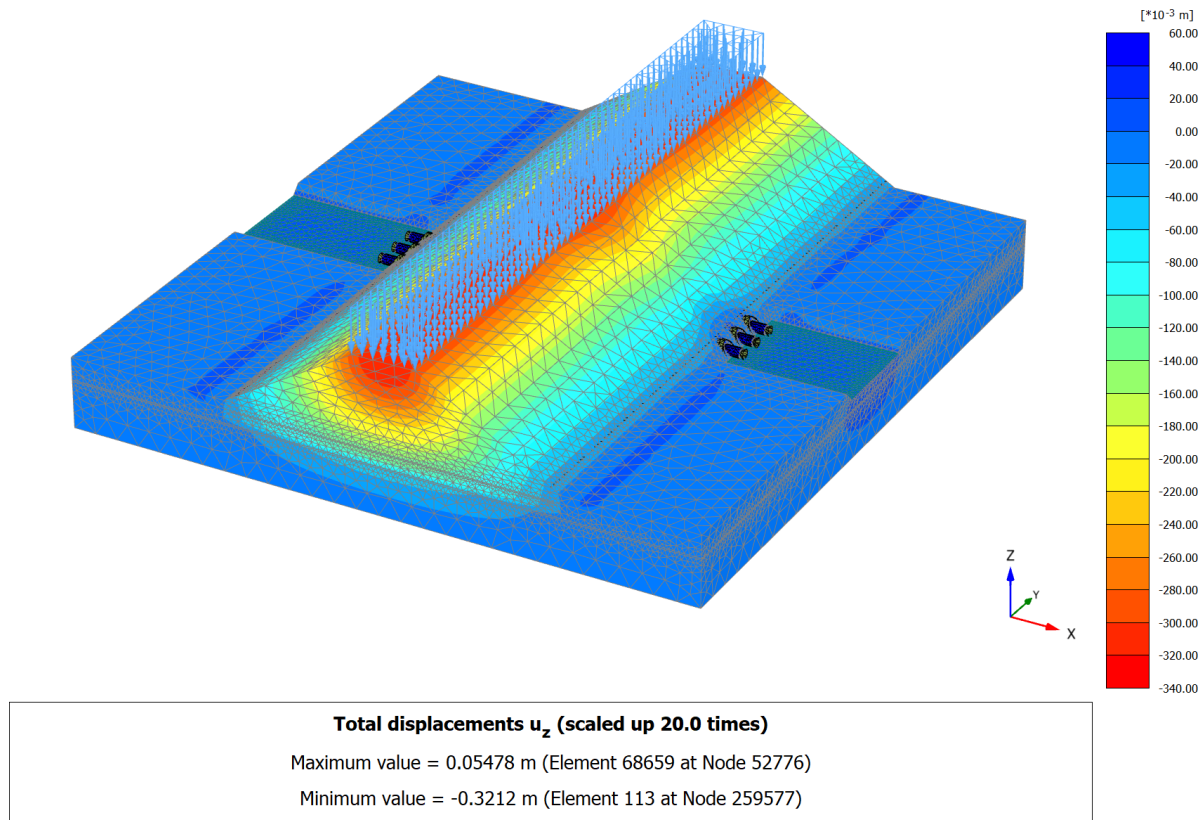


Рисунок 8. Изополя вертикальных деформаций массива грунта в период образования наледи и воздействия расширения льда (разработан авторами)

Для оценки изменения напряженно-деформированного состояния металлических труб на ПК 13+08 и на ПК 20+46 в период образования наледи и воздействия расширения льда выполнены расчеты в численной постановке [16]. На данном этапе осадки насыпи составят порядка 34 см (рис. 8). Деформации же самих МГТ составили около 19 см (рис. 9) при давлении на конструкции около 322 кПа (рис. 10).

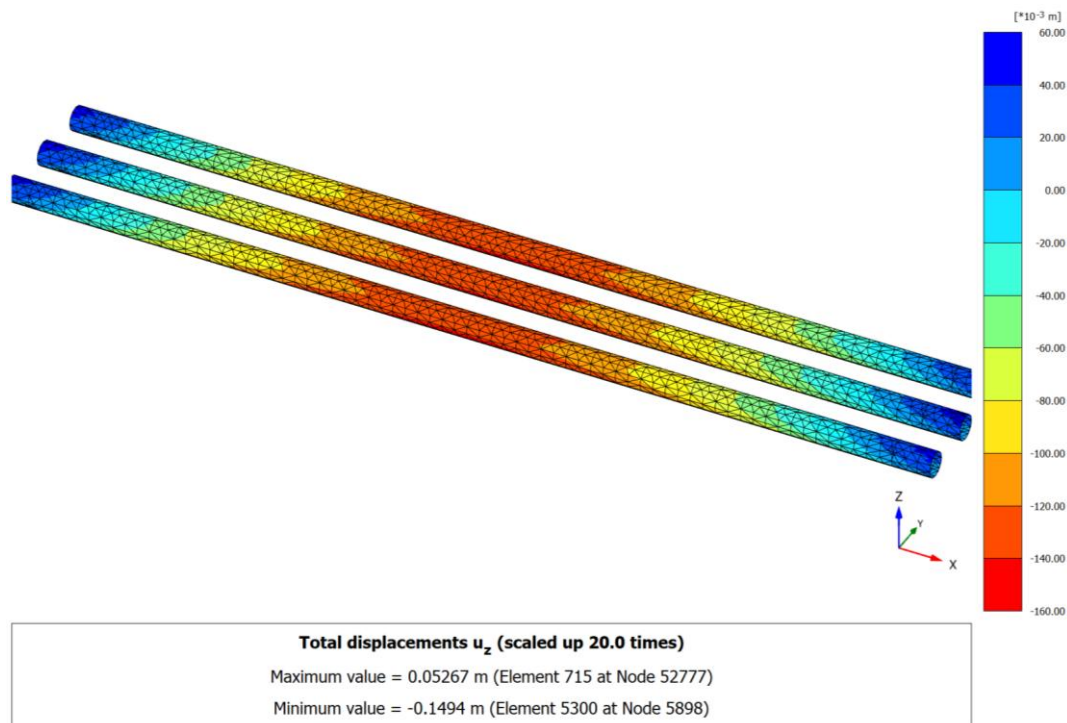


Рисунок 9. Изополя вертикальных деформаций МГТ в период образования наледи и воздействия расширения льда (разработан авторами)

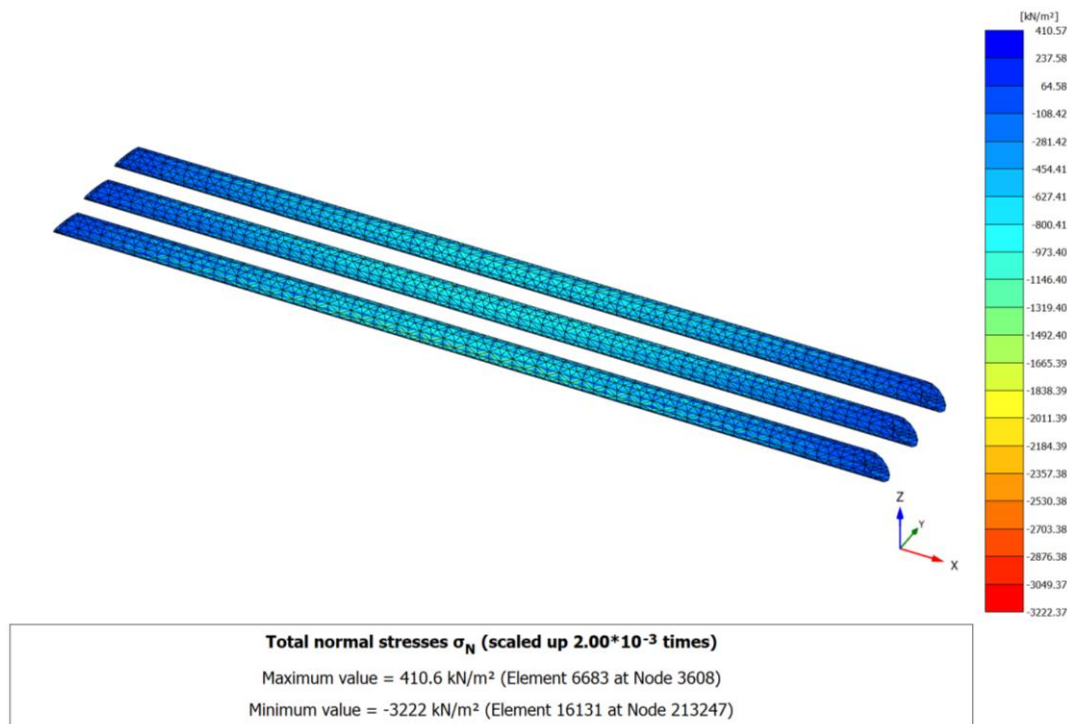


Рисунок 10. Изополя давлений на МГТ в период образования наледи и воздействия расширения льда (разработан авторами)

Заключение

По результатам обследования грунтов основания насыпи, выполненных АмурТИСИЗ, было установлено следующее: зафиксировано изменение структуры грунта в основании насыпи с гравийного на галечниковый в процессе вымывания мелких частиц песка и гравия под действием движения воды под нагрузкой от веса насыпи. По результатам статического зондирования установлена повышенная деформированность гравийного водонасыщенного грунта, выявлена его разнородность — лобовое сопротивление зонда изменяется в пределах 10–30 МПа (практически в 3 раза). Значения модуля деформации по данным зондирования также колеблются от 17 до 50 МПа, а по результатам штамповых испытаниях составляют 24–26 МПа (при проектных значениях в 40 МПа).

При наблюдении за конструкциями МГТ в зимний период установлено следующее: заполнение льдом на выходном оголовке труб МГТ на ПК 13+08 составило 89 %, заполнение льдом на выходном оголовке труб МГТ на ПК 20+08 составило 80 %.

По результатам выполненных численных и аналитических расчетов возведения МГТ и насыпи на основании фактических наблюдений установлено, что основной причиной развития сверхнормативных деформаций МГТ и насыпи на ПК 13+08 и на ПК 20+46 является изменение структуры грунта в основании насыпи с гравийного на галечниковый в процессе вымывания мелких частиц песка и гравия под действием движения воды под нагрузкой от веса насыпи и развитие его просадочных свойств. Прочность конструкций МГТ на ПК 13+08 и на ПК 20+46 по результатам расчетов в соответствии с СП 249.1325800.2016, ОДМ 218.2.001-2009 и ВСН 176-78 не обеспечена, что вызвано развитием дополнительных напряжений в металлических конструкциях вследствие воздействия объемного расширения льда в процессе образования наледи в зимний период и реализацией значительных деформаций вследствие вымывания мелких частиц песка и гравия в основании насыпи.

За 1 год после возведения насыпи реализуется порядка 70 % деформаций от стабилизированных. Срок реализации 90 % деформаций составляет порядка 15 лет на ПК 20+46 и порядка 18 лет на ПК 13+08. Величина дополнительных деформаций до полного завершения процесса фильтрационной консолидации составляет порядка 2,5 и 4 см соответственно.

С целью обеспечения дальнейшей эксплуатации объекта строительства рекомендуется выполнить следующие мероприятия: устройство МГТ в теле существующей насыпи после стабилизации её деформаций, установленных по результатам натурных и геодезических наблюдений, а также обеспечение самотечности воды в устраиваемых конструкциях в зимний период с целью недопущения льдообразования и появления наледей. В качестве альтернативного варианта возможно также заключение существующих МГТ в единую обойму.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе российской Арктики / А.А. Васильев, А.Г. Гравис, А.А. Губарьков [и др.] // Криосфера Земли. — 2020. — Т. 24, № 2. — С. 15–30. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42698739>. — DOI: [10.21782/KZ1560-7496-2020-2\(15-30\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30)). — EDN: [HROYGC](https://www.edn.ru/entry/HROYGC). (дата обращения: 12.12.2025).
2. Скрябин, П.Н. Динамика термического режима грунтов на трассах линейных сооружений Центральной Якутии / П.Н. Скрябин // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. — 2018. — Т. 23, № 1. — С. 48–53. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35653697>. — DOI: [10.31242/2618-9712-2018-23-1-48-53](https://doi.org/10.31242/2618-9712-2018-23-1-48-53). — EDN: [VADVCG](https://www.edn.ru/entry/VADVCG). (дата обращения: 12.12.2025).

3. Кудрявцев, С.А. Создание условий нормативного состояния деградирующих многолетнемерзлых оснований зданий и сооружений Дальневосточного федерального округа и Арктики / С.А. Кудрявцев, И.И. Сахаров, В.Н. Парамонов // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН за 2021 год.* — СПб., 2022. — С. 157–164. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49500352>. — EDN: [ZTPVTI](https://elibrary.ru/item.asp?id=49500352). (дата обращения: 12.12.2025).
4. Li X., Liu E., Song B., Liu X. An improved Nishihara model for frozen loess considering the influence of temperature / X. Li, E. Liu, B. Song, X. Liu // *Advances in Materials Science and Engineering.* — 2018. — № 1. — Art. 9073435. — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2018/9073435>. — DOI: [10.1155/2018/9073435](https://doi.org/10.1155/2018/9073435). (дата обращения: 12.12.2025).
5. Romanovsky V.E., Drozdov D.S., Oberman N.G., et al. Thermal state of permafrost in Russia / V.E. Romanovsky, D.S. Drozdov, N.G. Oberman [et al.] // *Permafrost and Periglacial Processes.* — 2010. — Т. 21. — С. 136–155. — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ppp.683>. — DOI: [10.1002/ppp.683](https://doi.org/10.1002/ppp.683). — EDN: [MXNXKD](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ppp.683). (дата обращения: 12.12.2025).
6. Кораблев, Д.С. Решение температурных задач в современных программных комплексах на примере малых лабораторных образцов / Д.С. Кораблев // *Серия "Строительство": Сборник статей магистрантов и аспирантов. В 2-х томах. Том 1. Выпуск 6.* — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. — С. 452–460. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53814069>. — EDN: [UTRBHX](https://elibrary.ru/item.asp?id=53814069). (дата обращения: 12.12.2025).
7. Никифорова, Н.С. Несущая способность свай в многолетнемерзлых грунтах при изменении климата / Н.С. Никифорова, А.В. Коннов // *Construction Geotechnics.* — 2021. — Т. 12. — С. 14–24. — URL: <https://ered.pstu.ru/index.php/CG/article/view/1907>. — DOI: [10.15593/2224-9826/2021.3.02](https://doi.org/10.15593/2224-9826/2021.3.02). — EDN: [HADEJW](https://ered.pstu.ru/index.php/CG/article/view/1907). (дата обращения: 12.12.2025).
8. Сливец, К.В. Параметры мерзлых грунтов при численном моделировании теплофизических задач / К.В. Сливец, С.С. Колмогорова, И.А. Коваленко // *Известия Санкт-Петербургского университета путей сообщения.* — 2022. — № 19. — С. 359–366. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48686837>. — DOI: [10.20295/1815-588X-2022-19-2-359-366](https://doi.org/10.20295/1815-588X-2022-19-2-359-366). — EDN: [DSKQWO](https://elibrary.ru/item.asp?id=48686837). (дата обращения: 12.12.2025).
9. Chamberlain E.J., Gow A.J. Effect of freezing and thawing on the permeability and structure of soils / E.J. Chamberlain, A.J. Gow // *Development in Geotechnical Engineering.* — 1979. — № 26. — С. 73–92. — URL: <https://www.bohrium.com/en/paper-details/effect-of-freezing-and-thawing-on-the-permeability-and-structure-of-soils/812416826666385409-13>. (дата обращения: 12.12.2025).
10. Ghoreishian Amiri S.A., Grimstad G., Kadivar M., Nordal S. Constitutive model for rate-independent behavior of saturated frozen soils / S.A. Ghoreishian Amiri, G. Grimstad, M. Kadivar, S. Nordal // *Canadian Geotechnical Journal.* — 2016. — Т. 53. — С. 1646–1657. — URL: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/cgj-2015-0467>. — DOI: [10.1139/cgj-2015-0467](https://doi.org/10.1139/cgj-2015-0467). — EDN: [XTOIPP](https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/cgj-2015-0467). (дата обращения: 12.12.2025).

11. Сахаров, И.И. Пространственные и деформационные расчеты при усилении оснований объектов криолитозоны / И.И. Сахаров // Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике, Салехард, 03–12 ноября 2021 года. — Салехард: Б. и., 2021. — С. 370–373. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47471016>. — DOI: [10.7868/9785604610848100](https://doi.org/10.7868/9785604610848100). — EDN: [HPWPMD](https://edn.ru/HPWPMD). (дата обращения: 12.12.2025).
12. Гольдштейн, М.Н. Деформации земляного полотна и оснований сооружений при промерзании и оттаивании / М.Н. Гольдштейн. — М.: Трансжелдориздат, 1948. — 152 с. — URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005781109?ysclid=mkwmqyhjkm935771165>. (дата обращения: 12.12.2025).
13. Сахаров, И.И. Современный подход к температурным и деформационным расчетам оснований объектов криолитозоны / И.И. Сахаров, В.Н. Парамонов, М.В. Парамонов // Геотехника. — 2022. — Т. 14. — С. 34–43. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54373798>. — DOI: [10.25296/2221-5514-2022-14-3-34-42](https://doi.org/10.25296/2221-5514-2022-14-3-34-42). — EDN: [GVKRUV](https://edn.ru/GVKRUV). (дата обращения: 12.12.2025).
14. Парамонов, В.Н. Опыт совместного расчета здания с испытывающим промерзание основанием / В.Н. Парамонов, И.И. Сахаров, М.В. Парамонов // Жилищное строительство. — 2011. — № 2. — С. 10–13. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16212230>. — EDN: [NQUBXB](https://edn.ru/NQUBXB). (дата обращения: 12.12.2025).
15. Kotov P.I., Khilimonyuk V.Z. Building stability on permafrost in Vorkuta, Russia / P.I. Kotov, V.Z. Khilimonyuk // Geography, Environment, Sustainability. — 2021. — Т. 14. — С. 67–74. — URL: <https://ges.rgo.ru/jour/article/view/2069>. — DOI: [10.24057/2071-9388-2021-043](https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-043). — EDN: [MXMDVJ](https://edn.ru/MXMDVJ). (дата обращения: 12.12.2025).
16. Котов, П.И. Влияние условий оттаивания и уплотнения на деформационные характеристики оттаивающих грунтов / П.И. Котов, Л.Т. Роман, М.Н. Царапов // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2017. — № 1. — С. 58–63. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28794105>. — EDN: [YGCQHT](https://edn.ru/YGCQHT). (дата обращения: 12.12.2025).

Kudryavtsev Sergey Anatolyevich

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia
E-mail: olgakudr56@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5414-7567>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=614674

Paramonov Maxim Vladimirovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: soilproject@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=783131

Paramonov Vladimir Nikolaevich

Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia
E-mail: parvn@georec.spb.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8212-7897>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=404519

Sakharov Igor Igorevich

All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B.E. Vedeneyev,
Saint Petersburg, Russia
E-mail: i.sakharov2014@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=828665

Assessing the causes of deformation of metal corrugated culverts in permafrost soils

Abstract. The steady development of transport infrastructure in permafrost zones necessitates assessing the performance of structures both during construction and operation, taking into account numerous factors and processes. Operational difficulties often arise due to improperly conducted engineering and geological surveys, leading to the failure of individual road structures. In this article, the authors examine the situation related to determining critical deformations of metal culverts used in artificial structures for the construction of an overpass across the Trans-Siberian Railway in the urban-type settlement of Novobureisky. The authors also examine the causes of ongoing deformations. The article also presents an approach to assessing various risk factors during the operation of the overpass embankment. A comparison of data from previous and current surveys revealed differences in the particle size distribution of coarse-grained soils. Specifically, during the initial survey phase, prior to construction, gravel soil was observed throughout. Currently, laboratory testing of soils sampled beneath the embankment has revealed changes in particle size distribution, manifested in a decrease in the sand fraction content. This suggests that gravitational forces and the hydraulic effects of groundwater have washed out the fine fraction, possibly reducing the soil density and bearing capacity. A potential scenario for subgrade deformation during filtration consolidation of the embankment base, with its characteristics remaining unchanged over time, is considered. Options for ensuring the continued operation of the construction project are proposed, including installing a metal-corrugated pipe within the existing embankment or combining existing metal-corrugated pipes into a single shell.

Keywords: soil settlement; corrugated metal pipes; operation of transport infrastructure in the permafrost zone; hydrogeological processes; engineering-geological surveys; PLAXIS modeling