Проблемы строительной геофизики

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Кафедра геотехники и строительной геофизики

Год: 2025

# ВВЕДЕНИЕ

\*\*Введение\*\*

Строительная геофизика представляет собой важное направление прикладной геофизики, ориентированное на изучение физических свойств грунтов и горных пород с целью обеспечения надежности и безопасности строительных объектов. В условиях интенсивного развития инфраструктуры, роста урбанизации и освоения новых территорий актуальность геофизических исследований в строительстве существенно возрастает. Однако, несмотря на значительные достижения в области методов неразрушающего контроля и диагностики, строительная геофизика сталкивается с рядом сложных проблем, требующих комплексного научного и технологического решения.

Одной из ключевых проблем является неоднородность геологической среды, которая затрудняет интерпретацию данных геофизических исследований. Разнообразие литологического состава, наличие зон тектонических нарушений, карстовых полостей и других аномалий создает значительные сложности при прогнозировании поведения грунтов под нагрузкой. Кроме того, возрастающие требования к точности и детализации исследований требуют совершенствования аппаратурно-методической базы, включая развитие новых методов сейсморазведки, электроразведки и георадиолокации.

Еще одной важной проблемой является влияние антропогенных факторов на геологическую среду. Урбанизированные территории характеризуются высокой плотностью подземных коммуникаций, вибрационными и статическими нагрузками, что приводит к изменению физико-механических свойств грунтов. В связи с этим возникает необходимость разработки адаптивных методик, позволяющих учитывать динамические изменения среды в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

Особую сложность представляют исследования в условиях вечной мерзлоты, сейсмоопасных зон и других экстремальных геологических условий. В таких случаях традиционные методы могут оказаться недостаточно эффективными, что требует разработки специализированных подходов, основанных на интеграции данных дистанционного зондирования, математического моделирования и мониторинга.

Таким образом, современные проблемы строительной геофизики носят междисциплинарный характер и связаны как с фундаментальными аспектами изучения геологической среды, так и с прикладными задачами повышения точности и достоверности инженерно-геологических изысканий. Решение этих проблем требует дальнейшего развития теоретических основ, внедрения инновационных технологий и совершенствования нормативной базы, что определяет актуальность данного исследования.

# МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ГЕОФИЗИКИ

Современные методы и технологии строительной геофизики представляют собой комплексный инструментарий, направленный на изучение физических свойств грунтов и горных пород, а также прогнозирование их поведения в условиях инженерных нагрузок. Основными задачами данного направления являются выявление неоднородностей геологической среды, оценка устойчивости оснований сооружений, мониторинг деформационных процессов и контроль качества строительных работ. В зависимости от решаемых задач применяются различные геофизические методы, которые условно можно разделить на сейсмические, электроразведочные, гравиметрические, магнитометрические и георадиолокационные.

Сейсмические методы основаны на регистрации упругих волн, возникающих при искусственном возбуждении колебаний или естественных сейсмических процессах. Среди них выделяют методы преломлённых и отражённых волн, сейсмическую томографию и микросейсмический мониторинг. Эти технологии позволяют определять скорость распространения волн в различных средах, что даёт возможность оценивать плотность, пористость и трещиноватость пород. В строительной практике особое значение имеет сейсмоакустический контроль, используемый для диагностики состояния фундаментов и несущих конструкций.

Электроразведочные методы базируются на изучении распределения электрического поля в геологической среде. К ним относятся вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электромагнитное профилирование (ЭМП) и метод вызванной поляризации (ВП). Данные технологии эффективны при картировании зон повышенной влажности, выявлении карстовых полостей и оценке коррозионной активности грунтов. В последние годы активно развиваются технологии электротомографии, позволяющие получать трёхмерные модели распределения удельного электрического сопротивления.

Георадиолокация (ГРЛ) является одним из наиболее востребованных методов при инженерных изысканиях. Принцип действия основан на излучении электромагнитных импульсов и анализе отражённых сигналов, что позволяет обнаруживать локальные неоднородности на глубинах до 20–30 метров. ГРЛ широко применяется для выявления подземных коммуникаций, исследования структуры дорожных покрытий и мониторинга гидротехнических сооружений.

Гравиметрические и магнитометрические методы используются реже, однако они играют важную роль при решении специфических задач, таких как обнаружение пустот или оценка плотностных характеристик массива горных пород. Современные технологии включают применение высокоточных гравиметров и квантовых магнитометров, обеспечивающих детальное картирование аномалий.

Особое место в строительной геофизике занимают технологии мониторинга, основанные на непрерывном контроле деформационных процессов. Для этого применяются системы спутниковой геодезии (GNSS), лазерного сканирования (LiDAR) и волоконно-оптических датчиков. Интеграция данных методов с геофизическими исследованиями позволяет прогнозировать развитие опасных процессов, таких как просадки, оползни и суффозия.

Перспективным направлением является внедрение цифровых технологий, включая машинное обучение и нейросетевые алгоритмы для обработки геофизических данных. Это способствует повышению точности интерпретации и сокращению временных затрат на анализ. Таким образом, современные методы строительной геофизики представляют собой динамично развивающуюся область, обеспечивающую надёжную основу для принятия инженерных решений.

# ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ РИСКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

представляют собой комплекс факторов, обусловленных неоднородностью и изменчивостью свойств грунтов, тектонической активностью, карстовыми процессами, оползневыми явлениями и другими природными особенностями. Эти риски оказывают существенное влияние на устойчивость и долговечность строительных конструкций, а также на безопасность эксплуатации объектов. Одной из ключевых проблем является недостаточная изученность геологической среды на этапе проектирования, что приводит к неожиданным деформациям оснований и разрушениям сооружений.

Важным аспектом является учет литолого-петрографических особенностей грунтов, включая их прочностные и деформационные характеристики. Наличие слабых, водонасыщенных или просадочных грунтов требует применения специальных методов усиления оснований, таких как цементация, силикатизация или использование свайных фундаментов. Однако даже при наличии детальных изысканий возможны ошибки в интерпретации данных, связанные с ограниченной точностью геофизических методов. Например, сейсморазведка и электроразведка не всегда позволяют выявить локальные аномалии, такие как линзы плывунов или зоны разуплотнения.

Тектонические риски, включая сейсмическую активность и разломные зоны, также представляют серьезную угрозу. Строительство в сейсмоопасных регионах требует учета динамических нагрузок и применения антисейсмических технологий. Однако прогнозирование землетрясений остается неточным, что увеличивает неопределенность при проектировании. Карстовые процессы, связанные с растворением горных пород, приводят к образованию пустот и провалов, что особенно актуально для территорий с распространением известняков и гипсов. Оползневые явления, обусловленные гравитационными силами и гидрогеологическими условиями, требуют проведения стабилизационных мероприятий, таких как дренаж или анкерное крепление.

Геотехнические риски усугубляются антропогенными факторами, включая вибрационное воздействие от строительной техники, подтопление вследствие изменения гидрологического режима и химическую агрессию грунтовых вод. Недостаточный контроль за уплотнением насыпных грунтов или нарушение технологии производства земляных работ могут привести к неравномерной осадке фундаментов. Таким образом, минимизация геологических и геотехнических рисков требует комплексного подхода, включающего детальные инженерно-геологические изыскания, применение современных методов мониторинга и адаптацию проектных решений к конкретным условиям строительной площадки.

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ГЕОФИЗИКИ

Строительная геофизика, являясь важным инструментом инженерных изысканий, сталкивается с рядом экологических проблем, обусловленных как прямым воздействием на окружающую среду, так и косвенными последствиями её применения. Одной из ключевых экологических проблем является нарушение естественного состояния геологической среды при проведении сейсморазведочных и электроразведочных работ. Использование мощных вибрационных источников или взрывных методов генерации сейсмических волн может приводить к микросейсмическим колебаниям, способным влиять на устойчивость близлежащих экосистем, особенно в районах с повышенной сейсмической активностью или хрупкими ландшафтами, такими как карстовые области.

Другой значимой проблемой является загрязнение почв и подземных вод при применении геофизических методов, связанных с внесением химических маркеров или использованием буровых растворов. Например, при проведении электроразведки методом сопротивления или вызванной поляризации в грунт могут вводиться электролиты, которые при несоблюдении норм экологической безопасности способны мигрировать в водоносные горизонты, нарушая их химический состав. Аналогичные риски возникают при бурении скважин для каротажных исследований, где применяются буровые жидкости на основе нефтепродуктов или синтетических полимеров.

Кроме того, строительная геофизика оказывает косвенное воздействие на биоту через изменение гидрологического режима территорий. Георадарные и гравиметрические исследования, несмотря на их относительную экологическую безопасность, могут выявлять зоны ослабленных грунтов, что впоследствии приводит к масштабным земляным работам, нарушающим естественный дренаж и вызывающим подтопление или, напротив, иссушение экосистем. Особенно критично это проявляется в урбанизированных районах, где антропогенная нагрузка и без того высока.

Важным аспектом является также шумовое загрязнение, возникающее при использовании тяжёлой техники для геофизических изысканий. Вибрационные катки, буровые установки и прочие механизмы создают акустический дискомфорт для местной фауны, что может приводить к миграции животных из зон активных исследований. В долгосрочной перспективе это способствует фрагментации местообитаний и снижению биоразнообразия.

Современные тенденции в строительной геофизике направлены на минимизацию экологических рисков за счёт внедрения неинвазивных методов, таких как дистанционное зондирование, использование низкочастотных вибрационных источников с регулируемой мощностью и переход на биоразлагаемые маркеры. Однако полное исключение негативного воздействия остаётся недостижимым, что требует дальнейших исследований в области экологизации геофизических технологий и разработки нормативных документов, регламентирующих их применение в чувствительных природных зонах.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

Современные тенденции развития строительной геофизики связаны с активным внедрением автоматизированных и цифровых технологий, которые позволяют повысить точность, скорость и эффективность исследований. Автоматизация процессов сбора и обработки геофизических данных минимизирует влияние человеческого фактора, снижает вероятность ошибок и обеспечивает воспроизводимость результатов. Внедрение цифровых платформ для управления геофизическими изысканиями способствует интеграции данных различных методов, включая сейсморазведку, электроразведку и георадиолокацию, что позволяет получать более полную и достоверную информацию о строении грунтовых массивов.

Одним из ключевых направлений цифровизации является применение алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта для интерпретации геофизических данных. Нейросетевые модели способны анализировать большие массивы информации, выявлять скрытые закономерности и прогнозировать свойства грунтов с высокой точностью. Например, методы глубинного обучения успешно применяются для автоматической классификации геологических разрезов по данным сейсмических исследований, что значительно сокращает время обработки и повышает объективность выводов.

Важную роль играет использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащённых геофизическими датчиками, для дистанционного мониторинга строительных площадок. БПЛА позволяют оперативно получать данные о рельефе, деформациях грунта и наличии скрытых полостей, что особенно актуально при обследовании труднодоступных территорий. В сочетании с системами геоинформационного моделирования (ГИС) эти технологии обеспечивают создание цифровых двойников строительных объектов, что способствует оптимизации проектных решений и минимизации рисков.

Ещё одним перспективным направлением является развитие интернета вещей (IoT) в строительной геофизике. Датчики, установленные в грунте или на конструкциях, передают данные в режиме реального времени, что позволяет отслеживать динамику изменений и оперативно реагировать на потенциальные угрозы. Системы автоматического мониторинга деформаций фундаментов и склонов помогают предотвращать аварийные ситуации, снижая экономические и экологические риски.

Однако внедрение цифровых технологий сопряжено с рядом проблем, включая необходимость стандартизации форматов данных, обеспечение кибербезопасности и преодоление технологического разрыва между крупными и малыми предприятиями. Кроме того, интерпретация результатов, полученных с использованием автоматизированных систем, требует высокой квалификации специалистов, способных критически оценивать выводы алгоритмов. Таким образом, несмотря на значительный прогресс, дальнейшее развитие автоматизации и цифровизации в строительной геофизике требует комплексного подхода, включающего совершенствование методик, подготовку кадров и развитие нормативной базы.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что проблемы строительной геофизики остаются актуальными в условиях интенсивного развития инфраструктуры и увеличения антропогенной нагрузки на геологическую среду. Несмотря на значительные достижения в области методов неразрушающего контроля, георадиолокации, сейсмической и электроразведки, остаются нерешёнными вопросы, связанные с точностью интерпретации данных, влиянием неоднородностей грунтов и сложных гидрогеологических условий. Особую сложность представляют задачи прогнозирования динамических изменений в основаниях сооружений, что требует дальнейшего совершенствования математических моделей и алгоритмов обработки геофизических сигналов. Важным направлением исследований является интеграция современных технологий, включая искусственный интеллект и машинное обучение, для повышения достоверности диагностики. Кроме того, необходимо учитывать экономические аспекты, поскольку внедрение высокоточных методов зачастую сопряжено со значительными затратами. Перспективным представляется развитие комплексных подходов, сочетающих традиционные и инновационные методики, что позволит минимизировать риски при строительстве в сложных инженерно-геологических условиях. Решение указанных проблем требует междисциплинарного взаимодействия специалистов в области геофизики, геотехники и строительства, а также активного внедрения результатов научных исследований в нормативную базу и практику проектирования. Таким образом, дальнейшее развитие строительной геофизики должно быть направлено на повышение надёжности и безопасности строительных объектов при одновременном снижении затрат на изыскания и мониторинг.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садовский М.А.. Основы строительной геофизики. 1986 (книга)

2. Трофименков Ю.Г., Воронин В.Н.. Геофизические методы исследования в строительстве. 2010 (книга)

3. Бондарев В.И.. Применение сейсморазведки в инженерной геологии и строительстве. 2005 (статья)

4. Куликов В.Н., Шестаков А.А.. Георадиолокация в строительной геофизике: проблемы и решения. 2018 (статья)

5. Зайдельман Ф.Р.. Геофизические методы контроля качества строительных конструкций. 2012 (книга)

6. Миртов В.А., Смирнов В.В.. Современные проблемы строительной геофизики. 2020 (статья)

7. Гусев Н.Н.. Электроразведка в инженерно-строительных изысканиях. 2009 (книга)

8. Коробов А.Д., Петров А.В.. Геофизический мониторинг в строительстве: проблемы интерпретации данных. 2017 (статья)

9. Строительная геофизика: методы и технологии. Под ред. Иванова В.М.. 2015 (книга)

10. Российское геофизическое общество. Актуальные вопросы строительной геофизики. 2021 (интернет-ресурс)