

Научная статья

УДК 624.139

doi:10.52170/1815-9265_2026_81_86

Концептуальный подход по обеспечению безопасного строительства и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры в условиях Дальнего Востока и Арктики

Анастасия Александровна Петерс^{1✉}, Илья Викторович Шестаков²,
Сергей Анатольевич Кудрявцев³, Александра Витальевна Милая⁴,
Дмитрий Геннадьевич Цвигунов⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия

¹ aa_peters@mail.ru✉

² ilia_83@bk.ru

³ olgakudr56@mail.ru

⁴ milaya_a_v@mail.ru

⁵ cvigunov68@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена тем, что более 65 % территории России и более 90 % Дальневосточного федерального округа находятся в северной строительной-климатической зоне, и в условиях деградации многолетнемерзлых грунтов задача обеспечения надежности транспортной инфраструктуры на всех этапах жизненного цикла объектов становится критически важной для безопасности хозяйственной деятельности и связности регионов России. Целью научной работы является предложение концептуального подхода по обеспечению безопасного строительства и эксплуатации объектов в изменяющихся условиях Дальнего Востока и Арктики. В данном подходе рассмотрено применение информационного моделирования на примере действующих объектов, которые находятся в эксплуатации в условиях многолетнемерзлых грунтов. Решение таких задач возможно только при условии формирования качественного профиля специалистов в области геотехники, оценки и прогнозирования процессов, происходящих в зоне распространения многолетнемерзлых и сезоннопромерзающих оснований. Методология включает численное моделирование оснований и фундаментов искусственных сооружений (ИССО), решение задач по распределению тепловых полей и прогнозирование изменений в будущем. Результатом работы является создание информационных моделей реальных искусственных сооружений Дальневосточного полигона ОАО «РЖД» и подтверждение возможности их практического применения в составе общей базы информационных моделей объектов транспортной инфраструктуры (включая систему «основание-фундамент») в условиях деградации многолетнемерзлых грунтов. Подходы к расчетам, анализу данных, аргументам и выводам, приведенные в исследовании, могут быть использованы при разработке и актуализации компонентов основных профессиональных образовательных программ высшего образования, направление подготовки 08.04.01. Строительство, а также по родственным направлениям и специальностям.

Ключевые слова: основание и фундамент, криолитозона, многолетнемерзлый грунт, деградация многолетнемерзлых грунтов, транспортная инфраструктура, численное моделирование, информационная модель, жизненный цикл объектов, подготовка специалистов

Для цитирования: Концептуальный подход по обеспечению безопасного строительства и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры в условиях Дальнего Востока и Арктики / А. А. Петерс, И. В. Шестаков, С. А. Кудрявцев, А. В. Милая, Д. Г. Цвигунов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2026. № 4 (81), спецвыпуск. С. 86–96. DOI 10.52170/1815-9265_2026_81_86.

Original article

A conceptual approach to ensuring the safe construction and operation for transport infrastructure facilities in the Russian Far East and the Arctic

Anastasia A. Peters^{1✉}, Ilya V. Shestakov², Sergey A. Kudryavtsev³, Aleksandra V. Milaya⁴,
Dmitry G. Tsvigunov⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia

¹ aa_peters@mail.ru✉

² ilia_83@bk.ru

³ olgakudr56@mail.ru

⁴ milaya_a_v@mail.ru

⁵ cvigunov68@mail.ru

Abstract. The relevance of this study is driven by the fact that over 65 % of Russia's territory and more than 90 % of the Far Eastern Federal District are located within the northern construction and climatic zone. Given the ongoing degradation of permafrost, ensuring the reliability of transport infrastructure throughout all stages of an object's life cycle has become critical for the safety of economic activities and regional connectivity across Russia. The aim of this scientific work is to propose a conceptual approach to ensure the safe construction and operation of facilities in the changing conditions of the Far East and the Arctic. This approach examines the application of information modeling using the example of existing facilities operating in permafrost soils. Solving such problems is only possible with the development of a high-quality geotechnical workforce, capable of assessing and forecasting processes occurring in permafrost and seasonally frozen soil zones. The methodology involves numerical modeling of the foundations of artificial structures (AS), solving thermal field distribution problems, and forecasting changes over a long-term perspective. The result of the work is the creation of information models of real artificial structures of the Russian Railways Far Eastern landfill and confirmation of the possibility of their practical application as part of a common database of information models of transport infrastructure facilities (including the 'base-foundation' system) in conditions of degradation of permafrost soils. The approaches to calculations, data analysis, arguments and conclusions presented in the study can be used in the development and updating of the components of the main professional educational programs of higher education, the direction of preparation 08.04.01. Construction, as well as related areas and specialties.

Keywords: foundation and base, cryolithozone, permafrost soils, permafrost degradation, transport infrastructure, numerical modeling, information model, object life cycle, personnel training

For citation: Peters A. A., Shestakov I. V., Kudryavtsev S. A., Milaya A. V., Tsvigunov D. G. A conceptual approach to ensuring the safe construction and operation for transport infrastructure facilities in the Russian Far East and the Arctic. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(81):86–96. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2026_81_86.

Введение

Основные транспортные сети железных дорог Восточного полигона РЖД проходят по территории со сложными инженерно-геологическими условиями, практически полностью совпадающими с границами распространения многолетней мерзлоты и северной строительно-климатической зоны. Дальневосточная, Забайкальская, Красноярская и Восточно-Сибирская железные дороги (филиалы Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД») обеспечивают подавляющую часть (более 90 %) грузовых перевозок из европейской части России и Сибири на Дальний Восток и обратно. В условиях высокой стоимости авиаперевозок и ограниченной пропускной способности автодорог (трасса Р-297 «Амур») эти железнодорожные магистрали остаются безальтернативными для массовых перевозок тяжеловесных и сырьевых грузов. Поэтому на железнодорожный транспорт возложена колоссальная задача, реализация которой во многом связана с техническим состоянием искусственных сооружений (ИССО) транспортной инфраструктуры. В условиях Дальневосточного региона на техническое состояние ИССО могут оказывать существенное влияние изменяющиеся с течением времени сложные инженерно-геологические условия. Это обусловлено трендом климатических изменений – деградацией криоли-

тозоны, охватывающей практически всю территорию ее распространения, причем такие процессы зачастую возникают локально и далеко от границы.

Эксплуатационный опыт содержания зданий и сооружений, построенных по I принципу проектирования на многолетнемерзлых грунтах (с сохранением грунтов основания в мерзлом состоянии), свидетельствует о том, что этот подход не всегда позволяет обеспечивать надежность конструкций в долгосрочной перспективе. Для решения этой проблемы необходимо использовать мероприятия (такие как предварительное охлаждение грунтов до начала строительства, комбинация теплозащиты и глубинных охлаждающих устройств), которые показывают долговременный эффект по сохранению проектных характеристик мерзлых грунтов. Это достигается за счет активно применяемых способов моделирования теплофизических задач для различных грунтовых условий. Поэтому на первое место выходит необходимость прогнозирования наступления негативных событий для их своевременного предотвращения.

Данным прогнозированием занимается геотехник-геокриолог. Это специалист, который на системном уровне способен решать следующие задачи:

– проведение инженерно-геокриологических изысканий для обоснования строительства;

– разработка и внедрение системы термостабилизации грунтов (охлаждение (замораживание) оснований фундаментов при строительстве);

– организация геотехнического мониторинга, а именно непрерывного наблюдения за температурным режимом грунтов и деформациями сооружений с целью своевременного предотвращения деформаций и аварий;

– управление тепловыми процессами в многолетнемерзлом грунтовом массиве, взаимодействующего с инженерными объектами и др.

Квалифицированное экспертное сопровождение выступает критическим условием минимизации геокриологических рисков и обеспечения эксплуатационной надежности инфраструктуры в пределах криолитозоны. Потребность арктической экономики, по данным аналитиков, в новых рабочих местах до 2035 г. оценивается в 182,4 тыс. чел. [1]. Общая потребность в специалистах для Арктической зоны РФ составляет 20–25 тыс. чел., при этом наблюдается острый дефицит геотехнических инженеров, обладающих специальными знаниями и опытом проектирования на вечной мерзлоте [2].

В настоящее время основными высшими учебными заведениями России по подготовке специалистов, которые в будущем смогут получить профессию «геокриолог» являются:

– Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (г. Санкт-Петербург), направление «Гидротехническое, энергетическое и арктическое строительство»;

– Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (г. Москва), направление «Геолого-экономическая оценка и экспертиза запасов полезных ископаемых»;

– Национальный исследовательский Томский государственный университет (г. Томск), направления магистратуры: «Изучение Сибири и Арктики», «Экология и природопользование»;

– Филиал Мурманского арктического университета (г. Апатиты), направление «Геология и полезные ископаемые Арктической зоны РФ»;

– Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (г. Якутск), направление «Прикладная география. Изыскание и экспертиза территорий»;

– Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (г. Москва), направление «Криолитология и гляциология» [3].

Таким образом, существует лишь несколько образовательных программ по подготовке инженеров в области геокриологии, что недостаточно в условиях активно изменяющихся процессов глобального потепления и интенсификации промышленного строительства на многолетнемерзлых грунтах. Это приводит к дефициту профильных инженерных кадров и становится сдерживающим фактором развития транспортной инфраструктуры и северных регионов.

Подготовка специалистов в области геокриологии позволит преодолеть существующий кадровый разрыв, обеспечит отрасль компетенциями, необходимыми для проектирования и эксплуатации объектов в условиях высокой динамики криогенных процессов. А также будет способствовать переходу от реактивного устранения аварий к научно-обоснованному превентивному мониторингу и инженерной защите территорий и гарантировать устойчивое развитие и промышленную безопасность северных регионов.

Отметим, что в направлениях вышеупомянутых специальностей по профессии «геокриолог» в программах не предусматривается значительного акцента на ИССО. Поэтому одним из немногих высших учебных заведений, которые занимаются подготовкой специалистов геокриологов с 2024 г., с акцентом на ИССО, является Дальневосточный государственный университет путей сообщения (г. Хабаровск), программа подготовки магистратуры «Геотехника и инженерные изыскания в геокриологии» запущена на базе кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения» и является первой подобной программой на Дальнем Востоке.

Материалы и методы исследования

Информационное моделирование объектов в рамках данного научного исследования проведено на базе Федерального экспертного центра по строительству и эксплуатации зданий и сооружений на многолетнемерзлых и слабых основаниях Дальнего Востока и прибрежной инфраструктуры Арктики ДВГУПС, использованы результаты работ на реальных ИССО в условиях Дальневосточного региона.

Методологическую основу работы составляют численные методы решения сопряженных задач геомеханики и теплофизики. В частности, выполнено моделирование системы «основание – фундамент» искусственных сооружений (ИССО) с расчетом численной задачи по распределению нестационарных тепловых полей и прогнозированием их динамики в долгосрочной временной перспективе. Эмпирической базой послужили результаты работ на объектах Дальневосточного полигона ОАО «РЖД», интегрированные в образовательный процесс по программе магистратуры «Геотехника и инженерные изыскания в геокриологии».

Результаты исследования

Формирование цифровых моделей тесно связано с применением точной информации, значений и показателей, позволяющих составить наиболее достоверные условия в исходных данных, для выполнения последующих расчетов методом конечных элементов. Необходимо отметить наличие расхождений между проектными и фактическими данными, которые могут находиться в пределах допуска, тем не менее они могут незначительно, но снизить характеристики тех или иных отдельных элементов и совокупности конструкции сооружений в целом [4–17]. Поэтому в качестве объекта исследования № 1, устроенного в условиях мерзлых грунтов, и последу-

ющего моделирования был выбран путепровод, расположенный под соединительным путем 1С мультимодального транспортно-логистического центра, Приморский край, который был обследован для получения фактических значений исходных параметров.

По результатам обследования данного объекта, а также на основании исходных проектных данных сформирована цифровая модель пролетного строения для выполнения расчетов методом конечных элементов в программном продукте Midas Civil NX. Иллюстрации конструкции пролетного строения и его модели представлены на рис. 1.

Выявленные в результате обследования дефекты, деформации, фактическое положение конструкций в пространстве, фактические характеристики позволяют составить расчетную схему, максимально близкую к работе фактической конструкции. Полученные фактические значения могут использоваться при расчете на прочность по нормальным напряжениям в расчетных сечениях, согласно [12, с. 161] условие прочности:

$$\sigma_{\max} \leq R_y m, \quad (1)$$

где $\sigma_{\max}$ – нормальные напряжения в рассматриваемом сечении; R_y – расчетное сопротивление стали по пределу текучести, МПа [12, с. 161]; m – коэффициент условий работы.

При этом в качестве изменяемого параметра можно использовать коэффициент

а)



б)



Рис. 1. Пролетное строение:

а – конструкция пролетного строения (вид изнутри); б – расчетная модель стального коробчатого пролетного строения с ортотропной плитой проезда расчетной длиной $l_p = 18,2$ м

условий работы, с учетом начальных характеристик и их изменений в течение времени. Не менее важным является определение фактического строительного подъема сооружения, который был учтен при создании информационной модели. Результаты измерений пролетных строений приведены на рис. 2.

Необходимо подчеркнуть, что измерения проведены без устройства верхнего строения пути, что влияет на конечную высоту строительного подъема. Тем не менее эти данные могут быть использованы для формирования информационной модели.

При этом оценку полученных значений строительного подъема, помимо их сравнения с данными рабочей документации на строительство сооружения, можно сделать по приближенной формуле

$$f_{\text{стр}} = f_{\text{пост}} + 0,4f_{\text{вр}}, \quad (2)$$

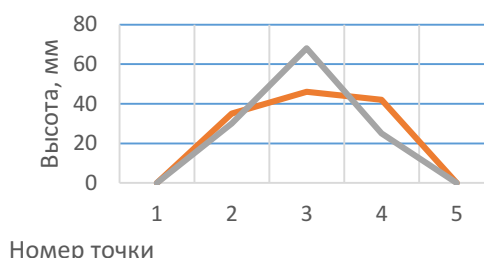
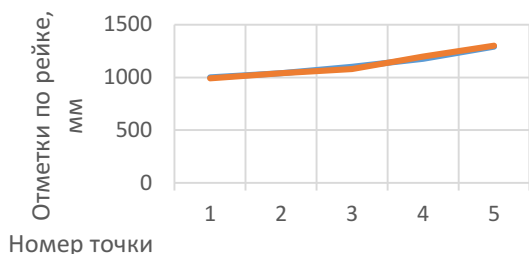
где $f_{\text{пост}}$ – вертикальный упругий прогиб пролетного строения от постоянной нагрузки; 0,4 – деформаций от постоянной нагрузки, которая равна не менее 40 % упругого прогиба пролетного строения от подвижной времен-

ной вертикальной нагрузки; $f_{\text{вр}}$ – вертикальный упругий прогиб пролетного строения от подвижной временной нагрузки.

Таким образом, наличие фактических геометрических размеров, расчетных аналитических формул, которые применяются при моделировании возможных вариантов отклонения от проектного положения, совместно оказывают влияние на результат построения информационных моделей. Изменения с течением времени зафиксированных проконтролированных фактических значений и их отличия от проектных значений косвенно могут послужить сигналом об изменении характеристик свойств грунтов основания фундаментов опор ИССО, что, в свою очередь, потребует их проверки. При этом качество выполнения работ в условиях Дальневосточного региона будет зависеть напрямую от компетенций, приобретенных специалистами в рамках получения высшего образования, а также опыта работы в регионах с подобными условиями.

В качестве объекта исследования № 2 и примера применения информационной модели для

а)



б)

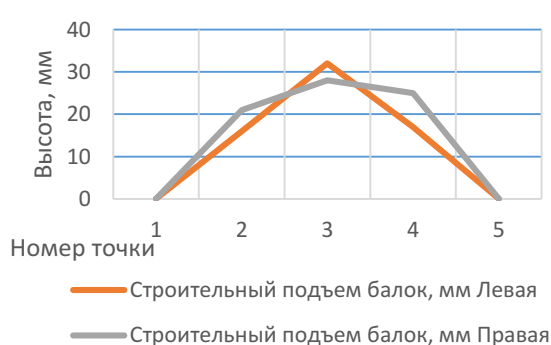
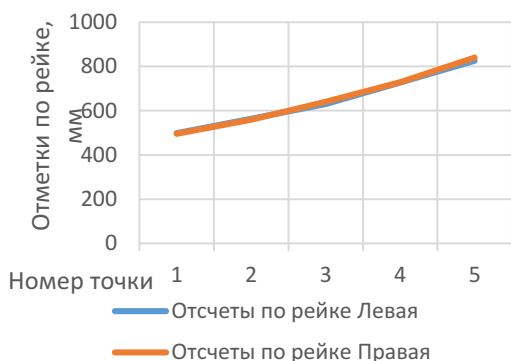


Рис. 2. Результаты нивелирования (продольные профили) пролетных строений:
а – пролетное строение № 1; б – пролетное строение № 3

оснований фундаментов рассматривался строящийся объект автодорожного путепровода через Транссибирскую магистраль, расположенного в створе в г. Белогорске Амурской области, для которого выполнялись работы по статическому испытанию свай под опоры.

Принципиальное значение имеет тот факт, что ранее уже рассматривался вопрос о применении результатов статических испытаний свай в качестве исходных данных для формирования информационных моделей [15, с. 57–69; 16, с. 351–358; 17, с. 137–146]. В ходе данной работы использовались проектные данные, геологический разрез, характеристики грунта, а также размеры и характеристики фундамента сооружения моделей [15, с. 57–69; 16, с. 351–358; 17, с. 137–146]. Геологические условия в местах проектного положения свай опор приведены на рис. 3.

Размеры и характеристики материалов определяются на строительной площадке, то же касается и фактической глубины заделки фундаментов в грунт, в том числе и по результатам журнала свайных работ или по результатам съемки отметок голов свай. В табл. 1 приведены характеристики свай. Схема расположения испытываемых свай приведена на рис. 4.

Характеристики грунтовых условий, материалов и размеров фундаментов можно использовать для формирования цифровых моделей с применением различных программных продуктов «Frost 3D», «Борей 3D», «FEM models Termoground», в том числе и для решения теплофизических задач, что особенно важно в условиях деградации криолитозоны. Главным условием является учет всех факторов, влияющих на повышение температуры в рассматриваемых зонах многолетнемерзлых грунтов [9, с. 2, 28–29;

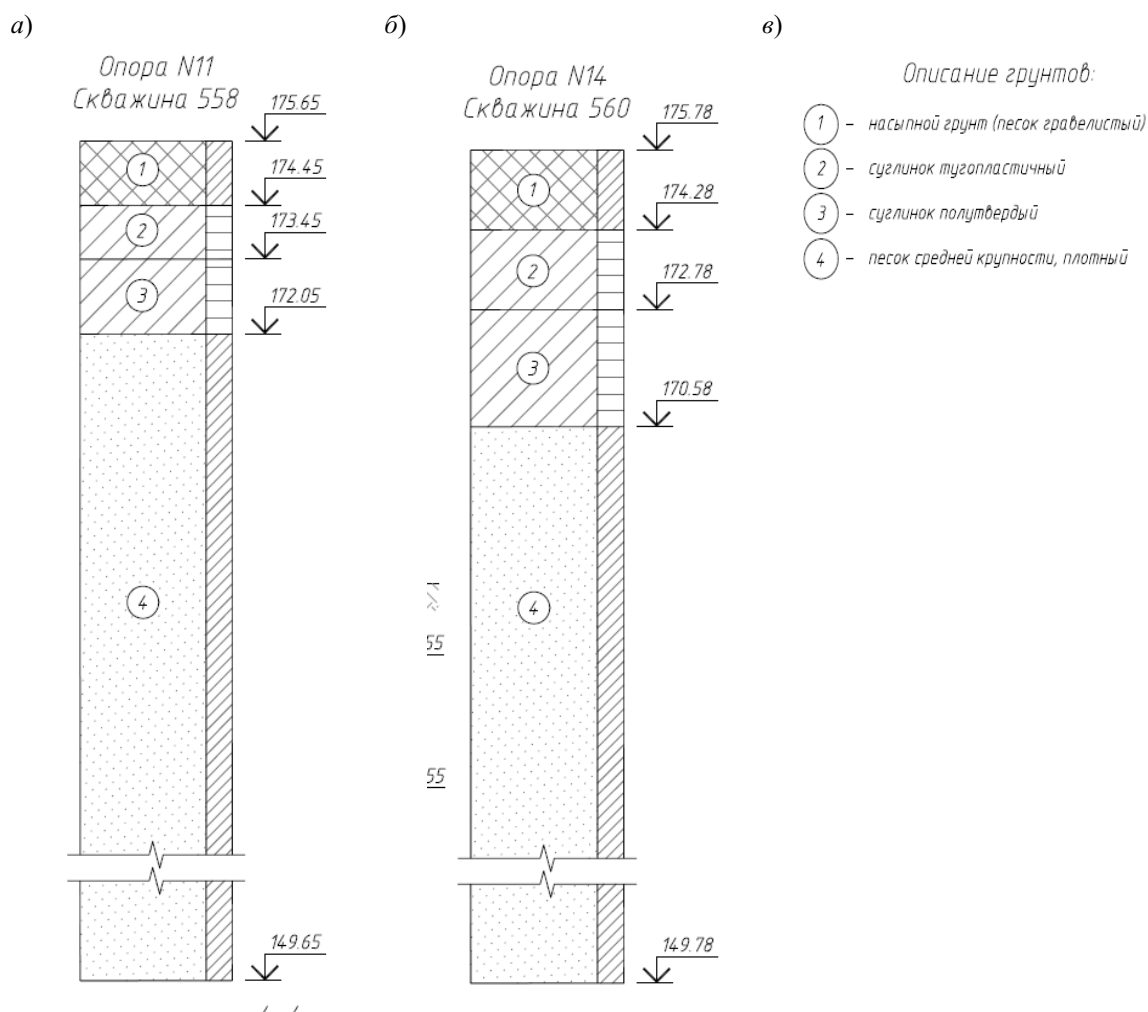


Рис. 3. Геологический разрез:
а – основание опоры № 11; б – основание опоры № 13; в – описание грунтов

Таблица 1

Характеристики свай

Характеристика	Номер сваи			
	ОПОРА 11 СВАЯ № 9	ОПОРА 14 СВАЯ № 12	ОПОРА 11 СВАЯ № 14	ОПОРА 14 СВАЯ № 14
Диаметр (сторона), мм	350	350	350	350
Длина, м	7	7	7	7
Испытательная нагрузка на сваю, тс	145	145	145	5,5

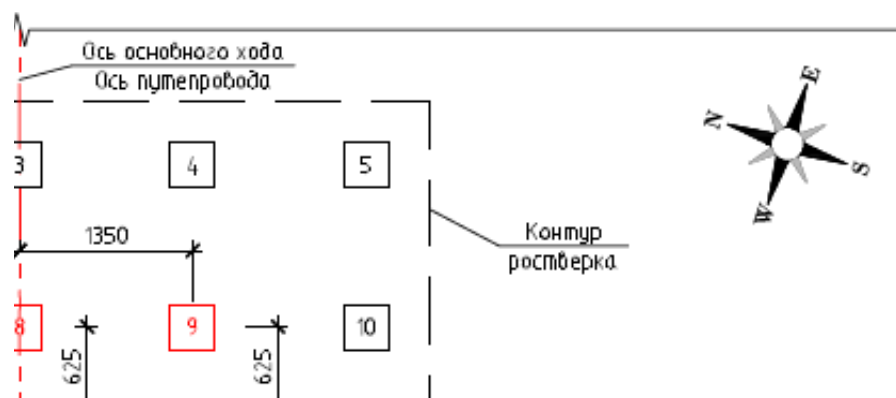


Рис. 4. Схема расположения испытываемых свай

10, с. 4; 11, с. 3–13, 121–125; 13, с. 115–116; 14 с. 12–13].

К таким условиям можно отнести следующее:

1) учет влияния передачи тепла от опоры в толщу грунта при ширине фундамента более 500 мм;

2) учет влияния защитных мероприятий (термостабилизация, снижение температуры поверхности грунта или температурных мостиков);

3) учет негативных факторов (максимальное обводнение грунта, большая скорость фильтрации).

В этом случае теплофизическая задача будет решаться на основании следующих зависимостей [14, с. 12–13, 99]:

$$Z = a\sqrt{t}, \quad (3)$$

где Z – глубина фронта оттаивания или промерзания, м; t – время промерзания или оттаивания, сут; a – коэффициент функций свойств грунта и граничных условий.

$$\frac{\alpha}{2(a_{th})^{0,5}} = f \left\{ Ste \left[-\frac{T_g \lambda_f}{T_{surf} \lambda_{th}} \left(\frac{a_{th}}{a_f} \right)^{0,5} \right] \right\}, \quad (4)$$

где Ste – число Стефана, выражающееся коэффициентом выделения тепла в удельную теплоту фазовых превращений:

$$Ste = \frac{C_{th} T_{surf}}{L_0}. \quad (5)$$

Параметры a_{th} и a_f – коэффициенты температурой проводимости талого и мерзлого грунта:

$$a_{th} = \frac{\lambda_{th}}{C_{th}}; \quad (6)$$

$$a_f = \frac{\lambda_f}{C_f}. \quad (7)$$

Необходимо подчеркнуть, что наличие факторов, влияющих на увеличение теплопроводности в грунтовом массиве, учитывается при постановке задачи и формировании граничных условий [14, с. 12–13, 111–113].

Таким образом, информационные модели, используемые в дальнейшем для расчетов напряженно-деформированного состояния (НДС) «промерзающее/оттаивающее основание – фундамент», позволяют заранее подобрать необходимые мероприятия по предотвращению затруднений эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры.

В качестве объекта исследования № 3 рассматривалась конструкция верхнего строения пути, а именно насыпь. Было выполнено исследование по определению реального веса, плотности скальных грунтов после взрыва и фактического расхода грунта в рыхлом теле в кубических метрах и тоннах на устройство 1 м³ насыпи земляного полотна на объекте «Двухпутные вставки на перегонах участков Февральск – Этыркэн с примыканием к разъездам Дальневосточной же-

лезной дороги». Необходимо отметить, что данные исследования были выполнены впервые для Дальневосточного полигона ОАО «РЖД». Исследования выполнялись на основании требований [19, с. 2–4].

В соответствии с указанной методикой [19, с. 2–4, 7–8)], в исследовании сформирован следующий порядок выполнения работ:

1. Определение объема скального грунта после взрыва, погрузки, перевозки и разгрузки в «рыхлом» состоянии для скального грунта фракцией: 0-200/0-500/200-500 мм, по три раза для каждой фракции.

2. Определение объема скального грунта фракцией: 0-200/0-500/200-500 мм после планировки, без уплотнения, после уплотнения.

3. Определение фактического коэффициента уплотнения скального грунта фракцией: 0-200/0-500/200-500 мм.

4. Определение фактического расхода скального грунта фракцией: 0-200/0-500/200-500 мм на 1 м³.

Результаты измерения объема скального грунта после уплотнения, без уплотнения приведены на рис. 5.

В соответствии с требованиями [19, с. 8] ускоренный метод контроля достигнутой плотности грунтов по глубине колеи (следа) от проходки уплотняющей техники определяется следующим образом:

$$ht = c - a, \quad (8)$$

где ht – глубина колеи, представляющая собой разницу между отметкой спланированной насыпи и отметкой дна колеи.

При уплотнении грунта выполнено 8 проходок (при минимальном количестве 7 проходок по [19, с. 8]).

Разница в отметках спланированного и уплотненного скального грунта фракцией 0-200 представлена в табл. 2.

Данные, полученные в результате представленного исследования, могут в дальнейшем использоваться для формирования граничных условий, позволяющих составлять максимально точные информационные модели верхнего строения пути, и применяться при дальнейших расчетах в рамках возможных негативных процессов при продолжении деградации многолетней мерзлоты, при этом дополнительные компетенции специалиста

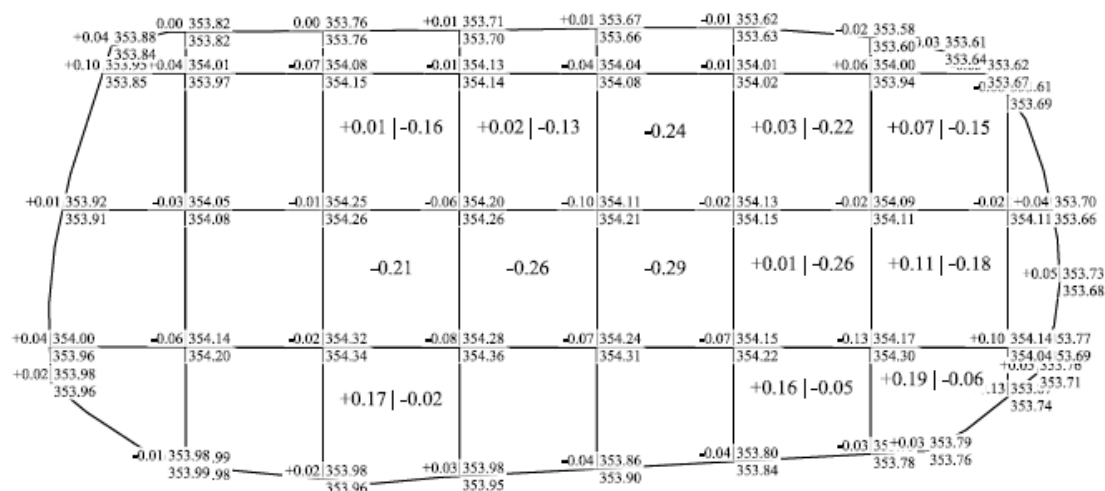


Рис. 5. Результаты измерений отметок отсыпки скального грунта фракцией 0-200 после уплотнения

Таблица 2

Зависимость разницы в отметках спланированного и уплотненного скального грунта фракцией 0-200 и его уплотнения

Количество проходок, n	1	2	3	4	5	6	7	8
Глубина колеи от одной проходки h_i , см	23,4	15,6	11,3	5,2	1,1	0,3	0,1	0
Плотность сухого грунта $\rho_{ск}$, т/м ³	1,89	1,97	2,16	2,22	2,27	2,29	2,32	2,39

Примечание. Максимальная разница отметок между спланированным и уплотненным грунтом составляет 0,572 м.

в области геокриологии становятся одним из условий для корректной оценки физико-механических процессов в многолетнемерзлых грунтах, прогнозирования и проектирования объектов, а также обеспечения полного жизненного цикла объектов.

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Необходимым условием для эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры является формирование информационных моделей. Они отражают текущую информацию о техническом состоянии ИССО, а также условия, которые существовали изначально, и позволяют проводить сравнение с проектом с учетом возможных изменений в течение жизненного цикла объектов.

2. Поскольку грунтовые условия подвержены изменениям, анализ и моделирование наступления возможных негативных событий позволяет подбирать действенные компенсирующие мероприятия или проводить исследования по подбору и апробации таких мероприятий.

3. Для формирования информационной модели требуются точные данные, которые нередко имеют отличия от проектных, что в ходе жизненного цикла зданий и сооружений способно создать значительный вклад в ухудшение технического состояния объектов.

4. Единая база информационных моделей существующих объектов транспортной инфраструктуры может стать достоверным источником информации о прямых и косвенных причинах деградации криолитозоны в зоне влияния этих объектов.

5. Для того чтобы принимать технически обоснованные решения на всех стадиях существования объектов транспортной инфраструктуры и обеспечить их полный жизненный цикл, в настоящее время существует потребность в специалистах, обладающих компетенциями и в области механики многолетнемерзлых грунтов, и в области информационного моделирования.

Учет в совокупности данных предложений является концептуальным подходом по обеспечению безопасного строительства и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры в условиях Дальнего Востока и Арктики.

Список источников

1. The staffing needs in the Arctic zone of the Russian Federation until 2035 have been determined // Investment Portal of the Arctic Zone of the Russian Federation : [сайт]. URL: <https://arctic-russia.ru/en/news/the-staffing-needs-in-the-arctic-zone-of-the-russian-federation-until-2035-have-been-determined/> (дата обращения: 10.04.2026).
2. Fadeyev A. Russian Arctic zone needs 25,000 specialists, scientists say // Tass : Russian news agency. 2022. 10 Aug. URL: <https://tass.com/economy/1491941> (дата обращения: 10.04.2026).
3. Список вузов, в которых можно получить профессию геокриолога // Поступи онлайн : [сайт]. URL: <https://postupi.online/professiya/geokriolog/vuzi/> (дата обращения: 10.04.2026).
4. СП 274.1325800.2016. Мосты. Мониторинг технического состояния. Москва : Стандартинформ, 2016. 45 с.
5. СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. Москва : Стандартинформ, 2021. 190 с.
6. Скворцов А. В. Модели данных BIM для инфраструктуры // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1 (4). С. 16–23. DOI 10.17273/CADGIS.2015.1.2.
7. Зайнагабдинов Д. А., Басов В. В. Проектирование и изготовление натурной модели плиты безбалластного мостового полотна // Молодая наука Сибири. 2022. № 2 (16). С. 194–201.
8. Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 2. Непрерывный мониторинг состояния мостовых сооружений / И. Г. Овчинников, И. И. Овчинников, О. И. Нигаматова, Е. С. Михалдыкин // Транспортные сооружения. 2014. Т. 1, № 2. URL: <http://t-s.today/PDF/01TS214.pdf> (дата обращения 10.04.2026)
9. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. Москва : Стандартинформ, 2020. 43 с.
10. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. Москва : Стандартинформ, 2021. 110 с.
11. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. Москва : Минстрой России, 2016. 186 с.
12. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*. Москва : Минрегион России, 2011. 341 с.

13. Кудрявцев, С. А., Петерс А. А., Шестаков И. В. Численное моделирование процессов промерзания и оттаивания при определении толщины теплоизоляции фундаментов // Наука и инновации – современные концепции : сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума, Москва, 23 октября 2020 г. Т. 2. Москва : Инфинити, 2020. С. 113–123.
14. Кудрявцев С. А., Сахаров И. И., Парамонов В. Н. Промерзание и оттаивание грунтов (практические примеры и конечноэлементные расчеты). Санкт-Петербург : Группа компаний «Геореконструкция», 2014. 248 с.
15. Creation of a basis for information models for the construction and reconstruction of railway embankments / S. A. Kudryavtsev, I. V. Shestakov, A. A. Peters, E. N. Lapchinskii // Russia-UAE conference on applied and interdisciplinary research : Proceedings of the International University Scientific Forum, UAE, 05.11.2025. UAE : Scientific publishing house Infinity, 2025. P. 57–69. DOI 10.34660/INF.2025.29.53.027.
16. Шестаков И. В., Чуб П. С. Формирование цифровых моделей искусственных сооружений // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2025. Т. 1. С. 351–358.
17. Peters A. A., Shestakov I. V., Kudryavtsev S. A. Creation of information models of soils and foundations of railway bridges during construction and operation in permafrost soil conditions // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration : Proceedings of the International Conference, Beijing, 15.01.2025. Beijing : Infiniti, 2025. P. 137–146. DOI 10.34660/INF.2025.71.34.102.
18. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. Москва : Минстрой России, 2021. 135 с.
19. ГОСТ Р 70260–2022. Грунты. Методы полевого определения плотности крупнообломочных грунтов. Москва : ФГБУ «РСТ», 2022. 20 с.

References

1. The staffing needs in the Arctic zone of the Russian Federation until 2035 have been determined. *Investment Portal of the Arctic Zone of the Russian Federation: [site]*. URL: <https://arctic-russia.ru/en/news/the-staffing-needs-in-the-arctic-zone-of-the-russian-federation-until-2035-have-been-determined/>.
2. Fadeyev A. Russian Arctic zone needs 25,000 specialists, scientists say. Tass: Russian news agency, 2022. August 10. URL: <https://tass.com/economy/1491941>.
3. List of universities where you can get the profession of a geocryologist. *Postupi online: [site]*. (In Russ.). URL: <https://postupi.online/professiya/geokriolog/vuzi/>.
4. SP 274.1325800.2016. Bridges. Monitoring of technical condition. Moscow: Standartinform; 2016. 45 p. (In Russ.).
5. SP 333.1325800.2017. Building information modeling. Rules for information modeling of objects at various stages of the life cycle. Moscow: Standartinform; 2021. 190 p. (In Russ.).
6. Skvortsov A. V. BIM data models for infrastructure. CAD and GIS for roads. 2015;(4):16–23. (In Russ.). DOI 10.17273/CADGIS.2015.1.2.
7. Zainagabdinov D. A., Basov V. V. Design and production of a full-scale model of a ballast-free bridge deck. *Young Science of Siberia*. 2022;(16):194–201. (In Russ.).
8. Ovchinnikov I. G., Ovchinnikov I. I., Nigmatova O. I., Mikhaldykin E. S. Strength monitoring of bridge constructions and features of its application. Part 2. Continuous monitoring of bridge construction status. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2014;1(2). URL: <http://t-s.today/PDF/01TS214.pdf>.
9. GOST 25100–2020. Soils. Classification. Moscow: Standartinform; 2020. 43 p. (In Russ.).
10. SP 25.13330.2020. Soil bases and foundations on permafrost soils. Updated edition of SNiP 2.02.04-88. Moscow: Standartinform; 2021. 110 p. (In Russ.).
11. SP 22.13330.2016. Soil bases of buildings and structures. Updated edition of SNiP 2.02.01-83*. Moscow: Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation; 2016. 186 p. (In Russ.).
12. SP 35.13330.2011. Bridges and culverts. Updated edition of SNiP 2.05.03-84*. Moscow: Ministry of Regional Development of the Russian Federation; 2011. 341 p. (In Russ.).
13. Kudryavtsev S. A., Peters A. A., Shestakov I. V. Numerical modeling of freezing and thawing processes in determining the thickness of thermal insulation of foundations. *Science and Innovations – Modern Concepts: Scientific Proceedings*. Vol. 2. Moscow: Infiniti; 2020. P. 113–123. (In Russ.).
14. Kudryavtsev S. A., Sakharov I. I., Paramonov V. N. Freezing and thawing of soils: practical examples and finite element calculations. Saint Petersburg: Georeconstruction Group of Companies; 2014, 248 p. (In Russ.).
15. Kudryavtsev S. A., Shestakov I. V., Peters A. A., Lapchinskii E. N. Creation of a basis for information models for the construction and reconstruction of railway embankments. *Russia-UAE conference on applied and interdisciplinary research: Proceedings of the International University Scientific Forum*. UAE: Scientific publishing house Infinity; 2025. P. 57–69. DOI 10.34660/INF.2025.29.53.027.

16. Shestakov I. V., Chub P. S. Formation of digital models of artificial structures. *Scientific, Technical, and Economic Cooperation Among Asia-Pacific Countries in the 21st Century*. 2025;1:351–358. (In Russ.).
17. Peters A. A., Shestakov I. V., Kudryavtsev S. A. Creation of information models of soils and foundations of railway bridges during construction and operation in permafrost soil conditions. *Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration: Proceedings of the International Conference*. Beijing: Infiniti; 2025. P. 137–146. DOI 10.34660/INF.2025.71.34.102.
18. SP 131.13330.2020. Building climatology. Updated edition of SNiP 23-01-99*. Moscow: Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation; 2021. 135 p. (In Russ.).
19. GOST R 70260–2022. Soils. Methods for field determination of the density of coarse-grained soils. Moscow: RST; 2022. 20 p. (In Russ.).

Информация об авторах

- А. А. Петерс* – старший преподаватель кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения» Дальневосточного государственного университета путей сообщения.
- И. В. Шестаков* – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения» Дальневосточного государственного университета путей сообщения.
- С. А. Кудрявцев* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мосты, тоннели и подземные сооружения» Дальневосточного государственного университета путей сообщения.
- А. В. Милая* – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление на транспорте» Дальневосточного государственного университета путей сообщения.
- Д. Г. Цвигунов* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения» Дальневосточного государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

- A. A. Peters* – Senior Lecturer of the Bridges, Tunnels and Underground Structures Department, Far Eastern State Transport University.
- I. V. Shestakov* – Candidate of Engineering, Senior Lecturer of the Bridges, Tunnels and Underground Structures Department, Far Eastern State Transport University.
- S. A. Kudryavtsev* – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Bridges, Tunnels and Underground Structures Department, Far Eastern State Transport University.
- A. V. Milaya* – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Transport Economics and Management Department, Far Eastern State Transport University.
- D. G. Tsvigunov* – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Bridges, Tunnels and Underground Structures Department, Far Eastern State Transport University.

Статья поступила в редакцию 03.04.2026; одобрена после рецензирования 11.06.2026; принята к публикации 26.06.2026.

The article was submitted 03.04.2026; approved after reviewing 11.06.2026; accepted for publication 26.06.2026.