

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

2026, Том 13, № 1 / 2026, Vol. 13, Iss. 1 <https://t-s.today/issue-1-2026.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/19SATS126.pdf>

DOI: 10.15862/19SATS126 (<https://doi.org/10.15862/19SATS126>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Хазеев, Р. З. Проблемы принятия управленческих решений при выполнении геотехнического мониторинга мостовых сооружений на многолетнемерзлых грунтах / Р. З. Хазеев, И. И. Овчинников // Транспортные сооружения. — 2026. — Т. 13. — № 1. — URL: <https://t-s.today/PDF/19SATS126.pdf>. DOI: 10.15862/19SATS126.

**For citation:**

Khazeev R.Z., Ovchinnikov I.I. Problems of managerial decision-making when performing geotechnical monitoring of bridge structures on permafrost soils. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2026;13(1): 19SATS126. Available at: <https://t-s.today/PDF/19SATS126.pdf>. DOI: 10.15862/19SATS126. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 624.139.62

**Хазеев Румиль Зиракович**

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия  
Аспирант  
E-mail: [rumilkhazeev@mail.ru](mailto:rumilkhazeev@mail.ru)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1331783](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1331783)

**Овчинников Илья Игоревич**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
Заведующий базовой кафедры «АО Мостострой-11»  
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия  
Доцент кафедры «Транспортное строительство»  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия  
Профессор кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения»  
Доктор технических наук, доцент, Советник РААСН  
E-mail: [bridgeart@mail.ru](mailto:bridgeart@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8370-297X>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=177132](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=177132)  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191523104>

## Проблемы принятия управленческих решений при выполнении геотехнического мониторинга мостовых сооружений на многолетнемерзлых грунтах

**Аннотация.** Значительная часть территории России, около 65 %, расположена в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Освоение этих обширных и богатых территорий является долгосрочной стратегической задачей национального масштаба, обеспечивающей экономическое развитие и геополитическую устойчивость. Однако климатические изменения, происходящие в настоящее время, приводят к активной деградации многолетнемерзлых грунтов, что создает серьёзные риски для инфраструктуры, построенной с учётом их несущей способности в мёрзлом состоянии. Жилые и промышленные здания, транспортные магистрали, трубопроводы и другие объекты, изначально стабильные, сегодня находятся под угрозой из-за просадок, потепления и оттаивания основания.

В этих условиях непрерывный геотехнический мониторинг состояния фундаментов и грунтов становится не просто важной, а критически необходимой практикой. Его задача —

своевременно фиксировать опасные деформации, температурные изменения, колебания уровня грунтовых вод и другие параметры, сигнализирующие о риске возникновения аварийной ситуации.

В статье рассматривается проблема принятия решений при проведении геотехнического мониторинга. Первостепенная задача — уметь правильно интерпретировать полученную информацию, прогнозировать развитие негативных процессов и, главное, знать, какие именно технологические и инженерные решения необходимо применить в каждый конкретный момент для предотвращения аварийной ситуации. Эффективный мониторинг должен быть не пассивным наблюдением, а активной системой поддержки принятия решений, интегрированной в цикл управления эксплуатацией объекта. Только переход от простого замера параметров к комплексному анализу и оперативному внедрению превентивных мер — термостабилизации, усиления фундаментов, изменения режима эксплуатации — позволит обеспечить безопасность и долговечность инфраструктуры в условиях меняющейся криолитозоны.

**Ключевые слова:** многолетнемерзлые грунты; геотехнический мониторинг; управленческие решения; термометрическая скважина; гидрогеологическая скважина; оттаивание многолетнемерзлых грунтов; глубинный репер

## Введение

Обеспечение надежности и долговечности объектов капитального строительства представляет собой комплексную инженерную задачу. Устойчивость и долговременная работоспособность сооружения зависят от качества исполнения каждого этапа его жизненного цикла — от предпроектных исследований до эксплуатации.

Первым этапом выполняются комплексные инженерные изыскания (инженерно-геодезические, геологические, гидрометеорологические, экологические). Их целью является получение достаточной информации об особенностях строительной площадки. Корректная характеристика инженерно-геологических условий (физико-механические свойства грунтов, гидрологический режим, наличие геологических процессов), климатических нагрузок и техногенной обстановки играет важную роль в принятии дальнейших проектных решений.

На стадии разработки проектной и рабочей документации выполняется сопоставительный анализ информации, полученной в ходе изысканий, на соответствие требованиям технических регламентов, сводов правил и стандартов. Ключевой задачей является разработка решений, которые удовлетворяют критериям прочности, устойчивости и надежности в конкретных условиях, и предусматривают технологичность строительства и эффективность будущей эксплуатации.

Решения, принятые в проектной документации, необходимо правильно реализовывать на строительной площадке. Процесс реализации включает в себя: входной контроль качества поступающих материалов, изделий и оборудования (с подтверждением сертификатов и проведением лабораторных испытаний); операционный контроль соблюдения утвержденных технологических работ, а также последующий контроль качества построенных конструкций.

После ввода объекта в эксплуатацию ответственность за поддержание его надежности и долговечности в соответствии с проектным уровнем переходит к собственнику или специализированной эксплуатирующей организации. Данный этап предполагает реализацию комплекса мероприятий по техническому обслуживанию, планово-предупредительному ремонту и периодическому мониторингу технического состояния. Регулярные обследования, включая визуальный и инструментальный осмотр с применением неразрушающих методов контроля, позволяют выявить и классифицировать возникающие дефекты и повреждения,

оценить скорость деградации материалов и несущей способности конструкций. Своевременное устранение выявленных отклонений является основой для продления долговечности сооружения.

### **Постановка задачи**

Согласно ст. 55.24 («Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 29.12.2025)) эксплуатация сооружения должна выполняться в соответствии с требованиями технических регламентов, нормативных правовых актов Российской Федерации, нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации и муниципальных правовых актов, а также в соответствии с проектной документацией, исполнительной документацией.

Основополагающим документом, выполнение пунктов которого обеспечивает надежность и безопасность сооружений является Федеральный закон от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». В нем однозначно указано, что безопасность сооружения должна быть обеспечена на всех этапах жизненного цикла (ст. 5). Таким образом, обеспечение надежности и безопасности сооружений должно быть обеспечено эксплуатирующими организациями. Для выполнения указанной задачи необходимо предусматривать периодические осмотры и обследования состояния строительных конструкций.

Основной задачей ремонта и содержания мостов является круглогодичное обеспечение безопасного движения транспорта и пешеходов [1].

Для выполнения таких работ в разрезе мостовых сооружений используются положения следующих нормативных документов:

ГОСТ Р 59618-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Правила обследований и методы испытаний»

СП 79.13330. 2012. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний.

СП 305.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве».

СП 25.13330.2020 «СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах».

При этом, обеспечение надежности подземных конструкций, в частности свайных оснований, представляет особую сложность в связи с невозможностью их физического осмотра. Оценка состояния таких конструкций выполняется косвенно, при задании начальных значений определенных параметров сооружения.

При рассмотрении вопроса безопасной эксплуатации мостовых сооружений в районах распространения многолетнемерзлых грунтов проблемы периодических осмотров и обследований стоят особенно остро. Обеспечение надежности свайных оснований в районах вечной мерзлоты представляет собой исключительно сложную инженерную задачу. Ее сложность обусловлена, в первую очередь, необходимостью постоянного теплового контроля мерзлых грунтов. Их прочностные и деформационные характеристики критически зависят от температуры: даже незначительный ее рост может привести к потере несущей способности и опасным осадкам [2; 3].

В настоящий момент наблюдается устойчивый тренд глобального потепления. Возможное повышение температуры составляет до 3<sup>0</sup>С через 50–70 лет [4]. Изменение климата к концу первого десятилетия XXI в. привело к уменьшению несущей способности многолетней мерзлоты по сравнению с 1970-ми годами в среднем на 17 %, а в отдельных регионах — до 45 %. Это создает угрозу разрушения объектов инфраструктуры. Техногенные факторы, например, засоление, также уменьшают несущую способность грунтов. Опасные деформации

получают объекты железнодорожной, автомобильной и трубопроводной транспортной инфраструктуры. На поддержание работоспособности трубопроводов и ликвидацию их деформаций ежегодно тратится до 55 млрд рублей. Согласно перспективным оценкам, к середине XXI в. В России на 13 % сократится досягаемость удаленных поселков, в настоящее время обслуживаемых зимниками. При этом территория, на которой экономически целесообразно эксплуатировать зимники, уменьшится примерно на 1 млн км<sup>2</sup> [5].

Общая стоимость основных фондов, расположенных на вечной мерзлоте в 9 регионах, оценивается в 248,6 млрд долл. США (около 7,5 % ВВП России 2016 года).

Прогнозируемый ущерб от деградации многолетнемерзлых грунтов к середине века (2050–2059 гг.) оценивается в:

- 54 % жилых зданий на вечной мерзлоте (на 20,7 млрд долл.) пострадают из-за потери несущей способности фундаментов.
- 20 % промышленных/коммерческих сооружений (16,7 млрд долл.) и 19 % линейной инфраструктуры (дороги, трубопроводы и т. д.) на 67,7 млрд долл.) пострадают от осадки и потери устойчивости.

Общие затраты на смягчение последствий оцениваются в ~105 млрд долл. США.

Наиболее уязвимыми в относительном выражении (затраты по отношению к валовому региональному продукту) являются Ненецкий АО, Ямало-Ненецкий АО, Чукотский АО и Республика Саха (Якутия), где ежегодные затраты на адаптацию могут составлять от 3 % до 5 % ВРП [6].

При этом, оттаивание многолетнемерзлых грунтов оснований снижают классы грузоподъемности мостовых опор [7].

К примеру, часть мостовых опор, построенных в период с 60-х — 80-х годов XX века на дорогах Чукотского автономного округа в настоящее время имеют деформации просадки и морозного пучения [8].

Помимо указанных проблем, не стоит забывать, что само устройство свайного куста способно сильно изменить свойства мерзлых грунтов вокруг свай вплоть до их оттаивания [9].

В настоящее время происходит активное оттаивание многолетнемерзлых грунтов. В мостах, запроектированных по первому принципу использования многолетнемерзлых грунтов (ММГ) оснований, через 35–40 лет эксплуатации зафиксировано развитие деформаций и повреждений, ухудшающих эксплуатационные качества по сравнению с допускаемыми состояниями, установленными нормативно-технической документацией [10].

Указанные проблемы и особенности многолетнемерзлых грунтов требуют от специалистов эксплуатирующих организаций глубоких знаний в области механики мерзлых грунтов и криогенных процессов, а также применения специальных технологий термостабилизации и тщательного прогноза изменения термического режима на весь срок службы сооружения с учетом актуальных климатических изменений.

При этом, в основных документах, указанных выше, информации про мониторинг многолетнемерзлых грунтов крайне мало. В частности, ГОСТ Р 59617-2021 не устанавливает требований к обследованию фундаментов опор мостовых сооружений на многолетнемерзлых грунтах.

В СП 79.13330.2012 упоминание о многолетнемерзлых грунтах является лишь единожды. Больше информации содержит в себе СП 305.1325800.2017, в котором описаны основные элементы мониторинга и порядок выполнения работ.

Еще более трудоемким и важным процессом является принятие управленческих решений при обнаружении отклонений каких-либо параметров сооружений от нормальных значений.

Грамотно составленный проект геотехнического мониторинга — первая и обязательная ступень безопасности эксплуатации сооружения [11].

Анализ современных публикаций показывает, что геотехнический мониторинг является обязательным и наиболее эффективным средством обеспечения надежности различных сооружений в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов. Однако, в рассмотренных работах практически нет информации о том, что необходимо предпринимать в случае обнаружения проблемы.

В статье [12] подробно описывается система ГТМ, состав сети ГТМ и контролируемые параметры. Также описывается вариант решения проблем в виде выполнения прогнозных теплотехнических решений с учетом выявленных тенденций. Однако не упоминается о конкретных контролируемых параметрах свайных оснований — что с чем сравнивать.

В работе [13] рассматривается оригинальный способ визуализации данных мониторинга — создание ежемесячных цифровых инженерно-геокриологических карт-схем. Этот подход позволяет наглядно отслеживать динамику распространения чаш оттаивания и зон критических осадков. Авторы впервые поднимают важную проблему: существующие нормы закладывают минимальное количество точек наблюдения, и экономия заказчика на сети ГТМ приводит к неполноте данных, что делает невозможной точную аналитику и выработку эффективных рекомендаций.

Касаемо линейных сооружений, авторами [14] разрабатывается комплексная методика расчета, которая позволяет для каждого участка трассы определить предельно допустимую деформацию (профиль осадки), так как нормативные значения отсутствуют. Ключевая идея заключается в том, что результаты этого расчета на этапе проектирования должны стать главным критерием для ГТМ в ходе эксплуатации, с которым будут сравниваться данные с деформационных марок или волоконно-оптических систем. В статье особое внимание уделяется обоснованию критериев для назначения состава, объема сети и расположения элементов сети ГТМ для подземных линейных сооружений в многолетнемерзлых грунтах.

Статья [15] фокусируется на специфике мониторинга объектов нефтегазодобычи с высокой плотностью свайных фундаментов (например, резервуары вертикальные стальные — РВС). Авторы предлагают техническое решение для проблемных зон, недоступных для классической нивелировки (центр РВС под днищем) — автоматизированную систему инклинометрических датчиков. Это позволяет в режиме реального времени отслеживать крены и осадки, что значительно повышает безопасность эксплуатации по сравнению с дискретными замерами по периметру.

Особенность [16] заключается в представлении программного комплекса геотехнического контроля (ПК ГК), ключевым элементом которого является модуль генерации заключений на основе нейросетевого алгоритма. В данной статье делается попытка формализовать и автоматизировать переход от диагностики к управляющему решению.

В настоящий момент существует много работ, которые исчерпывающе отвечают на вопросы организации системы мониторинга наблюдений. При этом, крайне мало информации об:

1. Количественных критериях перехода между различными уровнями реагирования (например, «норма», «внимание», «опасность», «авария») для каждого типа контролируемого параметра.

2. Типовые алгоритмы действий для каждой критической ситуации: при обнаружении деградации мерзлоты, при развитии морозного пучения, при достижении предельной осадки, при активизации криогенных процессов.
3. Распределение ответственности между службой мониторинга, эксплуатирующей организацией и проектировщиками при принятии решений различного уровня.

Фактически, существующие подходы к ГТМ, позволяют достоверно и своевременно констатировать факт наступления критического состояния, но не дают готового алгоритма для того, чтобы это состояние предотвратить или локализовать.

### Решение задачи

В данной статье подробно описываются элементы сети геотехнического мониторинга и приводятся примеры управленческих решений, принятие которых способствуют долговечной и безопасной эксплуатации инженерных сооружений.

Сеть геотехнического мониторинга сооружений на многолетнемерзлых грунтах включает в себя следующие элементы:

- термометрические скважины;
- гидрогеологические скважины;
- глубинные реперы;
- деформационные марки;
- точки снегомерной съемки [17].

Термометрическая скважина представляет собой специально оборудованную скважину, используемую для замеров температур грунтов на разных глубинах. Глубина термометрической скважины должна быть не менее глубины нулевых годовых амплитуд колебаний температуры грунтов и на 5–10 м превышающей глубину заглубления свай моста.

Гидрогеологическая скважина представляет собой элемент геотехнического мониторинга для определения наличия воды в грунтах, глубины ее залегания и химического состава.

Глубинный репер представляет собой конструкцию, жестко установленную в грунт и предназначенную для определения высотных отметок конструкций мостовых сооружений.

Точки снегомерной съемки представляют собой отмеченные на плане места, где необходимо контролировать высоту и плотность снежного покрова.

Деформационные марки представляют собой как отдельные конструкции, закрепляемые на фундаментах, сваях и ростверках, так и некие вспомогательные элементы в виде пятна краски, приваренной гайки или болта.

Для корректного наблюдения за температурами многолетнемерзлых грунтов и заблаговременного принятия решений для исключения аварийных ситуаций в эксплуатирующую организацию должна быть направлена инструкция по наблюдению за определенными параметрами сооружения.

В многолетнемерзлых грунтах критически важным является температурное состояние грунтов в течение всего периода эксплуатации. Согласно СП 25.13330.2020 п. 7.2.1 формуле 7.1 расчетная нагрузка на основание не должна превышать:

$$F \leq \frac{F_u}{\gamma_u},$$

где:

$F$  — расчетная нагрузка на основание;

$F_u$  — несущая способность основания;

$\gamma_n$  — коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый для оснований опор мостов по СП 35.13330 и согласно п. 12.13. СП 25.13330.2020.

При этом, определение  $F_u$  выполняется по формуле 7.2 п. 7.2.2. Несущая способность каждого слоя грунта зависит от его температуры и определяется на этапе инженерно-геологических изысканий. В формуле 7.2 присутствует коэффициент  $\gamma_t$ , определение которого для специалистов, не погруженных в тему многолетнемерзлых грунтов, является практически нерешаемой задачей. Возможен также расчет при принятии  $\gamma_t = 1$ , но для этого необходимо выполнение теплофизических расчетов на весь период эксплуатации в специализированных программных комплексах. Теплотехнические расчёты многолетнемерзлых грунтов представляют исключительную сложность для инженеров-неспециалистов в области геокриологии. Это обусловлено необходимостью моделирования нелинейных и нестационарных процессов с учетом фазовых переходов вода-лёд, изменения термофизических свойств от температуры, а также сложной пространственной неоднородности грунтов. Специализированные программные комплексы требуют корректного задания исходных данных, граничных и начальных условий, которые критически зависят от понимания криогенных явлений. Без глубоких знаний в области механики мерзлых грунтов и теплофизики интерпретация результатов и проверка корректности модели становятся невозможными, что приводит к существенным ошибкам в прогнозе температурного режима и, как следствие, к рискам для устойчивости сооружений. Данная задача является междисциплинарной и практически нерешаема без соответствующей узкой квалификации.

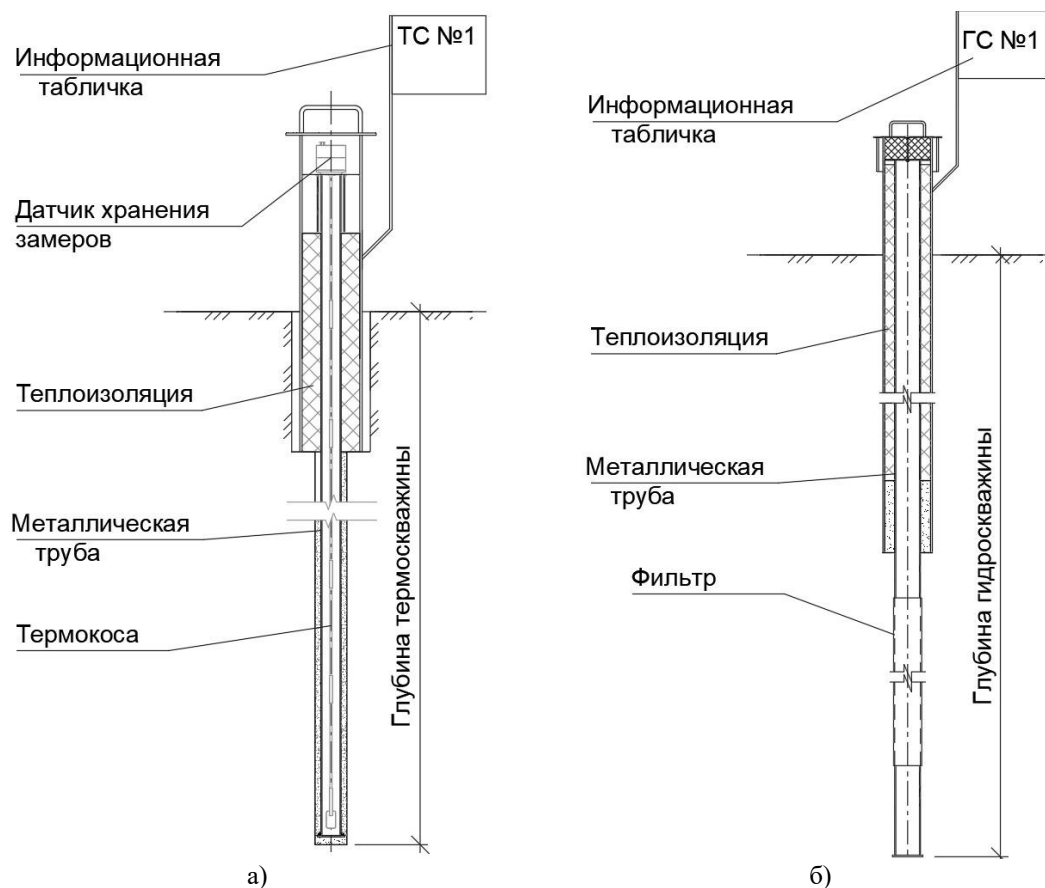
Следующий важный элемент геотехнического мониторинга — это гидрогеологическая скважина. Данный элемент необходим для контроля наличия воды в гидрогеологических скважинах и может сигнализировать о значительных рисках для сооружений на площадке строительства.

Обнаружение воды в стволе гидрогеологической скважины, пробуренной в массиве многолетнемерзлых пород (криолитозоне), является важным диагностическим признаком, требующим незамедлительной проверки всего массива собранных данных и результатов мониторинга. Практическая значимость данного явления заключается в том, что оно может свидетельствовать о деградации многолетнемерзлых грунтов — процессе растепления грунтов. Однако при анализе данных необходимо избегать поспешных выводов, основанных на анализе небольшого количества данных. Важно учитывать альтернативные, не связанные с деградацией мерзлоты, источники появления воды в скважине. К ним относятся, в частности, техногенные факторы: случайные проливы технологических жидкостей в процессе бурения или обслуживания, конденсат атмосферной влаги на обсадной трубе, либо сезонное поступление воды из верхних таликовых горизонтов, не связанное с растеплением.

Замеры воды в скважине производят с помощью гидрогеологической рулетки, электроуровнемера или автоматического регистратора [18].

Наличие воды в скважине служит строгим индикатором, требующим комплексную проверку. Она должна включать анализ данных термометрии по соседним скважинам (правильным решением является размещение термометрической скважины вблизи гидрогеологической), контроль температур на глубинах залегания мерзлых пород, оценку динамики уровня и химического состава жидкости.

На рисунке 1 представлены принципиальные схемы устройства термометрической и гидрогеологической скважин.



**Рисунок 1.** Принципиальные решения по термометрической скважине (а) и по гидрогеологической скважине (б) (разработан авторами)

В системе геотехнического мониторинга на многолетнемерзлых грунтах особое место занимают стационарные точки снегомерной съемки. Это метки для замера высоты покрова, данные с которых напрямую определяют безопасность и долговечность сооружений в суровых климатических условиях.

Точки снегомерной съемки представляют собой постоянные, четко закрепленные и привязанные геодезическим способом участки, расположенные на характерных для строительной площадки участках — как в естественных условиях, так и в зонах влияния объекта. Ежемесячно, а в периоды интенсивных снегопадов и чаще, специалисты эксплуатирующей организации обязаны проводят на них замеры высоты снега и его плотности. Систематический сбор этих данных формирует характеризующую динамику снегового покрова за каждый зимний сезон.

Важность этих измерений кроется в теплофизических свойствах снега. Снег является эффективным природным теплоизолятором. Его наличие уменьшает теплоотдачу грунта в атмосферу зимой, замедляя или даже полностью блокируя процесс сезонного охлаждения и восстановления мерзлоты [19].

В проектной документации, на основе которой формируется инструкция по мониторингу, необходимо указывать критическую высоту снега. Это такое его количество, при котором тепловой поток, накопленный грунтом за летний период, не сможет быть полностью отведен за зиму.

Определение этой критической величины — комплексная задача. Она зависит от:

- Климатических параметров (температуры воздуха зимой, продолжительности холодного периода).

- Теплофизических свойств конкретных грунтов основания.
- Нагрузки от сооружения и его теплового воздействия.
- Летнего термического режима, определившего глубину промерзания и глубину оттаивания.

Высота снежного покрова задается при выполнении теплотехнического расчета и является изменяющейся величиной при рассмотрении различных участков сооружения.

Наибольшие скопления снега у опор мостовых сооружений формируются в зонах аэродинамической тени и вблизи конструктивных элементов, создающих ветровые преграды. Основные причины снеговых наносов:

- С наветренной стороны — в результате метелевого переноса и отложения.
- С подветренной стороны — из-за снижения скорости ветра и выпадения переносимого снега.
- В угловых зонах (например, месте примыкания ростверка к свае) и в подмостовом пространстве, где естественная вентиляция ограничена. Особенно критичны участки с подветренной стороны высоких, сплошных или массивных элементов, где образуются глубокие заносы, значительно ухудшающие температурный режим основания.

Таким образом, регулярные замеры на снегомерных точках позволяют оперативно выявлять зимы с аномально высоким снежным покровом, которые являются потенциально опасными для стабильности мерзлых грунтов. При проектировании схемы расположения элементов геотехнического мониторинга необходимо особо внимательно рассматривать зоны большого снегонакопления для установки в этих местах термометрических скважин.

Отдельно стоит остановиться на деформационных марках. Именно они позволяют судить о деформациях фундамента. В регламенте проведения геотехнического мониторинга необходимо четко и однозначно указывать, что запрещается какое-либо воздействие на деформационные марки. После завершения строительства на них передаются высотные отметки, которые затем контролируются с определенной периодичностью. При повреждении такой марки, либо ее деформации, оценить перемещения конструкций становится невозможно. Эти марки должны быть четко видны и не подвергаться механическим воздействиям. Предпочтительным видом деформационной марки является конструкция из уголка и швеллера, устанавливаемая на ростверк и окрашиваемая в яркие, заметные цвета.

Глубинный репер — это элемент геотехнического мониторинга, представляющий собой сваю, погруженную ниже активного слоя и сезоннопротаивающего слоя ММГ, в устойчивый мерзлый грунт. На его оголовок, находящийся на поверхности, передается неизменная высотная отметка. Таким образом, репер служит условно неподвижной точкой, на которую опираются все последующие измерения деформаций сооружений через систему деформационных марок, закрепленных на их конструкциях.

Принципиальное требование к организации мониторинга — использование не менее трех глубинных реперов, расположенных вне зоны влияния сооружения. Это требование обусловлено необходимостью проверки стабильности самих реперов до начала съемки деформационных марок.

Перед каждым циклом измерений на объекте первоочередной задачей является проверка взаимного положения глубинных реперов. Измерениями между ними (нивелирование, линейно-угловые измерения) определяется их текущая пространственная конфигурация.

Поскольку заложенные в устойчивый грунт реперы теоретически являются неподвижными, любые статистически значимые изменения измеренных расстояний или превышений между ними свидетельствуют о возможной неустойчивости одного из них.

Наличие трех точек позволяет построить геометрическую фигуру (треугольник) и анализировать ее метрические характеристики. При использовании только двух реперов невозможно определить, какой из них сместился. Наличие третьего (и более) репера позволяет методом сравнения с предыдущими циклами измерений выявить и исключить из дальнейших расчетов потенциально подвижную точку, обеспечив тем самым надежную опору для съемки деформационных марок.

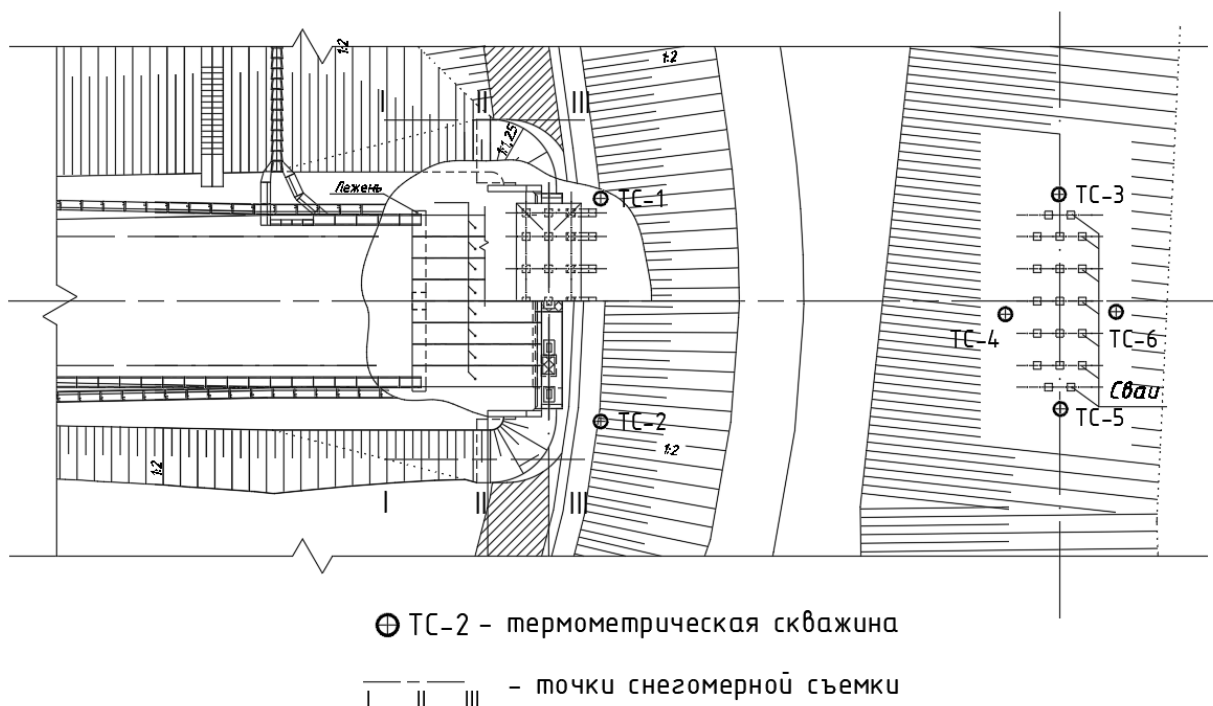
Строгое соблюдение требования о закладке не менее трех реперов и обязательный предварительный контроль их взаимного положения являются обязательным условием получения объективных данных о деформациях сооружений, что в конечном итоге обеспечивает безопасную эксплуатацию в сложных инженерно-геокриологических условиях.

В итоге, наиболее важными параметрами, за которыми необходимо устраивать постоянное наблюдение являются:

- температура грунтов оснований зданий и сооружений (с последующим расчетом несущей способности основания и определения запасов);
- деформации оснований и фундаментов зданий и сооружений (относительная разность осадок, крен, абсолютные значения вертикальных деформаций).

Дополнительными показателями, определяемыми в процессе выполнения работ по ГТМ и характеризующими состояние зданий и сооружений, являются:

- температурный режим грунтов основания (контроль температуры по всей глубине сваи и контроль глубины оттаивания-промерзания грунтов);
- высоты снежного покрова в точках снегомерной съемки.



**Рисунок 2.** Вариант расстановки термометрических скважин и точек снегомерной съемки (разработан авторами)

В программе геотехнического мониторинга следует предусматривать расчет фундаментов на действие нормальных и касательных сил пучения, расчет возможной осадки. На рисунке 2 представлен принципиальный вариант мест установки термометрических скважин и точек снегомерной съемки.

Осуществление ГТМ возможно тремя методами проведения измерений и наблюдений:

- ручной;
- полуавтоматизированный;
- автоматизированный [20].

Ручной метод предусматривает получение информации и ее передачу для обработки и хранения с помощью нестационарных средств измерения. Полученные в ходе наблюдения данные записываются в журнал наблюдений или регистрируются в памяти средств измерения, передача данных на персональный компьютер (ПК) выполняется путем ввода с клавиатуры или стандартного процесса переноса информации в электронном виде (карты памяти, диски, соединительные шнуры и т. п.).

Полуавтоматизированный метод наблюдений предполагает частичную автоматизацию и упрощение некоторых, наиболее време- и трудоемких процессов. Это достигается стационарной установкой измерительного оборудования или его основных составляющих элементов на объектах, объединением измерительных элементов в сеть с выводом кабелей от точек наблюдения в единый пункт сбора данных, например, разъемный шкаф. Данные собираются с использованием переносного регистрирующего прибора в ручном режиме или накапливаются в памяти запоминающих устройств (логгер, промышленный компьютер и пр.), перенос с которых также осуществляется стандартными методами, по аналогии с ручным методом наблюдений.

При автоматизированном методе наблюдений все процессы, связанные с измерением наблюдаемых параметров и передачей данных на ПК диспетчерского пункта, осуществляются с заданной периодичностью в автоматическом режиме, без участия человека. При этом существенно увеличиваются трудозатраты на техническое обслуживание автоматизированных систем измерения, которые включают ремонтные работы, периодическую поверку, регулярную замену элементов питания (с частотой один раз в 1–3 года в зависимости от рекомендаций производителя).

Принятие управленческих решений заключается в выявлении причин отклонений и выборе мероприятий по стабилизации ситуации (таких как, расчистка снега по периметру сооружения, стабилизация грунтов с помощью теплозащитных экранов и т. д.) [21].

Для обоснования решений необходимо проводить сравнение текущей величины контролируемого параметра с его допустимым значением, которое определяется критериями надежности.

Когда ситуация нормальная, выполняются следующие условия:

1. При расчете оснований фундаментов по формуле несущей способности:

$$N_p > F_{пр},$$

где:

$N_p$  — расчетная несущая способность сваи, кН;

$F_{пр}$  — предельно допустимая несущая способность, кН.

2. При расчете устойчивости фундаментов на действие касательных и нормальных сил морозного пучения грунтов для свайного фундамента:

$$X \cdot (F_{\text{удерж}} + N) > F_{\text{к.пуч}},$$

где:

$X$  — коэффициент, значение которого изменяется от 0,8 до 0,9 в зависимости от ответственности сооружения;

$F_{\text{к.пуч}}$  — величина касательных сил пучения, кН;

$F_{\text{удерж}}$  — расчетная удерживающая сила кН;

$N$  — вертикальная нагрузка на сваю, кН;

Для определения запасов по второй группе предельных состояний (по деформациям):

3. По абсолютным значениям вертикальных деформаций

$$H_n + X \cdot A_{п1} > A_n > A_n - X \cdot A_{п2},$$

где:

$A_n$  — начальная абсолютная отметка деформационной марки, м;

$A_{п1}$  — предельно допустимое значение абсолютной деформации подъема, м;

$A_{п2}$  — предельно допустимое значение абсолютной деформации подъема, м;

$A_n$  — измеренная абсолютная отметка деформационной марки, м;

4. По крену

$$X \cdot i_u > i_{u,и},$$

где:

$i_u$  — допустимое значение крена;

$i_{u,и}$  — измеренное значение крена;

Оценка изменения температурного режима грунтов основания:

1. В течение периода времени, прошедшего между двумя замерами

$$T_{0(n)} \leq T_{0(n-1)},$$

где:

$T_{0(n)}$  — текущий (последний по дате на момент вывода отчета) замер температуры грунта в ТС, °С;

$T_{0(n-1)}$  — предыдущий замер температуры грунта в ТС, °С;

2. В течение последних 5–7 лет от замера

$$T_{0(n)} \leq T_{0(ср)},$$

где:

$T_{0(n)}$  — текущий (последний по дате на момент вывода отчета) замер температуры грунта в ТС, °С;

$T_{0(ср)}$  — среднее значение температуры грунта в ТС, измеренной в период продолжительностью 5–7 лет, прошедших до текущего замера, °С;

При оценке динамики сезонного оттаивания ММГ

$$h_{\text{отт}(n)} \leq h_{\text{отт}(n-1)},$$

где:

$h_{\text{отт}(n)}$  — измеряемая или прогнозная глубина максимального сезонного оттаивания ВМГ в текущем году (определяется по замерам температур грунтов в ТС), м;

$h_{\text{отт}(n-1)}$  — измеренная или прогнозная глубина максимального сезонного оттаивания ВМГ в предыдущем году, м;

при оценке утепляющего влияния снежного покрова

$$\Delta t_{\text{сн}(n)} < T_{\text{в ср}},$$

где:

$\Delta t_{\text{сн}(n)}$  — утепляющее влияние снежного покрова в соответствии с результатами замеров высоты ( $h_{\text{сн}}$ ) и плотности ( $\rho_{\text{сн}}$ ) снежного покрова:

1. на текущего дату (или любого другого) замера;
2. осредненные значения за месяц;
3. осредненное значение за зимний период (с октября по май);

$T_{\text{в ср}}$  — среднегодовая температура воздуха за прошедший год (для первых 12 месяцев принимается многолетнее значение по ближайшей к кустам скважин метеостанции).

При выполнении этих условий ситуация не требует принятия управляющих решений.

В случае невыполнения указанных условий необходимо незамедлительно принимать следующие меры:

- увеличение частот проведения замеров для данного сооружения;
- установление причины возникновения неблагоприятной ситуации с проведением в случае необходимости обследования сооружения;
- проведение прогнозного теплотехнического расчета в целях определения интенсивности развития и масштаба проявления неблагоприятных процессов, а также обоснования принимаемых решений по стабилизации обстановки и недопущения дальнейшего негативного развития;
- разработка и принятие конкретных стабилизирующих мероприятий, таких как расчистка снега, повышение степени вентилируемости подполья, использование временных теплозащитных экранов, принудительное охлаждение грунтов и др.

В случае обнаружения значительного растепляющего эффекта либо превышение контролируемого параметра порогового значения для исключения появления аварийной ситуации необходимо предпринять следующие меры:

- обнаружение причины, способной привести к аварийной ситуации;
- разработка документации (проект, регламент, компенсационные мероприятия или др.) по устранению причин возникновения аварийной ситуации и реализации стабилизирующих мероприятий;
- проведение строительно-монтажных работ в соответствии с рабочей документацией;
- увеличение количества циклов наблюдений на период стабилизации ситуации.

При этом, на время выполнения противоаварийных работ, возможно введение некоторых ограничений на мостовые сооружения:

- Запрет движения тяжеловесного транспорта. Введение максимально допустимой нагрузки на ось и полной массы ТС (например, не более 5–8 т на ось, 20–30 т на транспорт).
- Ограничение скорости: снижение скорости до 20–40 км/ч для минимизации динамических воздействий.
- Организация движения:
  - интервальное движение: запрет одновременного нахождения на мосту нескольких ТС;
  - однопосное движение по центральной оси моста;
  - полный запрет обгонов и остановок.
- Запрет на определенные виды транспорта: полное закрытие движения для многоосных тяжеловозов, карьерной техники, автопоездов сверхнормативной массы.
- Информирование: установка знаков 3.11 («Ограничение массы»), 3.12 («Ограничение массы на ось»), 3.24 («Ограничение скорости») с указанием значений.

Описанные ситуации наиболее полно характеризует следующая таблица:

**Таблица 1**

**Принятие управленческих решений**

Элемент сети ГТМ	Контролируемый параметр	Возможные негативные последствия	Управленческое решение	Сроки реагирования
Термометрическая скважина (ТС)	Температура грунтов основания	Повышение температуры грунтов, растепление ММГ, потеря несущей способности основания	Увеличение числа замеров, пересчет несущей способности свай, поиск и устранении причины потепления, решение о применении систем термостабилизации грунтов	В течение нескольких недель
Гидрогеологическая скважина (ГС)	Наличие подземных вод	Оттаивание многолетнемерзлых грунтов	Установление причины появления воды в ГС, после этого принятие решения о мероприятиях	В течение недели
Деформационные марки (ДМ)	Подъем или осадка сооружения	Потеря устойчивости сооружения, невозможность нормальной эксплуатации	Расчет несущей способности основания, принятие решения о необходимости термостабилизации грунтов	В течение двух-трех месяцев
Точки снегомерной съемки (ТСС)	Высота снежного покрова	Уменьшение глубины промерзания, возможное образование таликов	Расчистка снега, дополнительный контроль высоты снежного покрова	В течение месяца

*Разработано авторами*

**Общие выводы**

1. Надежность и безопасность мостовых сооружений на многолетнемерзлых грунтах — это результат сложного, высококвалифицированного труда, требующего тесного взаимодействия изыскателей, проектировщиков, строителей и службы эксплуатации.

Работа проектировщиков и изыскателей требует глубоких знаний в области механики, материаловедения и нормативных требований.

Строители воплощают проект в реальность, соблюдая технологические регламенты и контролируя качество материалов и монтажных работ. От их профессионализма зависит соответствие сооружения расчётным параметрам и устойчивость к внешним воздействиям.

Служба эксплуатации обеспечивает долгосрочную безопасность, проводя регулярные обследования, диагностику дефектов и профилактические ремонты. Специалисты отслеживают динамику износа, реагируют на нештатные ситуации и поддерживают работоспособность систем.

Только слаженная работа всех участников процесса — от этапа проектирования до постоянной эксплуатации — позволяет гарантировать надёжность и безопасность мостов как критически важных объектов инфраструктуры.

2. Устойчивая и безопасная эксплуатация мостов в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов предъявляет особые требования к комплексу технических решений. Ключевым моментом является то, что надёжность объекта в таких геокриологических условиях обусловлена не только грамотной эксплуатацией, но, в первую очередь, корректно спроектированной и смонтированной системой геотехнического мониторинга.

Особенностью ММГ является их термодинамическая нестабильность и высокая чувствительность к техногенным воздействиям. Нарушение температурного режима грунтов основания, ведущее к их деградации или пучению, может вызвать недопустимые деформации конструкций вплоть до потери несущей способности. Поэтому традиционных подходов к эксплуатации, основанных на визуальном контроле и регламентных обслуживаниях, здесь недостаточно.

Система геотехнического мониторинга, интегрированная в проект на этапе изысканий, становится основным инструментом превентивного управления надёжностью. Ее задачи включают непрерывный или периодический контроль ключевых параметров: температуры грунта на различных глубинах, динамики сезонно-талого слоя, величин и скоростей осадков фундаментов, а также усилий в конструктивных элементах. Полученные данные позволяют:

- верифицировать принятые проектные решения и прогнозные модели;
- своевременно выявлять негативные тенденции (например, повышение температур грунтов или начало процесса их оттаивания);
- обоснованно выбирать и оперативно применять мероприятия по стабилизации оснований.

3. Наличие системы геотехнического мониторинга на объектах в криолитозоне является необходимым, но недостаточным условием для обеспечения их долгосрочной безаварийной эксплуатации. Ключевым звеном становится эффективный механизм реагирования на поступающие данные. Динамичная природа многолетнемерзлых грунтов, характеризующаяся фазовыми переходами воды и изменением прочностных свойств, требует не просто констатации фактов (например, роста температуры или развития осадков), а их оперативной интерпретации и разработки корректирующих мероприятий.

Эффективность управления определяется:

- скоростью интерпретации данных;
- наличием проработанных сценариев реагирования;
- компетентностью эксплуатирующего персонала.

Таким образом, безаварийная эксплуатация на ММГ требует не только технической оснащённости, но и системной организации процесса принятия решений, где данные мониторинга трансформируются в целенаправленные действия по поддержанию устойчивости сооружений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев, Е.В. Обследование и содержание металлических мостов [Inspection and maintenance of metal bridges] / Е.В. Зайцев, Н.Е. Толстых // Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК: сборник научных статей Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров, Курск, 15 марта 2023 года. — Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2023. — С. 212–215. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50507440>. — EDN: [GZDTFF](#) (дата обращения: 16.01.2026).
2. Разработка методики выявления растепления многолетнемерзлых грунтов основания опор мостов на основе вибродиагностики [Development of a method for identifying thawing of permafrost soils at bridge support foundations based on vibration diagnostics] / Л.А. Полякова, А.А. Лебедев, К.А. Плесовских [и др.] // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. — 2023. — № 3(66). — С. 81–92. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54814239>. — DOI: [10.52170/1815-9265\\_2023\\_66\\_81](https://doi.org/10.52170/1815-9265_2023_66_81). — EDN: [NETMYK](#) (дата обращения: 16.01.2026).
3. Харченко, И.Я. Устранение сверхнормативных осадочных деформаций зданий и сооружений в условиях растепления многолетнемерзлых грунтов [Elimination of excessive settlement deformations of buildings and structures under conditions of permafrost thawing] / И.Я. Харченко // Научный вестник Арктики. — 2022. — № 12. — С. 89–97. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48320862>. — DOI: [10.52978/25421220\\_2022\\_12\\_89-97](https://doi.org/10.52978/25421220_2022_12_89-97). — EDN: [BSCKUZ](#) (дата обращения: 16.01.2026).
4. Жаркой, А.М. Проблемы деградации многолетнемерзлых грунтов [Problems of permafrost degradation] / А.М. Жаркой, М.А. Ковалева, С.А. Кудрявцев // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. — 2023. — Т. 1. — С. 416–419. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54139940>. — EDN: [ATPWCE](#) (дата обращения: 16.01.2026).
5. Андреева, Е.Д. Деградация многолетнемерзлых грунтов на примере участка железнодорожного пути "Северный широтный ход" ст. Пангоды — Г. Новый Уренгой 735КМ-755км [Permafrost degradation on the example of the railway section "Northern Latitudinal Passage" Pangody — Novy Urengoy 735 km-755 km] / Е.Д. Андреева, И.С. Репин // Modern Science. — 2020. — № 11-2. — С. 39–44. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44241414>. — EDN: [MDPZJS](#) (дата обращения: 16.01.2026).
6. Streletskiy D.A., Suter L.J., Shiklomanov N.I., Porfiriev B.N., Eliseev D.O. Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost / D.A. Streletskiy, L.J. Suter, N.I. Shiklomanov, B.N. Porfiriev, D.O. Eliseev // Environmental Research Letters. — 2019. — Т. 14, № 2. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aaf5e6>. — DOI: [10.1088/1748-9326/aaf5e6](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf5e6) (дата обращения: 16.01.2026).
7. Судаков, А.В. Моделирование пространственной работы пролетных строений с учетом осадки опор при оттаивании мерзлых грунтов оснований [Modeling of spatial work of spans considering settlement of supports during thawing of frozen foundation soils] / А.В. Судаков, И.Д. Гужев, Г.М. Боровик // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. — 2019. — № 2(19). — С. 58–60. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41444187>. — EDN: [TSRWZW](#) (дата обращения: 16.01.2026).

8. Томилов, С.Н. Проблема просадок мостовых опор в условиях деградации многолетнемерзлого основания и возможность ее решения [The problem of bridge support settlements under permafrost degradation and the possibility of its solution] / С.Н. Томилов, А.Д. Сим, П.Е. Гринев // Транспортные сооружения. — 2020. — Т. 7, № 3. — С. 2. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44340638>. — DOI: [10.15862/02SATS320](https://doi.org/10.15862/02SATS320). — EDN: [GSKMUK](https://www.edn.net/GSKMUK) (дата обращения: 16.01.2026).
9. Ильичев, В.А. Тепловое воздействие на состояние грунтов в криолитозоне при устройстве грунтоцементных элементов [Thermal effect on the state of soils in the permafrost zone during the construction of soil-cement elements] / В.А. Ильичев, Н.С. Никифорова, А.В. Коннов // Фундаменты глубокого заложения и проблемы геотехники территорий: Материалы III Всероссийской конференции с международным участием, Пермь, 29–31 мая 2024 года. — Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2024. — С. 392–400. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80449185>. — EDN: [MKRUDUC](https://www.edn.net/MKRUDUC) (дата обращения: 16.01.2026).
10. Боровик, Г.М. Грузоподъемность опор мостов в условиях оттаивающих многолетнемерзлых грунтов оснований [Load-bearing capacity of bridge supports under thawing permafrost foundation soils] / Г.М. Боровик, А.Ю. Журавлев, Я.А. Швец // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. — 2020. — № 3(54). — С. 51–57. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44109356>. — EDN: [VZBIUN](https://www.edn.net/VZBIUN) (дата обращения: 16.01.2026).
11. Каблуков, А.В. Геотехнический мониторинг на этапах жизненного цикла объектов топливно-энергетического комплекса на многолетнемерзлых грунтах [Geotechnical monitoring at the life cycle stages of fuel and energy complex facilities on permafrost soils] / А.В. Каблуков, Т.Л. Дмитриева, В.П. Яценко // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2025. — Т. 15, № 1(52). — С. 73–84. — URL: <https://inbure.elpub.ru/jour/article/view/306>. — DOI: [10.21285/2227-2917-2025-1-73-84](https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-73-84). — EDN: [QOXENM](https://www.edn.net/QOXENM) (дата обращения: 16.01.2026).
12. Методы геотехнического мониторинга при изменении геокриологических условий территории [Methods of geotechnical monitoring under changing geocryological conditions of the territory] / А.А. Попова, Е.А. Еремеева, Ю.В. Власова, Т.В. Никитина // Научный вестник Арктики. — 2022. — № 12. — С. 44–50. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48320856>. — DOI: [10.52978/25421220\\_2022\\_12\\_44-50](https://doi.org/10.52978/25421220_2022_12_44-50). — EDN: [OHNIAA](https://www.edn.net/OHNIAA) (дата обращения: 16.01.2026).
13. Дежникова, А.А. Карта-схема результатов проведения геотехнического мониторинга при строительстве в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов [Map-scheme of geotechnical monitoring results during construction in the permafrost area] / А.А. Дежникова, М.Ф. Кузнецов, А.А. Попова // Фундаменты. — 2024. — № 4(18). — С. 28–30. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82307283>. — EDN: [UYIRZN](https://www.edn.net/UYIRZN) (дата обращения: 16.01.2026).
14. Филимонов, А.А. Определение контролируемых параметров для проектирования сети геотехнического мониторинга подземных трубопроводов в криолитозоне [Determination of controlled parameters for designing a geotechnical monitoring network of underground pipelines in the permafrost zone] / А.А. Филимонов, Л.А. Строкова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2024. — Т. 335, № 1. — С. 112–127. — URL: <https://izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/4389>. — DOI: [10.18799/24131830/2024/1/4389](https://doi.org/10.18799/24131830/2024/1/4389). — EDN: [VXHISF](https://www.edn.net/VXHISF) (дата обращения: 16.01.2026).

15. Геотехнический мониторинг объектов нефтегазодобычи в криолитозоне [Geotechnical monitoring of oil and gas production facilities in the permafrost zone] / Н.Г. Гилев, Ю.С. Поверенный, М.С. Павлов [и др.] // Фундаменты. — 2021. — № 4(6). — С. 34–36. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47183295>. — EDN: [IMJJDP](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47183295) (дата обращения: 16.01.2026).
16. Пономарева, Д.К. Автоматизация процесса геотехнического мониторинга при использовании искусственного интеллекта [Automation of the geotechnical monitoring process using artificial intelligence] / Д.К. Пономарева, К.С. Бадичев // Проблемы разведки, разработки и обустройства месторождений нефти и газа: Сборник тезисов XVI региональной научно-технической конференции молодых специалистов АО "ТомскНИПИнефть", Томск, 03 марта 2023 года / Отв. редактор А.Г. Чернов. — Томск: Акционерное общество "Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа", 2023. — С. 34–36. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54157658>. — EDN: [GQZFUF](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54157658) (дата обращения: 16.01.2026).
17. Хазеев, Р.З. Создание сети геотехнического мониторинга для наблюдения за состоянием многолетнемерзлых грунтов [Creation of a geotechnical monitoring network for observing the state of permafrost soils] / Р.З. Хазеев, И.И. Овчинников // Проектирование, строительство и эксплуатация объектов транспортной инфраструктуры в сложных климатических и инженерно-геологических условиях: Материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 10 октября — 15 2025 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью Издательско-торговая корпорация "Дашков и К", 2025. — С. 193–197. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=87683703>. — EDN: [TQWDDJ](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=87683703) (дата обращения: 16.01.2026).
18. Попова, А.А. Проблемы геотехнического мониторинга на многолетнемерзлых грунтах [Problems of geotechnical monitoring on permafrost soils] / А.А. Попова // Фундаменты. — 2021. — № 4(6). — С. 24–27. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47183293>. — EDN: [HNWQAP](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47183293) (дата обращения: 16.01.2026).
19. Веде, П.Ю. Исследование теплового сопротивления снегового покрова для прогнозирования растепления многолетнемерзлых грунтов [Study of the thermal resistance of snow cover for predicting permafrost thawing] / П.Ю. Веде, А.М. Жжоных, П.С. Пахомов // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее: Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 40-летию создания Инженерно-строительного института, Красноярск, 19–21 октября 2022 года. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022. — С. 473–476. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49731408>. — EDN: [AJZFMG](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49731408) (дата обращения: 16.01.2026).
20. Potapov A.I., Shikhov A I., Dunaeva E.N. Geotechnical Monitoring of Frozen Soils: Problems and Possible Solutions / A.I. Potapov, A.I. Shikhov, E.N. Dunaeva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2021. — Т. 1064. — С. 1–6. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1064/1/012038>. — DOI: [10.1088/1757-899X/1064/1/012038](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1064/1/012038). — EDN: [FTZQTV](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49731408) (дата обращения: 16.01.2026).

21. Alekseev A., Shilova L., Mefedov E. An Approach for Automatization of Geotechnical Monitoring in Cryolithozone / A. Alekseev, L. Shilova, E. Mefedov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2021. — Т. 1083. — С. 1–7. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012080>. — DOI: [10.1088/1757-899X/1083/1/012080](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1083/1/012080). — EDN: [XСМНJA](https://www.edn.ru/xcmhja) (дата обращения: 16.01.2026).

**Khazeev Rumil Zirakovich**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
E-mail: [rumilkhazeev@mail.ru](mailto:rumilkhazeev@mail.ru)  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1331783](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1331783)

**Ovchinnikov Ilya Igorevich**

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia  
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
E-mail: [bridgeart@mail.ru](mailto:bridgeart@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8370-297X>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=177132](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=177132)  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191523104>

## **Problems of managerial decision-making when performing geotechnical monitoring of bridge structures on permafrost soils**

**Abstract.** A significant part of Russia's territory, about 65 %, is located in permafrost areas. The development of these vast and rich territories is a long-term strategic task on a national scale, ensuring economic development and geopolitical stability. However, the current climate changes are leading to the active degradation of permafrost soils, which poses serious risks to infrastructure built with their bearing capacity in the frozen state. Residential and industrial buildings, transportation routes, pipelines, and other facilities that were initially stable are now under threat due to subsidence, warming, and thawing of the foundation.

Under these conditions, continuous geotechnical monitoring of the condition of foundations and soils is becoming not just an important, but a critically necessary practice. Its task is to timely record dangerous deformations, temperature changes, fluctuations in the groundwater level and other parameters that signal the risk of an emergency.

The article discusses the problem of decision-making during geotechnical monitoring. The primary task is to be able to correctly interpret the information received, predict the development of negative processes, and, most importantly, know which technological and engineering solutions need to be applied at each specific moment to prevent an emergency. Effective monitoring should not be passive surveillance, but an active decision support system integrated into the facility's operation management cycle. Only the transition from simple measurement of parameters to comprehensive analysis and prompt implementation of preventive measures — thermal stabilization, strengthening of foundations, changing the operating mode — will ensure the safety and durability of infrastructure in a changing cryolithozone.

**Keywords:** permafrost soils; geotechnical monitoring; management solutions; thermometric well; hydrogeological well; thawing of permafrost soils; deep reference