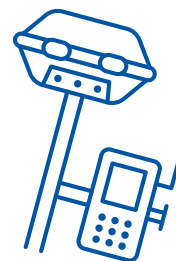


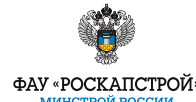
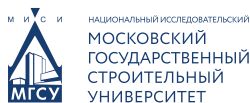
СБОРНИК ДОКЛАДОВ
V МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ



РОССИЙСКИЙ ФОРУМ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ



18-22 СЕНТЯБРЯ 2023 Г.
МОСКВА



Национальное объединение изыскателей и проектировщиков (НОПРИЗ)

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет (НИУ МГСУ)

Научно-исследовательский центр «Строительство» (АО «НИЦ „Строительство“»)

Сборник докладов V Международной
научно-практической конференции
«Российский форум изыскателей»
18-22 сентября 2023 г.

г. Москва

УДК 528
ББК 38.2
С23

С23 Сборник докладов V Международной научно-практической конференции «Российский форум изыскателей». 18-22 сентября 2023 г. — М.: НОПРИЗ, 2023. — 240 с.

В сборнике представлены работы ведущих специалистов, экспертов и ученых в сфере инженерных изысканий из России и зарубежных стран. Доклады охватывают темы развития квалификаций; развития инженерных изысканий в условиях цифровизации; вопросы фундаментостроения; формирования геоинформационных баз данных; применения технологий информационного моделирования; внедрения современных методов исследования грунтов и других инновационных практик и оборудования в области инженерных изысканий; проблемы ценообразования.

УДК 528
ББК 38.2
С23

© Коллектив авторов, 2023
© НОПРИЗ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Бабаев Д. Д., Петропавловская В. Б., Петропавловский К. С., Новиченкова Т. Б. ПРИМЕНЕНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО КОМПОНЕНТА ЗОЛОШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГЕОПОЛИМЕРОВ	7
Баборыкин М. Ю., Жидиляева Е. В. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ И ИЗЫСКАТЕЛЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЕШИФРИРОВАНИЯ НА ОБЪЕКТЕ ГАЗИФИКАЦИЯ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ	10
Борисов С. М., Турчков А. М. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛНОВОЛНОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА КАРСТА В УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА	19
Бородина О. В., Губарьков А. А. ВЫБОР ПЛОЩАДОК НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ В ЯНАО ДЛЯ ЦЕЛИ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	25
Бровко Е. А. МЕТОДОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ.....	27
Володин Г. В., Лозовский И. Н., Жостков Р. А., Чуркин А. А. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КОНТАКТА ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ И ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	30
Вязкова О. Е. К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ИСТОРИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ПЕРЕД ВКЛЮЧЕНИЕМ ИХ В КУЛЬТУРНЫЙ ОБОРОТ	34
Герасимов А. Ю., Лаврусевич А. А. ОСОБЕННОСТИ ОТЧЕТНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ И ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В УСЛОВИЯХ СЖАТЫХ СРОКОВ ГОСУДАРСТВЕННЫХ КОНТРАКТОВ И ПОСЛЕДУЮЩЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ (НА ПРИМЕРЕ СТРОЯЩЕЙСЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ А 289, КРАСНОДАРСКИЙ КРАЙ)	39
Герасимова С. С., Лаврусевич А. А. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М-12 (7 ЭТАП): АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ	43
Гончарова Е. И., Вязкова О. Е. ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СОХРАНЕНИЕ ИПТС ЦИТАДЕЛИ НАРЫН-КАЛА	47

Евстафьев О. В. ПРОБЛЕМЫ КООРДИНАТНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГНСС В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ	52
Еремин Н. А., Дмитриевский А. Н., Столяров В. Е. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	58
Жидяев С. С. ПРИМЕНЕНИЕ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	62
Исаев В. С., Котов П. И., Киока А. ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА УРАЛЬСКОГО БЕРЕГА БАЙДАРАЦКОЙ ГУБЫ.....	67
Кейта Л. М. Ф., Иноземцев С. С. АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА ГИБРИДНОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	71
Котов П. И., Чербунина М. Ю., Авилов Д. А. ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЕНИСЕЙ (РАЙОН ПРАВОГО БЕРЕГА ПЕРЕХОДА ГАЗОПРОВОДА МЕССОЯХА—НОРИЛЬСК)	74
Кругляков А. Н. СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ ОБСАДНЫХ КОЛОНН НА ДАННЫЕ ВСП	79
Крупин С. А. ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМИРУЕМОСТИ, ПРОЧНОСТИ И ПРОСАДОЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ЛАБОРАТОРНЫМИ И ПОЛЕВЫМИ МЕТОДАМИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ.....	90
Кукушкин Д. А. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ИЗЫСКАНИЯХ	105
Кулакова О. В., Вязниковцев А. А., Ошкин А. Н. МЕТОД МЕЖСКВАЖИННОГО СЕЙМОАКУСТИЧЕСКОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ, ОСЛАБЛЕННЫХ ЗОН И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ IN SITU	113
Лапа Ю. И. ПЯТЬ РАБОЧИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ВЫБОРА НАДЕЖНОГО ИСПОЛНИТЕЛЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ	116
Лосева Е. С., Лозовский И. Н., Жостков Р.А., Чуркин А. А. ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	120

Нагайцев М. В. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ IOT: УМЕНЬШЕНИЕ ЗАТРАТ, ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ.....	124
Озмидов О. Р., Тишин Н. Р., Фролова Н. А., Селиванова О. С. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ЭКСПЕРТИЗЫ МАТЕРИАЛОВ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ	127
Озмидов О. Р., Тишин Н. Р., Фролова Н. А., Селиванова О. С. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕДУРЫ КАЛИБРОВКИ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ГРУНТОВ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	130
Орлов Д. М., Петропавловская В. Б. ПРИМЕНЕНИЕ ПЫЛЕВИДНОГО ОТХОДА СИЛИКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В СОСТАВЕ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ЦЕМЕНТАЦИИ ГРУНТОВ.....	134
Пакин А. В. ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСШИРИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ ИНТЕРВАЛОВ НЕСТАБИЛЬНЫХ ГЛИН.....	139
Родионов Е. А., Хижняк М. А., Конобеев Т. А. РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ 1D ЗАДАЧИ МТЗ В ТОЧКЕ ЗОНДИРОВАНИЯ СРЕДСТВАМИ НАДСТРОЙКИ «ПОИСК РЕШЕНИЯ» И VBA В MS EXCEL	142
Сагдеев О. В., Пайшанбиев С. А., Погребных Е. О., Бершов А. В., Бессонова Е. В., Тарасова М. А., Булатников М. А. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЗОН АКТИВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ И ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДРОБЛЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ СЛОЖНОГО ГРУНТОВОГО МАССИВА (ГРАНИТОИДНОЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЭТАПЕ ВЫБОРА ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА.....	146
Селиванова О. С., Тишин Н. Р., Озмидов О. Р., Фролова Н. А. ЦИФРОВИЗИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ВЫДАЧЕ ПРОТОКОЛОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ	156
Семенова А. Е. РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ BIM НА ЭТАПЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА ПРИМЕРЕ РЕАЛЬНОГО ПРОЕКТА	160
Сизов Д. К., Марусев Ю. Я. ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНОЧНОГО ПРОГНОЗА УРОВНЕЙ ТЕХНОГЕННОЙ ВИБРАЦИИ В ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЗДАНИЯХ, РАСПОЛАГАЕМЫХ НА ТЕРРИТОРИЯХ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН.....	168
Смирнов И. Д. МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ПЛИТОПОДОБНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	181

Стрельцов А. В. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РАМКАХ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ МОДЕЛИ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ	185
Строчков Ю. А. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОГЕННЫХ ВИБРАЦИЙ КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ СТРОЕНИЯ И СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА	193
Суздалева А. Л., Безносков В. Н., Мамина Д. Х., Смирнов И. Н. ОРГАНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕГАПРОЕКТОВ	197
Тарасова М. А., Пайшанбиев С. А., Бершов А. В. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ (СВАЙ) МЕТОДОМ АЗИМУТАЛЬНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ В ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГРАНИТОИДНОЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ	203
Тощева Ю. О., Вязкова О. Е. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ НИКИТСКОГО МОНАСТЫРЯ В КАШИРЕ ПОСЛЕ НЕДАВНЕЙ РЕКОНСТРУКЦИИ.....	210
Труфанов А. Н. АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ	216
Труфанов А. Н. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО УНИКАЛЬНЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ — ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ	220
Труфанов А. Н., Кузьменко М. Д. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МОНОЛИТОВ ГРУНТА И СПОСОБЫ ЕГО ПОВЫШЕНИЯ	225
Уткина А. В., Набатов В. В. ВЫЯВЛЕНИЕ ПОЛОСТЕЙ НА ГРАНИЦЕ ГРУНТ-ОБДЕЛКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСА ПРИЗНАКОВ ПРИ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ	231
Шейнин В. И., Блохин Д. И. ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОРАДИАЦИОННЫХ И АКУСТОЭМИССИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ	236

ПРИМЕНЕНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО КОМПОНЕНТА ЗОЛОШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГЕОПОЛИМЕРОВ

Бабаев Д. Д., Петропавловская В. Б., Петропавловский К. С., Новиченкова Т. Б.

Тверской государственной технический университет, г. Тверь, common@tstu.tver.ru

Аннотация. Работа посвящена исследованию возможности использования алюмосиликатного компонента, выделенного при обогащении из золошлаковых отходов топливной промышленности. Выделенный компонент характеризуется высокой стабильностью химического состава и свойств. Целью данной работы является исследование возможности синтеза на основе алюмосиликатного компонента в составе геополимерной композиции энергоэффективных строительных композиций. Полученные по результатам исследований данные показали, что совместное использование зольного алюмосиликатного компонента и гранулированного шлака обеспечивает синтезирование искусственного камня, способного твердеть без введения дополнительных добавок.

Ключевые слова

Геополимеры, утилизация, зола гидроудаления, обогащение, алюмосиликатный компонент, твердение.

Введение

Геополимеры, подобно природным минералам, например, цеолиту, представляют собой класс алюмосиликатных материалов [1]. Для синтеза геополимера необходимы три источника: сырье, неактивный наполнитель и геополимерный раствор. Широкий спектр алюмосиликатов потенциально могли бы служить сырьем при синтезировании геополимеров. Например, сырьем могут служить промышленные отходы, такие как зола-унос, доменный шлак, красный шлам, отработанное стекло. Наравне с природными минералами и горными породами. Аморфный кремнезем и химически активные компоненты золы могут быть использованы в качестве исходного сырья в производстве вяжущих для получения недорогих строительных материалов, а также — для отверждения опасных отходов [2]. Геополимеры на основе летучей золы демонстрируют устойчивую тенденцию к увеличению прочности на поздних стадиях; однако, в частности, геополимер на основе летучей золы с низким содержанием кальция показал более длительное время схватывания и низкую прочность в раннем возрасте [3]. Современные исследования подтвердили, что некоторые золы могут создавать геополимеры и материалы, активируемые щелочью. Среди различных сырьевых материалов для производства геополимеров из золы-уноса обычно применяется добавление доменного шлака. Частицы золы-уноса имеют сферическую форму, а синергетический эффект при соединении в одной композиции с доменным шлаком заключается, по мнению исследователей, в эффекте получения плотной упаковки. Частицы молотого шлака могут эффективно заполнять микроскопические поры, уменьшать пористость и улучшать текучесть смесей [4]. Совместное использование шлака и золы, как модифицирующих добавок, применяется для компенсации дефицита Ca и Al и регулирования соотношений Ca/Al и Si/Al в различных геополимерных системах. Содержание доменного шлака и золы заметно влияет на время схватывания, механические свойства и усадку ремонтного раствора на основе никелевого шлака. Увеличенный объем пор с повышенным содержанием доменного шлака и золы также может снизить скорость усадки ремонтного, в то время как, зола оказывает заполняющий эффект, а шлак может увеличить степень полимеризации [5].

Целью данной работы является исследование возможности синтеза геополимерной композиции на основе алюмосиликатного зольного компонента и доменного шлака.

В этом исследовании были применены в качестве исходных сырьевых компонентов доменный гранулированный шлак Липецкого металлургического завода, алюмосиликатный компонент золошлаковой смеси гидроудаления Каширской ГРЭС и натриевое жидкое стекло. Для подготовки раствора щелочного активатора использовалась техническая водопроводная питьевая вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия».

Исследования характеристик использованных исходных материалов, а также получаемых материалов производились по стандартным методикам в полном соответствии с требованиями ГОСТ. Измерение удельной поверхности исходных сухих порошков проводилось на приборе ПСХ-11М. Нормальную плотность и сроки схватывания геополимерного теста определяли на приборе Вика по методике ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема». Среднюю плотность геополимерного камня определяли по ГОСТ 12730.1-78. Определение предела прочности на растяжение при изгибе и сжатии производился согласно ГОСТ 23789- 2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». Все методики и нормативные документы взяты согласно ТУ 5744-005-30993911-2014 Геополимерное вяжущее. Технические условия.

Сравнительный анализ изменения средней плотности геополимерных композиций с разной концентрацией щелочного активатора (табл. 1) представлен на рис. 1. Проведенные исследования показали, что с увеличением концентрации щелочи увеличивается средняя плотность геополимера. По сравнению с контрольным составом плотность увеличилась на 13 % при плотности щелочного активатора — 1,2 г/см³.

Таблица 1.

Использованные составы и плотность щелочного активатора для каждого из них

Номера составов	Плотность, г/см³
1	1
2	1,05
3	1,1
4	1,15
5	1,2

Результаты сравнительного анализа прочностных свойств геополимеров (рис. 2, 3) показал, что наибольшей прочностью при изгибе (рис. 2) обладают образцы 2-го состава.

Данный состав геополимерного материала получен с применением щелочного активатора с плотностью 1,05 г/см³. Предел прочности составил 3,73 МПа. Это на 27 % выше прочности при изгибе контрольных образцов.

Наибольший предел прочности при сжатии показали образцы контрольного состава — 21,15 МПа (Рис.3). Тогда как наибольшая прочность образцов с щелочным активатором (15,71 МПа) достигнута у образцов 4-го состава с плотностью щелочного активатора 1,15 г/см³.

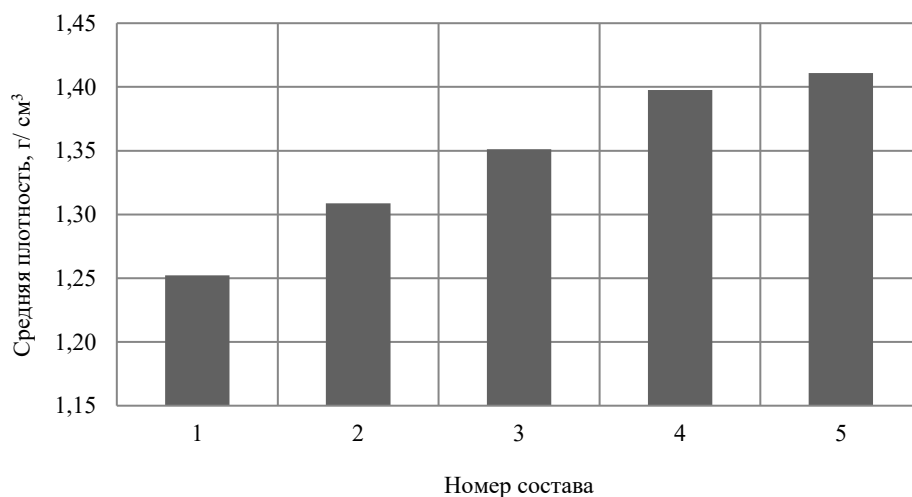


Рис. 1. Средняя плотность геополимерных образцов с различной плотностью раствора щелочного активатора, где состав 1 — 1 г/см³, состав 2 — 1,05 г/см³, состав 3 — 1,1 г/см³, состав 4 — 1,15 г/см³, состав 5 — 1,2 г/см³

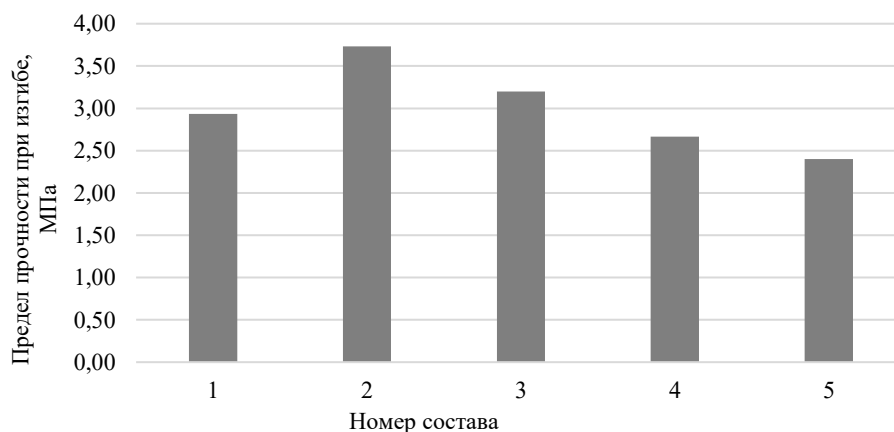


Рис. 2. Предел прочности при изгибе составов с различной плотностью щелочного активатора: 1 — 1 г/см³, состав 2 — 1,05 г/см³, состав 3 — 1,1 г/см³, состав 4 — 1,15 г/см³, состав 5 — 1,2 г/см³

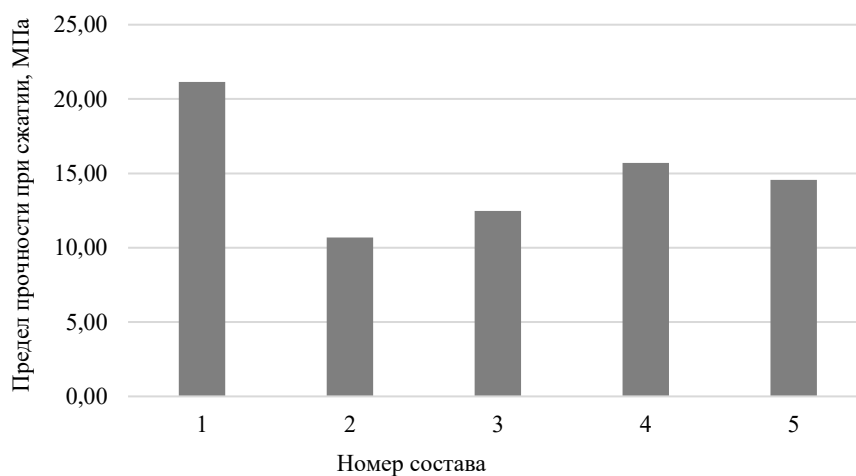


Рис. 3. Предел прочности при сжатии составов с различной плотностью щелочного активатора: 1 — 1 г/см³, состав 2 — 1,05 г/см³, состав 3 — 1,1 г/см³, состав 4 — 1,15 г/см³, состав 5 — 1,2 г/см³

Проведенные исследования доказали возможность синтеза геополимерного вяжущего на основе алюмосиликатного компонента золошлаковых смесей и гранулированного доменного шлака. Показано, что совместное использование зольного алюмосиликатного компонента и молотого доменного шлака обеспечивает получение искусственного камня, способного твердеть без введения дополнительных добавок. Полученный строительный композит обладает достаточной прочностью и необходимой плотностью для его применения в качестве строительного материала. Поскольку образование золошлаковых отходов в стране не только не уменьшается, но даже имеет тенденции к росту в ряде районов, то исследование возможности их рециклинга представляет глубокий научный интерес. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-30004).

Список литературы

1. J. Davidovits, Geopolymers: Ceramic-like inorganic polymers. *Journal of Ceramic Science and Technology* 8, 335-350, (2017).
2. A Review on Selected Durability Parameters on Performance of Geopolymers Containing Industrial By-products, Agro- Wastes and Natural Pozzolan. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, Vol. 7, Issue. 4, 2022.
3. Antoni, Antoni & Wijaya, Stephen & Hardjito, Djwantoro. (2016). Factors Affecting the Setting Time of Fly Ash-Based Geopolymer. *Materials Science Forum*. 841. 90-97.
4. Zhang, Wei & Hao, Xiansheng & Wei, Chao & Zeng, Qingsen & Ma, Shanliang & Liu, Xiaoming & Zhang, Zengqi & Webeck, Elizabeth. (2022). Synergistic enhancement of converter steelmaking slag, blast furnace slag, Bayer red mud in cementitious materials: Strength, phase composition, and microstructure. *Journal of Building Engineering*. 60.
5. Zhang, Dongliang & Wang, Xuefang & Kang, Sixiang & Cheng, Ganggang & Wu, Wenda. (2023). The effect of slag and fly ash content on the properties of electric furnace nickel slag-based geopolymer used for repair materials. *Case Studies in Construction Materials*. 19.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ И ИЗЫСКАТЕЛЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЕШИФРИРОВАНИЯ НА ОБЪЕКТЕ ГАЗИФИКАЦИЯ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

¹Баборыкин М. Ю., ²Жидиляева Е. В.

¹к. г.-м. н., ООО «Аэрогеоматика», г. Краснодар, post@aerogeomatica.ru

²ФГБОУ ВО КубГУ, Институт географии, геологии, туризма и сервиса, г. Краснодар, rector@kubsu.ru

Проведение инженерных изысканий для проектирования и последующего строительства линейного сооружения сталкивается с рядом главных проблем, которые изменяют первоначальные представления проектировщиков о траектории трассы будущего трубопровода и, как следствие, приводят к иным проектным решениям.

Основными проблемами при проектировании трубопроводов являются: инженерные условия; наличие подземных коммуникаций; землепользование; наличие древних захоронений и памятников истории.

В связи с вышеуказанными проблемами выбор конкурентных направлений при трассировании трубопровода меняются в процессе проведения инженерных изысканий, а к сожалению, во многих случаях и при строительстве, так как, к примеру, не учтенный опасный геологический процесс (ОГП) при изысканиях либо требует доизучения и дополнительных затрат на разработку мероприятий по инженерной защите, либо изменения положения трубопровода при обходе ОГП. В этих случаях приходится дополнительно производить весь перечень работ, требуемых нормативными документами как в изысканиях, так и в проектировании.

Одной из сложных зон при прокладке трубопроводов является горная местность. В горной местности проведение инженерных изысканий для проектирования и строительства усложняется ввиду высокой расчлененности рельефа. В связи с этим наличие и активизация экзогенных геологических процессов, а при строительстве и эксплуатации сооружения появление новых ОГП являются одними из важных проблем, которые при перетрассировке и соответствующем выходе за пределы планировавшейся до этого съемки требуют дополнительных финансовых вложений для изучения нового участка [1-4].

СП 116.13330, гласит что: «Выбор трассы трубопроводов должен производиться по критериям оптимальности. В качестве критериев оптимальности следует принимать приведенные затраты при сооружении, техническом обслуживании и ремонте трубопровода при эксплуатации, включая затраты на мероприятия по обеспечению сохранности окружающей среды, а также металлоемкость, конструктивные схемы прокладки, безопасность, заданное время строительства, наличие дорог и др.».

Учитывая, что при проведении инженерных изысканий происходит изменение трассы трубопровода в выбранном коридоре генерального направления, а иногда многократного перетрассирования изыскателям надо знать о состоянии геологической среды её изменчивости [5, 6], наличии инженерных коммуникаций, древних захоронений и т.п., что в процессе изысканий либо при недоучете, либо при необходимости проведения раскопок в случае археологических исследованиях увеличивает необходимые время и финансы, затрачиваемые на проведение инженерных изысканий. На данном этапе развития технологий появилась возможность отчасти решить пару указанных проблем. Применение воздушного лазерного сканирования (ВЛС) для решения топографических задач трансформируется в возможность повторного использования массива точек лазерных отражений как для археологии [7], так и для исследования ОГП [4, 8-18]. Большой аспект при камеральном трассировании для проектировщика смещен в сторону рельефа и геологических опасностей. Отсюда выявить проявления опасных геологических процессов, не прибегая к отдельным видам работ (дистанционному зондированию земли и другим дистанционным методам, направленным на узкое решение задач), увеличивающим время и стоимость инженерных изысканий, становится возможным сразу после проведения сканирования коридора генерального направления будущего объекта.

Обнаружение проявлений опасных геологических процессов до начала проведения полевых работ позволяет проектировщику в случае перетрассировки оценить инженерную обстановку и принять решение либо об обходе участка с развитием ОГП, либо о предварительной закладке финансовых средств для изучения выявленного процесса [17, 19-21]. В противном случае недоучет и несвоевременное выявление ОГП приведут к ряду проблем (рис. 1).



Рис. 1. Влияние несвоевременного выявления ОГП на строительство и дальнейшую эксплуатацию сооружений

Как выше было сказано, что при проектировании линейных сооружений для построения топопланов используется ВЛС, совмещенное с аэрофотосъемкой, данные для дистанционного выявления ОГП становятся априорными. Как правило, ширина сканирования превышает ширину требуемого коридора (иногда в несколько раз) — соответственно, полученная информация используется не полностью. Эта информация представляет собой цифровую модель местности, которую можно использовать не только для создания топоплана, но и в целях инженерно-геологического дешифрирования [4, 8-20]. Отсюда следует, что получение данных о наличии и распространении опасных геологических процессов для строительства может не приводить к крупным финансовым и временным затратам. Выстроенная концепция позволяет проектировщикам и инженерам-изыскателям получать данные об ОГП вместе с необходимыми им для работы топопланами (рис. 2).

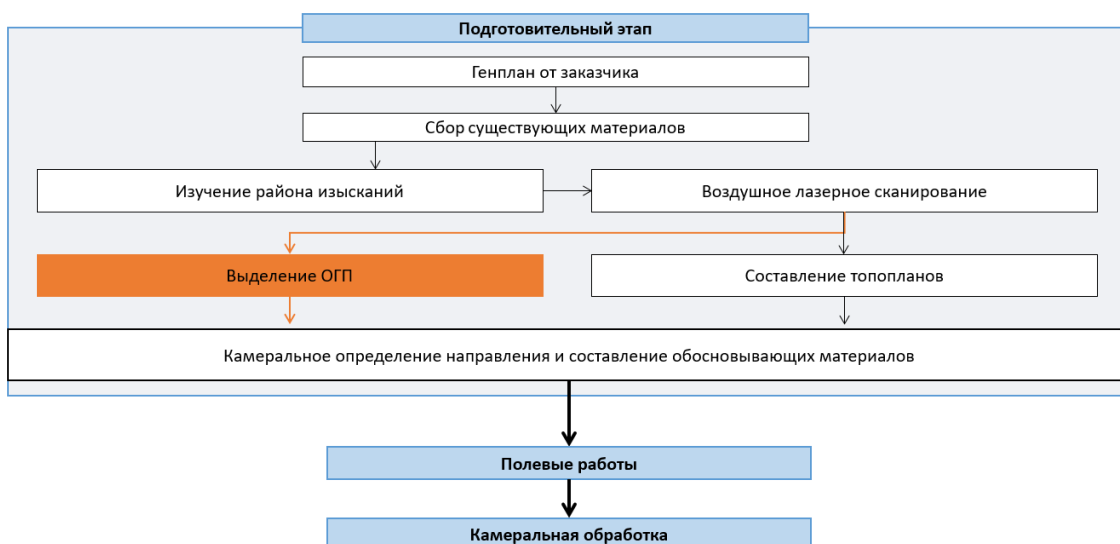


Рис. 2. Концепция применения метода дешифрирования экзогенных геологических процессов и инженерно-геологических условий [19]

Общая схема получения данных о наличии и распространении опасных геологических процессов для строительства представлена на рис. 3. Полученные материалы позволяют не

только передавать их специалистам, но и в случае проведения обследований до лазерного сканирования проверять качество их результатов.

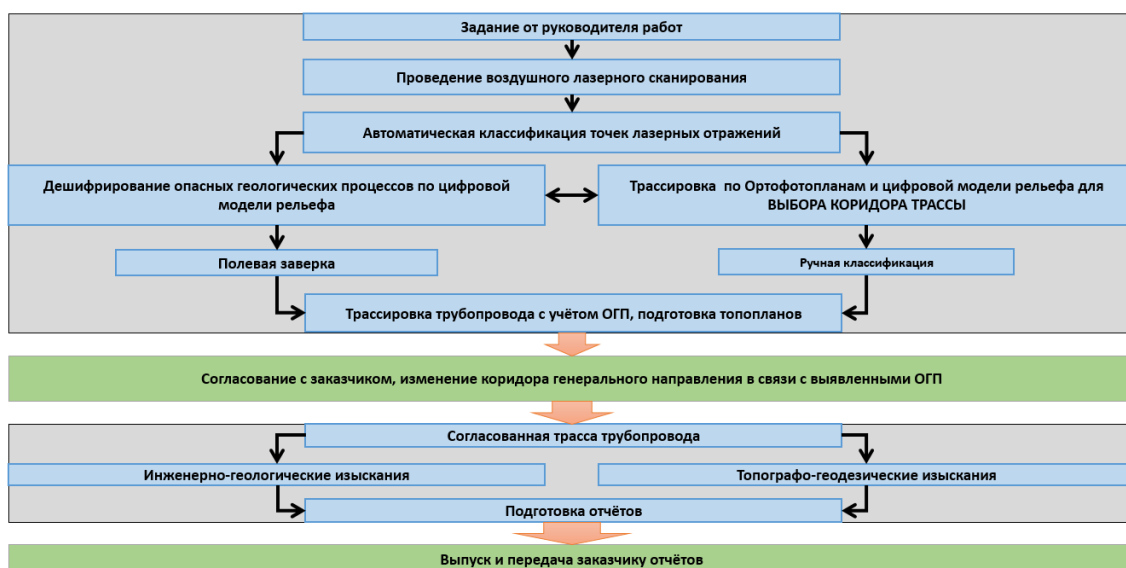


Рис. 3. Общая схема проведения дешифрирования материалов изысканий

Рассмотрим пример. На одном из объектов газификации Юго-Западных районов Краснодарского края проводились полевые работы молодыми специалистами-геологами. При первом обследовании при отсутствии данных воздушного лазерного сканирования геологами не было выявлено ни одного опасного процесса. Позже было проведено повторное изучение данной территории для проверки результатов дешифрирования материалов ВЛС. В ходе натурного геологического обследования данные дешифрирования были подтверждены со сходимостью 100%. А именно, были зафиксированы оползневые участки [17-18, 20], оползнеопасные склоны, участки распространения крипа [18, 20, 22]. В связи с этим до начала проведения полномасштабных полевых работ (закрепления трассы на местности, проходки горных выработок и т.д.) были перетрассированы некоторые участки. Информация, которая передавалась проектировщикам, уже имела данные о геопозициях оползней, их метрических и геометрических характеристиках (рис. 4, рис. 5).

Помимо опасных геологических процессов был выявлен (по морфологическим признакам) линеамент тектонического происхождения (рис. 6). Информация о его наличии также была передана проектировщикам. Было обращено их внимание на то, что проектная траектория трубопровода проходит по уступу, приуроченному к тектонике (рис. 7).

По итогам проделанной работы по выявлению ОГП до начала полномасштабных полевых работ было обнаружено: 6 оползневых участков; 2 оползнеопасных склона; 1 линеамент. В результате были перетрассированы участки трубопровода в обход всех оползневых участков; защитные мероприятия на оползнеопасных склонах; противоэрозионные мероприятия, а также было запланировано проведение работ по изучению тектоники.

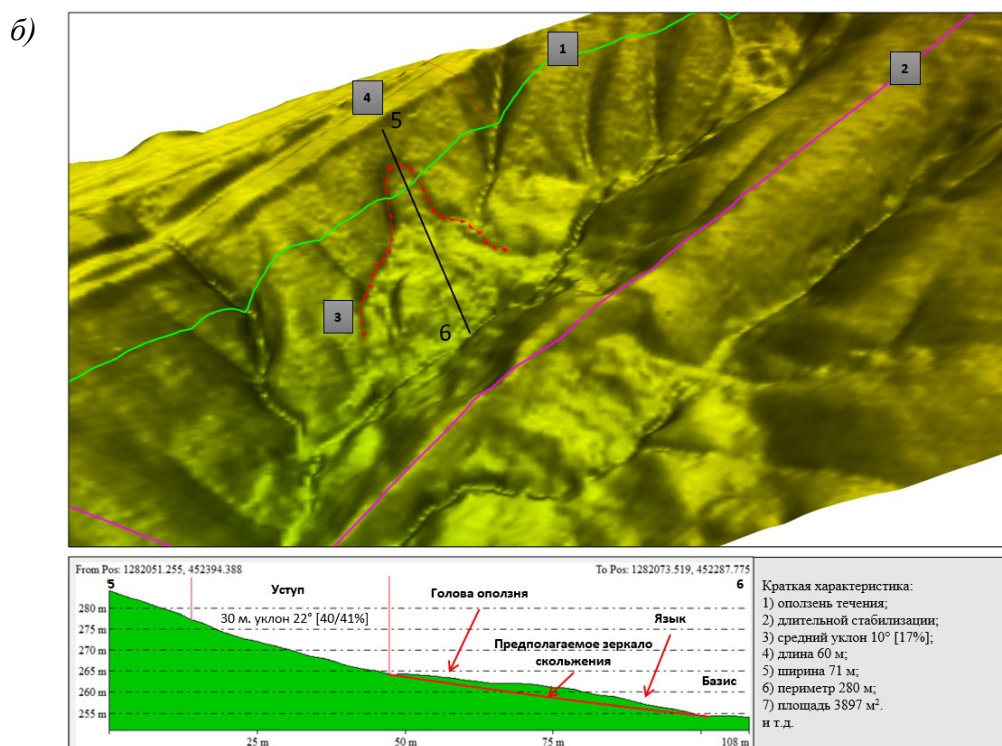
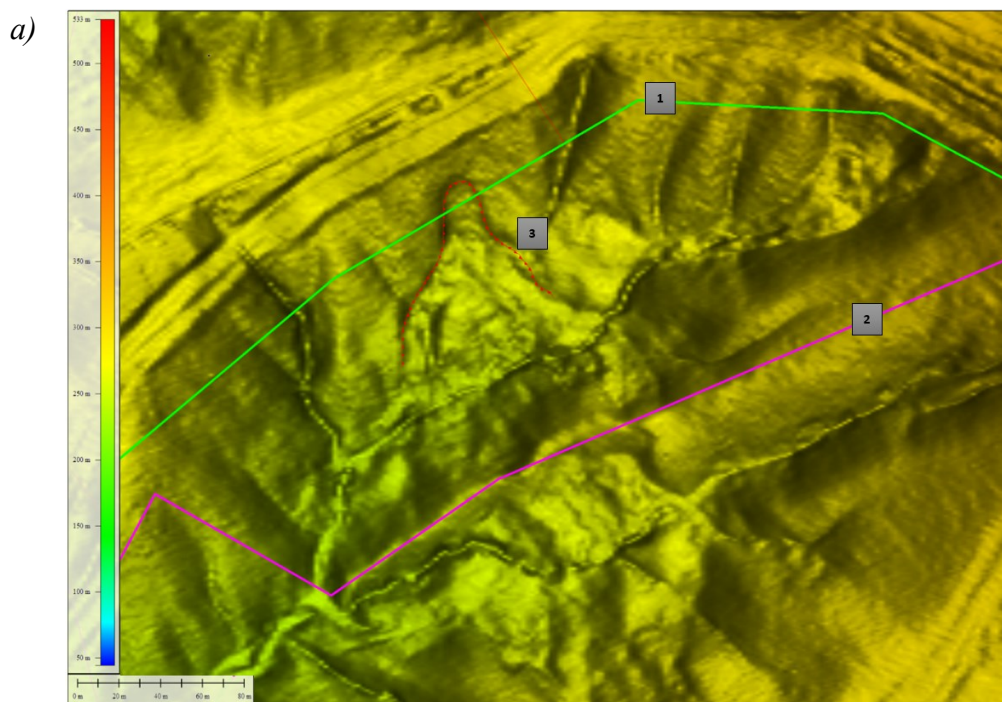


Рис. 4. Дистанционное дешифрирование материалов воздушного лазерного сканирования для выявления распространения опасных геологических процессов: а) цифровая модель рельефа, вид сверху; б) 3D цифровая модель рельефа и разрез по линии 5-6. Условные обозначения: 1 — первоначальное положение проектируемого газопровода (зеленая линия); 2 — перетрассировка газопровода (фиолетовая линия); 3 — тело оползня (верхние и боковые границы показаны красной линией с треугольной штриховкой)

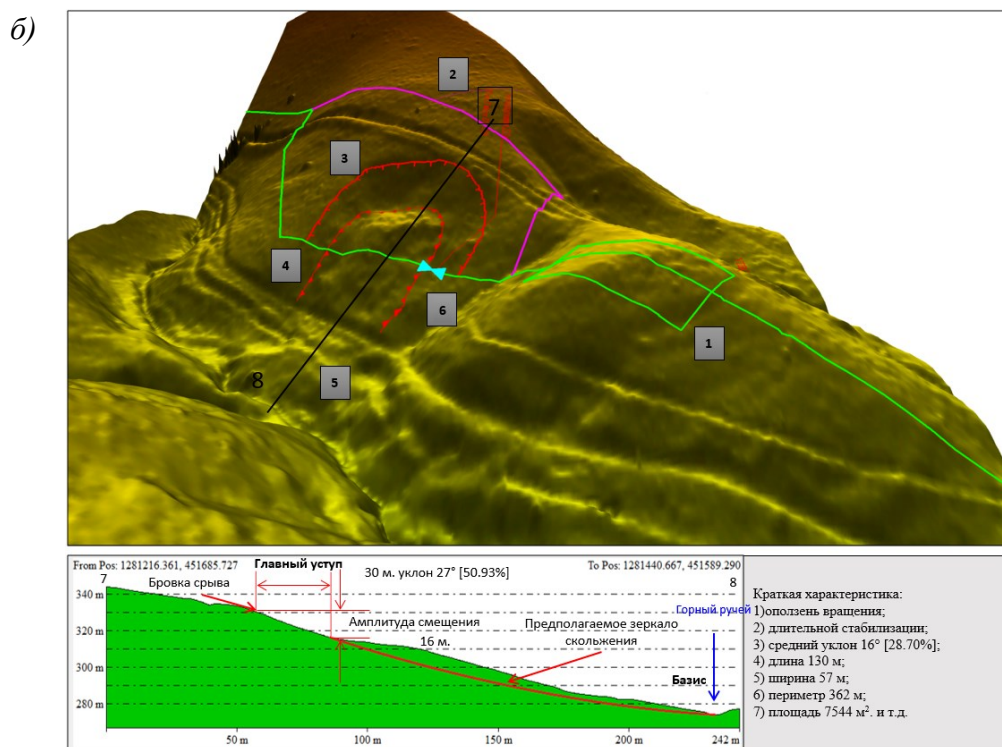
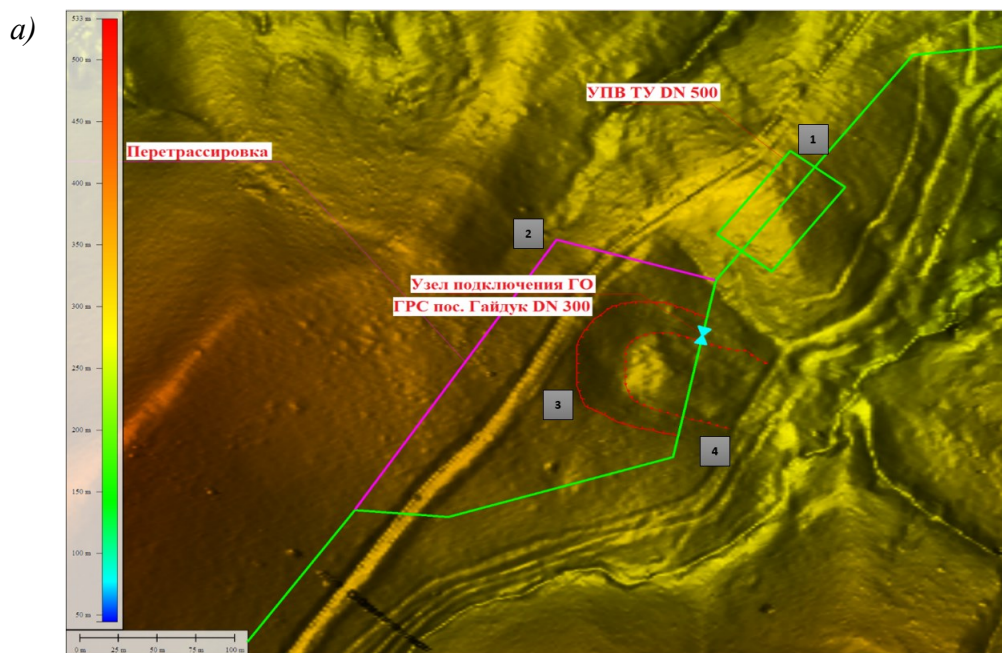


Рис. 5. Дистанционное дешифрирование материалов воздушного лазерного сканирования для выявления распространения опасных геологических процессов: а) цифровая модель рельефа, вид сверху; б) 3D цифровая модель рельефа и разрез по линии 7-8. Условные обозначения:

- 1 — первоначальное положение проектируемого газопровода (зеленая линия);
- 2 — перетрассировка газопровода (фиолетовая линия); 3 — бровка главного уступа (красная линия с прямой штриховкой); 4 — тело оползня (верхние и боковые границы показаны красной линией с треугольной штриховкой); 5 — профиль по линии 7-8 (черная линия);
- 6 — узел подключения газопровода-отвода

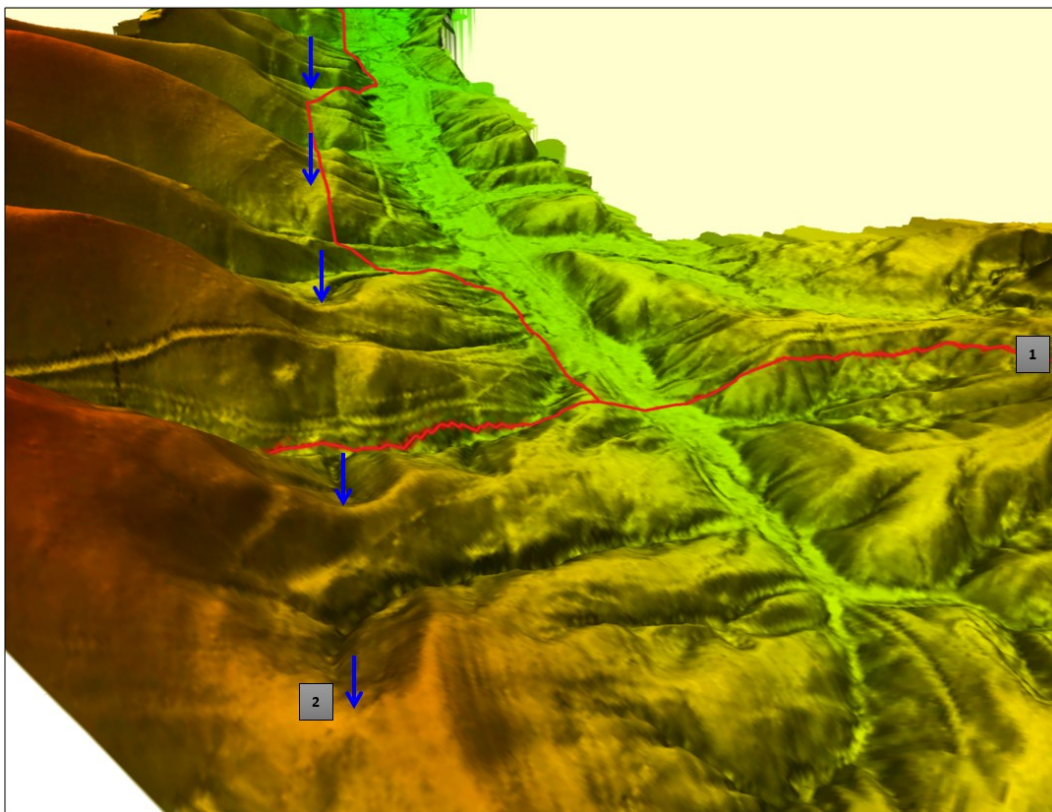


Рис. 6. Дистанционное выявление линеамента. Условные обозначения: 1 — трасса проектируемого газопровода (красная линия); 2 — уступ (синие стрелки).

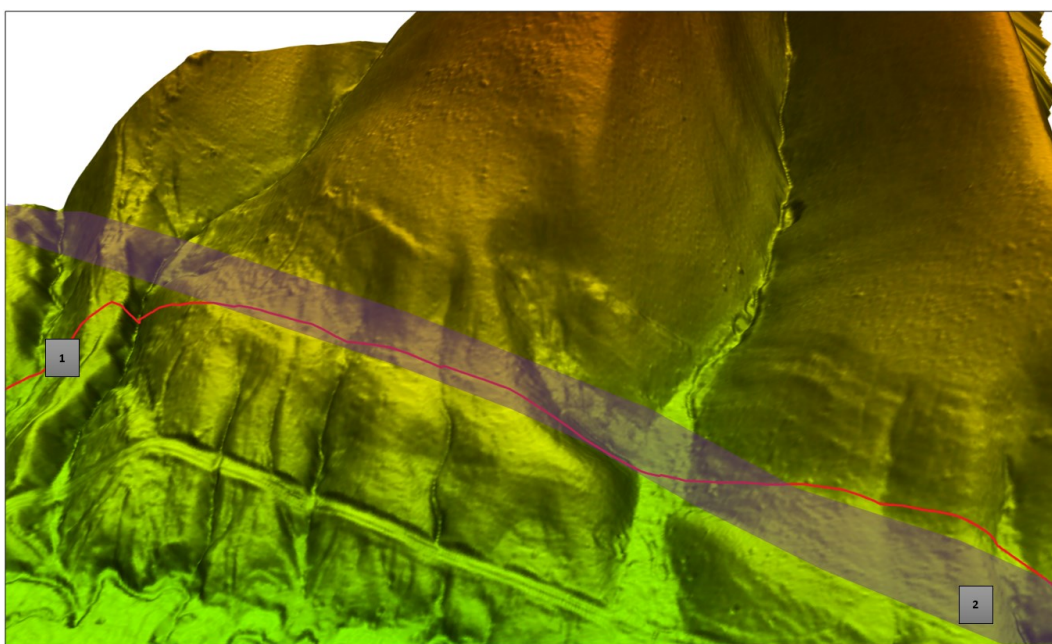


Рис. 7. Проектируемый трубопровод, проходящий вдоль простираения линеамента. Условные обозначения: 1 — трасса проектируемого газопровода (красная линия); 2 — уступ (затенение).

Исходя из накопленного опыта применение методики выявления ОГП, следует отметить, что, повышается оперативность принятия решений, а также, фактически происходит непосредственная коммуникация с быстрым обменом информации между геологом и проектировщиком. Таким образом, уже на ранних этапах проектно-изыскательских работ на

протяженных территориях с разнообразными ландшафтными условиями обеспечиваются достоверная инженерно-геологическая обстановка, необходимая для проектировщиков при выборе оптимальных и безопасных траекторий трасс линейных сооружений с учетом возможных геологических рисков.

Список литературы

1. Звонкова Т.В. Прикладная геоморфология. М.: Высшая школа, 1970. 273 с.
2. Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б. Инженерная геодинамика. СПб.: Наука, 2001. 416 с.
3. Миронюк С.Г. Береговые примыкания морских газопроводов: выбор технологии строительства с учетом оценки геологических опасностей. Газотранспортные системы: настоящее и будущее: тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции GTS-2015 (28-29 октября 2015 г.). М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. С.31.
4. Миронюк С. Г., Ионов В. Ю. Опыт и проблемы оценки устойчивости обвальноподолзневых склонов морских побережий (на примере хр. Семисам, Краснодарский край). Опасные для строительства геологические процессы: сборник материалов Международного семинара, посвященного 70-летию доктора геолого-минералогических наук Виктора Петровича Хоменко. МИСИ-МГСУ Москва, 2019. С. 33-38.
5. Соловьёв В.А., Соловьёва Л.П. Геология как наука (методологические, теоретические и исторические проблемы). Краснодар: Изд-во КубГУ, 2014. 226 с.
6. Оползни: исследование и укрепление / Пер. с англ. М.: Мир, 1981. С. 69-70.
7. Новиков В.В. Воздушное лазерное сканирование на базе БПЛА для изучения объектов археологии в европейской части России. Поволжская Археология 2022 № 1 (39). Учредители: Академия наук Республики Татарстан, Марийский государственный университет. С. 232-246.
8. Миронюк С. Г., Касимова О. М. Применение данных дистанционного зондирования для оценочного районирования участков береговых примыканий трубопроводов по условиям строительства. Материалы Международной научной конференции Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов (Опасные явления). Материалы Международной конференции (г. Ростов-на-Дону, 13-23 июня 2019 г.). Изд-во Южного научного центра Российской академии наук Ростов-на-Дону, 2019. С.183-185.
9. Баборыкин М.Ю., Жидиляева Е.В., Погосян А.Г. Выявление опасных геологических процессов при проведении инженерно-геологических изысканий на основе цифровых моделей рельефа. Инженерные изыскания. 2015. № 2. С.30-37.
10. Баборыкин М.Ю., Ерух В.П., Жидиляева Е.В., Методико-технические аспекты при проведении дешифрирования опасных геологических процессов по данным воздушного лазерного сканирования. Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи. Сб. науч. трудов. Краснодар: Просвещение-Юг. 2015. С.185-190.
11. Карпик А.П., Хорошилов В.С., Комиссаров А.В. 2021. Анализ методов и средств изучения динамики перемещений оползневых склонов. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), 26 (6): С.17-32. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-6-17-32.

12. Баборыкин М.Ю., Кулижников А.М., Еремин Р.А. Комплексное обследование оползней. Автомобильные дороги. 2018. №2 (1035). С.106-133.
13. Архипова М.В., Викторов А.С., Орлов Т.В., Казеев А.И., Капралова В.Н., Трапезникова О.Н. Использование аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования для выявления динамики экзогенных процессов как базы для оценки опасности. Геоморфология и палеогеография, 2020, № 1, С.34-48.
14. Исаев В.С., Игнатов Е.И., Новиков А.А., Каширина Е.С., Аманжуров Р.М., Горшков Е.И., Вербовский Р.В. Опыт применения лазерного сканирования при инженерно-геологических исследованиях динамики абразионно-оползневых процессов. Геопрофи. 2021. №6. С.39-46.
15. Макарычева Е. М., Кузнецов Т. И. Перспективы использования метода воздушного лазерного сканирования при проведении инженерных изысканий на территории криолитозоны. Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. 2021. С.390-396.
16. Баборыкин М.Ю. Дешифрирование материалов аэрокосмической съёмки для анализа инженерно-геологических условий в общем алгоритме изысканий на линейных объектах. Инженерные изыскания. 2014. № 9-10. С.13-21.
17. Баборыкин М.Ю. Выстраивание практики и методики взаимодействия проектировщиков и изыскателей на примере объекта газификации объектов Краснодарского края. Инженерные изыскания. 2015. №7. С. 40-43.
18. Гумерова Г.И. [и др.], под ред. проф. Э. Ш. Шаймиевой. Проведение мониторинга опасных геологических процессов на основе результатов воздушного лазерного сканирования. Научные исследования — 2017: практическая часть. Баборыкин М. Ю., Бурцев А. А., Жидиляева Е. В. М., РусАльянс Сова, 2017. Раздел «Практические исследования в геологии». С. 151-225. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
19. Баборыкин М.Ю. Способ дешифрирования экзогенных геологических процессов и геологических условий. Патент на изобретение № 2655955. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/265/2655955.html> (доступ свободный). Загл. с экрана — Яз. рус.
20. Баборыкин М.Ю. Диссертация на тему: методика дешифрирования рельефа по результатам лазерной съёмки для оценки опасных геологических процессов в горных районах Кавказа. г. Москва 15 июня 2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа https://www.mgri.ru/science/scientific-and-innovative-activity/dissertation-council/download/avtoreferat_Baborykin.pdf.
21. СП 47.13330 Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Минстрой России. Москва, 2016. 160 с.
22. Ревзон А.Л. Космическая фотосъемка в транспортном строительстве. М.: Транспорт, 1993. 272 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛНОВОЛНОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА КАРСТА В УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

Борисов С. М., Турчков А. М.

ООО «Неоген», г. Санкт-Петербург, welcome@n-gen.co

В настоящее время для поиска карста часто применяется метод отражённых волн в модификации общей глубинной точки (МОГТ) — один из наиболее эффективных методов инженерной сейсморазведки [10, 11]. В силу разного рода причин (в т.ч. связанных с естественными ограничениями сейсморазведки), не существует однозначных количественных признаков развития карста по данным сейсморазведки. На практике поиск карста сейсморазведкой МОГТ осуществляется выделением на исходных волновых записях и/или на временных разрезах аномалий, который могут быть приурочены к карстовым формам. Такие аномалии, как правило, выделяются по качественным признакам. Данный подход к поиску карста сейсморазведкой МОГТ применяется в ряде современных работ [1, 2, 3, 4, 6, 7, 9].

В рамках настоящей работы рассмотрен подход к выявлению связи между карстовыми формами и видами аномалий на сейсмических записях при помощи численного моделирования для типичных инженерно-геологических условий Московского региона. В работе анализируется конкретный пример и конкретный инструмент для уменьшения неоднозначности при интерпретации. Выводы строятся таким образом, чтобы была возможность их использования на участках со схожими инженерно-геологическими условиями.

В качестве объекта полевых сейсморазведочных исследований был выбран участок строительства многоэтажного комплекса в с. Ям Московской области (Домодедовский район), на котором в ходе инженерно-геологических изысканий были обнаружены признаки развития карстовых процессов. С геологической точки зрения участок исследований представлен карстующимися породами (известняк C_2), перекрытыми толщей водонасыщенных песков. Кровля известняков залегает на глубине 5-10 м.

Сейсморазведочные работы МОГТ проводились по методике продольного профилирования с регистрацией волн по схеме наблюдения Y-Y с использованием поперечных волн горизонтальной поляризации (SH-волн). Шаг по пунктам приема — 1 м, шаг по пунктам возбуждения — 2 м. Регистрация сейсмических записей осуществлялась со следующими параметрами: число активных каналов — 96, длина записи — 511,5 мс, шаг дискретизации — 0,5 мс.

Обработка сейсмических данных осуществлялась в ПО SeisPro 2023.1 (ООО «Деко-геофизика СК») по стандартному графу МОВ-ОГТ:

- ввод данных в систему;
- введение геометрии в сейсмические трассы;
- сортировка по ОГТ;
- скоростной анализ;
- ввод кинематических поправок;
- суммирование по ОГТ.

На полевой сейсмограмме ОПВ (рис. 1) отчётливо видны годографы первых вступлений прямых, преломлённых, отражённых, а также кратных отражённых волн. Представленная сейсмограмма характерна для модели среды, имеющей одну контрастную границу.

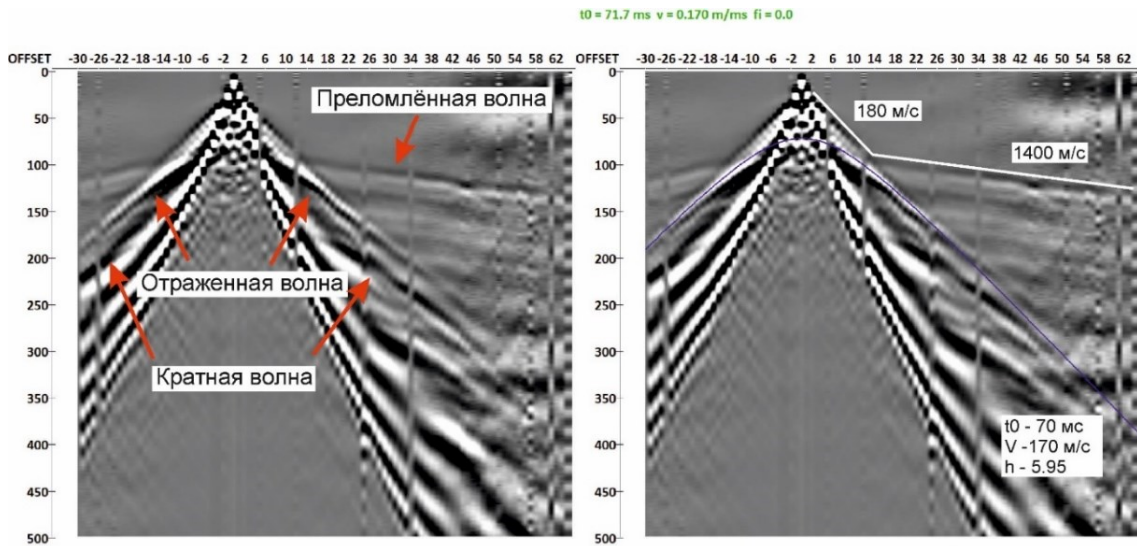


Рис. 1. Сейсмограмма ОПВ с отмеченными на ней типами волн (слева) и определенными по ней скоростями (справа)

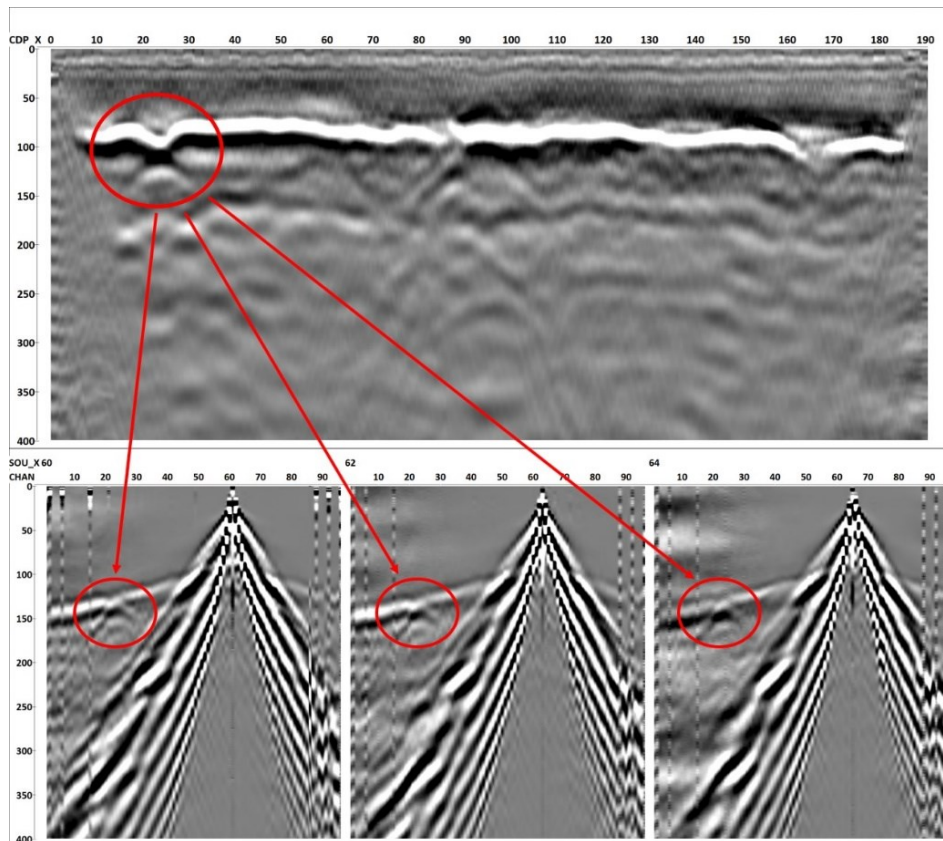


Рис. 2. Выделение аномального участка на временном разрезе и сейсмограммах ОПВ по данным из с. Ям, Московская область

На рис. 2 проиллюстрировано выделение аномального участка на временном разрезе, а также на сейсмограммах ОПВ. На разрезе была выделена одна отражающая граница, которая, согласно результатам интерпретации, соответствует кровле каменноугольных известняков. В районе пикетов 20-25 результатами бурения было подтверждено наличие карста, также в районе этих пикетов на разрезе отчетливо выделяется значительное проседание оси синфазности целевого отражения. Ось синфазности отражающей границы проседает на 16 мс. На сейсмограммах ОПВ на пикетах 20-25 от преломлённой волны расходятся оси синфазности

дифрагированной волны. По результатам интерпретации в кровле известняка был выделен аномальный участок шириной около 5 м, который приурочен к развитию карстово-суффозионных процессов.

Сделано предположение, что признаками развития карста в кровле известняка для описанных геологических условий являются:

- резкое проседание оси синфазности отражения от известняков на временном разрезе;
- наличие ветвей дифракции с явно выраженной вершиной, совпадающей с осями синфазности головной волны, на одиночных сейсмограммах ОПВ.

Для подтверждения заявленного предположения проведено конечно-разностное сейсмическое моделирование, которое было осуществлено с помощью ПО Tesserat Engeneering. По аналогии с методикой полевых работ, моделирование осуществлялось с применением возбуждения и регистрации SH-волн (схема Y-Y). Источником в случае использования схемы Y-Y служит удар, направленный горизонтально, перпендикулярно профилю (горизонтальный монополь).

Рассматриваемая модель среды (рис. 3) соответствует строению участка полевых работ, а также укладывается в общие представления о геологическом строении карста в некоторых районах Московского региона [5, 8]. Разрез принимался горизонтально-слоистым и состоящим из следующих слоев (снизу вверх): известняки, пески водонасыщенные, пески сухие. Карстовая выемка в кровле известняка имеет прямоугольную форму. Подобного вида модель определяется 3 параметрами: глубиной до кровли известняков h , шириной выемки d и глубиной выемки z . Относительно поперечных волн модель является двухслойной (скорость SH-волн в водонасыщенных и сухих песках имеет одинаковое значение). Глубина до кровли известняков h была выбрана равной 10 м. Размер выемки в метрах (первое число — параметр ширины d , второе — глубина z): 10×10 .

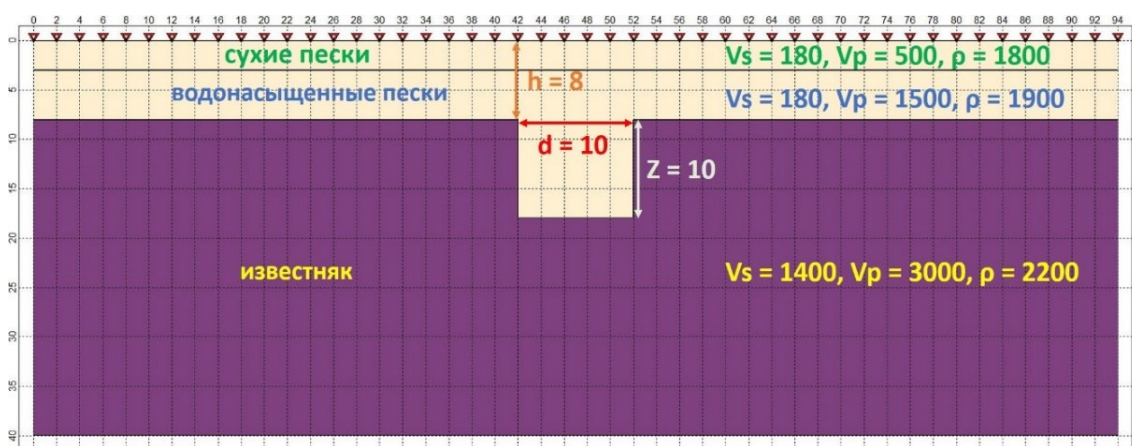


Рис. 3. Модель карста и ее параметры (координаты по осям [м]; скорости [м/с]; плотности [$\text{кг}/\text{м}^3$])

Методика модельной съемки также соответствует методике полевых работ. Обработка модельных данных была проведена по стандартному графу обработки МОВ-ОГТ, идентичному графу обработки полевых материалов. Полученный временной разрез изображен на рис. 4.

Для наглядности визуального анализа полученного результата на временной разрез была нанесена линия двойного времени пробега по нормали (линия t_0) до кровли известняков. Значение видимой глубины выемки на разрезе составляет 10 мс (0.9 м в глубинном масштабе).

Видимая глубина выемки на разрезе значительно меньше реальной ее глубины, что объясняется наличием дифракции от верхних углов выемки, а также особенностями обработки данных МОГТ. Вершина дифракции располагается на уровне около 130 мс.

Далее с целью определения характерных признаков наличия карста на сейсмограммах ОПВ и временных разрезах было проделано сопоставление реальных и модельных данных. Фрагменты полевого и модельного временных разрезов при наличии углубления, приуроченного к карстовой выемке, изображены в равных масштабах на рис. 5.

Целевое отражение от кровли известняка на итоговом разрезе, построенном по данным из с. Ям, Московская область, расположено на отметке около 90 мс. В районе участка, приуроченного к развитию карста, наблюдается характерное углубление оси синфазности отражения (рис. 2). Отражение от кровли известняка на синтетическом разрезе находится на отметке 89 мс, и на нем также присутствует прогибание оси синфазности. При этом видимая ширина выемки на разрезе по реальным данным около 8 м, глубина — 12 мс. Видимая ширина выемки по модельным данным — 10 м, глубина — 10 мс. В обоих случаях под углублением на разрезе прослеживаются ветви дифракции. Отмечается высокое сходство артефактов на полевых и синтетических данных.

На модельных сейсмограммах ОПВ на оси синфазности головной волны в районе пикетов, где находится выемка, присутствует дифракция. Вид дифракции подобен той, которая наблюдается на реальных данных (рис. 2). Сопоставление фрагментов сейсмограмм ОПВ для модельных и реальных данных представлено на рис. 6. Участки дифракции отмечены красным цветом.

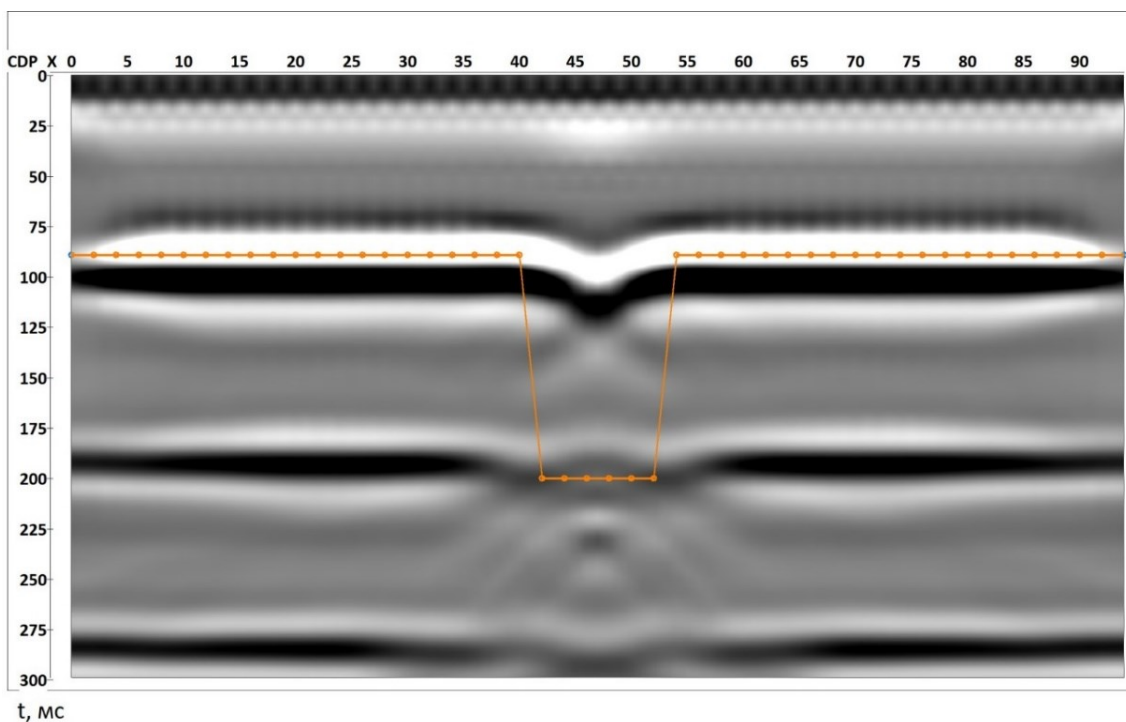


Рис. 4. Модельный временной разрез. Оранжевая линия соответствует кровле известняков (во временном масштабе)

Целью настоящей работы ставилось проведение анализа артефактов на временном разрезе и на одиночных сейсмограммах. Проведено сопоставление полевых данных при подтвержденном бурением карсте и модельных данных для конкретных инженерно-геологических условий. Модель карстовой выемки выбрана имеющей простейшую

прямоугольную форму исходя из общих представлений о строении среды, характерной для Московского региона.

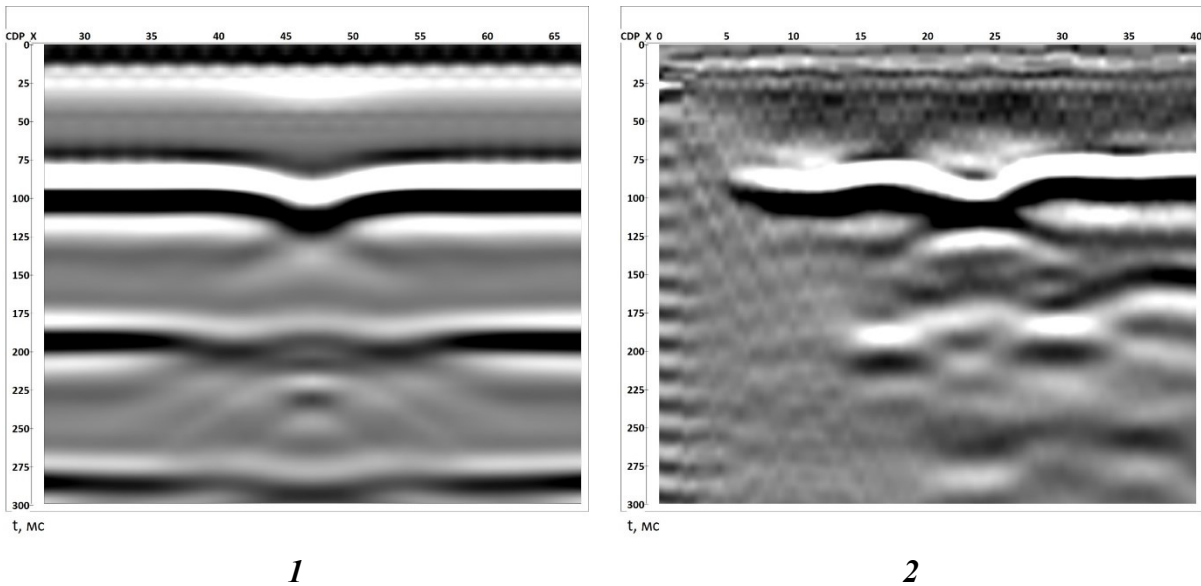


Рис. 5. Сопоставление фрагментов временных разрезов: 1 — по модельным данным; 2 — по полевым данным

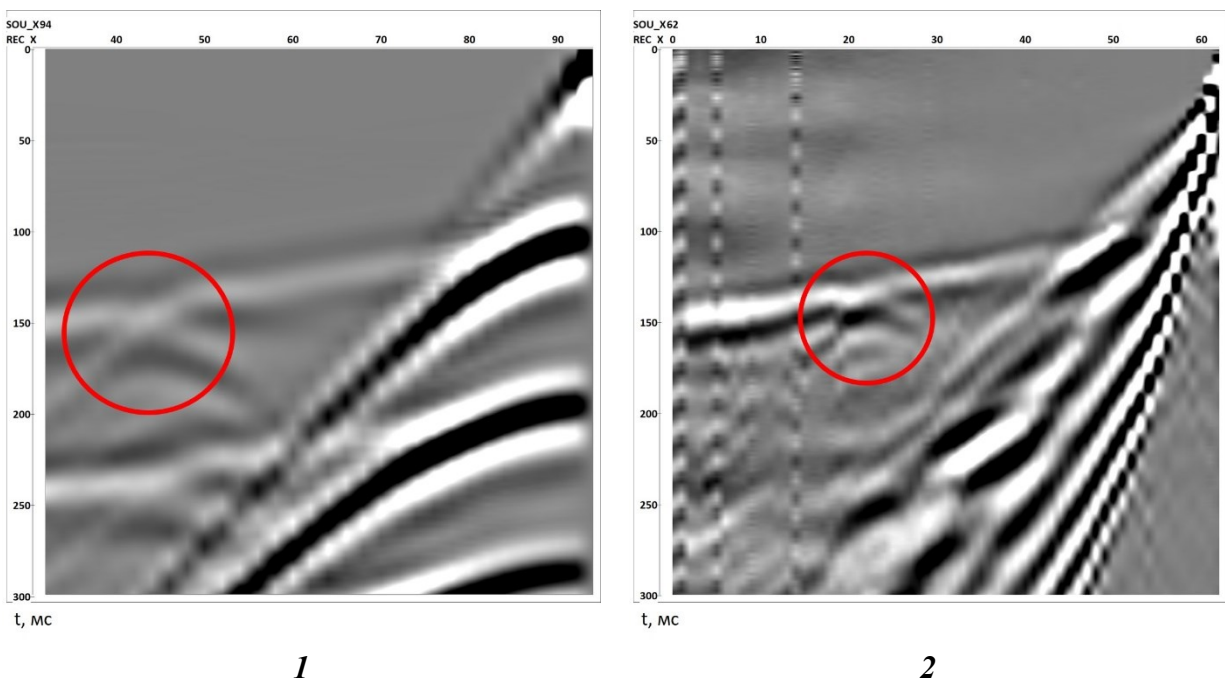


Рис. 6. Сопоставление фрагментов сейсмограмм ОПВ: 1 — по модельным данным; 2 — по реальным данным модельных и реальных данных. Красным цветом отмечена дифракция

Несмотря на то, что в рамках статьи не рассматривался вопрос усовершенствования геологической модели, была достигнута высокая степень сходства артефактов, на полевых и синтетических данных. Было показано, что наличие карста для данных геологических условий характеризуется двумя основными признаками:

— резким прогибом оси синфазности целевого отражения от кровли известняков на временном разрезе;

— наличием ветвей дифракции с явно выраженной вершиной, совпадающей с осями синфазности головной волны, на сейсмограммах ОПВ.

Описанные результаты пригодны для использования при интерпретации материалов инженерной сейсморазведки МОГТ для схожих инженерно-геологических условий. При наличии рассмотренных артефактов на полевых данных с высокой степенью вероятности можно дать заключение о развитии карста на исследуемом участке.

Литература

1. Гиодман А.Г., Гранит Б.А. Инженерно-геофизические исследования карста на территории Москвы и Московского региона методом многоволновой сейсморазведки, Вестник МГСУ, № 4, 2010, с. 120-127.

2. Гранит Б.А., Гиодман А.Г. К вопросу изучения карстово-суффозионных процессов методами сейсморазведки. Материалы Международного симпозиума «Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах». Пермь, 2015, с. 76-79.

3. Гранит Б.А., Гиодман А.Г. Некоторые результаты геофизических исследований в карстоопасных районах. Промышленное и гражданское строительство, 2014, № 11, с. 19-21.

4. Гранит Б.А., Гиодман А.Г. Об эффективности комплексного использования геофизических наблюдений на продольных и поперечных волнах при инженерно-геофизических исследованиях в Московском регионе. Инженерные изыскания, 2010, № 12, с. 66-69.

5. Кочев А.Д., 2021. Изучение механизма образования карстово-суффозионных воронок в г. Москве. Инженерная геология, Том XVI, № 4, с. 34-45, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2021-16-4-34-45>.

6. Кочев А.Д., Чертков Л.Г., 2018. Использование методов сейсмоакустики на закарстованных территориях крупных городов (на примере Москвы и Нижнего Новгорода). Инженерные изыскания, Том XII, № 9-10, с. 50-62, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-9-10-50-62>.

7. Кочев А.Д., Чертков Л.Г. Опыт использования методов сейсмоакустики на закарстованных территориях крупных городов (на примере Москвы и Нижнего Новгорода). Матер. науч.-практ. конф. «Инженерная сейсморазведка 2018». Москва, 2018.

8. Осипов В.И. (ред.), Медведев О.П. (ред.). Москва. Геология и город, РАН, Институт геоэкологии; Мосгоргеотрест. — Москва: Московские учебники и Картолитография, 1997.

9. Романов В.В. Из опыта комплексного применения сейсморазведки и георадиолокации при инженерно-геологических изысканиях на территории Москвы. Инженерные изыскания, 2015, № 5-6, с. 44-49.

10. Романов В.В. Процедуры улучшения качества разрезов МОВ в инженерной сейсморазведке. Материалы научно-практической конференции «Сейсмические технологии-2017», ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова», 2017.

11. Турчков А.М. Метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки в инженерной сейсморазведке. Технологии сейсморазведки, 2013, № 2, с. 98-111.

ВЫБОР ПЛОЩАДОК НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ В ЯНАО ДЛЯ ЦЕЛИ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

^{1,2}Бородина О. В., ^{2,3}Губарьков А. А.

¹ООО «Компания Инженерных Изысканий для Строительства», г. Сургут, kiis_pro@mail.ru

²Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской Академии Наук, г. Тюмень, fic@tmnsc.ru

³научный руководитель, к. т. н., доцент кафедры криологии Земли, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, agubarkov@rambler.ru

В последние десятилетия, на фоне глобальных изменений климата, наблюдается повышение температуры воздуха, что в свою очередь приводит к повышению температуры многолетнемерзлых пород (ММП) [1]. Повышение температуры воздуха в Западной Сибири составляет 1,5-2,5 °С, температуры ММП — 1,5-2,0 °С. В южной части криолитозоны увеличение глубины протаивания сезонноталого слоя приводит к отрыву кровли ММП и переходу сливающихся типа ММП к несливающимся. Граница сливающихся ММП смещается с юга на север [2]. Переход ММП от сливающегося типа к несливающимся сопровождается, наряду с повышением температуры пород, ландшафтными изменениями. Часть изменений происходит синхронно с повышением температуры ММП, а другие в течение различного времени. Эти изменения слабо изучены как в пространственном отношении, так и во времени. В литературных источниках граница ММП указывается различно и, соответственно, требует уточнения. Изменение границы распространения ММП и происходящие изменения ландшафтно-геокриологических условий являются важной научной задачей.

Для решения данной задачи на территории Ямало-Ненецкого автономного округа расширяется система мониторинга, обеспечивающая прогноз развития и изменения свойств ММП под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Формирование системы мониторинга начинается с создания базовых пунктов наблюдения за состоянием ММП и выбора точек бурения [3]. При выборе территорий для организации пунктов наблюдения необходимо учитывать методику выявления сливающихся и несливающихся типов ММП. Использование предложенной ниже методики позволяет с большой вероятностью определять распространение сливающихся и несливающихся многолетнемерзлых пород в зонах прерывистого и островного распространения. Методика разработана с применением дистанционных и полевых методов исследования.

Методы дистанционного зондирования Земли включали выбор качественных космических снимков высокого разрешения, сделанных в летний период, в дневное время суток и в безоблачную погоду. На снимках выбираются участки местности без древесной растительности, светло-серого цвета на торфяниках (рис. 1). Светло серый фон торфяников указывает на преобладание ягеля в растительном покрове, что свидетельствует о возможности распространения сливающихся многолетнемерзлых пород.

При полевых наземных исследованиях определяется высота плоскобугристых торфяников над тальми болотами или водными объектами, как правило, озерами (рис. 2). Высота торфяников должна составлять не менее величины глубины сезонного оттаивания многолетнемерзлых пород. Многолетнемерзлые породы, сложенные торфом, не протаивают более 1 м, как правило сезонноталый слой в них не более 0,5-0,7 м. Соответственно, при выборе площадки, на которой высота плоскобугристых торфяников составляет более 0,8-1,0 м, высока вероятность распространения многолетнемерзлых пород.

В летнее время высота торфяников измеряется при нивелировке поверхности, в зимний период — по глубине снежного покрова на высоких и низких уровнях рельефа. Глубина снега на высоких уровнях не превышает 0,2-0,5 м. На низких, соответствующих уровню льда на водоемах, глубина снега часто превышает 0,8-1,0 м. Высота снега на высоких и низких уровнях поверхности торфяников, за счет теплоизоляционных свойств снега, соответствует большой вероятности распространения ММП на высоких уровнях и отсутствию на низких уровнях.



Рис. 1. Космоснимок



*Рис. 2. Фотография при наземных исследованиях.
Плоскобугристые торфяники*

По данной методике определено местоположение и пробурены 30 новых термометрических скважин, часть из этих скважин оборудованы системами автономного мониторинга ММП. В непосредственной близости от термометрических скважин организованы новые наблюдательные площадки CALM и профили для наблюдения за высотой снега и глубиной сезонноталого слоя.

По результатам проведения буровых работ и измерения температуры ММП в термометрических скважинах установлено, что 25 скважин вскрыли массивы со сливающимися ММП и 5 — с несливающимися с заглубленной кровлей ММП.

Библиографический список

1. Васильев А.А и др. ДЕГРАДАЦИЯ МЕРЗЛОТЫ: РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНЕГО ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ. Криосфера Земли, 2020, т. XXIV, № 2, с. 15-30.
2. Дроздов Д.С. и др. ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ КРИОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ЗОНЕ ОСТРОВНОГО И ПРЕРЫВИСТОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕРЗЛОТЫ В сборнике: Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике. Салехард, 2021. С. 121-124.
3. Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. — Новосибирск : Гео, 2008. — 225, с.

МЕТОДОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ

Бровко Е. А.

к. т. н., АО «Роскартография», г. Москва, brovko@roscartography.ru
Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)

Актуальность исследования

К основным современным направлениям геодезической и картографической деятельности, имеющим межотраслевой характер, относятся: создание и обновление: государственных топографических карт (планов), единой электронной картографической основы (ЕЖО), предусмотренных Федеральными Законами № 448-ФЗ [5] и № 491-ФЗ [6]; организация и осуществление топографического мониторинга в масштабе страны, в соответствии с п. 2.5.6 Постановлением Правительства № 457 [3]. Данные направления деятельности входят в полномочия Росреестра и являются составной частью исследований в сфере актуализации пространственных данных.

АО «Роскартография» в соответствии с Программой национальной стандартизации на 2023 год (ПНС-2023) в настоящее время разрабатывается национальный стандарт — ГОСТ Р «Геодезия и картография. Топографический мониторинг для обновления ЦТК. Основные положения» [2].

Интеграция данных топографического мониторинга в процесс инженерно-геодезических изысканий: методология исследования

Государственный топографический мониторинг [1], в общем виде, должен включать:

— постоянное, регламентированное слежение с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) за состоянием и динамикой объектов местности и картографирование выявленных изменений природных, природно-антропогенных и антропогенных объектов [6] — элементов содержания цифровых топографических карт (ЦТК);

— картографирование изменений на цифровой дежурной топографической карте (ЦДТК), на оригинале изменений (ОИ) и в базе данных изменений объектов местности (БД ИОМ);

— оперативное обновление ЦТК, актуализацию ЕЭКО, других видов геопространственных данных, используя данные ГТМ.

Инженерные изыскания, выполняемые в целях комплексного изучения геодезических, геологических, экологических и гидрометеорологических особенностей территории застройки, включают следующие основные этапы:

- получение необходимых разрешений на проведение деятельности;
- проведение топографической съемки;
- съемку подземных коммуникаций;
- исследование состояния и границ уже имеющихся зданий и сооружений;
- согласование топографических карт и планов;
- обработку данных, составление документации;
- прохождение экспертизы и т.п.

Работы производятся в соответствии основными положениями и требованиями свода правил СП 47.13330.2016 [4], обеспечивающими организацию и порядок выполнения инженерных изысканий при изучении природных условий и факторов техногенного воздействия в целях рационального и безопасного использования территорий, подготовки документов территориального планирования, архитектурно-строительного проектирования, строительства и реконструкции объектов капитального строительства- антропогенных объектов местности.

Общие методологические и технологические решения по интеграции данных ГТМ в процесс инженерных изысканий

Интеграция данных топографического мониторинга на этапах инженерных изысканий на конкретные территории, предполагает:

— систематизацию исходных материалов (картографических, данных дистанционного зондирования Земли, материалов воздушного лазерного сканирования, справочных источников и др.), содержащихся в базах данных ГТМ;

— изучение природных, климатических и экономических и экологических особенностей территории;

— выбор цифровой дежурной топографической карты, в том числе, открытого пользования (ЦДТК ОП) на территорию инженерных изысканий - картографической основы для координатной привязки различных видов информации, используемой из баз данных и баз знаний в системе топографического мониторинга;

— помещение ЦДТК ОП, актуализированную на территорию картографирования, в геоинформационную среду, используемую в качестве цифровой платформы в процессе инженерных изысканий;

— формирование дополнительной, к имеющейся на ЦДТК и в базах данных ГТМ, информации по результатам инженерных изысканий.

Для получения и использования по результатам топографического мониторинга комплекса информации — пространственных данных о территории картографирования и анализа произошедших изменений в состоянии объектов местности (в динамическом виде), необходимо предусмотреть возможность формирования баз данных, содержащих трехмерные модели местности (объектов местности), с использованием средств мультимедиа.

Заключение

АО «Роскартография» в инициативном порядке выполняются исследования:

- по созданию системы топографического мониторинга;
- совершенствованию системы национальной стандартизации в данной предметной области;
- методическому и технологическому обеспечению использования актуализированных пространственных данных о территории в различных сегментах экономики страны, в том числе в процессе инженерных изысканий.

Список литературы

1. Бровко Е. А., Софинов Р. Э. Геосервисное решение проблемы актуализации пространственных данных по результатам государственного топографического мониторинга // Геодезия и картография. — 2023. — № 2. — С.12-20.

2. ГОСТ Р «Геодезия и картография. Топографический мониторинг для обновления ЦТК. Основные положения», разрабатывается в рамках Программы национальной стандартизации ПНС - 2023 (первая редакция проекта ГОСТ Р направлена в ТК 404 и прошла обсуждение научной общественностью. Подготовлена окончательная редакция проекта ГОСТ Р).

3. Положение «О Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии» Постановление Правительства Российской Федерации от 01.06.2009 N 457 (ред. от 30.06.2022) О Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии (вместе с Положением о Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2023)

4. СП 47.13330.2016. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 30.12.2016 N 1033/пр) (ред. от 30.12.2020).

5. Федеральный закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации

6. Федеральный закон от 4 августа 2023 № 491-ФЗ О внесении изменений в Федеральный закон «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и отдельные законодательные акты Российской Федерации»

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КОНТАКТА ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ И ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

¹Володин Г. В., ²Лозовский И. Н., ³Жостков Р. А., ⁴Чуркин А. А.

¹МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, volodineg@yandex.ru

²Центр геоэлектромагнитных исследований — филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Российской академии наук, г. Москва, г. Троицк, i.n.lozovsky@yandex.ru

³Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук, г. Москва, shageraxcom@yandex.ru

⁴НИИОСП им. Н. М. Герсевича АО «НИЦ „Строительство“», г. Москва, chaa92@mail.ru

Взаимодействие плитных покрытий и подстилающих грунтовых оснований является важнейшим аспектом целостности и устойчивости инженерных сооружений. Для технической диагностики качества контакта подошвы фундамента и естественных грунтов применяется комплекс инженерно-геологических изысканий [1], который включает в себя проведение сейсмоакустических и георадарных измерений. Геофизические исследования позволяют оценить интегральные упругие характеристики плиты и охарактеризовать состояние контакта между плитой и грунтовым основанием [2-7].

Одним из наиболее распространённых методов контроля для этой задачи является метод анализа отклика. Он заключается в регистрации сейсмоприемником колебаний плит, импульсно возбужденных достаточно тяжёлым источником (чтобы длина волны была соизмерима с габаритами объекта) и последующем атрибутом анализе отклика [5-6]. Полевая геометрия наблюдений предполагает одноканальные измерения, сигнал регистрируется на расстоянии в первые десятки см от источника, зачастую в ближней зоне. На динамические свойства наблюдаемых сигналов влияют распределение физических и упругих свойств плиты и подстилающего грунтового основания [7]. Данная работа показывает чувствительность атрибутов нормированного сигнала к типовым дефектам системы «плита-грунт» на примере синтетических данных, полученных путем численного моделирования.

К дефектам в рамках данного исследования были отнесены следующие состояния: снижение физико-механических свойств грунта под плитой, наличие пустоты под плитой, наличие трещины/системы трещин в плите. На практике важным требованием к качеству фундамента является однородность его свойств и выдержанность геометрии. Прочностные характеристики инженерных объектов обязаны быть сплошными и однородными согласно требованиям проектов производства работ [2]. Неоднородность акустических свойств позволяет дать косвенную оценку состояния данной конструкции и наметить точки для определения параметров конструкции прямыми методами. Например, фундаментные плиты с коэффициентом вариации прочностных свойств бетона более 13-16 % могут быть непригодны для основания сооружения.

Стабильность условий контакта плиты с подстилающим грунтом косвенно связана с затуханием возбужденных в плите упругих колебаний и может быть оценена путем атрибутом анализа данных метода анализа отклика [4]. Наиболее широко применяемым на практике атрибутом является энергия нормированного сигнала E_n :

$$E_n = \sum_{n=0}^{N-1} |A[n]|^2$$

где $A[n]$ — значения сигнала, нормированного по величине его максимального значения, N — количество дискретов сигнала

Численное моделирование было выполнено в программном пакете «Comsol Multiphysics» (лицензия № 9600341). Структура модели фундаментной плиты, которая использовалась при моделировании, показана на рисунке 1 и имеет многослойный вид [8-9]:

- Верхний слой — бетон класса Б30 мощностью 30 см;
- Первый слой под бетоном — бетон класса Б7.5 (бетонная подготовка), мощностью 10 см;
- Второй слой под бетоном — дренажный слой из ЦПС и щебня (фракция 20-40 мм) мощностью 25 см;
- третий слой под бетоном (полупространство) — утрамбованное грунтовое основание (коэффициент уплотнения не менее 0,95).

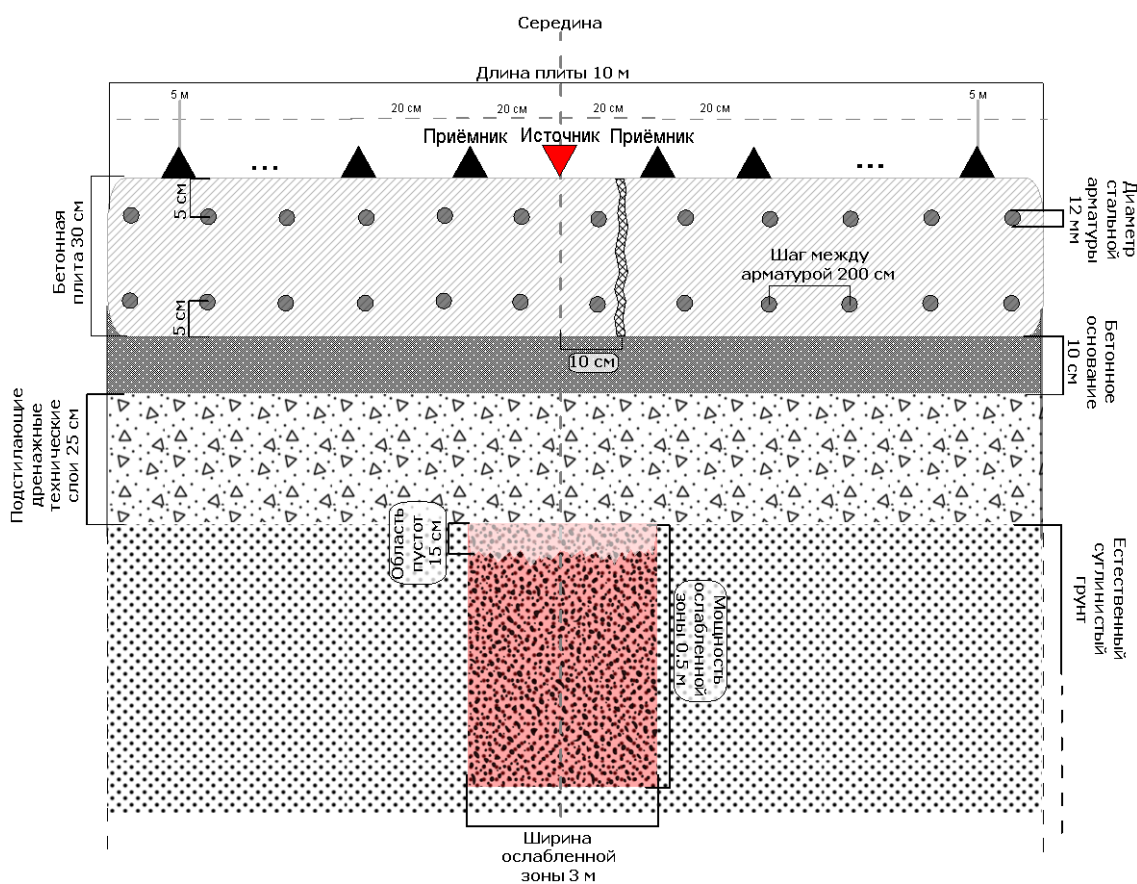


Рис. 1. Схема численных моделей

В данной модели под плитой располагается дефект в виде ослабленной зоны грунтов в верхней части грунтового основания. Это распространённый дефект, который оказывает значимое для работоспособности фундамента воздействие на бетонное покрытие [8]. Предполагается, что подобная деградация свойств грунта основания связана с циклическим увлажнением грунтов [10]. Физические и упругие свойства грунтов от модели к модели снижаются согласно таблице 1.

Под номером №0 обозначена модель без деградации грунтов. С ростом номера модели растёт снижение скоростей упругих волн и плотности грунтов в ослабленной зоне. Модель 5 представляет наибольшее снижение свойств грунта в аномальной зоне. Критический сценарий

представлен моделью 6 — с воздушной полостью под плитой. Дальнейшие повреждения фундамента приводят к образованию трещины в плите — модель 7. Для модели 8 были посчитаны данные для случая без деградации грунтов с наличием арматуры.

В качестве источника был выбран сигнал Гауссиан, обработанный сглаживающим окном Хемминга:

$$F(t) = -Ae^{2\pi\frac{(t-0.5T)^2}{T}} \cdot \begin{cases} \left(0.5 - 0.5 \cos\left(2\pi\frac{t}{T}\right)\right), & \text{if } t < T \\ 0, & \text{if } t \geq T \end{cases}$$

где A — амплитуда сигнала в условных единицах, T — видимый период сигнала; t — время. Видимый период сигнала выбран равным 0,8 мс.

Синтетические данные получены в виде скорости вертикального смещения на временном интервале 7,5 мс.

Таблица 1. Значения параметров слоёв для модели

Вариация	Слой	Vp [м\с]	Vs [м\с]	h [м]	ρo [кг\м3]	E [МПа]	ν
const	Бетон	3820	2630	0.3	2500	36000	0.17
	Подбетонник	2000	1330	0.1	2100	8199	0.17
	Подстилающий технический слой	1200	710	0.25	1300	1613	0.23
0	Ест. Грунт	750	440	---	1900	910	0.24
1	Ест. Грунт	640	350	---	1800	567	0.29
2	Ест. Грунт	580	300	---	1700	403	0.32
3	Ест. Грунт	550	270	---	1600	313	0.34
4	Ест. Грунт	440	200	---	1500	164	0.37
5	Ест. Грунт	370	160	---	1400	99	0.38
6	Воздушная полость	300	---	0.15	1.27	---	---
7	Трещина в бетонной плите, заполнена воздухом						
8	Арматура (сталь)	5200	3200	---	7900	193380	0.2

Снижение свойств ослабленной зоны грунта заметно влияет на форму сигналов во временной области. Атрибут энергии нормированного сигнала показывает увеличение более чем на 15% между плотным контактом и случаем с самым ослабленным случаем грунтов (рисунок 3).

Таким образом, показана корректность предположений о поведении атрибутов нормированного отклика, предложенных в [4] для анализа изменения контактных условий в системе «плита-грунт». Построена численная модель, которую планируется использовать для оценки возможности получения количественных выводов о параметрах системы «плита-грунт».

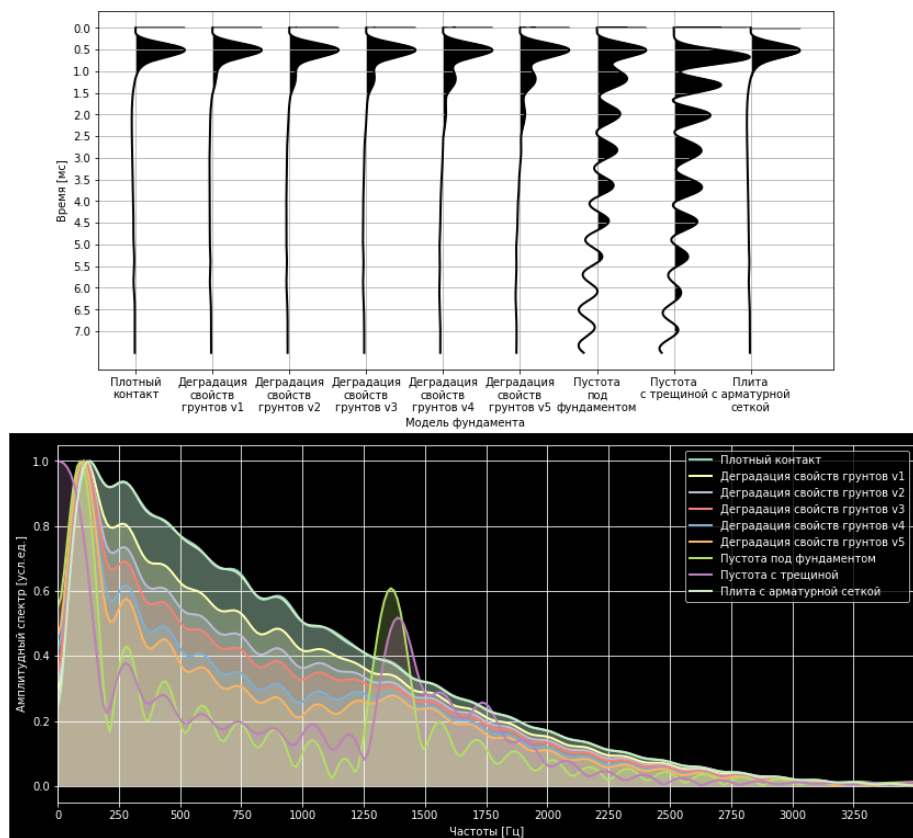


Рис. 2. Синтетические сейсмограммы и их спектры для сигналов от пункта приёма на удалении 20 см от источника

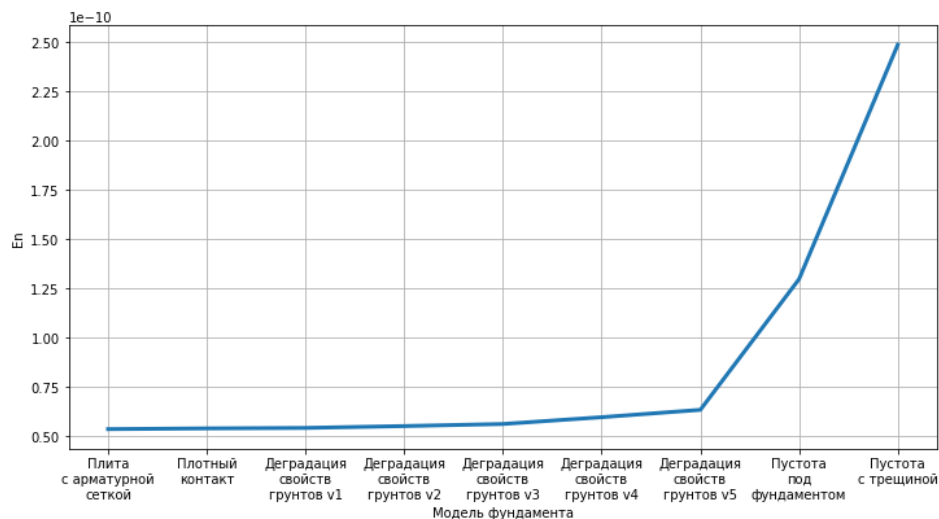


Рис. 3. Изменение атрибута энергии сигнала в зависимости от степени деградации грунтов

Литература

1. СП 446.1325800.2019 “Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ.” // Москва. — 2019. — С. 150.
2. Капустин В.В., Владов М.Л. “Техническая геофизика. Методы и задачи” // Геотехника — 2020. — Т. 7 — №4 — С. 72-85.
3. Капустин В. В., Чуркин А. А., Владов М. Л. и др. “Руководство по контролю качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве подземных объектов,

включая объекты метрополитена, на территории Москвы” // Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. — 2021. — С. 114.

4. Чуркин А.А., Хмельницкий А.Ю., Капустин В.В. “Оценка условий контакта конструкций с грунтовым массивом по атрибутам нормированного акустического отклика” // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2022. — № 5. — С. 17—21.

5. Ширококов М.П., Капустин В.В., Чуркин А.А. “Обследование фундаментных плит с применением комплекса акустических и георадиолокационных методик” // Инженерная и рудная геофизика — 2022. — №2 — С. 6.

6. Чуркин А.А., Смирнов И. Д. “Развитие методики анализа нормированного акустического отклика для оценки контакта конструкция—грунт” // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2023. — № 3. — С. 32—47.

7. Володин Г.В., Капустин В.В. “Анализ колебаний фундаментных плит для оценки контакта с грунтами” // Геотехника. — 2021. — Т. 13. — № 4. — С. 64-79.

8. Афиногенов О.П., Афиногенов А.О., Серякова А.А. “К вопросу определения значений кратковременных моделей упругости грунтов для расчёта дорожных одежд” // Молодой учёный — 2014. — Т. 64 — №5 — С. 41-43.

9. Elkholy S., El-Ariss B., Galal S. “Structural performance of jointed reinforced concrete pavement slab with subbase erosion” // Structures — 2020. — №26 — P. 982-995.

10. Bulinski J., Sergiel L. “Effect of moisture content on soil density - compaction relation during soil compacting in the soil bin” // Agricultural and Forest Engineering Agricultural and Forest Engineering — 2014. — №64 — P. 5-13.

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ИСТОРИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ПЕРЕД ВКЛЮЧЕНИЕМ ИХ В КУЛЬТУРНЫЙ ОБОРОТ

Вязкова О. Е.

Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе,
г. Москва, wjask@yandex.ru

В последние годы по многим линиям финансирования (например, государство, частный бизнес, Русская Православная Церковь), ведется масштабная работа, направленная на расширение перечня объектов культурного наследия, доступных для граждан нашей страны с разным целеполаганием.

В связи с сокращением возможностей зарубежного туризма принимаются меры по увеличению разнообразия культурных и исторических объектов, доступных для осмотра при путешествиях по России. В культурно-туристический оборот вводятся памятники археологии, архитектуры, садово-парковые ансамбли, природные и исторические ландшафты. Для этого выполняется большой объем подготовительных работ, направленных на сбор разнообразной информации по истории охраняемого или музеефицируемого объекта. Обычно сведения эти охватывают юридические, экономические, исторические аспекты.

К большому сожалению, до сих пор в большинстве случаев никак не рассматривается влияние геологической среды и сложных геологических процессов, происходящих в ней. И это в нашей стране, ученые которой в области инженерной геологии давно разработали

подходы к решению проблем, возникающих на исторических территориях в ходе многолетних, а часто и многовековых взаимодействий между хозяйственной деятельностью и геологической средой.

В инженерной геологии принято рассматривать все объекты человеческой деятельности, возводимые на земле, с точки зрения системного подхода. Памятники архитектуры рассматриваются как исторические природно-технические системы (ИПТС) [14], памятники археологии — как природно-археологические системы (ПАС) [2].

Более 50-ти лет к этой проблеме в разных ее аспектах привлекает внимание Е.М. Пашкин [6–14], разработавший методологию инженерно-геологической диагностики деформаций памятников архитектуры. Он привлек к работе в этой области большую плеяду ученых (Подборская В.О., Никифоров А.А., Домарев В.В., Кувшинников В.М., Демкин И.А., Котов В.Ю., Бондарев М.В., Невечеря В.Л., Невечеря В.В. и др.). Дмитриев В.В. организовал и провел семь международных научно-практических симпозиумов «Природные условия строительства и сохранения храмов православной Руси» в период 2000-2018 гг. [15-22].

Удивляет то, что, несмотря на наличие развитой отечественной школы изучения инженерно-геологических условий на участках расположения объектов культурного наследия, до сих пор реставрация, реконструкция или музеефикация памятников происходит без предварительной оценки инженерно-геологических условий.

Инженерно-геологические условия (ИГУ) — это комплекс функционально взаимосвязанных, изменяющихся во времени компонентов природной среды, совместно влияющих на объекты культурного наследия, впрочем, как и на все остальные здания и сооружения (рис. 1). Согласно ГОСТ Р 55567-2013 [4] компонентами ИГУ являются климат, рельеф, речная сеть, геологическое строение, тектонические условия, геоморфологические условия, гидрогеологические условия, экзогенные и инженерно-геологические процессы, физико-механические свойства грунтов.

Целью оценки инженерно-геологических условий участка расположения объекта культурного наследия в условиях естественного ландшафта является обеспечение безопасного для охраняемого объекта и посетителей, длительного устойчивого функционирования ИПТС или ПАС в настоящем и будущем.

Отдельно хочется пояснить аспект безопасности для посетителей. Если речь идет об архитектурных памятниках, прошедших этап реконструкции или реставрации, то людям практически ничто не грозит. Когда мы говорим о музеефикации археологических памятников в условиях природного ландшафта, то часто существует объективная опасность при перемещении туристов по крутым склонам с развитыми осыпями, риском самопроизвольного обрушения блоков скальных пород, как, например, на территории Шишкинской писаницы в Иркутской области (рис. 2) [1].

Задачи инженерно-геологической оценки:

1. Учесть влияние климата и его изменений на развитие экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов на исследуемой территории за рассматриваемый период времени: прошлое — настоящее — будущее.

2. Изучить геологическое строение района расположения объекта, а также конкретного участка.

3. Собрать сведения, характеризующие неотектонические процессы, что делается крайне редко.

4. Проанализировать роль гидрогеологических условий в функционировании ИПТС.

5. Выявить признаки и причины развития современных и древних экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов, оценить их механизм и скорость.

6. Составить качественный прогноз возможности функционирования ИПТС в изменяющихся инженерно-геологических условиях на длительную перспективу.

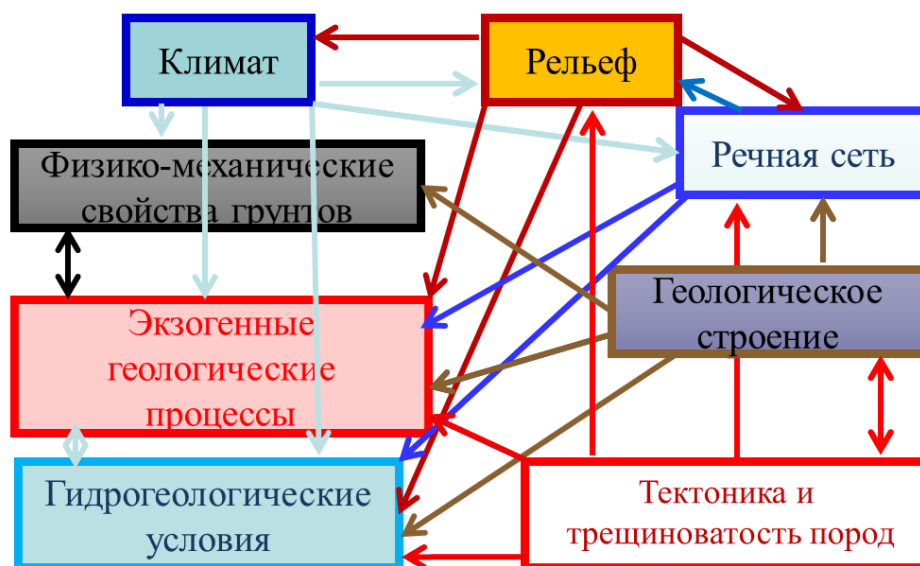


Рис. 1. Взаимодействие компонентов инженерно-геологических условий



Рис. 2. Скальный массив с наскальными рисунками — Шишкинская писаница в Иркутской области (Фото автора, 2006 г.)

Когда речь идет о памятниках, просуществовавших многие столетия или даже тысячелетия, если это памятники археологии, необходимо учитывать, что инженерно-геологические условия менялись за время их функционирования и продолжают меняться в будущем [3].

Наиболее изменчивым из компонентов ИГУ является климат, который влечет за собой изменения гидрологических и гидрогеологических условий, что в конечном итоге приводит к смене характера протекания экзогенных и инженерно-геологических процессов. Наиболее наглядно и, на наш взгляд, достоверно закономерности климатических изменений показаны в статье В.Г. Кривенко [5].

Особенно актуально учитывать истинные, а не мифические, причины изменения климата в нынешний период истерии по поводу «глобального потепления климата», которое как явление, безусловно, имеет место.

Вторым компонентом ИГУ, изменения которого запускают «цепочку» трансформаций геологической среды являются неотектонические движения. Современные исследования динамики литосферы показывают, что для нее характерны разные по продолжительности циклы знакопеременных вертикальных движений. Они приводят к закономерному формированию новых парагенезисов экзогенных геологических процессов [3].

На основании многолетних исследований и наблюдений за практикой реставрации и реконструкции объектов культурного наследия можно сформулировать уточненный алгоритм инженерно-геологической диагностики деформаций сооружений:

— Изучение современных инженерно-геологических условий на участке расположения сооружения.

— Изучение истории создания, конструктивных особенностей и состояния технической подсистемы ИПТС.

— Ретроспективный анализ изменения инженерно-геологических условий на территории конкретного объекта культурного наследия за весь период его существования.

— Выявление парагенезиса процессов, приводящего к деформациям сооружений.

— Возвращение ИПТС к состоянию и условиям функционирования максимально приближенным к первоначальным.

— Прогноз изменения инженерно-геологических условий на длительный период с учетом возможных вариаций всех их компонентов

— Минимизация (ликвидация) воздействия экзогенных геологических или инженерно-геологических процессов на ИПТС проведением организационных или инженерно-технических мероприятий.

Выводы

Несмотря на более чем полувековой опыт инженерно-геологических исследований исторических природно-технических систем, наличие разработанных и апробированных методик решения проблем сохранения объектов культурного наследия, к сожалению, в ряде случаев работы по реставрации ведутся без понимания протекающих в ИПТС процессов, которые могут быть как природного, так и техногенного происхождения. Конкретные примеры будут приведены в докладах других коллег на этом форуме.

Список литературы

1. Вязкова О.Е. Эколого-геологические аспекты сохранения наскальных рисунков «Шишкинские писаницы». — М.: «Инженерная геология», № 2, 1992. С. 126-131.
2. Вязкова О.Е. Природно-археологические системы: понятие, структура, этапы формирования и функционирования /Изв. Вузов. Геология и разведка, 2015. № 6. с. 57-59.
3. Вязкова О.Е. Об изменении инженерно-геологических условий в процессе эксплуатации архитектурных памятников // Сборник трудов VII Международного научно-

практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». — СТСЛ, 2020. С. 119-123.

4. ГОСТ Р 55567-2013 Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований на объектах культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования. — М.: Стандартинформ, 2014. — 36 с.

5. Кривенко В.Г. Концепция природной циклики и некоторые задачи хозяйственной стратегии России [Электронный ресурс] // http://www.ecoexpertcenter.ru/info/koncersiya_cikliki_144.html

6. Пашкин Е.М. Влияние антропогенных изменений пород на сохранение памятников архитектуры // Памятники Отечества. — М.: Современник, кн. 2, 1975. С. 158-164.

7. Пашкин Е.М., Бессонов Г.Б. Диагностика деформации памятников архитектуры. — М.: Стройиздат, 1984. — 151 с.

8. Пашкин Е.М., Подборская В.О. Причины деформаций памятников русской архитектуры // Инженерная геология. 1987. № 1. С. 106-112.

9. Пашкин Е.М., Домарёв О.В., Никифоров А.А. Инженерно-геологический аспект проблемы сохранения древних оборонительных сооружений // Геоэкология. 1993. № 4. С. 117-125.

10. Пашкин Е.М., Домарёв О.В., Курделова Л.В. Опыт инженерно-геологического изучения исторических природно-технических систем древних городских территорий (на примере кремля Ростова Великого) // Тезисы докладов всероссийской научной конференции «Задачи инженерной геологии в реставрации и сохранении памятников истории и культуры». — Рязань, 1993. С. 43-46.

11. Пашкин Е.М., Никифоров А.А., Дзекцер Е.С. Мониторинг культурного слоя как элемента геологической среды / Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокртология. 1995. № 1. С. 123-127.

12. Пашкин Е.М., Домарёв О.В., Деркач Н.И. Опыт геоэкологического изучения шереметьевских садово-парковых ансамблей Москвы (к 250-летию со дня рождения графа Н.П. Шереметьева) / Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокртология. 2001. № 6. С. 552-558.

13. Пашкин Е.М., Букреев Д.С. Характер проявления линеamentной активности в центральной части г. Москвы // Сергеевские чтения. Вып. 4, Материалы годичной сессии Научного Совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии — М.: ГЕОС. 2002. С. 250-254.

14. Пашкин Е.М., Панкратов А.В. Природные аттракторы в геоэкологии. Статья 1. Идея природных аттракторов / Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2002. № 4. С. 133-137.

15. Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры. — СПб.: ПИ «Геореконструкция». 2013. — 333 с.

16. Сборник трудов 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». — СТСЛ, 2002. С. 295.

17. Сборник трудов 2-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». — СТСЛ, 2005. С. 311.

18. Сборник трудов 3-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». — СТСЛ, 2008. С. 512.

19. Сборник трудов 4-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». — СТСЛ, 2012. С. 433.

20. Сборник докладов 5-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». — СТСЛ, 2014. С. 340.

21. Сборник трудов 6-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». — СТСЛ, 2016. С. 320.

22. Сборник трудов VII Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». — СТСЛ, 2020. С. 224.

ОСОБЕННОСТИ ОТЧЕТНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ И ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В УСЛОВИЯХ СЖАТЫХ СРОКОВ ГОСУДАРСТВЕННЫХ КОНТРАКТОВ И ПОСЛЕДУЮЩЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ (НА ПРИМЕРЕ СТРОЯЩЕЙСЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ А 289, КРАСНОДАРСКИЙ КРАЙ)

¹Герасимов А. Ю., ²Лаврусевич А. А.

¹аспирант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» НИУ МГСУ, г. Москва, alexandergerasimovmo@yandex.ru,
ООО «Гипростроймост-Геотех», г. Москва, office@gpsm-geotech.ru

² профессор, д. г.-м. н., заведующий кафедрой Инженерных изысканий и геоэкологии (ИИиГЭ)
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
НИУ МГСУ, г. Москва, lavrusevich@yandex.ru

Аннотация

При реализации отчетно-технической и проектной документации в условиях сжатых сроков Государственных контрактов возникает значительное количество непредвиденных затрат, как временных, так и технологических. Стоит отметить, что большинство технологических затрат при реализации объектов решается посредством дополнительного финансирования контракта, чтобы тем самым минимизировать временные издержки.

В основном на протяженных линейных объектах встречаются трудности из-за недооценки опасных геологических экзогенных и эндогенных процессов и явлений. Существенное осложнение вызывают специфические грунты, а именно: своей нелинейностью осадки и развитием деформаций в массивах данных грунтов с учетом возведения насыпи/выемки на них.

Все вышесказанное в совокупности с технологическими решениями приводит к удорожанию стадии рабочей документации и вследствие этого связано с непредсказуемыми дополнительными финансовыми затратами, которые не были учтены на стадии проектная

документация и не подтверждены заключением специалистов органов Государственной экспертизы.

Ключевые слова

Недренированная система, рисовая оросительная система, специфические грунты, избыточное поровое давление, осадка насыпи.

Введение

В рамках реализации Государственного контракта № 0347100003020000001 от февраля 2020 года по объекту: «Строительство и реконструкция автомобильной дороги А-289 Краснодар — Славянск-на-Кубани — Темрюк — автомобильная дорога А-290 Новороссийск — Керчь. I этап», сроки выполнения отчетно-технической документации по комплексным инженерным изысканиям, а также проектной документации составляли 9 месяцев.

Негативное влияние на качество выполнения инженерных изысканий оказывали как серьезная агромелиоративная нагрузка на участки исследования, в-частности, действующая рисовая оросительная система (РОС), рыбные хозяйства, так и возделываемые поля с апреля по конец октября. Стоит отметить, что развитие в Краснодарском крае агромелиорации серьезно повлияло на формирование свойств грунтов, а также нарушило естественный поверхностный и подземный водные режимы района работ. Соответственно, все это в совокупности осложняет принятие корректных проектных решений при реализации автомобильной дороги и искусственных сооружений, как малых, так и больших.

Грунтами основания строящейся автомобильной дороги являются современные и верхнечетвертичные аллювиально-лиманские связные отложения, образованные постоянными водными потоками с образованием пойменных и надпойменных террас. Четвертичные глинистые грунты на объекте строительства обладают значительной мощностью и однородностью. Данная информация свидетельствует о большом объеме водных потоков, участвующих в их формировании.

При создании рисовой оросительной системы, аллювиальные суглинистые грунты основания уплотняли, что привело к серьезному нарушению, а местами и к отсутствию дренирования поверхностных вод первого от поверхности четвертичного аллювиального водоносного горизонта в рисовых чеках, в основании каналов и образованию техногенных тел в условиях агромелиорации [1].

Среди особенностей рисовых почвогрунтов стоит отметить антропогенную преобразованность их профиля. В процессе строительства рисовых систем проводились капитальные планировки, т.е. искусственное преобразование рельефа, сопровождавшееся перемещением значительных масс почвогрунтов. Срезка массивов почв, в том числе плодородных, и грунтов естественного залегания на повышениях и засыпка понижений в процессе нивелировки поверхности существенно изменили исходное морфологическое строение большинства почв. Строительство рисовых систем сnivelировало естественные элементы мезо- и микрорельефа. Большинство мелких гряд, имеющих широкое распространение срезано, а понижений засыпано при планировочных работах. Однако элементы макрорельефа в определенной мере сохранились: плоские обширные депрессии сохранили свои минимальные отметки местности, а на местах прирусловых валов-ериков выявляются наиболее высокие чеки.

В этой части Краснодарского края (район Станицы Варениковской) находится множество больших и малых лиманов, ериков и каналов. Вода в лиманах насыщена хлоридными и сульфатно-хлоридными солями.

На участке производства комплексных инженерных изысканий было выделено два водоносных горизонта, соответственно горизонт, приуроченный к четвертичным отложениям (развит повсеместно на Кубано-Приазовской равнине/низменности), а также горизонт, приуроченный к неогеновым отложениям.

На участке проведения изысканий также встречено значительное количество грунтов, которые обладают специфическими свойствами, а именно техногенные, органо-минеральные, органические, засоленные, просадочные и набухающие грунты, пучинистые, сейсморазжижаемые. При проектировании особенности специфических грунтов были либо учтены в недостаточной мере, либо проигнорированы. Среди них можно отметить наличие органо-минеральных и погребенных органических грунтов.

При проектировании необходимо было учитывать, что органо-минеральные грунты характеризуются большой сжимаемостью под нагрузкой. Также к специфическим особенностям органо-минеральных грунтов относятся: существенное изменение механических свойств при нарушении их естественного сложения, а также под воздействием нагрузок, анизотропия прочностных, деформационных характеристик.

Также в рамках разработки проектной документации не учтены погребенные органические грунты, представленные торфами средне- и сильно разложившимися, которые на некоторых участках строящейся автомобильной дороги залегают в границах сжимаемой толщи от автодорожной насыпи, что представляет серьезную опасность для строительства автомобильной дороги и сопутствующей инфраструктуры.

В рамках подготовки материалов отчетно-технической документации были получены лабораторные параметры консолидации грунтов методом компрессионного сжатия в соответствии с ГОСТ 12248.4-2020. Отбор образцов из скважин проводился при помощи тонкостенных грунтоносом диаметром 116 мм, обеспечивающих сохранение природного сложения и влажности грунта диаметром 108 мм в соответствии с требованиями ГОСТ 12071-2014. Грунты отбирались в термоконтейнеры, для сохранения природных характеристик свойств грунтов. Далее образцы транспортировались в грунтовую лабораторию ООО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ» в г. Москва, где были помещены в кернохранилище. Лаборатория ООО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ» аккредитована в системе аккредитации испытательных лабораторий (центров) согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019, № RU.MCC.AJ.1037 от 05 июня 2020 года. На аллювиально-лиманские связные отложения, которые в большинстве своем являются основанием для автомобильной дороги было выполнено по 6 лабораторных определений следующих характеристик: коэффициент фильтрационной консолидации, коэффициент вторичной консолидации и коэффициент фильтрации.

При подготовке проектной документации по автомобильной дороге не было учтено, что грунтовый массив основания автомобильной насыпи находится в обводненном состоянии, а также наличие примеси органического вещества. Вследствие чего не были получены данные осадки тела насыпи, как временные, так и численные.

При производстве строительно-монтажных работ по возведению насыпи автомобильной дороги строительная организация столкнулась с неконтролируемыми осадками.

В границах производства работ выявлены следующие опасные геологические процессы: подтопление, затопление, заболачивание, выветривание, эрозия, просадочность, набухание и усадка, склоновые.

На участке изысканий активно протекают процессы физического и химического выветривания, с которыми агро-комплексные предприятия пытаются бороться посредством посадки лесополос вдоль возделываемых полей, а также уменьшением содержания солей в почвах и массивах воды, используемых для агромелиорации.

Стоит отметить, что при производстве инженерно-геологических изысканий передача материалов велась ежедневно от руководителя геологической партии и от изыскательской организации в адрес проектной организации, соответственно актуальной информацией обладали все лица, участвующие в разработке проектной документации.

При уточняющих инженерно-геологических изысканиях на стадии рабочая документация была выявлена сходимость инженерно-геологического разреза с материалами со стадии проектная документация. Были выполнены уточняющие расчеты осадки, как насыпи, так и грунтов основания, в рамках которых были получены временные интервалы превосходящие сроки реализации объекта строительства.

В рамках разработки и выпуска документации по стадии рабочая документация было выполнено научно-техническое сопровождение объекта, по результатам которого было рекомендовано устройство геодрен с целью минимизации избыточного порового давления в массиве грунтов основания для автодорожной насыпи. В рамках предварительной оценки осадки сначала было выполнено послойное суммирование в соответствии с СП 22.13330.2016, по результатам которого в местах подходных насыпей к мостовым переходам были получены данные о невозможности завершения консолидации массива грунтов естественного сложения с учетом насыпи автомобильной дороги, а также нелинейности модели взаимодействия в целом. Вследствие этого было принято решение произвести моделирование напряженно-деформируемого массива грунтов основания и насыпи в программном комплексе Plaxis 3d по модели soft soil creep. Данная модель обусловлена непродолжительным нагружением и поведение слабого грунта является недренированным, вследствие чего создается поровое давление, в то время как за более длинный промежуток времени это (избыточное) поровое давление рассеивается, вызывая осадку. После того как все избыточное поровое давление рассеялось, слабый грунт может продолжать деформироваться в результате ползучести. Принимая во внимание вышесказанное, модель soft soil creep наиболее оптимально соответствует реальным условиям на объекте строительства и может использоваться для слабых грунтов, когда важно долгосрочное поведение, зависящее от времени, как в случае с автомобильной дорогой А-289, при проектировании строительства или укрепления насыпей. Стоит отметить, что в рамках производства инженерно-геологических изысканиях с целью подготовки отчетно-технической документации по объекту, параметры необходимые для моделирования в программном комплексе Plaxis 3D в модели soft soil creep были получены на стадии проектная документация.

Принимая во внимание все вышесказанное, данные временные и технологические трудности, возникшие на участках возведения насыпи на слабых грунтах основания можно было нивелировать и выполнить в рамках проектной документации, а не на стадии рабочая документация спустя 1,5 года от момента получения положительного заключения Государственных органов экспертизы.

Отсутствие вышеуказанных материалов привело к дополнительным финансовым затратам, как федерального бюджета Российской Федерации, так и строительной организации,

а также и к временным затратам, направленным на решение сложившейся проблемы на отдельных участках строящейся автомобильной дороги А 289.

Выводы

Однозначно подобные ситуации в строительном секторе необходимо свести к минимуму. В рамках оптимизации затрат, а также соблюдения временных границ исполнения Государственных контрактов рекомендуется для подобного рода протяженных линейных объектов привлекать научно-исследовательские институты, с целью минимизации финансовых затрат, как федерального, так и регионального бюджета. Другим путем решения может быть привлечение экспертных органов Государственной экспертизы в рамках консультационных услуг, которые помогут оптимизировать как проектные решения, так и указать на неочевидные неточности проектной документации. Финансовые затраты на привлечение научно-исследовательских институтов, а также прохождение консультационных услуг в Главной Государственной экспертизе значительно ниже, нежели недоучтенные проектные решения и в последствии строительные, которые приходится принимать в оперативном режиме. Также в рамках оптимизации проектной и рабочей документации на столь протяженных объектах рекомендуется создавать цифровую информационную модель строительного объекта. Цифровая информационная модель позволит упростить взаимодействия между изыскательскими и проектными организациями на всех этапах жизнедеятельности объекта строительства, а также позволит в сжатые сроки установить причину той или иной нестандартной ситуации на объекте строительства.

Список литературы

1. Суздалева А.Л. Вторая геология — наука о техногенных телах литосферы: монография — М.: РадиоСофт, 2022. — 584 с.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М-12 (7 ЭТАП): АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

¹Герасимова С. С., ²Лаврусевич А. А.

¹директор ООО «Промприбор», аспирант кафедры Инженерных изысканий и геоэкологии ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» НИУ МГСУ, г. Москва, sofia.sergeevna779@gmail.com

²профессор, д. г.-м. н., член Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, г. Москва, lavrusevich@yandex.ru

Аннотация

Строительство автомобильных дорог на закарстованных территориях может столкнуться с рядом актуальных проблем, связанных с карстовыми процессами. В рамках отчетно-технической документации по результатам инженерно-геологических изысканий была выполнена оценка карстовой опасности территории строительства автомобильной дороги М-12 (7 этап), по результатам которой специальные конструктивные мероприятия, направленные на инженерную защиту автомобильной дороги на ПК 6470-6490, не были заложены в проектной документации.

Особый интерес на участке исследования представляют собой древние карстовые формы, образующие карстовые поля, между которыми проходит автодорожная выемка трассы М-12 (7 этап) на ПК 6470-6490. Грунтами основания выемки служат глинистые верхнепермские отложения. На участке выемки выполнено террасирование бортов в отношении 1:2, откосы выемки укрыты биоматами, выполнено централизованное водоотведение с уступов выемки с последующим сбором в локальное очистное сооружение и сбросом очищенных вод на рельеф.

Неоднократно при исследованиях закарстованных территорий возникает проблема эффективности проектных решений, обеспечивающих надежность зданий и сооружений, а также их экономической составляющей и временных сроков строительства, вследствие чего необходимо оценивать опасные геологические процессы не только в границах производства работ, а также и за пределами границ, оценивая влияние на новое строительство.

Ключевые слова

инженерная защита, верхнепермские отложения, древние карстовые формы, карбонатный карст, геотехнический мониторинг.

Введение

Участок исследования проходит через Кайбицкий и смежные районы Республики Татарстан. Данная область исследования по результатам дешифрирования аэрофотоматериалов имеет серьезное поражение территории карстовыми и карстово-суффозионными процессами.

Участок строительства выемки на ПК 6470-6490 представляет особый интерес, так как находится на предполагаемой оси срастания двух карстовых полей, что может потенциально угрожать стабильности дорожного покрытия и безопасности дорожного движения.

В рамках строительства автомобильной дороги М-12 (7 этап) происходит нарушение естественного гидрогеологического режима, а также уменьшение толщи слабопроницаемых связных верхнепермских отложений, вследствие чего возможно ускорение роста карстовых воронок, а также повышение активности появления новых карстовых форм. Также еще одним дополнительным негативным фактором будут служить сточные воды с автомобильной дороги, которые негативно повлияют на химический состав грунтовых вод и на скорость развития карстовых процессов, что может негативно отразиться на безопасности автомобильной дороги на ПК 6470-6490.

Результаты исследования и выводы

В больших инфраструктурных объектах строительства существует значительная трудность обоснования необходимости производства тех или иных работ за пределами границ проектирования. Срок службы автомобильной дороги и искусственных сооружений более 50 лет.

Стоит отметить, что на ПК 6470-6490 находится глубокая выемка, где в южной её части правого борта выявлены древние карстовые формы: две наиболее близкие и на расстоянии 150 м расположено более 10 воронок различных размеров и форм (рисунок 1). На расстоянии 500 м в южном направлении относительно выемки располагается вытянутое карстовое поле, состоящее из 6 воронок.

Данная информация позволяет сделать вывод о возможном их срастании в будущем, посредством появления свежих карстовых провалов и последующем образовании вытянутых

овальных и круглых форм рельефа на дневной поверхности. Необходимо принять во внимание, что при строительно-монтажных работах по устройству глубокой выемки, были изменены гидрогеологические условия территории строительства, а так как в непосредственной близости расположены древние поверхностные карстовые формы, то это может активизировать «спящий» карстовый процесс.

Обладая вышесказанной информацией, рекомендуется производить регулярный визуальный и инструментальный осмотр участка выемки, непосредственно приуроченной к правому борту выемки.

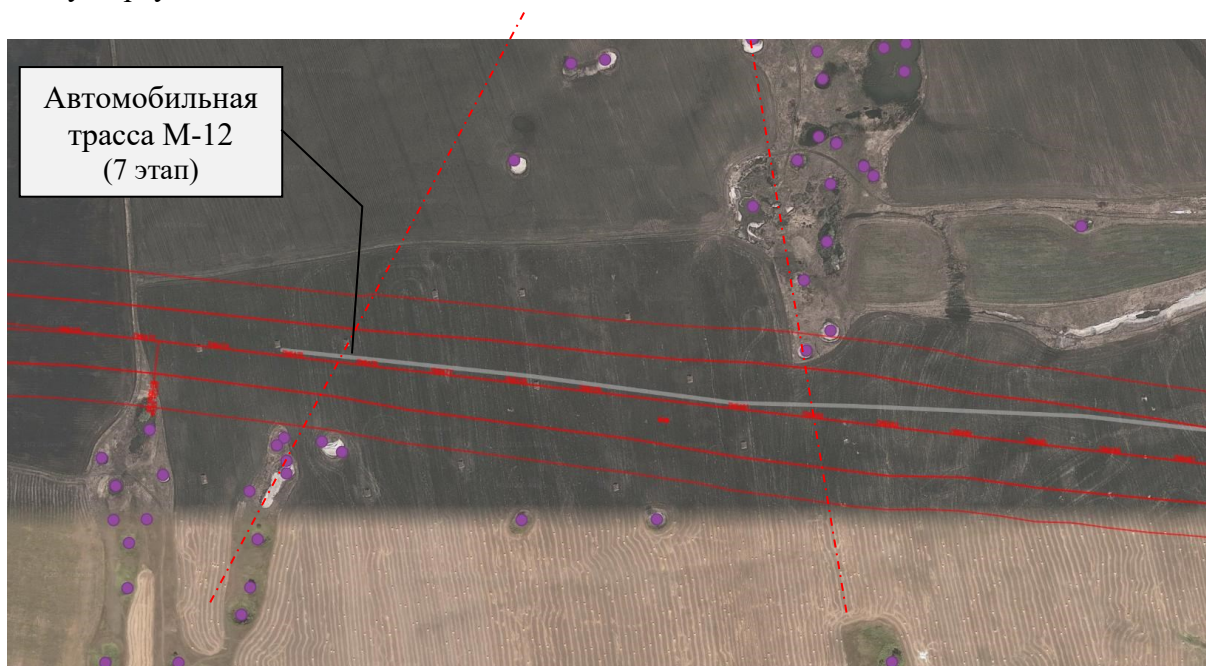


Рис. 1. Распределение отрицательных форм рельефа на спутниковом снимке Google в программе NextGIS в районе ПК6470-6490

Конструктивные решения, направленные на мероприятия по инженерной защите территории, при рассмотрении отчетно-технической и проектной документации органами Государственной экспертизы, минимизируются, а иногда вовсе исключаются. Так проектные решения по инженерной защите территории не нашли своего подтверждения, что привело к уменьшению сметной стоимости строительства. Однако, в рамках сжатых сроков Государственных контрактов по выпуску отчетно-технической и проектной документации, а также оптимизации затрат на ряде участков строительства М-12 (7 этап) были применены такие проектные и строительные решения, которые в большинстве случаев претерпевали существенные изменения и доработки уже на стадии рабочей документации. Данные корректировки и дополнения в документацию впоследствии приводят к удорожанию сметной стоимости строительства объекта.

Стоит иметь в виду, что в рамках строительства автомобильной дороги М-12 геотекстильные материалы в т.ч. и георешетка применялись только на особо глубоких выемках (более 15 м) или в сложных геологических и гидрогеологических условиях территории строительства. Рассматриваемая выемка на ПК 6470-6490 укрыта только биоматами, вследствие чего устойчивость откосов бортов выемки может быть нарушена в периоды обильных атмосферных осадков. Ранее была выявлена неустойчивость откосов бортов выемок, устроенных в пермских отложениях на других ПК автомобильной дороги М-12. При попадании атмосферных осадков на открытые откосы, выполненные в пермских

отложениях, первоначально начинает развиваться процесс линейной эрозии, который через незначительное время достигает больших масштабов, и под действием воды массив пермских отложений теряет несущую способность. Стоит добавить, что поверхностное водоотведение с придорожной части зачастую работает не эффективно, так как множество борозд линейной эрозии фиксируются на неукрытых откосах автодорожного полотна. Верхнепермские отложения обладают рядом специфических свойств, а также теряют свою природную прочность и деформируемость при взаимодействии с водой. В соответствии с СП 34.13330.2021 данные грунты относятся к особым.

Учитывая расположенные в непосредственной близости карстовые поля, нарушение гидрогеологических условий территории и изменение поверхностного стока, а также уменьшение мощности перекрывающей толщи водонепроницаемых отложений, можно предположить, активизацию карстовых процессов.

Стоимость работ по экранированию бортов выемок, устроенных в пермских отложениях ничтожна мала в сравнении с строительными работами по устройству самой выемки, а при условии того, что данные геотекстильные материалы, в т.ч. георешетка способны продлить срок службы откосов выемки, а также пассивно повлиять на развитие карстовых процессов, тем самым перекрыв приток атмосферных осадков в нарушенные строительными работами грунтовые массивы.

Рекомендуется обслуживающей организации вести мониторинг на ПК 6470-6490 для фиксации возникающих изменений и своевременного реагирования. Производить визуальный осмотр правого и левого бортов выемки, а также геодезический мониторинг бортов древней карстовой формы, расположенной в непосредственной близости к выемке (рисунок 2).

Автомобильная
трасса М-12
ПК 6490



Рисунок 2. Древние карстовые формы, расположенные в непосредственной близости к выемке на ПК 6490

Также, стоит отметить, что при строительстве объектов дорожной инфраструктуры геотехнический мониторинг закладывается достаточно редко и чаще всего на период строительства и до ввода в эксплуатацию объекта строительства. В большинстве своем даже

визуальный осмотр объектов, расположенных на территориях, серьезно пораженных карстовыми процессами, позволит минимизировать аварийные риски активизации опасного карстового процесса.

Список литературы

1. Катаев В. Н. Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования: Учебное пособие по спецкурсу / Перм. ун-т. — Пермь, 2001. — 85 с.

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СОХРАНЕНИЕ ИПТС ЦИТАДЕЛИ НАРЫН-КАЛА

¹Гончарова Е. И., ²Вязкова О. Е.

Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, г. Москва,
goncharova_elizavet@mail.ru, ²wjask@yandex.ru

Дербент — один из самых древних городов России, который расположился на многих культурных и исторических путях. Он находится в Дагестане на берегу Каспийского моря и относится к крепостным городам, которые возникли в Закавказье на пересечении Великого шелкового пути с другими дорогами.

По данным ЮНЕСКО считается, что «существующий город в Республике Дагестан был основан в 438 г. как персидская крепость» [2]. По другим сведениям, первые фортификационные сооружения на Дербентском холме появились в VIII-VII вв. до н.э., как ответная мера на вторжение кочевников (походы киммерийцев и скифов) (табл. 1) [3].

Таблица 1. Этапы функционирования цитадели Нарын-кала

Этапы функционирования ИПТС	Исторический период
Создание	VIII-VII вв. до н.э. — возникновение первых фортификационных сооружений. V в. н.э. (439-457 гг.) — возведение мощных оборонительных сооружений при Сасанидском царе Ездигерде II 531-579 гг. — окончательное завершение строительства оборонительного комплекса при Хосрове I Ануширване
Эксплуатация	VI-XII вв.
Разрушение (ликвидация)	1239 г. — Дербент завоеван монголо-татарами. 1395 г. — Тамерлан с войском прошел через Дербентский проход. XVI-XVII вв. — Дербент арена схваток Османской Империи и государства Сефевидов
Воссоздание	Основной этап реставрации завершился к 2015 г.

Строительство крепостей в горной местности сопряжено со множеством трудностей, но и сохранение памятников при изменчивости во времени инженерно-геологических условий тоже не является простой задачей. Отсутствие сведений об эволюции инженерно-геологических условий за время существования такого крупного фортификационного объекта

может снизить эффективность, а иногда и лишить целесообразности дорогостоящие реставрационные работы.

К 2015 году отремонтировано около 8 тысяч квадратных метров лицевой поверхности древней крепостной стены цитадели и южной стены. Реставрацией занимались специалисты Российской академии наук, ведущие российские археологи и историки. При этом на благоустройство внутренней территории крепости выделили 39,5 млн. руб., еще 45,6 млн. руб. — на реставрацию ворот Нарын-кала и комендантского дома [4].

В плане цитадель имеет форму неправильного многоугольника, который повторяет рельеф вершины холма, при этом наблюдается перепад высот ступенями суммарно около 30 м от 180 м до 153 м. Размеры цитадели с юга на север достигает 200 м, а с запада на восток — 220 м. Площадь, занимаемая цитаделью, около 4,5 га. Общая протяженность её стен около 900 м. Стены цитадели толщиной от 2,5 до 3,5 м охватывают вершину холма. Древние строители полностью использовали естественную защищенность холма. Северная и западная части стены цитадели, достигающие местами 15-20 м высоты, не имеют выступающих мощных башен [5].

Оценка современного состояния сооружений крепости Нарын-Кала

После проведенной масштабной реставрации сложнее определять масштабы и истинные механизмы происходящих в пределах исторической природно-технической системы (ИПТС) геологических процессов, чем до нее. Однако возможно выделить участки смещения блоков кладки относительно друг друга, формирование трещин, зарастание стен растениями.

При проведении инженерно-геологической диагностики деформаций цитадели Нарын-Кала мы отметили особенно сильно проявленное влияние следующих геологических процессов: активизация разломной неотектоники, выветривание и оползневые деформации.

Разломная неотектоника

Складчатая зона Дербента является промежуточной ступенью между Терско-Каспийским предгорным прогибом и горным сооружением Большого Кавказа и отличается высокой сейсмической активностью. Для этого района также имеются и отрывочные, слабо обоснованные сведения о сильных исторических землетрясениях в VII-X вв. [1]. Тяжелые последствия землетрясений для исторических крепостей в феврале 2023 г. весь мир наблюдал на примере крепости Газиантеп в Турции.

Изучение деформаций в рельефе, молодых отложениях, археологических и исторических памятниках дает возможность сделать предположения о местоположении активных разломов.

В 2018 году Институтом физики земли им. О.Ю. Шмидта РАН было выявлено два активных разлома (рис. 1а). Они представляют собой сегменты-ступени региональной тектонической границы между горным сооружением Большого Кавказа и протяженной системой Предкавказских передовых прогибов [1].

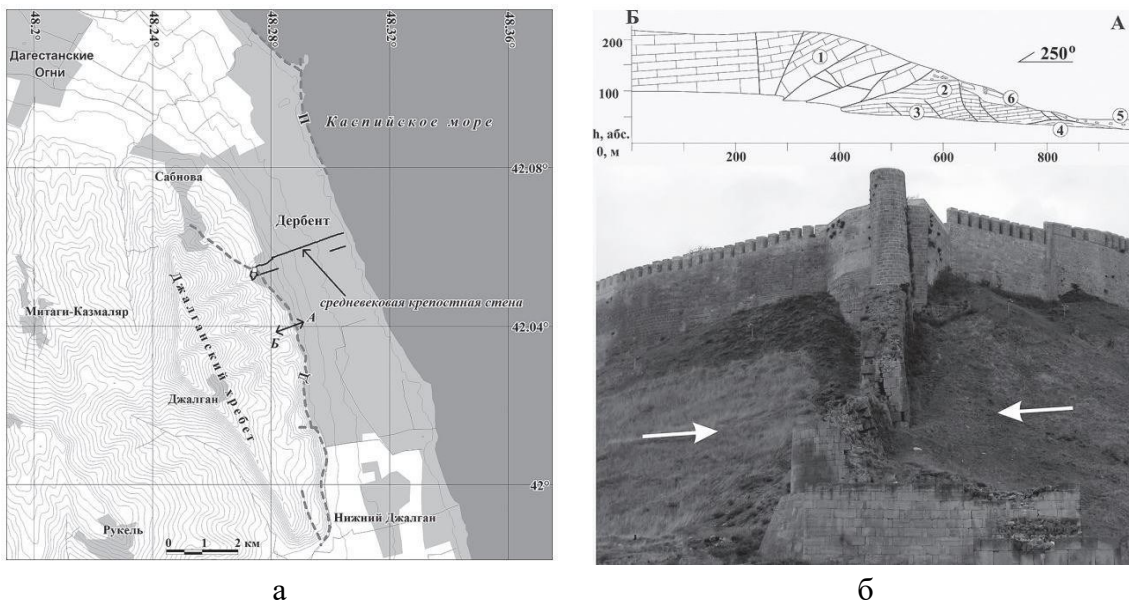


Рис. 1. Дербентский разлом, выделенный сотрудниками Института физики земли РАН а) Схема района г. Дербент с положением прослеженных Дербентского (Д) и Приморского (П) активных разломов; б) Северная крепостная стена города Дербента, разорванная сейсмотектоническим разрывом (между стрелками). Вид на юго-запад [1]

Авторами с помощью Интернет-ресурса Яндекс-карты и Google Earth Pro были определены и нанесены на карту более точные положения проекций линий разломов на поверхность земли, и показаны области деформаций сооружений исторического комплекса (рис. 2).

Выявленные авторами разломные структуры в основном были сформированы до строительства крепости. Именно они обусловили ступенчатый характер рельефа внутри нее. В период, прошедший после строительства, подвижки по разломам в большинстве случаев составили всего несколько первых сантиметров в пределах цитадели. Только в северной стене Дербента смещения составили в двух местах 18 см и 1 м. Деформации стен, связанные с движением горных пород, проявляются в увеличении расстояния между блоками в кладке крепостных стен (рис. 3). Фрагменты такой «разреженной» кладки фиксируются на участках пересечения стен и зон разломов.

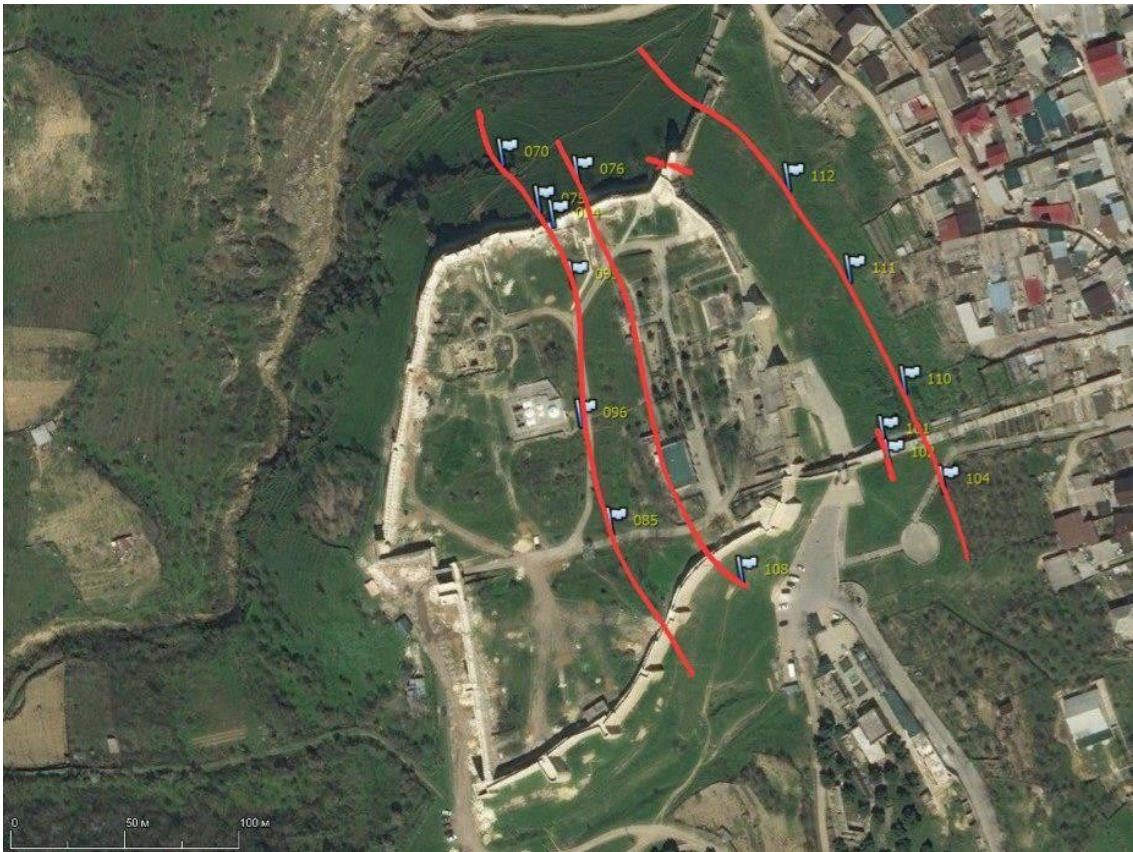


Рис. 2. Схема расположения поверхностей смещения в зоне Дербентского разлома



а



б

Условные обозначения:  направление смещения блоков

Рис. 3. Смещение кладки в северной (а) и южной (б) стенах города Дербента, отмеченные пунктиром на схеме (рис. 2). Стрелками показано направление смещения блоков

Выветривание

При среднегодовом количестве осадков, достигающем около 400 мм, кладка стен подвергается химическому выветриванию, проявляющемуся в выщелачивании известняков, увеличении их пористости. Краткость периода отрицательных температур в течении года делает минимальным проявление физического выветривания.

Большое распространение имеет биологическое выветривание. Его можно встретить повсеместно. Как только порода начинает выветриваться, на ней сразу же поселяются мхи и

лишайники, которые разрушают поверхностный слой породы. Кроме того, кустарниковые и древесные растения, поселяясь на стенах, расширяют корневой системой швы между блоками и по мере роста расклинивают трещины, увеличивая их размеры и количество (рис. 4). В основном в ходе реставрации ликвидируются именно результаты выветривания, путем замены выветрелых блоков породы на новые.



Рис. 4. Проявление биологического выветривания в северной стене цитадели Нарын-Кала

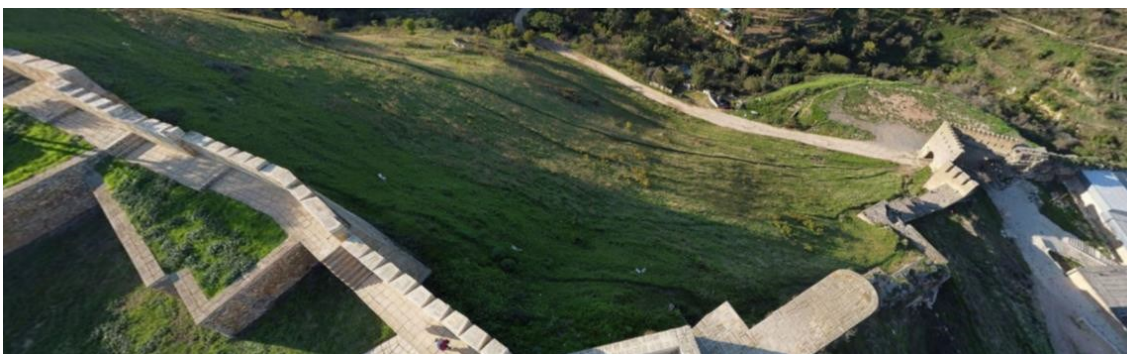
Оползневой процесс

Оползневой процесс проявляется в непосредственной близости от северной и восточной стен цитадели. Деформации развиваются в четвертичных глинистых отложениях склонового и морского происхождения (делювий и глины бакинского яруса). Сильным повреждением подвержена территория старого мусульманского кладбища и склон холма южнее крепости. Восточный и северный склоны холма, на котором расположена цитадель, повреждены преимущественно мелкими оплывинами дерна и верхних слоев склоновых накоплений.

Линии стенок срывов оползней-оплывин в делювиальных отложениях и дерне (рис. 5) явно видны на северном склоне цитадели, благодаря съемке с воздуха, представленной на Яндекс-картах.

Выводы

Все вышеперечисленные геологические процессы влияют на сохранность цитадели Нарын-кала в городе Дербент и требуют глубокого анализа аналогов из мировой практики музеефикации, формулирования принципов реставрации памятника и выработки концепции музеефикации. Наибольшее влияние на сохранность памятника оказывают выветривание строительных материалов стен и оползневые деформации их основания, которые опасны в сочетании с возможными землетрясениями по выявленным разломам.



*Рис. 5. Оплывины в склоновых отложениях к северу от стены Цитадели
(источник: Яндекс-карты)*

Список литературы

1. Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Рогожин Е.А. «Предварительные результаты исследований активных разломов и следов сильных палеоземлетрясений в районе г. Дербент», ГИН РАН, 2019 г.
2. Материалы ЮНЕСКО «Цитадель, Старый город и крепостные сооружения Дербента» [Электронный ресурс] URL: <http://unesco.ru/unescorussia/sites/s1070/> (Дата обращения: 29.05.2023).
3. Сетевое издание ГОРОД ДЕРБЕНТ официальный сайт городского округа - зарегистрировано Федеральной службой по надзору связи, информационных технологий и массовых коммуникаций от 02.10.2020 года серия ЭЛ № ФС 77 — 79159 [Электронный ресурс] URL: <http://derbent.ru/city/history.php> (Дата обращения: 30.05.2023).
4. Новостной сайт РИА Новости [Электронный ресурс] URL: <https://ria.ru/20150713/1126421079.html>
5. Новостной сайт г. Дербент [Электронный ресурс] URL: <https://pro-derbent.ru/tsitadel-nagyn-kala> (Дата обращения: 30.05.2023).

ПРОБЛЕМЫ КООРДИНАТНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГНСС В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Евстафьев О. В.

Ведущий инженер-геодезист АО «Роскартография», г. Москва
Аспирант кафедры прикладной геодезии МИИГАиК, г. Москва
ov.evstafiev@roscartography.ru

Арктика и арктическая зона

Арктикой называют физико-географический район Земли, примыкающий к Северному полюсу и ограниченный Северным полярным кругом (66°33'44" с. ш.). Территория Арктики на основе международных соглашений разделена на национальные сектора, принадлежащие России, США, Канаде, Дании, Исландии и Норвегии.

В соответствии с действующими нормативными документами Арктической зоной Российской Федерации являются сухопутные территории и примыкающие к ним внутренние морские воды, участки континентального шельфа, а также земли и острова в Северном Ледовитом океане к северу от побережья Российской Федерации до Северного полюса.

В связи с климатическими изменениями, главным образом таянием арктического льда, и растущими потребностями в природных ресурсах геополитические интересы России последовательно перемещаются на север.

В Арктике с каждым годом увеличивается число судоходных маршрутов, повышается интенсивность строительства, разведки и разработки месторождений. Развивается рыболовство и туризм. В арктической зоне добывается огромное количество разнообразных полезных ископаемых: металлы платиновой группы, редкоземельные металлы, алмазы, фосфатное сырьё, железные руды, уголь. Шельф Северного Ледовитого океана является самым крупным. Он имеет большое стратегическое значение, поскольку там находятся запасы нефти, природного газа и урана.

В арктической зоне Российской Федерации проходит Северный морской путь (СМП). Он объединяет в единую транспортную сеть крупнейшие речные артерии Сибири, связывает Дальний Восток с западными районами нашей страны и является кратчайшим путем между Азией, Северной Европой, Канадой и США. Благодаря более короткому маршруту перевозка грузов из стран Азии в Европу по Северному Морскому пути, как правило, занимает на 10-15 дней меньше стандартного маршрута, пролегающего через Суэцкий канал. Но при этом плавание во льдах сопряжено с риском и требует надежной и точной навигации.

В настоящее время в арктической зоне необходимо решать задачи по установлению государственных границ, внешних границ континентальных шельфов, инженерным изысканиям, картографированию, ведению кадастра недвижимости. Кроме того, в арктической зоне все активнее ведутся гидрографические съемки, дноуглубительные работы, работы по прокладке подводных кабелей, установке плавучих терминалов, что требует выполнения координатных определений.

Геодезическая обеспеченность арктической зоны Российской Федерации

Обширная территория арктической зоны является слабо обеспечена в топографо-геодезическом и картографическом отношении по сравнению с остальной территорией Российской Федерации. За полярным кругом расположено всего 20 пунктов фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), среднее расстояние между которыми составляет от 400 до 1000 км. Самый северный пункт ФАГС расположен на острове Хейса (N 80° 36', E 57° 52'). В арктической зоне также находится около современных 50 пунктов высокоточной геодезической сети (ВГС), несколько фрагментов спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС-1) и пункты созданной героическими усилиями советских геодезистов астрономо-геодезической сети (АГС) 1, 2, 3 и 4 классов, многие из которых утрачены или разрушены. Погрешности взаимного положения пунктов АГС не соответствует современным требованиям к картографо-геодезическому обеспечению и точности современных спутниковых средств геодезических измерений.

Особенности спутниковых определений координат в Арктике

Для определений пространственных координат с помощью Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) используются 4 основных метода:

- Абсолютный метод спутниковых определений (Absolute Positioning);
- Высокоточный метод абсолютных спутниковых определений (Precise Point Positioning);
- Дифференциальный метод (Differential Positioning (DGNSS));
- Относительный метод (Relative Positioning).



Рис. 1

Выполнение спутниковых определений в арктической зоне имеет ряд особенностей, связанных с не только со слабой инфраструктурой, а также с

- неудовлетворительным геометрическим фактором GDOP,
- ионосферные возмущения в полярных областях.

Это приводит к снижению точности или ограничивает применения методов спутниковых определений координат.

На значение геометрического фактора GDOP в арктической зоне влияет такая особенность расположения орбитальных группировок ГНСС, как наклон орбиты. На рисунке 2 отображены плоскости орбит навигационных спутников и геостационарных спутников связи. Система ГЛОНАСС имеет самый большой наклон орбиты 64,8°, что дает преимущество в геометрии спутников ГЛОНАСС в приполярной области.

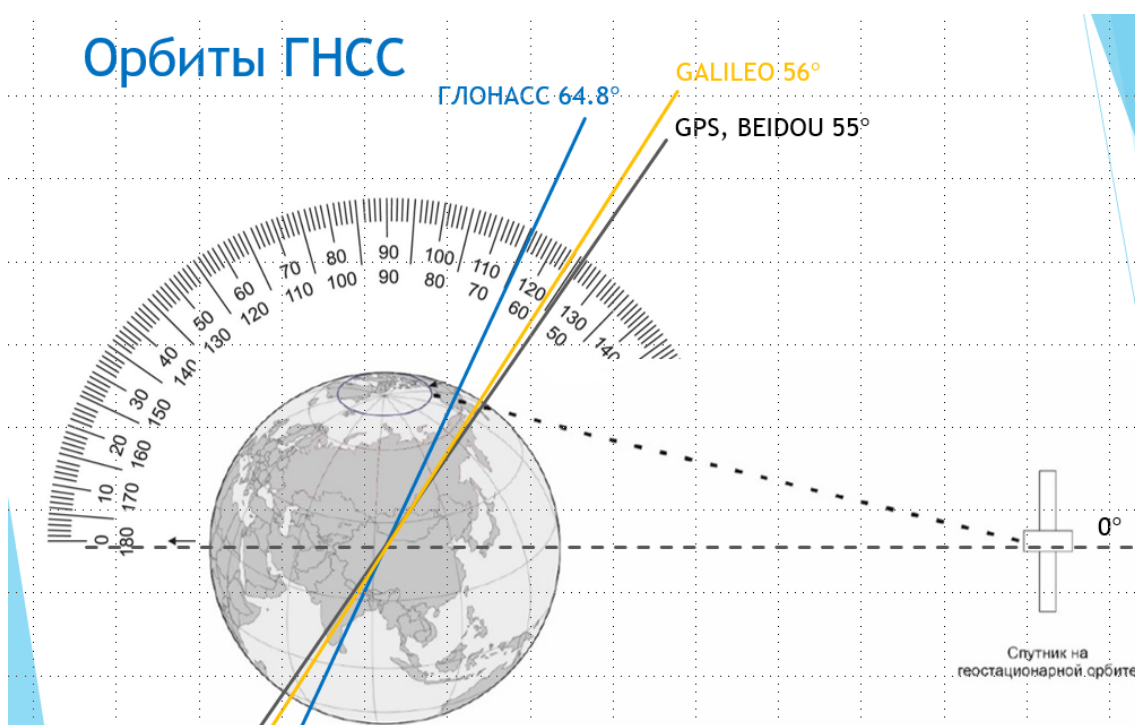


Рис. 2

На рисунке 3 отображены графики суточного движения спутников ГНСС и значения геометрических факторов на Северном полюсе. Видно, на сколько условия спутниковых определений на полюсе отличаются от условий в средних широтах. Спутники ГЛОНАСС на Северном полюсе в течение суток не восходят выше 58 градусов над горизонтом. GPS спутники в течение суток не восходят выше 47 градусов. Galileo и Beidou имеет временные интервалы с неудовлетворительной спутниковой геометрией. Однако если взять совокупность всех ГНСС, то можно обнаружить, что значения геометрических факторов редко выходит за значение 1.

Заряженные потоки частиц, излучаемых Солнцем, создают повышенную концентрацию электронов, что влияет на условия распространения радиоволн. При этом в приполярных областях ионосферы возникают образования плазмы и нейтральных частиц размером до нескольких километров, которые меняют свое положение в зависимости от времени суток и уровня геомагнитной возмущенности. В областях повышенной электронной концентрации (полярных капсах) происходит поглощение радиоволн, что приводит к снижению точности спутниковых определений до десятков метров. А иногда сигналы ГНСС полностью недоступны.

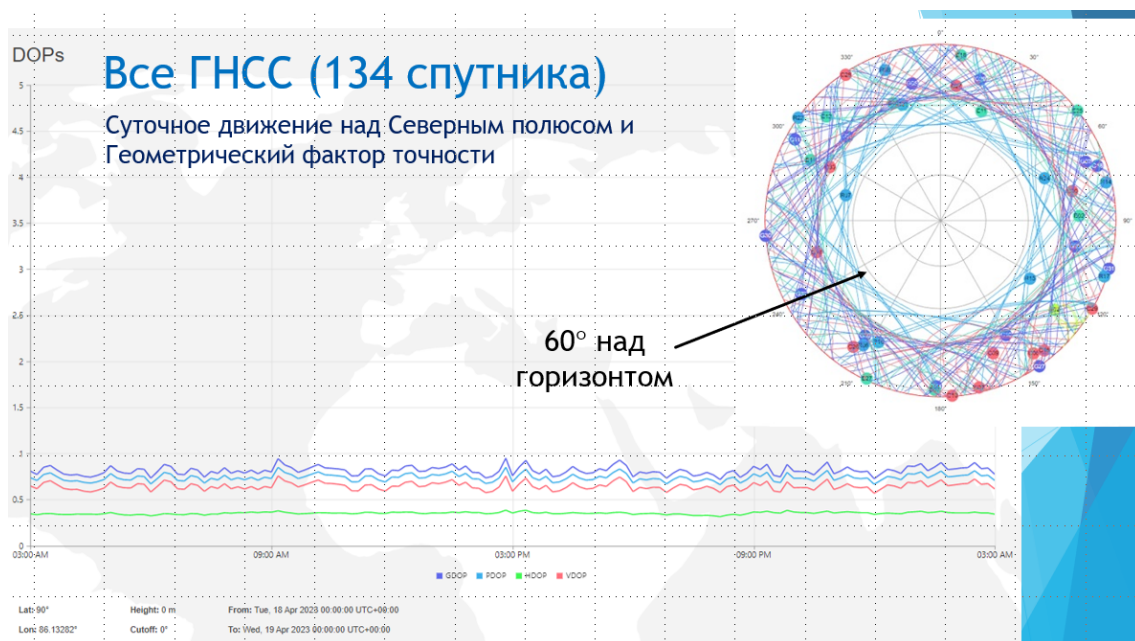


Рис. 3

Абсолютные спутниковые определения

Специалисты Центра технических исследований Финляндии и Университета Тампере проанализировали применение различных технологий позиционирования в Арктике, включая применение ГНСС и абсолютного метода координатных определений. Проведя ряд тестов, они установили, что в оптимальных условиях СКП определения местоположения в Арктике при использовании любой из ГНСС составляет около 3 м.

Преимущества абсолютного метода в автономности определения местоположения, но точность не обеспечивает требования геодезии и высокоточной навигации. Подводя итоги исследований, они утверждают, что:

- «Ведущей системой позиционирования в Арктическом регионе остается ГНСС»
- «Более высокую точность позиционирования можно достигнуть за счет одновременного использования нескольких систем позиционирования»

Относительные методы спутниковых определений и дифференциальные геодезические станции

Относительные методы спутниковых определений являются основным методом, применяемым в геодезии и точной навигации, поскольку с его помощью достигается сантиметровая точность определений координат. При этом повсеместно используются сети частных и государственных постоянно действующих дифференциальных геодезических станций (ДГС). Однако подобных ДГС в арктической зоне крайне недостаточно. Всего на территории Российской Федерации находится более 3 тыс. дифференциальных геодезических станций (ДГС). Но в арктической зоне их лишь единицы.

На территории суши арктической зоны размещены 6 контрольно-корректирующих дифференциальных станций, используемых для передачи дифференциальных поправок по радиоканалу. Однако они не обеспечивают покрытие всей арктической зоны. Тем более, как известно, при реализации дифференциального режима спутниковых определений, имеет место пространственная деградация корректирующих поправок. Необходимо отметить, что условия для создания и поддержания современной инфраструктуры в Арктике очень тяжелые.

Использование широко-зонных функциональных дополнений ГНСС

Во всем мире для координатных определений на море, в воздушном пространстве и в удаленных территориях суши также используются такие функциональные дополнения ГНСС, как широкозонные системы дифференциальной коррекции (Satellite Based Augmentation System (SBAS)). При этом применяются дифференциальные поправки к кодовым измерениям псевдодальностей, транслируемые с геостационарных спутников. Зоны действия широкозонных систем включая российскую Систему дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ) ограничены. Однако использование SBAS на большей части территории арктической зоны невозможно. Дело в том, что сигналы геостационарных спутников связи, расположенных в плоскости земного экватора, выше 72-ой параллели недоступны (рисунок 4).

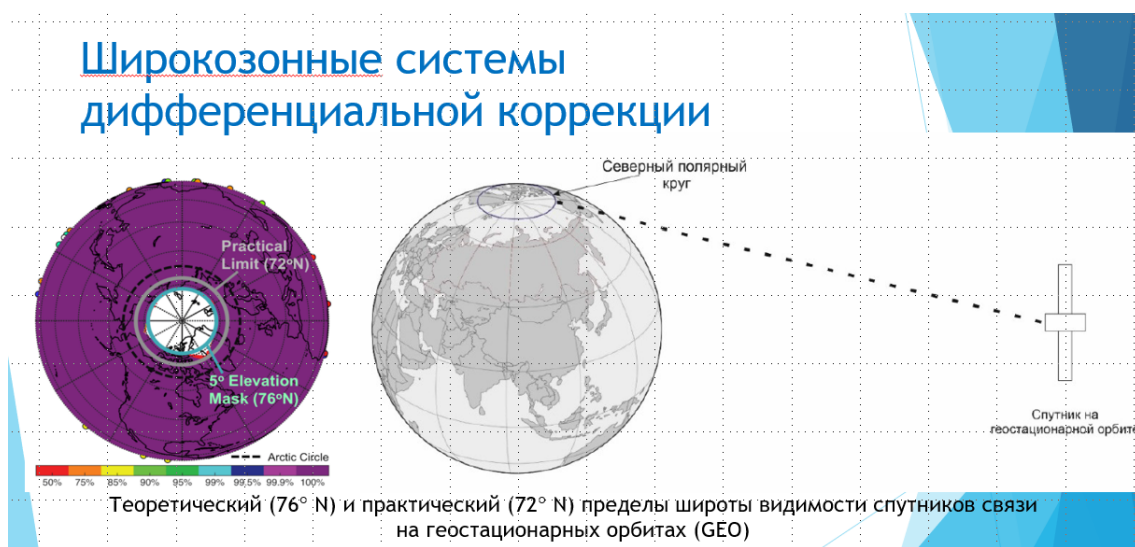


Рис. 4

Высокоточный метод абсолютных спутниковых определений (PPP)

Для вычисления координат с помощью высокоточного метода абсолютных спутниковых определений, именуемого Precise Point Positioning, необходимы данные, содержащие высокоточную эфемеридно-временную информацию (ЭВИ) и текущие

параметры атмосферы (главным образом ионосферы), получаемые по измерениям глобальной сети ГНСС станций. При реализации метода также учитываются ряд факторов, влияющих на точность определений. При этом метод PPP реализуем различными методиками в режиме постобработки или в реальном времени. Метод широко используется там, где нет локальной инфраструктуры, т.е. ближайших дифференциальных станций. Этим преимуществом он схож с методом абсолютных спутниковых определений.

Предоставлением данных для реализации метода PPP занимается множество международных организаций и зарубежных компаний (провайдеров данных PPP). Получить данные можно было через геостационарные спутники или по сети Интернет. Однако в настоящее время их данные недоступны из-за санкционных ограничений.

Результаты исследований возможностей метода PPP в Арктике

Подводя итог и рассматривая проблемы и возможности применения упомянутых методов спутниковых определений координат в арктической зоне и выбирая наиболее оптимальный подход к решению задач координатных определений в геодезии, Принимая во внимание отсутствующую сегодня технологическую и геодезическую инфраструктуру в удаленных районах Арктики, стоит обратить внимание на возможности высокоточного метода абсолютных спутниковых определений (Precise Point Positioning).

Зарубежные ученые и специалисты уже относительно давно занимаются исследованиями применения ГНСС и высокоточного абсолютного метода спутниковых определений в Арктике.

Специалисты из компании Fugro еще в 2014 году утверждали, что:

«Precise Point Positioning (PPP) в настоящее время является стандартом для точного позиционирования в открытом море...»

Результаты исследований ученых Стамбульского технического университета показывают, что «метод PPP в режиме реального времени, с точностью, которую он обеспечивает в антарктическом регионе, стал сильной альтернативой дифференциальным методам позиционирования».

Ученые из Китайского Антарктического центра геодезии и картографии Юханьского Университета, также провели исследования в Арктическом регионе и сообщают, что:

«Комбинация нескольких созвездий спутников ГНСС по сравнению с одним созвездием повышает точность позиционирования, а поскольку число доступных спутников в комбинациях с несколькими созвездиями значительно увеличивается, время конвергенции ускоряется».

Ученые китайской Школы морских наук и технологий Тайнджинского университета, проведя исследования, сообщают, что:

«При использовании методики multi-GNSS в навигации вдоль Северного Морского пути, было показано, что среднеквадратичные значения двухчастотного PPP решения в режиме реального времени в плане и по высоте составляют первые сантиметры».

Возможные пути решения проблемы высокоточных координатных определений в арктической зоне

Для решения проблем высокоточных координатных определений в арктической зоне в целом необходимо воплотить ряд проектов:

— Запуск дополнительных группировок навигационных спутников на полярных орбитах.

— Создание современных отечественных спутниковых каналов связи и широкополосного доступа в Интернет типа Iridium, Starlink (в рамках проекта Роскосмоса «СФЕРА»).

— Развитие геодезической инфраструктуры, включая постоянно действующие пункты ФАГС и ДГС.

Для успешной реализации метода PPP в Арктической зоне необходимо:

— Развитие отечественных гражданских доступных систем обеспечения данными эфемеридно временной информацией (российского сервиса PPP).

— Создание системы онлайн-мониторинга текущих параметров ионосферы (VTEC) на основе сети ДГС в Арктике.

— Исследование возможностей высокоточного метода абсолютных спутниковых определений в арктической зоне (для определения точностных характеристик, времени конвергенции, надежности, необходимых условий, требований к данным).

— Разработка методик и национальных стандартов применения высокоточного метода абсолютных спутниковых определений в арктической зоне.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Еремин Н. А., Дмитриевский А. Н., Столяров В. Е.

ИПНГ РАН, г. Москва, director@ipng.ru

В рамках реализации Указа Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» институтами РАН была подготовлена комплексная научно-техническая программа полного цикла (далее КНТП) «Цифровая и геотехнологическая модернизация крупнейшего в мире Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи».

Целью научной темы, выполняемой по КНТП, является: «активизация фундаментальных, поисковых и прикладных исследований, обеспечивающих создание новой инновационной экономики России» (письмо Президента РАН с положительной резолюцией Президента Российской Федерации В.В. Путина).

На заседании Совета при Президенте РФ по науке и образованию было отмечено, что механизм КНТП «позволил объединить возможности вузов, научных организаций, частного бизнеса и компаний с государственным участием, чтобы мы могли не только создавать, но и быстро внедрять новые технологии» в соответствии со Стратегией научно-технологического развития России.

КНТП «Цифровая и технологическая модернизация крупнейшего в мире Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи в условиях декарбонизации» (Координатором программы является научный руководитель ИПНГ РАН, академик РАН А.Н. Дмитриевский). Программа включает в себя все этапы инновационного цикла: от получения знаний до мирового рынка нефти и газа, и являются инструментом для успешного технологического развития НГК России.

В настоящее время институты РАН обладают необходимыми компетенциями, квалифицированными исследователями и опытом в области цифровой трансформации

нефтегазового комплекса. Выполняются работы по формированию фундаментального базиса энергоэффективных, ресурсосберегающих и экологически безопасных, инновационных и цифровых технологий поиска, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений, исследования, добычи и освоения традиционных и нетрадиционных запасов и ресурсов нефти и газа; разработке рекомендаций по реализации продукции нефтегазового комплекса в условиях энергоперехода и политики ЕС по декарбонизации энергетики (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования).

Особое внимание уделяется научным исследованиям, обеспечивающих независимое высокотехнологическое развитие нефтегазовой отрасли на основе создания инновационных технологий поиска, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений, в том числе в сложных горно-геологических и природно-климатических условиях. Важнейшей задачей является создание инновационных технологий, обеспечивающих эффективную добычу трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) и освоению нетрадиционных ресурсов нефти и газа; научное обоснование инновационных технологий эксплуатации месторождений УВ и ограничение песко-проявления и водо-притока.

Задачи по цифровизации экономики определяют необходимость создания новых технологий по управлению процессами добычи и транспорта в режиме реального времени (РРВ) и разработке цифровых технологий объектов.

На постоянной основе необходим анализ внешних и внутренних условия реализации инновационного потенциала развития нефтегазового комплекса России. Программой предусмотрена разработка механизмов трансфера результатов фундаментальных исследований с целью создания новых научно-технических и технологических решений, обеспечивающих инновационное развитие и цифровую модернизацию нефтегазового комплекса страны.

В КНТП представлены основы цифровой модернизации нефтегазового комплекса (НГК) при реализации мероприятий, предложенных 63 академическими институтами Российской академии наук в рамках комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла для нефтегазовой отрасли. КНТП заложила основы для обеспечения цифрового лидерства российских добывающих компаний на мировом рынке. Новизна ожидаемых результатов, услуг и технологий заключается в том, что впервые была предложена отечественная программа, основанная на осуществленных ранее в рамках государственных планов развития разработках институтов РАН [1].

Программа «Цифровая и технологическая модернизация крупнейшего в мире Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи в условиях декарбонизации» Российской академии наук представляет собой совокупность скоординированных по срокам и задачам взаимосвязанных научных, научно-технических, цифровых решений и инновационных технологий, обеспечивающих достижение поставленной цели — цифровой и технологической модернизации Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи. Выполнение КНТП позволяет сформировать основы цифрового и технологического лидерства нефтегазовой отрасли, создать фонд высокодебитных «цифровых» скважин, обеспечить ежегодный прирост запасов углеводородов и синхронизировать развитие ресурсной базы с развитием нефтеперерабатывающего и химического комплекса России.

Богатейшая минерально-сырьевая база нефтегазового комплекса России, существующая инфраструктура, наличие квалифицированных кадров и значительный инновационный потенциал обеспечивает ведущую роль в реализации стратегии цифрового преобразования национальной экономики.

Тесная координация работы нефтегазодобывающих компаний с институтами Российской академии наук (РАН) в области цифровой модернизации дает возможность найти эффективные решения в текущих условиях развития и построения цифровой нефтегазовой экономики. Реализация проектов комплексных научно-технических программ (КНТП) полного инновационного цикла, предложенных отечественной наукой, приведет к промышленному росту, развитию научной базы и увеличению конкурентоспособности различных отраслей промышленности России.

Итоговая цель КНТП состоит в достижении цифрового и технологического лидерства национальных нефтегазодобывающих компаний за счет цифровой модернизации, что позволит обеспечить:

- нефтегазовую безопасность страны;
- улучшение экологической обстановки;
- конкурентоспособность нефтегазовых технологий;
- новые рабочие места с цифровыми компетенциями;
- безаварийную эксплуатацию месторождений и транспортной системы.

В работе представлена цифровая экосистема, которая предполагает для сохранения объемов добычи, а также исполнения контрактов для внутренних и внешних потребителей по поставкам, следующие технологии:

- Мультисенсорные системы оперативного геолого-технологического мониторинга месторождений (Этапы внедрения приведены на рис. 1.);
- Системы искусственного интеллекта перспективного планирования разработки месторождений;
- Система интегрированного управления разработкой месторождений добывающих предприятий (на примере месторождений Западной Сибири);
- Технологии цифрового моделирования продуктивных пластов, скважин, газосборных сетей, объектов подготовки и транспортировки газа;
- Создание «цифровых двойников» подземной инфраструктуры (продуктивных пластов, скважин);
- Создание «цифровых двойников» наземной инфраструктуры (газосборных сетей, объектов подготовки и транспортировки газа, газохимии).

Определены показатели реализации отдельных проектов и ответственные организации; предусмотрено до 2030 г. реализовать проект «Роботизация в нефтегазовом комплексе». Можно также представить результаты реализации КНТП для нефтегазового комплекса (НГК) в виде снижения капитальных затрат; снижения простоев оборудования, роста производительности на объектах добычи и др. факторов, учитываемых при расчете эффективности добычи; создание цифровой нефтегазовой экосистемы [2].

Выполнение комплексных программ аналогичных КНТП полного инновационного цикла позволяет:

1. Сформировать основы цифрового и геотехнологического развития национальной нефтегазовой отрасли;
2. Создать фонд высокодебитных эксплуатационных скважин для обеспечения стабильности на мировых рынках углеводородов за счет собственных технологий;
3. Обеспечить ежегодный прирост запасов углеводородов до 10% на базе вновь созданной терамодели региона, и увязать развитие ресурсной базы УВ с развитием нефтеперерабатывающего и химического комплекса;

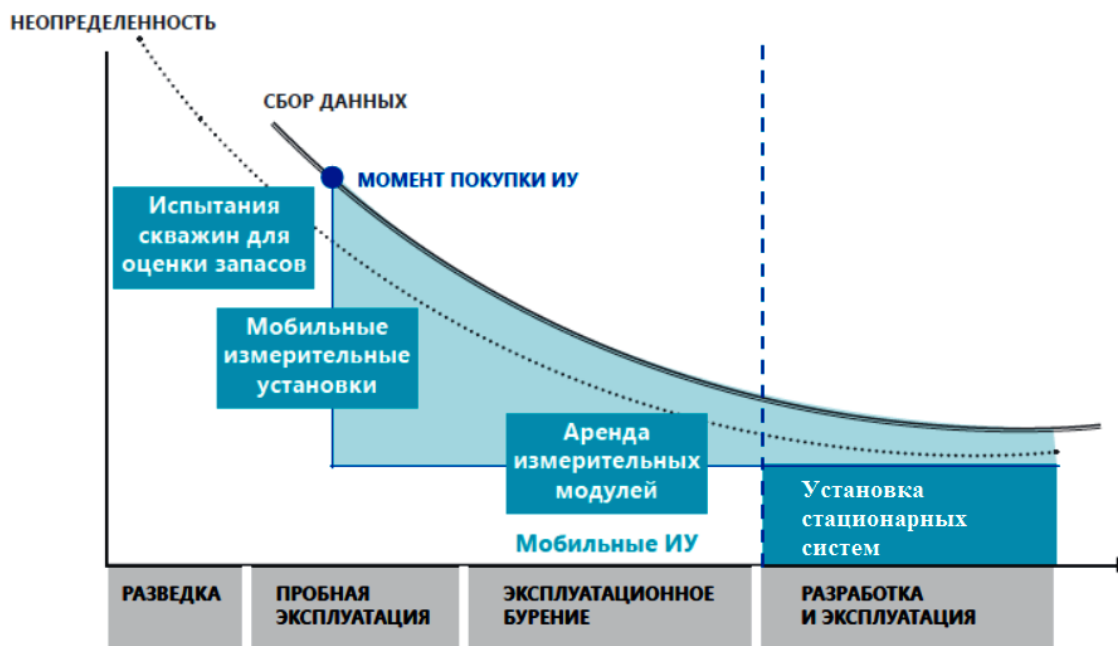


Рис. 1. Этапы внедрение волоконных систем сбора и передачи ГеоДанных

4. Обеспечить цифровую и геотехнологическую модернизацию центров нефтегазовой добычи в регионе;

5. Ускорить переподготовку кадров по цифровым специальностям и компетенциям на базе цифрового университета и национальных центров развития.

Заключение

Предлагаемый комплексный проект (разведка-добыча-подготовка-транспорт-переработка) является оригинальной научной разработкой, которая не имеет прямых аналогов за рубежом и обладает рядом уникальных конкурентных преимуществ.

Все технологические компоненты основываются на фундаментальных национальных разработках и обладают наукоемкостью и инновационным потенциалом развития.

Литература

1. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Сафарова Е.А., Столяров В.Е. Внедрение комплексных научно-технических программ на поздних стадиях эксплуатации нефтегазовых месторождениях // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР Socar Proceedings № 2 (2022). — 001-008. — Спец. выпуск. — С.1-9. — DOI 10.5510/OGP2022SI200728;

2. Еремин Н. А., Столяров В. Е., Сафарова Е. А., Филиппова Д. А. Нормативно-правовое обеспечение при внедрении инновационных разработок в нефтегазовой отрасли // Нефтепромышленное дело». — Техника и технология добычи нефти. — № 4 (628) 2021. — С. 55-62. — DOI: 10.33285/0207-2351-2021-4(628)-55-62.

ПРИМЕНЕНИЕ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Жидяев С. С.

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), г. Москва
zhidyayev09@gmail.com

1. Введение

На сегодняшний день, во многих отраслях, набирающей обороты, применяется технология лазерного сканирования для производства геодезических работ. Популярность и запрос связаны с широким спектром возможностей, выделяющим ряд преимуществ в измерении и получении данных, выводя ее на передовые позиции. Однако производство геодезических работ должно регламентироваться на основании нормативных документов, определяющих порядок работ, методику измерений, процесс обработки и точность полученных результатов, а также разделение видов работ по классу точности, позволяющих определять необходимые технические характеристики приборов и методики наблюдений для обеспечения точности работ, что нельзя однозначно сказать о применении наземного лазерного сканирования. В силу новизны данного метода геодезические работы, осуществляемые в геодезическом мониторинге с применением наземного лазерного сканера на сегодняшний день, не регламентируются. Перспективность интеграции метода заключена в получении объемной информации о деформационных смещениях наблюдаемых объектов, в десятки раз больше, чем традиционными методами, а также в выполнении детального анализа.

В изучении технологии наземного лазерного сканирования уделяется внимание вопросу определения предела возможности минимальных смещений наземного лазерного сканера, поскольку технические возможности прибора еще не полностью исследованы.

2. Материалы и методы

Изучение возможности определения предела минимальных смещений рассмотрено на основе наземного лазерного сканера Trimble TX6. Процесс заключается в проведении эксперимента, основной задачей которого было выполнение ряда измерений с последующим анализом.

В лабораторных условиях на расстоянии 10 метров друг от друга установлены два штатива, на одном из которых расположен наземный лазерный сканер. На втором штативе установлена подвижная платформа с закрепленной на ней визирной целью, маркой. Схема расположения объектов представлена на рисунке 1. Подвижная платформа представляет собой металлическую конструкцию, с помощью которой возможно перемещать визирную цель в продольном и поперечном направлениях, моделируя деформационные движения, с эталонной фиксацией минимальных расстояний с точностью до 0,01 мм.

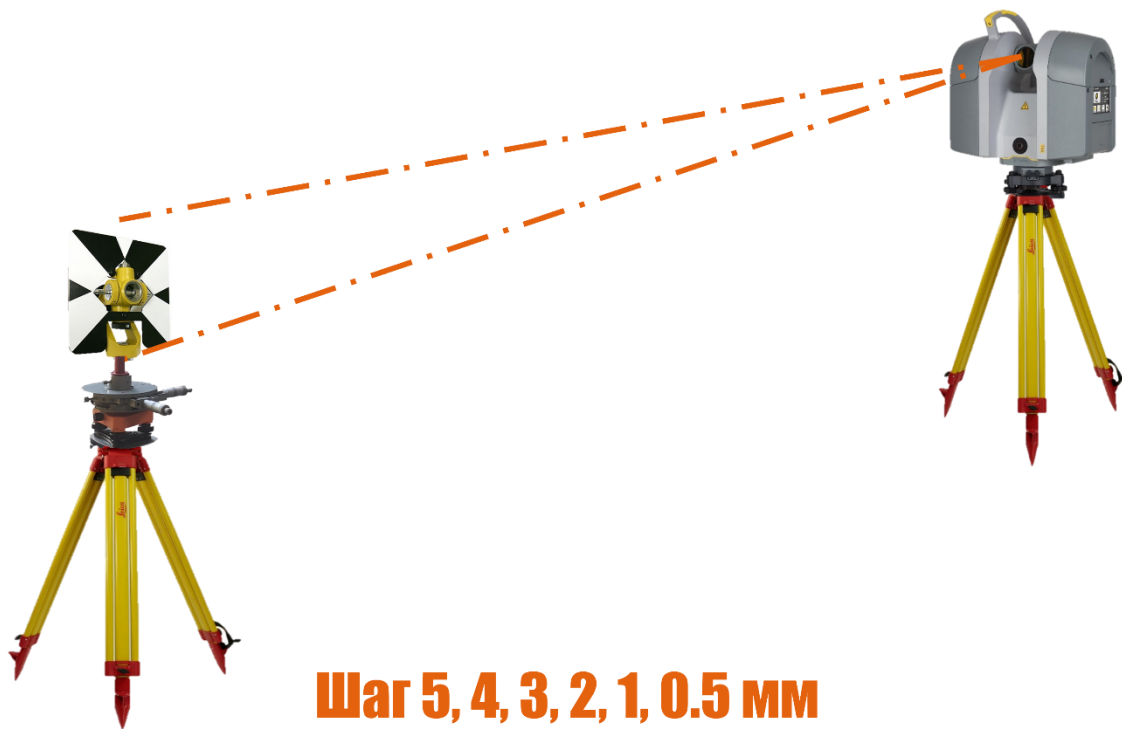


Рис. 1. Схема расположения объектов участвующих в эксперименте

По приведению инструментов в рабочее положение было произведено сканирование ряда циклов наблюдаемой цели. Моделирование циклов осуществлялось продольным смещением с заданным шагом 5, 4, 3, 2, 1, 0.5 мм.

Для наблюдения циклов были заданы следующие параметры сканирования: режим сканирования — Level 2, режим получение цвета - Standart. Эти параметры позволяют получить цветное облако точек лазерного отражения с интервалом 11 мм между двумя последовательными точками.

Завершив процесс сканирования, проведена камеральная обработка результатов измерений. На первом этапе, воспользовавшись программным обеспечением Trimble Business Center проведено взаимное ориентирование облаков точек лазерного отражения каждого цикла относительно внешних закрепленных марок, рисунок 2 и ограничение области облака точек лазерного отражения, интересующей для дальнейшего анализа. Затем произведен экспорт облаков точек лазерного отражения в формате *.las1.2. Используя полученные данные, второй этап предусматривал анализ наблюдений. Отклонения и точность определения смещений наблюдаемых циклов проведено в программном обеспечении CloudCompare.

3. Результаты

По результатам камеральных работ проведен анализ облаков точек лазерного отражения. Анализ определения смещений проводился по двум деформационным моделям. В первом случае модель деформаций представляет собой продольные смещения. Сравнение отклонений облаков точек лазерного отражения проводилось относительно начального цикла и между собой, определяя величину отклонения и сравнивая их с эталонным значением. Получение значений смещений между циклами возможно выборочно для конкретно выбранной точки лазерного отражения, а также для всего облака точек лазерного отражения в целом.

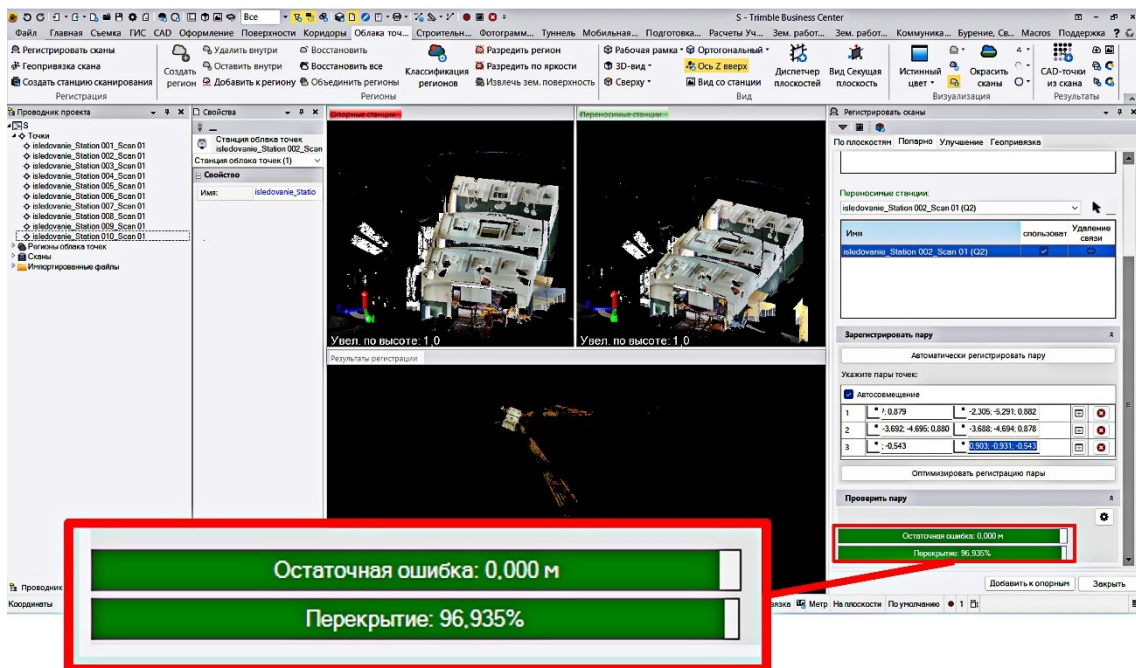


Рис. 2. Процесс первого этапа камеральной обработки

Определить значение смещения цикла в общем виде помогает кривая нормального распределения Гаусса, максимальное значение кривой служит величиной смещения всего облака точек лазерного отражения. На представленных графиках, рисунок 3, можно увидеть, насколько результаты измерений близки к эталонным смещениям. Особенно это заметно при смещении с шагом в 0,5, 1, 2 мм. Для циклов со смещением в 3, 4, 5 мм данные результаты придерживаются единой тенденции, но с более значимым отклонением от эталонного смещения. Стоит предположить о возможных технических неисправностях платформы в ходе эксперимента, что требует повторных измерений для выявления причины больших отклонений.

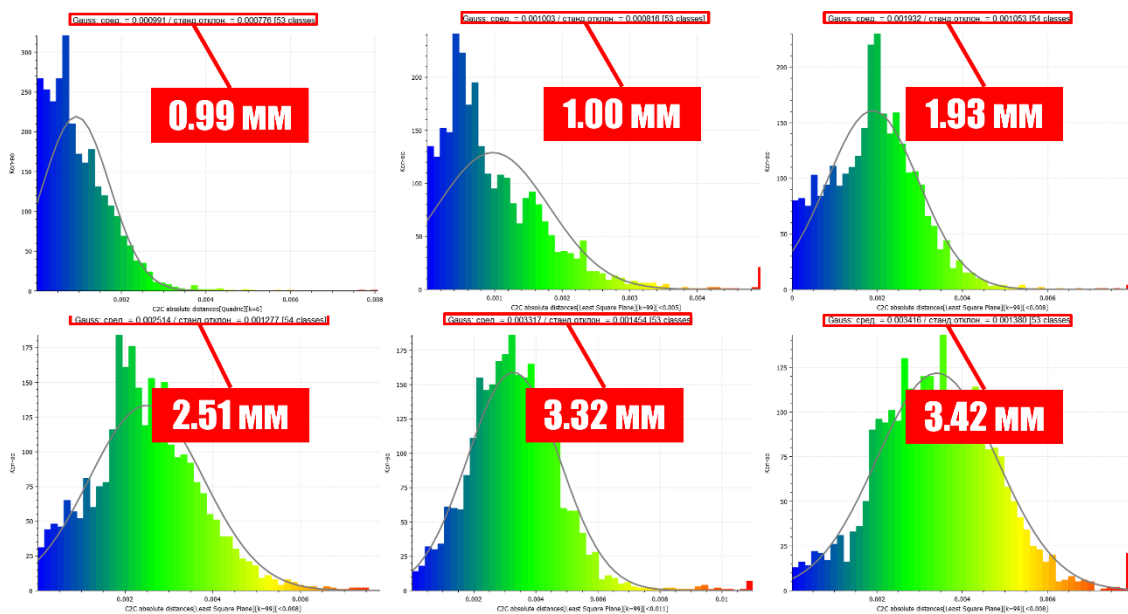


Рис. 3. Результаты анализа смещений

Второй случай предполагает рассмотрения мультимедийного облака, рисунок 4. Данная модель искусственно сформирована из частей облаков точек лазерного отражения наблюдаемых циклов, образуя единое мультимедийное облако, в котором каждая часть имеет свое значение деформации.

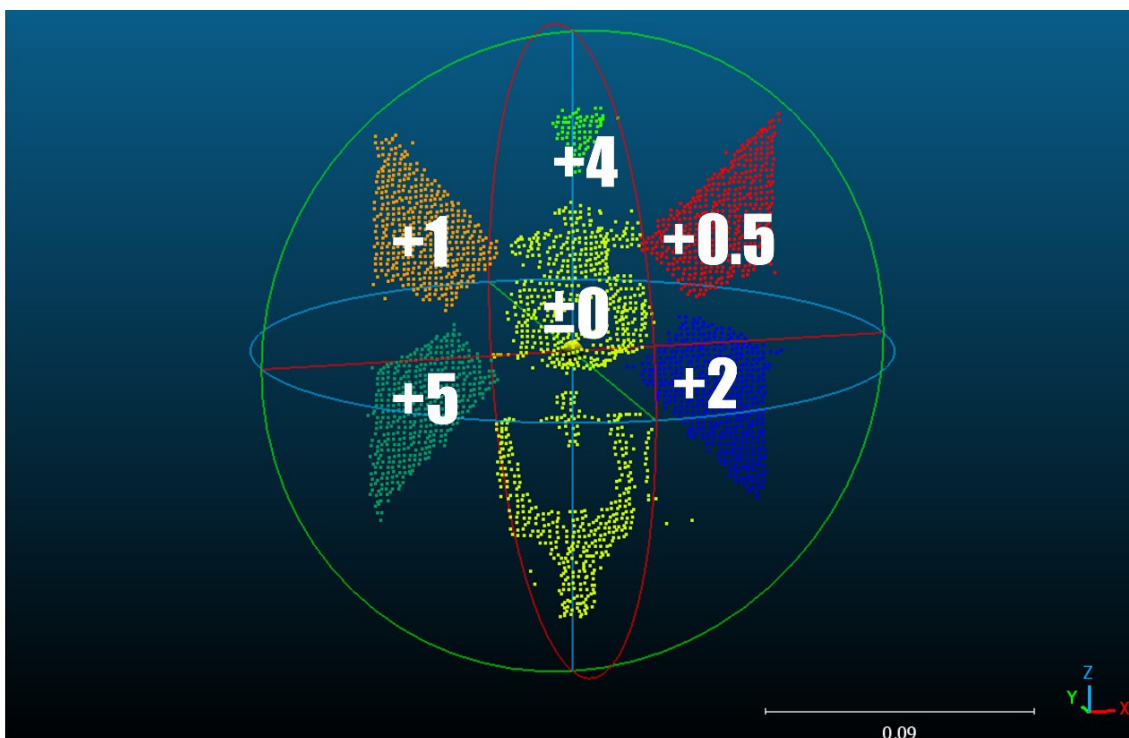


Рис. 4. Мультимедийное облако

Данный вариант направлен для рассмотрения ситуации, в которой область наблюдения имеет неравномерные деформации и возможность выявления их используя программное обеспечение. На основании полученного облака проведен анализ отклонения от облака начального цикла. Опираясь на визуальный вид результатов сравнения, рисунок 5, наглядно заметно, что каждая часть мультимедийного облака легко различима. Проанализировав каждый отдельный фрагмент результаты смещений представлены на рисунке 6.

Полученные результаты подтверждают возможность получения детальной информации о деформации наблюдаемого объекта в ходе геодезического мониторинга с применением наземного лазерного сканера.

4. Выводы

Проведенный эксперимент, в ходе которого было выполнено наблюдение смоделированных деформационных циклов, представил первоначальный взгляд на применение технологии наземного лазерного сканирования в области высокоточного геодезического мониторинга. Результаты данного исследования дают представление о возможностях модели наземного лазерного сканера Trimble TX6, но для полной оценки и определения ее точности и потенциала требуется проведение дополнительных и более обширных экспериментов.

Поскольку эксперимент был проведен только на одном уровне сканирования на маленькой цели и небольшом расстоянии, следующей целью является исследование возможностей сканирования с высокой детализацией на больших объектах с имитацией различных деформаций на больших расстояниях.

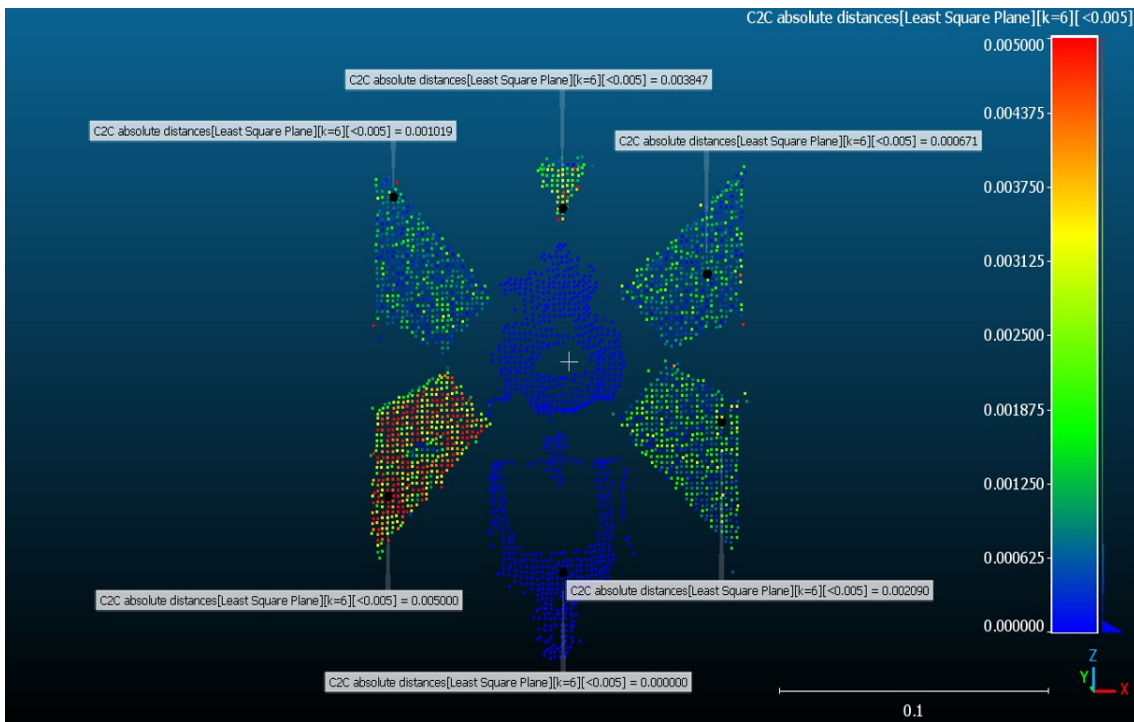


Рис. 5. Визуальное представление анализа смещений мультимедийного облака

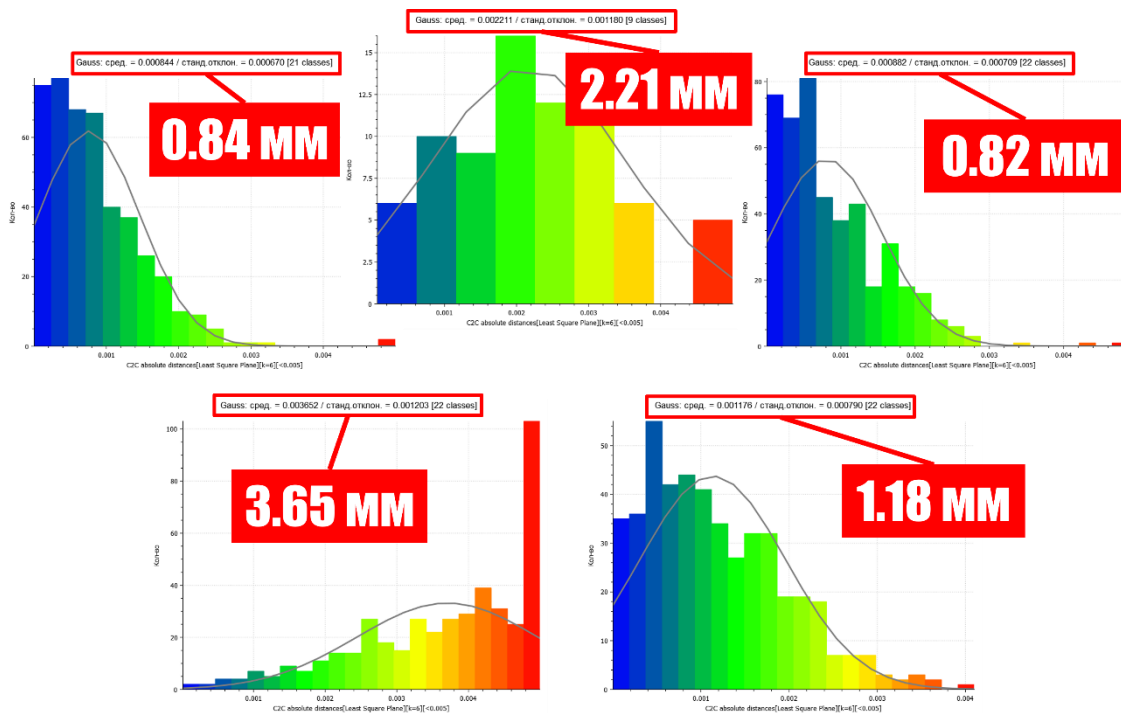


Рис. 6. Результаты анализа смещений мультимедийного облака

Дальнейшее развитие и исследование технологии лазерного сканирования позволит расширить ее применение в геодезических работах, учитывая ее значительный потенциал для повышения точности измерений и анализа деформаций объектов.

Библиография

1. Руководство пользователя трехмерного лазерного сканера Trimble TX6/TX8

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА УРАЛЬСКОГО БЕРЕГА БАЙДАРАЦКОЙ ГУБЫ

¹Исаев В. С., ²Котов П. И., ³Киока А.

¹ГАУ ЯНАО «Научный Центр Изучения Арктики», г. Салехард, Россия, vsisaev@yanao.ru

²ЗГУ имени Н.М. Федоровского, г. Норильск, Россия

³Университет Кюсю, г. Фукуока, Япония

Аннотация

Прибрежная зона Арктики представляет собой очень динамичную систему, чувствительную к природным и техногенным изменениям. С 2020 года проводятся полевые исследования на ключевом участке уральского берега Байдарацкой губы, которые включают в себя бурение скважин и отбор образцов с последующим их лабораторными исследованиями, измерениями температурного режима мерзлых грунтов, маршрутные обследования, геофизические и геодезические измерения. Все эти данные стали основой для составления карты ландшафтного микрорайонирования и подробной характеристики геокриологических условий каждого района.

Введение

Изменение климата в Арктическом регионе происходит гораздо быстрее, чем где-либо еще [1]. В предыдущие десятилетия арктические моря были покрыты морским льдом примерно от 9 до 10 месяцев в году [2], а в последнее десятилетие наблюдается значительное уменьшение площади морского льда [3]. Происходит увеличение температуры воздуха в глобальном масштабе, а как следствие температуры многолетнемерзлых грунтов [4]. В мировой теории и практике моделирования и прогнозирования изменения геокриологических условий (в том числе криогенных процессов) проделана огромная работа, но для дальнейшего развития этих методов необходимо иметь непрерывные ряды прямых полевых наблюдений, проведенных по одному принципу и составленных в единой базе данных. В связи с этим важной задачей становится проведение мониторинга на ключевых участках для комплексных исследований, где будут получены данные о рельефе существующих ландшафтах и растительности, составе, строении, свойствах мерзлых грунтов (физических, теплофизических, механических), динамике температуры грунтов и воздуха, слоя сезонного оттаивания, о развитии геокриологических процессов. В данной статье представлены результаты выполненных исследований на ключевом участке береговой зоны Байдарацкой губы.

Описание района исследований

Байдарацкая губа расположена в высоких широтах — выше Полярного круга (рис. 1). Средняя годовая температура за весь период наблюдений изменялась в пределах от -3 до -10°C , однако за последние годы она не опускалась ниже -7°C , а общий тренд свидетельствует о дальнейшем ее повышении.



Рис. 1. Расположение района исследований: а — изображение Западной части Арктического региона России; б — расположение экспериментального участка и ближайших метеостанций

На участке исследования располагается инженерное сооружение, которое представляет собой систему магистральных газопроводов перехода «Бованенково — Ухта», состоящая из нескольких ниток, проложенных по дну Байдарацкой губы. В зоне выхода магистрального газопровода из моря установлено защитное сооружение — коффердам. Коффердам представляет собой металлический каркас из шпунта Ларсена с заглублением профиля до 20 метров. На данном участке расположены 2 коффердама прямоугольной конфигурации на каждую нитку. Длина каждого коффердама более 200 метров, а ширина 65-70 метров.

Методика исследований

Для составления карты ландшафтного районирования были обобщены данные полевых исследований, проведенных с 2020 по 2023 год [5,6], а именно:

- Снегомерная съемка;
- Маршрутные наблюдения;
- Растительный покров на участке;
- Состав и свойства грунтов;
- Температурный режим грунтов в скважинах на территории ключевого участка;
- Глубины сезонного оттаивания;
- Результаты инженерно-геофизических исследований методом электротомографии.

Результаты

Ключевой участок расположен в сложных инженерно-геокриологических условиях. Территория характеризуется среднегодовыми температурами грунтов от -2 до -7°C и наличием в разрезе охлажденных засоленных грунтов. На основе обобщения выполненных исследований была составлена карта ландшафтного микрорайонирования (рис. 2)

На основе карты ландшафтного микрорайонирования территории Уральского берегового участка Байдарацкой губы выделяются несколько типов местности, характеризующиеся схожими геокриологическими условиями.

1. Водоемы — озера, болота и полосы стока на I морской террасе находятся в пределах озерно-болотных отложений. Этот район распространен только в пределах I морской террасы. Из-за высокой заболоченности поверхности температуры пород несколько выше, чем на соседних участках (-3 – -6°C). В полосах стока, вследствие высокого снегонакопления, она может повышаться до -2°C . Основными факторами, усложняющими инженерно-

геокриологические условия, являются обводненность территории и сильнольдистые отложения верхних горизонтов отложений.

2. Участок лавды представлен супесями или суглинками до глубины 2,5 м, подстилаемый песками до глубин 10 метров. Мерзлые грунты слабольдистые, криотекстура массивная. По имеющимся данным на этой территории широко развиты сильнозасоленные охлажденные грунты, залегающие под козырьком мерзлых пород мощностью 2,5-4 м.

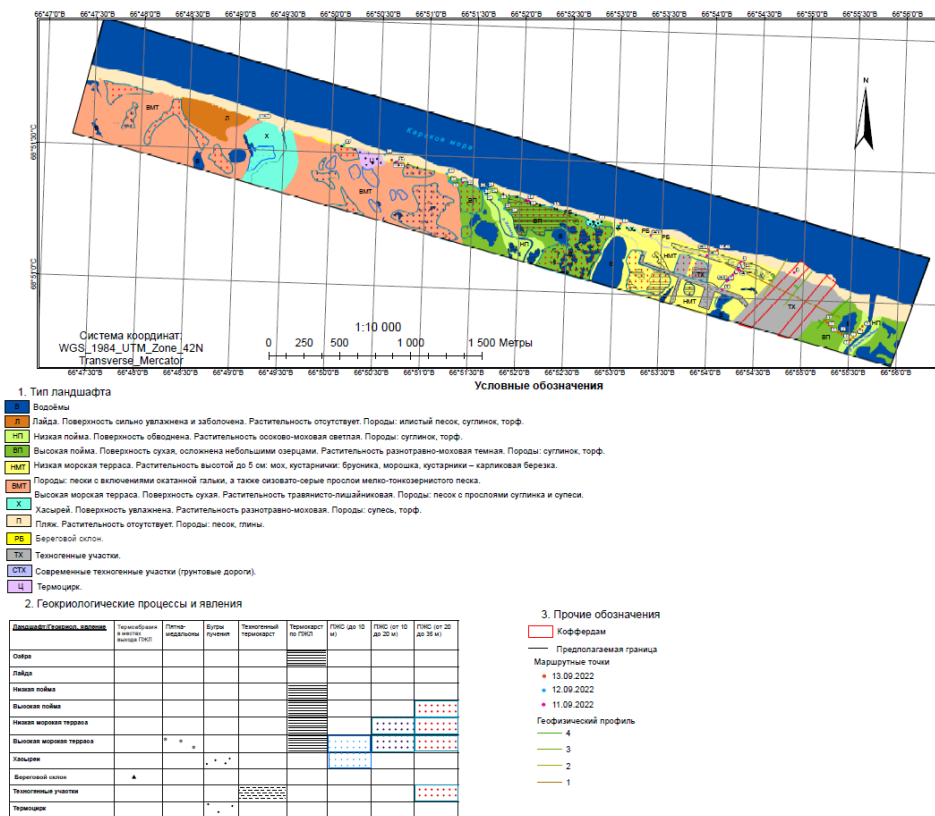


Рис. 2. Карта ландшафтного районирования территории ключевого участка

3. Пляж представляют слабонаклонную поверхность, лишенную растительности. Участок с суточным и постоянным режимом обводнения. Из экзогенных процессов развиты дефляция, волноприбойные процессы, криогенные процессы не развиты. Среднегодовые температуры составляют $-2 \div -4^{\circ}\text{C}$. Сезонное оттаивание более 1,5 м. Отложения представлены в основном песками, при движении в сторону суши появляются суглинистые отложения в верхней части разреза. С глубины 1-3 м грунты средне- и сильнозасоленные. Встречаются линзы погребенных льдов на глубине 10 м.

4. Термоабразионный склон, сложенный в основном песками. Диапазон среднегодовых температур велик — от -4 до -7°C . Это обусловлено в первую очередь условиями снегонакопления. В оврагах с большой мощностью снега температура грунтов выше, чем в остальных частях склона. Крутой берег Байдарацкой губы сложен сильнольдистыми грунтами при наличии повторно-жильных льдов, что обуславливает активность термоэрозионных и термоабразионных процессов, приводящих к разрушению и отступанию берега.

5. Горизонтальные или слабонаклонные поверхности морских террас представлены преимущественно переслаиванием песка, суглинка, супеси, подстилаемых с глубины 5-6 м песками, а при выходе на основную поверхность террасы — песками с прослоями суглинков и линзами гравийно-галечных грунтов. Грунты до глубины 2-5 м сильнольдистые и льдистые,

ниже слабьдистые, с 3-10 м — слабо-, реже средnezасоленные. Температуры грунтов составляют $-3\div-6^{\circ}\text{C}$ и зависят в основном от дренированности поверхности. При этом террасы различаются по абсолютным отметкам, что влияет на характер развития процессов термоабразии.

6. В этот район можно объединить плоско-выпуклые полигональные торфяники и плоско-полигональные торфяники с широкими мочажинами. Поверхность сложена торфом мощностью 0,5-2 м, который подстилается переслаиванием суглинка, супеси, песка, глин, с глубины 5-11 м — песка. Грунты до глубины 3-10 м сильнольдистые и льдистые. По результатам бурения выделяются пластовые льды мощностью до 2 метров. Температуры грунтов составляют $-4\div-7^{\circ}\text{C}$. Глубина сезонного оттаивания составляет 0,4-0,6 м. Процессы: повторно-жильные льды, морозобойное растрескивание, термокарст.

7. На высокой и низкой пойме разрез в верхней части (первые 1,0-1,5 м) представлен суглинистыми породами с высокой льдистостью; ниже по разрезу залегают супесчаные отложения с прослоями песка и гравия, их льдистость уменьшается вниз по разрезу. Были выявлены подземные льды мощностью до 0,5 метров.

8. Участки техногенного воздействия — система магистральных газопроводов перехода «Бованенково — Ухта», состоящая из нескольких ниток, проложенных по дну Байдарацкой губы, а также дороги для обслуживания трубопровода.

На основе проведенных работ выделены районы со схожими геокриологическими условиями, что может стать основой для дальнейшего моделирования их изменения на данной территории.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ЯОПН в рамках научного проекта № 21-55-50012

Список литературы

1. Landrum, L.; Holland, M.M. Extremes become routine in an emerging new Arctic. *Nat. Clim. Chang.* 2020, 10, 1108-1115.
2. Природные условия Байдарацкой губы: / Под ред. Баулин В.В., Дубиков Г.И., Комаров И.А., Корейша М.М., Пармузин С.Ю., и др. — М.: ГЕОС. — 1997. — 432 с.
3. Ogorodov, S.; Badina, S.; Bogatova, D. Sea Coast of the Western Part of the Russian Arctic under Climate Change: Dynamics, Technogenic Influence and Potential Economic Damage. *Climate* 2023, 11, 143. <https://doi.org/10.3390/cli11070143>
4. Biskaborn, B.K.; Smith, S.L.; Noetzli, J.; Matthes, H.; Vieira, G.; Streletskiy, D.A.; Schoeneich, P.; Romanovsky, V.E.; Lewkowicz, A.G.; Abramov, A.; et al. Permafrost is warming at a global scale. *Nat. Commun.* 2019, 10, 264
5. Isaev, V., Kioka, A., Kotov, P., Sergeev, D.O., Uvarova, A., Koshurnikov, A., Komarov, O. Multi-Parameter Protocol for Geocryological Test Site: A Case Study Applied for the European North of Russia. *Energies* 2022, 15, 2076. <https://doi.org/10.3390/en15062076>
6. Исаев В. С., Киока А., Котов П. И. Шевчук Я.О., Уварова А.В. Мониторинг отступления берега инструментальными методами в районе уральского берега Байдарацкой губы // Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике, Салехард, 03-12 ноября 2021 года. — С. 169-172. — DOI 10.7868/9785604610848044.

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА ГИБРИДНОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Кейта Л. М. Ф., Иноземцев С. С.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва
inozemcevss@mgsu.ru

Аннотация

Композит с гибридной структурой (гибридный композит) может быть получен путем формирования взаимопроникающего органоминерального каркаса и минеральной матрицы, заполняющей его пустоты, которые обеспечивают совместную работу в эксплуатационных условиях. Осуществлена декомпозиция качества гибридного композита для дорожного строительства и его структурных составляющих. Предложены критерии качества органоминерального каркаса и минеральной матрицы, а также гибридного композита на их основе могут быть использованы как целевые показатели при проектировании каждой из структурных составляющих и композита в целом. Это позволит сформулировать последовательность разработки материала в виде плана исследования, который заключается в разработке состава каркаса с заданными свойствами, разработке самоуплотняющейся смеси для пропитки каркаса и оптимизации состава гибридного композита с различным соотношением структурных составляющих.

Ключевые слова: гибридный композит, критерии, качество, асфальтобетон, бетон, каркас, матрица

Долговечность дорожного покрытия определяется способностью материалов, используемых для его устройства, сопротивляться воздействию различного рода внешних факторов [1, 2]. Материалы в зависимости от природы компонентов, из которых они производятся, в различной степени способны сопротивляться внешним воздействиям. Например, композиты на минеральном вяжущем хорошо сопротивляются деформациям при воздействии внешних механических нагрузок, но обладают низкой трещиностойкостью [3, 4]. А композиты на основе органических вяжущих способны релаксировать часть напряжений, но являются более чувствительными к перепадам температур [5, 6]. Таким образом, рассмотренные виды материалов представляются композитами с различным набором свойств, обуславливающих их способность функционировать в покрытии в эксплуатационных условиях длительное время. Однако композиты не лишены недостатков, что снижает их эффективность в условиях воздействия разнородных внешних воздействий [7]. Очевидным решением для получения материала, сочетающего в себе положительные качества композитов как на минеральном, так и на органическом вяжущем, является совмещение двух разномодульных составляющих в виде гибридной структуры.

В ряде работ [8, 9] отмечается положительный опыт совмещения компонентов на основе органического и минерального вяжущего вещества. Получение цементасфальтобетона достигается совмещением черного щебня, состоящего из смеси крупного заполнителя с битумной эмульсией, и цементоспесчаного раствора [8]. Полученный композит отличается высокой термостойкостью, при которой предел прочности при сжатии при температуре 0 °С, 20 °С и 50 °С отличаются не значительно — 13,1; 11,1 и 10,4 МПа, соответственно.

В работе [9] показано, что асфальтобетон с пористостью от 25 до 36 % может быть пропитан смесью из цемента и воды в соотношении 0,32...0,45. Большое содержание цемента,

до 985 кг на 1 м³ композита, в составе получаемого материала обеспечивает прочность до 22 МПа.

Так же цемент в сочетании с известняковой мукой и гидрофобизатором может быть отдельным компонентом в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона [10]. При этом авторы отмечают увеличение значений показателей физико-механических свойств и сокращение расхода битума.

Таким образом, композит с гибридной структурой (гибридный композит) может быть получен путем формирования взаимопроникающего органо-минерального каркаса и минеральной матрицы, заполняющей его пустоты (рисунок 1), которые обеспечивают совместную работу в эксплуатационных условиях.

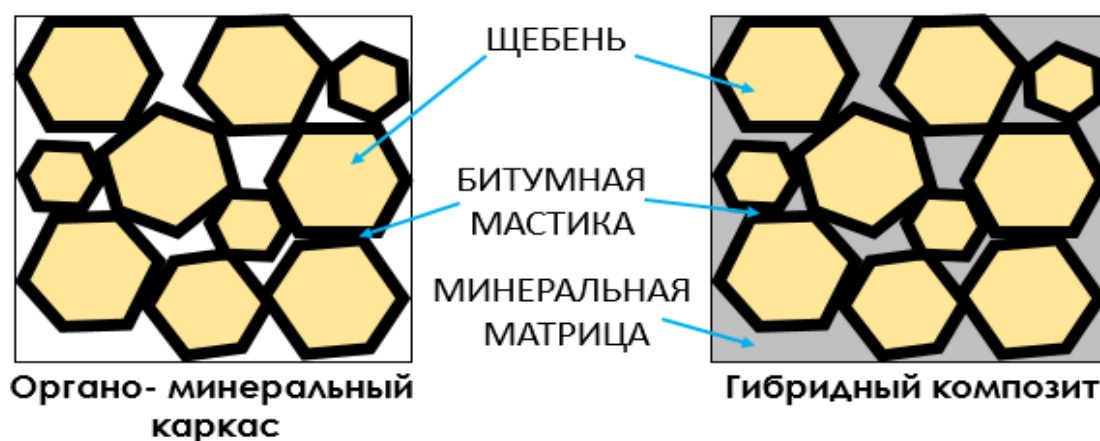


Рис. 1. Схематическое изображение структуры гибридного композита

Учитывая общее теоретическое представление о проектируемой структуре гибридного композита, процесс его получения состоит из пяти основных этапов:

1. Производство органо-минеральной смеси из щебня, битума и наполнителя;
2. Формирование высокопористого каркаса из органо-минеральной смеси;
3. Производство самоуплотняющейся смеси на минеральном вяжущем;
4. Заполнение пустот каркаса самоуплотняющейся смесью;
5. Затвердевание смеси на минеральном вяжущем.

Таким образом, на каждом технологическом этапе производимые смеси, органо-минеральный каркас и минеральная матрица должны обладать комплексом свойств, обеспечивающих реализацию предложенного подхода. А после завершения процесса структурообразования к гибриднему композиту так же предъявляется ряд требований, исходя из критериев заказчика и условий эксплуатации.

Исходя из этого была осуществлена декомпозиция качества [11] гибридного композита для дорожного строительства и его структурных составляющих (рисунок 2).

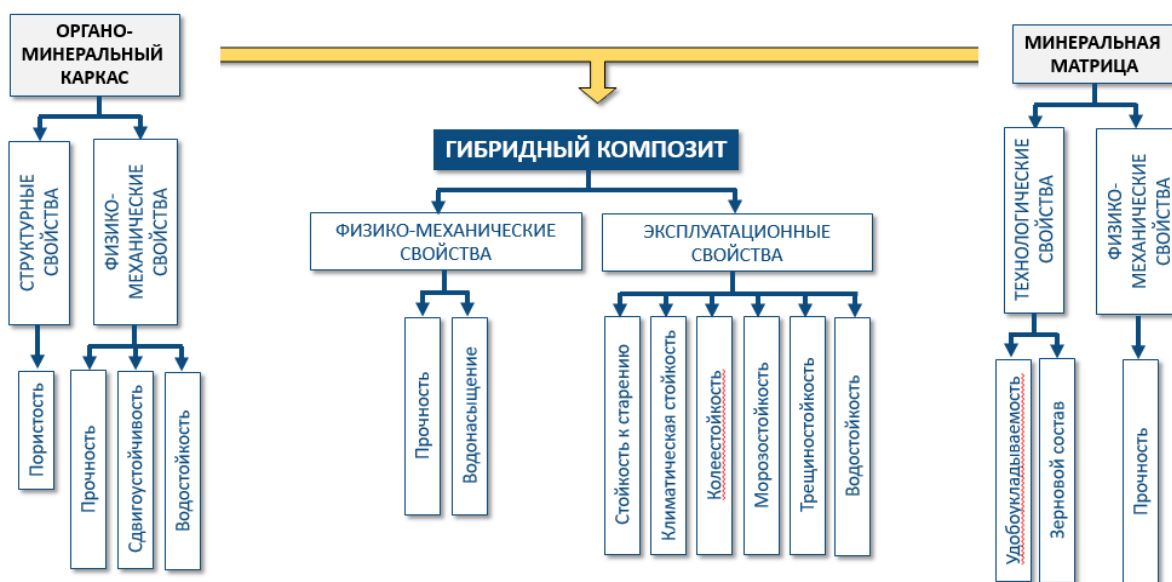


Рис. 2. Показатели качества гибридного композита

Так, каркас должен обладать достаточной пустотностью для обеспечения необходимой пропиточной способности. При этом готовый каркас должен отвечать технологическим и эксплуатационным требованиям по прочности, сдвиговой стойкости и водостойкости.

Для минеральной смеси для получения матрицы материала важным требованием является реологические показатели, соответствующие самоуплотняющимся смесям для качественного пропитки каркаса. При этом пропиточная способность оценивается интенсивностью сопротивления течения пропитки по каркасу, которое можно представить в соответствии с законом Дарси-Вейсбаха (1) с учетом возникающего капиллярного давления по закону Лапласа (2):

$$\frac{\Delta P_{\Gamma}}{\rho} = \lambda_z \frac{L}{D_3} \frac{u_z^2}{2g}, \quad (1)$$

$$\Delta P_{\text{Л}} = \frac{2\sigma}{r} \cos\theta, \quad (2)$$

где ΔP — понижение давления при течении (сопротивление); ρ — плотность смеси; D_3 и r — эквивалентный диаметр и радиус каналов; L — высота каркаса; u_z — линейная скорость течения в каналах; λ_z — коэффициент сопротивления; σ — поверхностное натяжение пропитки; θ — краевой угол смачивания; d_3 — диаметр заполнителя в пропитке; ε — пустотность каркаса; μ — динамическая вязкость пропитки.

Основными показателями качества гибридного композита являются критерии отражающее его эксплуатационную устойчивость, к которым относятся способность сопротивляться механическим воздействиям, стойкость к образованию колеи и трещин, стойкость к старению и водостойкость.

Таким образом, предложенные критерии качества органо-минерального каркаса и минеральной матрицы, а также гибридного композита на их основе могут быть использованы как целевые показатели при проектировании каждой из структурных составляющих и композита в целом. Это позволяет сформулировать последовательность разработки материала в виде плана исследования, который заключается разработке состава каркаса с заданными свойствами, разработке самоуплотняющейся смеси для пропитки каркаса и оптимизации состава гибридного композита с различным соотношением структурных составляющих.

Список использованной литературы (алфавит)

1. Котлярский Э.В., Воейко О.А. Долговечность дорожных асфальтобетонных покрытий и факторы, способствующие разрушению структуры асфальтобетона в процессе эксплуатации. 2007. М.: Техполиграфцентр. 136 с.
2. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Агрессивность эксплуатационных условий дорожно-климатических зон России. Наука и техника в дорожной отрасли. 2019. № 3 (89). С. 22-26.
3. Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Чернякевич О.Ю., Степанова А.В. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных коррозионных воздействиях. 2016. Минск: БНТУ. 204 с.
4. Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Управление эксплуатационной деформируемостью и трещиностойкостью макропористых (ячеистых) бетонов. Часть 1. Контекст проблемы и вопросы теории Строительные материалы. 2014. № 1-2. С. 105-112.
5. Хохлов А.В. Нелинейная модель вязкоупругопластичности типа максвелла: моделирование влияния температуры на кривые деформирования, ползучести и релаксации Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. 2017. Т. 21. № 1. С. 160-179.
6. Кириллов А.М., Завьялов М.А. Моделирование изменения модуля упругости асфальтобетона при нагружении Инженерно-строительный журнал. 2015. № 2 (54). С. 70-76.
7. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Техничко-экономическая эффективность применения наномодифицированного наполнителя для асфальтобетона. Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 4 (115). С. 536-443.
8. Марков А.Ю., Строкова В.В., Маркова И.Ю. Оценка свойств топливных зол как компонентов компо-зиционных материалов. Стро-ительные материалы. 2019. № 4. С. 77-83.
9. Самец О.В. Исследования асфальтоцементобетона и сравнение его свойств с широко используемыми материалами // Автомобильные дороги: материалы 76-й студенческой научно-технической конференции [Электронный ресурс] / редкол.: С. И. Зиневич (гл. ред.) [и др.]. Минск : БНТУ, 2020. С. 17-20.
10. Патент РФ 2715403. Минеральный порошок для асфальтобетонной смеси (варианты). Серикова Е.Д., Шаталов А.А. Заявка от 14.10.2019. Опубл. 27.02.2020.
11. Бормотов А.Н. Декомпозиция систем и иерархические структуры показателей качества композитов. Журнал Современные наукоемкие технологии. 2016. № 9 (часть 2) С. 196-203.

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЕНИСЕЙ (РАЙОН ПРАВОГО БЕРЕГА ПЕРЕХОДА ГАЗОПРОВОДА МЕССОЯХА—НОРИЛЬСК)

¹Котов П. И., ²Чербунина М. Ю., ¹Авилов Д. А.

¹ЗГУ имени Н. М. Федоровского, г. Норильск, kotovpi@norvuz.ru

²МГУ имени М. В. Ломоносова, Геологический факультет, г. Москва

Аннотация

Кафедра геокриологии геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова с 1968 по 1972 г. проводила детальные мерзлотные исследования на ключевом участке,

расположенном в районе перехода трубопровода Мессояха—Норильск через реку Енисей. В 2023 году проведены полевые исследования на правом берегу реки Енисей для проведения ландшафтного районирования и характеристики геокриологических условий. Эти данные являются основой для оценки влияния техногенных и климатических изменений за 55 лет эксплуатации трубопровода на правом берегу реки Енисей.

Введение

В 1968-69 гг. на участке перехода газопровода Мессояха-Норильск через реку Енисей кафедра мерзловедения геологического факультета МГУ проводила мерзлотно-геологическую съемку, которая представляет собой комплекс полевых, лабораторных и камеральных исследований, имеющих целью изучение частных и общих закономерностей формирования сезонно- и многолетнемерзлых пород и сопутствующих криогенных процессов и образований. В 1969-1970 гг. МГУ были организованы режимные наблюдения, целью которых являлось изучение мерзлотных условий на трассе. При этом изучались формирование температурного режима грунтов и ореолов оттаивания в области теплового влияния газопровода, проложенного в траншее и развитие мерзлотных инженерно-геологических процессов на подземных и надземных участках прокладки газопровода [1-3].

В 1970 году был организован ряд режимных наблюдений для изучения мерзлотной обстановки, которая складывалась в результате строительства и эксплуатации газопровода и наблюдений за интенсивностью инженерно-геологических процессов. В рамках данной работы в сентябре 2023 года были проведены полевые исследования по изучению ландшафтных условий, оценке их изменения за последние 55 лет.

Описание района исследования

Для правого берега р. Енисей характерно сплошное распространение мощных (более 200 м) низкотемпературных многолетнемерзлых толщ, их среднегодовая температура изменяется от -1 до $-3,5^{\circ}\text{C}$ вдоль реки до $-4...-7^{\circ}\text{C}$ на водоразделах. На отдельных участках повышается до $-0,5...-1,0^{\circ}\text{C}$. Льдистость мерзлых пород невелика и влажность грунтов при оттаивании не превосходит 30 %.

Максимальное отепляющее влияние на породы оказывают снежный и водный покровы. Мощность снежного покрова вследствие частых метельных ветров крайне неравномерна: на наветренных склонах озерно-ледниковой равнины и 1-й надпойменной террасы, низкой пойме, где высота растительного покрова не превышает 0,3-0,5 м, мощность снега изменяется в пределах 0,2-0,5 м (по Кондратьеву [2], от 0,1 м). На подветренных склонах и высокой пойме, где развит высокий кустарниковый покров, мощность снега изменяется от 0,7-1,0 до 1,5-2,0 м

В зависимости от характера рельефа и растительности, формируется уже плотность снега. Так, на участках с густым кустарником, она обычно составляет $0,2-0,23 \text{ г/см}^3$, а на участках с редким кустарником или без него $0,3-0,36 \text{ г/см}^3$.

Кроме этого, на возможность отепления породы влияет инфильтрация летних осадков. Осадки, как правило, выпадают в виде затяжных морозящих дождей и при условии их полной инфильтрации в слой сезонного оттаивания повышают среднегодовую температуру пород в подошве слоя на $0,5-1,0^{\circ}\text{C}$. Однако условия для эффективной инфильтрации существуют только вдоль берега на правом берегу реки Енисей, особенно на конусах выноса в устьях логов, где с поверхности залегает мощный слой галечников, подстилаемых песками и супесями. Влияние инфильтрации атмосферных осадков и стока надмерзлотных вод здесь настолько велико, что приводит к образованию таликов мощностью от 2-3 до 10 м. На

остальных участках инфильтрация затруднена наличием растительно-дернового слоя и плохими фильтрационными свойствами пород.

Расчет влияния водоемов на температурный режим донных отложений, а также натурные наблюдения показали, что на правом берегу глубина водоемов 0,9-1,0 м является критической, так как на этой глубине проходит нулевая изотерма среднегодовых температур. Поэтому под озерами, глубина которых превышает 1,0 м, существует талик, мощность которого тем больше, чем больше площадь озера. Под озерами, размеры которых соизмеримы с мощностью многолетнемерзлых пород, возможно существование сквозного талика [1].

Методика исследований

Полевые исследования ландшафтов на правом берегу реки Енисей проводилось для оценки следующих характеристик:

- характер рельефа и микрорельефа поверхности;
- форм проявления геокриологических процессов;
- характера увлажнения поверхности (сухая, увлажнённая, заболоченная, с открытым зеркалом воды);
- поярусной характеристики растительного покрова (древесного, кустарникового, кустарничкового ярусов и напочвенного покрова)
- строения и состава горных пород слоя сезонного оттаивания (промерзания);
- фиксация глубины начала высачивания надмерзлотных вод;
- положение кровли мёрзлой толщи методом пенетрации щупом;
- проведение зондирования методом становления поля в ближней зоне, георадиолокации и электротомографии для оценки мощности мерзлоты в данном районе и изменения глубины сезонного оттаивания.

Результаты

В результате проведенных работ можно выделить следующие ландшафты:

1. Пойма. Размер полигона составляет 55 м. Поверхность слабонаклоненная (2-3°) с наклоном в сторону реки. Поверхность дренированная. Отложения вблизи реки представлены песком средним (7-10 м). Далее сменяются крупнообломочным материалом разного размера (от гальки до единичных валунов).

Растительный покров представлен следующими ярусами:

- Напочвенный ярус. Представлен мхом и опадом (до 20 %);
- Кустарничковый ярус. Представлен осокой, вереском, дикий лук, карликовой елью (до 60%);
- Кустарниковый ярус. Представлен единичными ивами, ольховником и лиственницами (до 10 %).

2. Склон водораздела правого берега реки Енисей. Размер полигона составляет 200×300 м. Поверхность сильнонаклоненная (30°) с наклоном в сторону реки, влажная. Растительный покров представлен следующими ярусами:

- Напочвенный ярус. Представлен мхом, опадом и лишайником (до 30%);
- Кустарничковый ярус. Представлен хвощом, карликовой березой, шиповником, можжевельником, ивняком, разнотравьем (до 60-70%);
- Кустарниковый ярус. Представлен ольховником (до 70-80%);
- Древесный ярус. Представлен единичными лиственницами (до 10-15%).

3. Поверхность водораздела на правом берегу реки Енисей. Размер полигона составляет 500×700 м. Поверхность относительно ровная, дренированная. Растительный покров представлен следующими ярусами:

- Напочвенный ярус. Представлен мхом и опадом (до 50 %);
- Кустарничковый ярус. Представлен орешником, карликовой березой, багульником, хвощом (до 40-50 %);
- Кустарниковый ярус. Представлен ольховником (до 20 %);
- Древесный ярус. Представлен единичными лиственницами (до 5 %).

4. Техногенный ландшафт (узел трубопровода), озерная котловина расположен на водоразделе. Размер полигона 5-7 × 10-12 м. Поверхность вследствие техногенных изменений заболоченная, переувлажненная. Заметна смена растительности. Кустарничковый ярус распространен шире. Растительный покров представлен следующими ярусами:

- Напочвенный ярус. Представлен мхом и лишайником (до 40 %);
- Кустарничковый ярус. Представлен хвощом, осокой, багульником и карликовой березой (до 70-80%).

На основе выполненных работ составлена карта ландшафтного районирования данной территории (рис. 1).

Глубина сезонного оттаивания методом пенетрации щупа была больше 1,5 метра для всех ландшафтов, что говорит о необходимости использования геофизических методов для определения этой характеристики.

Выполнены исследования зондирования методом становления поля в ближней зоне и георадиолокации.

По данным зондирования в разрезе береговой части выделяется 2 слоя. Вероятно, первый от поверхности слой представлен песками обводненными, ниже залегают породы относительно пониженного сопротивления, предположительно представленные мерзлыми глинистыми разностями.

По результатам анализа радарограммы георадиолокационного исследования исследуемого участка (рис. 3) можно предположить, что выделенная граница, которая прослеживается на глубине 4-6 метров, соответствует заглубленной кровле многолетнемерзлых отложений, что может объясняться отепляющим воздействием реки Енисей.

Выводы

Проведенные исследования свидетельствуют о существенном изменении геокриологических условий на правом берегу реки Енисей под действием природных и техногенных факторов. Вследствие повышения температуры грунтов происходит развитие геологических и геокриологических процессов, таких как овражная эрозия, термокарст.

В районе пересечения нескольких ниток трубопровода произошло увеличение озера в 2,4 раза за период 40 лет, что также свидетельствует об отепляющем эффекте от газопровода.

Также заметны изменения в растительности. На смену мхам и багульникам пришли растения, требующие большего количества тепла и питания, например карликовые березы.

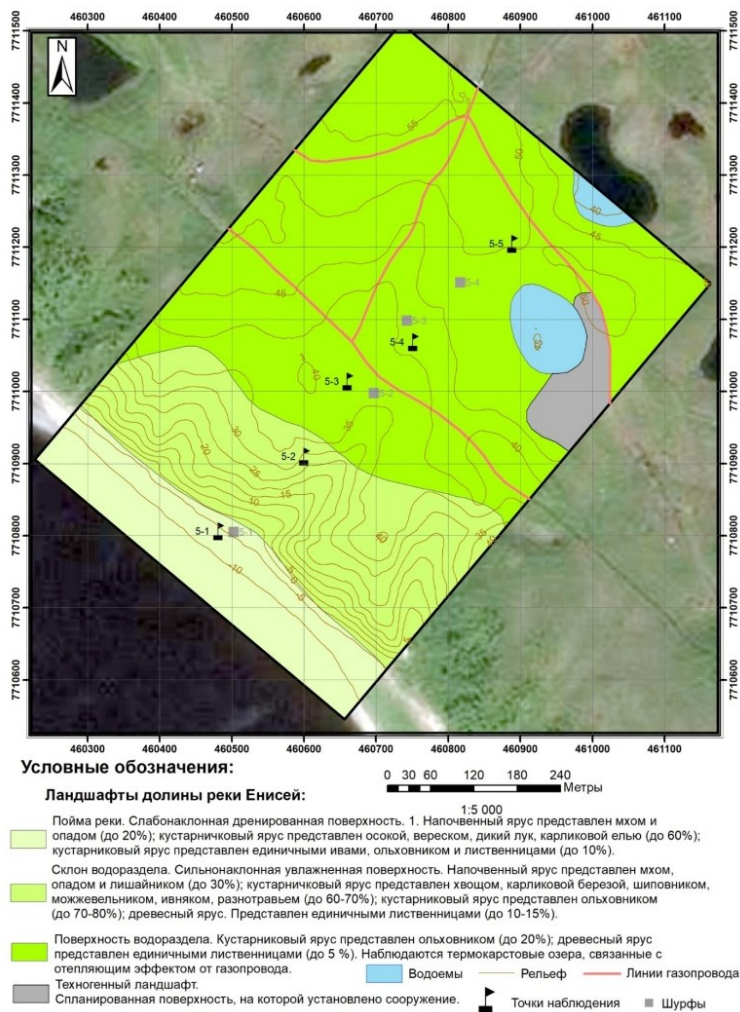


Рис. 1. Карта ландшафтного районирования территории ключевого участка

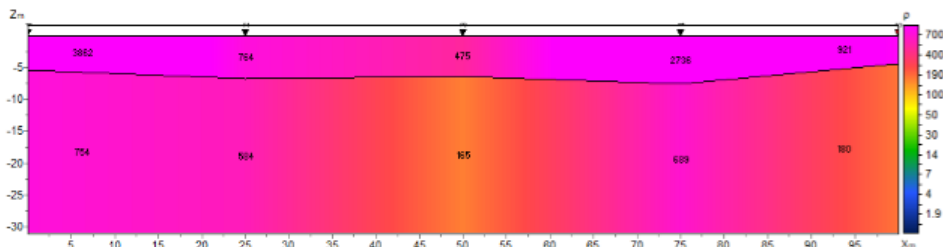


Рис. 2. Результаты обработки зондирования методом становления поля в ближней зоне

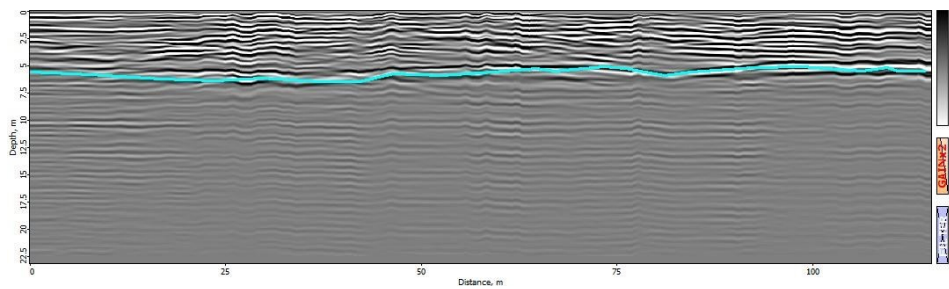


Рис. 3. Радарограмма по профилю на пойме и склоне

Благодарности

Исследование выполнено в рамках реализации программы деятельности НОЦ «Енисейская Сибирь» по направлению ТП №14 «Мониторинг и математическое прогнозирование палео-реконструкция климатических и антропогенных изменений в наземных и водных экосистемах вдоль меридионального трансекта Ангаро-Енисейского макрорегиона». Авторы благодарят доцента кафедры геокриологии, Гордееву Г. И. за предоставленные архивные материалы

Список литературы

1. Кудрявцев, В.А., Трофимчук, А.А., Гарагуля Л.С., Полтев Н.Ф. Отчет по теме «Прогноз изменения мерзлотных условий на участках подземной и подводной прокладки газопровода Мессояха- Норильск». Москва, 1970. 316 с.
2. Кондратьев В.Г. Геокриологические исследования на переходах газопроводов через долины рек. Новосибирск: Наука, 1988. 192 с.
3. Гарагуля Л.С. Прогноз и оценка антропогенных изменений мерзлотных условий : На прим. равнин. территорий Дис... д-ра геол.-минерал. наук. Москва, 1983.

СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ ОБСАДНЫХ КОЛОНН НА ДАННЫЕ ВСП

Кругляков А. Н.

ФГБОУ ВО «РГГРУ им. Серго Орджоникидзе», г. Москва, oberon9996@mail.ru

Введение

Метод вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в современном виде был разработан в начале 60-х годов XX века. На данный момент ВСП при инженерно-геологических изысканиях применяется редко и зачастую только в качестве вспомогательного геофизического метода.

Во избежание прихвата скважинного зонда, а также для улучшения контакта геофизической аппаратуры со стенками скважины, применяются обсадные колонны. Обсадные колонны могут быть изготовлены из различных материалов, основными из которых на данный момент являются металл и пластик. Проведение ВСП в необсаженном стволе скважины допускается только на интервалах скальных грунтов, следовательно, в большинстве случаев скважинный зонд контактирует не со стенками скважины, а с обсадной колонной. В настоящее время в связи с развитием промышленности появляются новые материалы обсадки, влияние которых на качество данных вертикального сейсмического профилирования не исследовано в полной мере.

Целью работы является изучение влияния, оказываемого материалом обсадной колонны, на результаты малоуглубинного вертикального сейсмического профилирования. Оценка осуществляется по спектральным характеристикам и форме сейсмических сигналов, зарегистрированных в скважинах с различной обсадкой.

Все исследуемые скважины располагаются в Северо-Западном административном округе города Москвы. Полевые геофизические работы проводились, как часть инженерно-геологических изысканий на этапе проектирования строительства станций и перегонов

московского метрополитена. Вертикальное сейсмическое профилирование производилось с целью определения положения границ между слоями с разной литологией и состоянием, зон трещиноватости и карстовых полостей.

Физические основы

Вертикальное сейсмическое профилирование — метод сейсморазведки, основанный на наблюдении сейсмических колебаний в стволе скважины. Данные ВСП применяются, как для интерпретации результатов наземной сейсморазведки, так и для решения самостоятельных геологических и инженерно-геологических задач [2].

Принципиальной особенностью вертикального сейсмического профилирования является одновременная регистрация всех трёх пространственных компонент колебательной скорости, что позволяет регистрировать как продольные, так и поперечные волны, разделяя те по поляризации на SV (вертикальные) и SH (горизонтальные). Вертикальный годограф, получаемый при ВСП, имеет форму ломанной линии, по структуре схожей с лучевой схемой, прямой и отражённой волн. Данная особенность позволяет классифицировать отражённые волны, выделяя полнократные, частичнократные и однократные волны.

Малоглубинное вертикальное сейсмическое профилирование позволяет установить границы между слоями различного литологического состава и состояния в скальных и дисперсных грунтах, определить местоположение и глубину зон трещиноватости карстовых полостей, изучать состав, состояние и свойства скальных и дисперсных грунтов, изучать инженерно-геологические процессы (карстовые).

Для решения инженерных задач зачастую применяется непродольное вертикальное сейсмическое профилирование. В данном случае источник сейсмических колебаний располагают на некотором расстоянии от устья скважины. Это расстояние называется непродольным выносом пункта возбуждения (ПВ).

В волновом поле ВСП, как и в волновом поле наземной сейсморазведки, в зависимости от геологического строения и расстояния от устья скважины до пункта возбуждения в первые вступления могут выходить прямые волны. В последующих вступлениях появляются отражённые и кратные волны. Все волны, образующие волновое поле вертикального сейсмического профилирования, можно разделить на полезные волны и волны-помехи. Полезными являются прямые и отражённые волны [3].

Волны-помехи подразделяются на две группы. К первой группе относятся волны, связанные с особенностями волнового поля вертикального сейсмического профилирования. Ко второй группе можно отнести волны, связанные с особенностями измерений в скважинах.

Представителями первой группы волн-помех являются кратные отражённые волны. Данный тип волн значительно осложняет корреляцию отражённых продольных волн, а также падающих и отражённых поперечных волн. Данное явление связано с интерференцией кратных волн с другими волнами, проявляющимися в последующих вступлениях [6].

Вторым представителем волн-помех первой группы являются поверхностные волны. Они возникают в связи с существованием свободной сейсмической границы «земля-воздух» и наблюдаются вблизи этой границы. На сейсмограммах ВСП поверхностные волны отображаются в виде интенсивных колебаний на трассах, записанных близкими к поверхности пунктами приёма [1].

Одним из типов поверхностных волн являются волны Стоунли. Данный тип волн распространяется вдоль плоской границы жидкости и твёрдого тела. Этим условиям удовлетворяют скважины, заполненные пластовой водой или промывочной жидкостью [5].

Волны Стоунли распространяются с обычным для объёмных волн затуханием при удалении от границы. Однако, так как ВСП производится в скважинах, данный тип волн не затухает с увеличением глубины. Низкочастотным пределом волны Стоунли являются гидроволны [4].

К волнам-помехам, связанным с особенностями проведения измерений в скважинах, относятся кабельные, трубные, вибрационные трубные волны, а также волны распространяющиеся по столбу жидкости (гидроволны).

Искажение записей сейсмических волн связано с колебаниями, появляющимися в системе «сейсмоприёмник-кабель» и накладывающимися на регистрируемые в скважине данные. На сейсмограммах расположение кабельных волн зависит от соотношения скоростей пробега волн в кабеле и породах.

Зачастую в первые вступления выходят трубные волны. Их возникновение происходит в условиях скользящего контакта обсадной колонны и горных пород. Для изучения трубных волн их возбуждают путём нанесения ударов по торцевой части обсадной колонны. Трубные волны распространяются по обсадной колонне со скоростью приблизительно 4700-4900 м/с. Обычно такие волны нерегулярны и высокочастотны. При работах в верхней части разреза трубным волнам характерна высокая интенсивность вертикальной составляющей.

При отсутствии цементации скважины в её стволе возникают паразитические колебания, регистрируемые сейсмическими приёмниками. Данная проблема актуальна, поскольку зачастую в целях экономии денег и времени при проведении буровых работ не производится цементация затрубного пространства с целью дальнейшего извлечения и повторного использования обсадных колонн. Волны, связанные с вибрационным колебанием обсадной колонны в местах отсутствия затрубной цементации, называют трубными вибрационными волнами. Интенсивность таких волн значительно возрастает в скважинах сложной конструкции с несколькими колоннами разного диаметра. Зачастую наиболее явно вибрационные трубные волны прослеживаются у устья скважины, перекрытого кондуктором [7].

С данными волнами-помехами связано возникновение на сейсмограммах ВСП интенсивных, практически вертикальных осей синфазности. Частотный состав колебаний во многом зависит от размеров незакреплённого участка колонны и очень неустойчив. Так как данный тип волн, подобно трубным, имеет направления колебаний частиц близкие к вертикали, они полностью нарушают корреляцию продольных волн, но практически не осложняют корреляцию поперечных и обменных.

Гидроволнами называют волны, распространяющиеся по столбу жидкости, заполняющей скважинное пространство. Такой жидкостью могут быть буровой раствор или грунтовые воды, поступающие в необсаженную скважину. Гидроволны возникают при воздействии прямой волны на столб жидкости в верхнем сегменте скважины, а также в местах стыков осадных колонн и границ незацементированных участков. Места их возникновения не всегда совпадают с местом отражения при последующем распространении. На границе столба жидкости гидроволны обычно претерпевают несколько отражений. Отражения и преломления этих волн могут быть связаны со свойствами раствора (плотность и упругие модули раствора), конструкцией скважины (диаметр скважины, обсадных колонн; толщина стенок скважины), свойствами горных пород (упругие модули пород, окружающих скважину).

Описание методики эксперимента и аппаратуры

Полевые геофизические работы методом вертикального сейсмического профилирования проводились в Северо-Западном автономном округе г. Москва в разные

времена года с целью уточнения геологического строения верхней части разреза районов работ. Все наблюдения проводятся в обсаженных скважинах. Диаметр всех обсадных колонн превышал 80 мм. При проведении наблюдений в скальных грунтах допускалась работа в открытом стволе.

Пункты приема (ПП) располагаются с шагом 1,0 м, вдоль ствола скважины. Пункт возбуждения находится в 8,0 м от устья скважины. Для увеличения соотношения сигнал/помеха на ПВ для каждого наблюдения выполняется по 4-8 ударов кувалдой массой 6 кг. Для увеличения соотношения сигнал/помеха на ПВ для каждого наблюдения выполняется от 4 до 8 ударов кувалдой. В процессе регистрации по всем реализациям вычисляется средняя сейсмограмма, которая записывается в итоговый SEG-Y файл.

Схема наблюдений и расстановки ВСП представлена на рисунке 1.

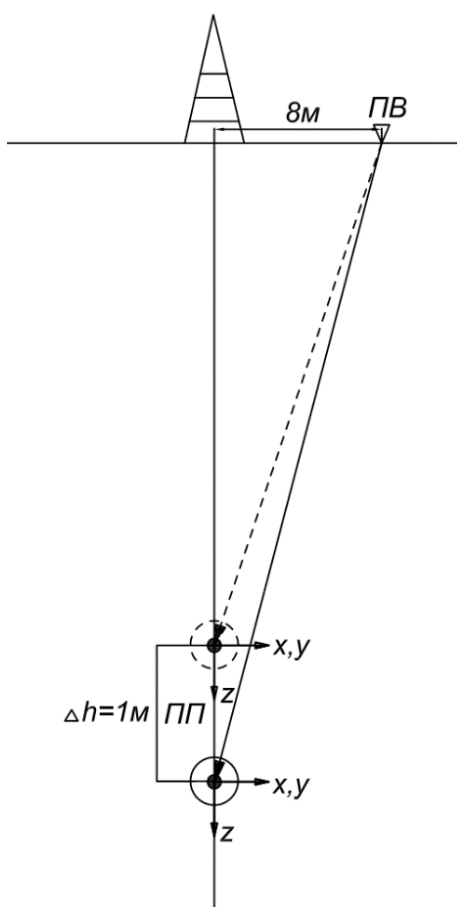


Рис. 1. Схема наблюдений и расстановки ВСП

Измерения осуществлялись телеметрическим скважинным комплексом ТЕЛСС-ВСП, представленным на рисунке 2. Установленный в скважинный модуль сейсмоприёмник GS-ONE обладает собственной частотой 10 Гц. Технические характеристики телеметрического скважинного комплекса ТЕЛСС-ВСП представлены в таблице 1.

Обработка данных ВСП производилась в ПО SeisShal. Граф обработки можно условно разделить на подготовку данных (препроцессинг) и непосредственно обработку.

Под препроцессингом в сейсморазведке понимается процесс подготовки данных к дальнейшей обработке. Данная операция включает в себя монтаж сейсмограммы, суммирование/вычитание компонент записи, введение геометрии разреза.

Для точной корреляции годографов полезных волн данные после препроцессинга обрабатываются. Обработка сейсморазведочных данных ВСП включает в себя сортировку сеймотрасс по координате ПП, регулировку амплитуд, полосовую фильтрацию и деконволюцию.



Рис. 2. Телеметрический скважинный комплекс ТЕЛСС-ВСП

Таблица 1.

Технические характеристики телеметрического скважинного комплекса ТЕЛСС-ВСП [8]

1	Усиление электромеханического прижима, не менее, кг	80
2	Время полного хода прижимной лапы, не более, с	25
3	Глубина погружения прибора, не более, м	150
4	Количество сейсмоприемников	3
5	Используемый тип сейсмоприемников	GS-ONE
6	Ориентация сейсмоприемников	ортогональная
7	Минимальный диаметр исследуемой скважины, мм	80
8	Максимальный диаметр исследуемой скважины, мм	140
9	Наружный диаметр скважинного прибора, не более, мм	65
10	Длина скважинного прибора, не более, мм	950
11	Вес скважинного зонда, не более, кг	9

В настоящее время допускается проведение ВСП в необсаженном стволе скважины на интервалах скальных грунтов, но на практике это часто сопровождается потерей скважинного прибора при раскрытии его зажима ниже обсадки. Поэтому на данный момент чаще всего обсаживается вес ствол скважины, а, следовательно, скважинный модуль контактирует не с грунтами, а с материалом обсадной колонны. Однако материал обсадных колонн также должен влиять на качество полевых материалов.

Обсадные колонны устанавливаются для защиты скважины от засыпания, а также для более плотного контакта скважинного модуля со стенками скважины. На данный момент существуют два основных материала обсадных колонн: металл и пластик.

Наиболее прочными и долговечными являются металлические обсадные колонны. В качестве материала для их изготовления используется сталь. Металлические колонны стоят

дороже пластиковых, однако они меньше подвержены деформациям во время извлечения обсадной колонны при ликвидации скважины. Данный факт позволяет использовать одну и ту же стальную колонну большее количество раз. Так как металлические обсадные колонны устанавливаются в скважину параллельно с процессом бурения, они наиболее плотно прилегают к стенкам скважины и позволяют сэкономить время необходимое для фиксации колонны в стволе скважины.

Пластиковые обсадные колонны более дешёвые чем стальные. Считается, что данные ВСП, полученные в скважинах с такой обсадкой, более точные и проще подлежат процессу обработки. Однако данное утверждение допускается только при условии плотного прилегания обсадной колонны к стенкам скважины. После завершения бурения в обсаженную металлом скважину погружают пластиковую колонну, после чего металлическую извлекают. Затем скважину оставляют на несколько дней для того, чтобы грунты «прихватили» обсадную колонну. При некачественном контакте обсадки со стенками скважины получаются данные, не подлежащие дальнейшей обработке.

Результаты эксперимента

Для определения степени влияния материала обсадной колонны на данные малоглубинного вертикального сейсмического профилирования все 25 скважин были разделены по данному параметру на две группы. В первую группу включены скважины с металлической обсадкой, во вторую группу — скважины с пластиковой обсадкой. Принципиальные схемы скважин, принадлежащих к каждой из групп, представлены на рисунке 3.

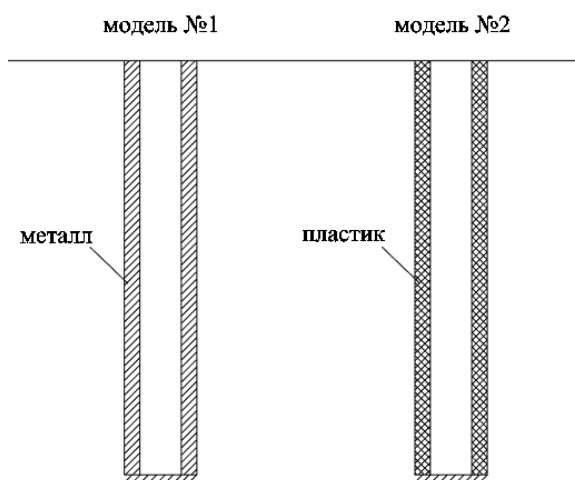


Рис. 3. Схемы исследуемых моделей скважин

Сравнение степени влияния материала обсадки на данные ВСП осуществляется по спектральным характеристикам и форме сейсмических сигналов, полученных в скважинах различного типа.

На сейсмограммах по вертикали отложены глубины в м, а по горизонтали время в мс. На спектрах по вертикали отложена амплитуда, а по горизонтали — частота в Гц.

Первая модель описывает скважины с обсадкой в виде металлической обсадной колонны. Данный тип обсадных колонн устанавливается в скважину параллельно процессу бурения, благодаря чему обсадка наиболее плотно прилегает к грунтам. Вертикальное

сейсмическое профилирование в подобных скважинах можно проводить на следующий день после подготовки скважины.

Вертикальная компонента сейсмической записи наиболее подвержена влиянию трубных волн, что значительно ухудшает качество записи.

Прослеживание продольной падающей волны бывает затруднительно из-за влияния трубных и кратных волн. Уверенное прослеживание продольной волны возможно на глубинах более 10-15 м. В спектральной области продольные волны являются широкополосными. Преобладающая частота спектра продольной волны в скважинах, обсаженных металлической колонной, равна 50-60 Гц, а ширина — 250-300 Гц. На рисунке 4 представлен пример спектра продольной падающей волны.

На сейсмограммах вертикальной компоненты колебаний Z трубная волна имеет практически вертикальные оси синфазности. Данный факт связан с высокими значениями скоростей пробега волны по обсадной колонне. Трубная волна является основной помехой при прослеживании продольных сейсмических волн, так как скорости этих типов волн близки по значениям. На рисунках 5-6 представлены участки сейсмограмм, на которых преобладает трубная волна.

В спектральной области трубные волны являются широкополосными помехами, спектр которых похож на спектр полезных волн. Подавление трубных волн полосовой фильтрацией затруднительно. Преобладающая частота спектра вертикальной компоненты трубной волны в скважинах, обсаженных металлической колонной равна 30-40 Гц, а ширина — 100-150 Гц. На рисунках 7-8 представлены спектры трубной волны, полученные по разным сейсмограммам.

Качество контакта колонны с геологической средой также оказывает значительно влияние на качество записи. Так на сейсмограмме №1378 на интервале глубин 14-26 м прослеживается зона потери корреляции, связанная с нарушением технологии бурения при проходке интервала. Спектр данного участка сейсмограммы представлен на рисунке 9.

При анализе спектров сейсмограмм поперечной волны, полученных в скважинах, обсаженных металлом, прослеживается характерный для данного материала обсадки пик на частоте 73-80 Гц. Так как данный пик отсутствует на сейсмограммах, полученных при других материалах обсадки, предполагается, что он соответствует трубной волне характерной для металлической обсадной колонны. На рисунках 10-11 представлены спектры сейсмограмм поперечной волны, полученных в скважинах, обсаженных металлом.

Трубные волны явно не прослеживаются на сейсмограммах поперечной волны, однако при подавлении полосовой фильтрацией частот выше 70 Гц прослеживание поперечной волны улучшается. На рисунке 12 представлен пример сейсмограммы после подавления частот, предположительно соответствующих трубной волне. После применения полосовой фильтрации на сейсмограмме начинают явно прослеживаться отражённые волны.

Преобладающая частота спектра падающей поперечной волны в скважинах, обсаженных металлической колонной, равна 40-50 Гц, а ширина — 80-100 Гц.

Вторая модель описывает скважины с обсадкой в виде пластиковой обсадной колонны. Данный тип обсадных колонн устанавливается в скважину после завершения бурения. Пластиковая труба помещается в металлическую обсадную колонну, после чего та извлекается. После удаления металлической колонны скважина оставляется на несколько дней, для улучшения контакта между грунтами и пластиковой обсадкой.

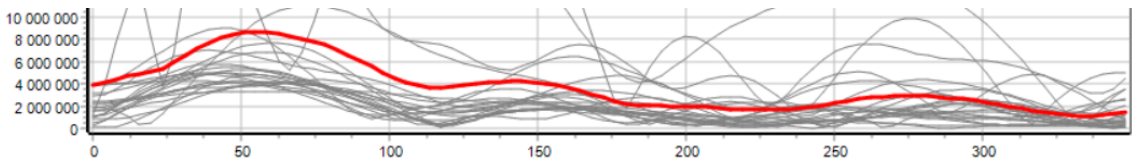


Рис. 4. Спектр падающей волны сейсмограммы №1378

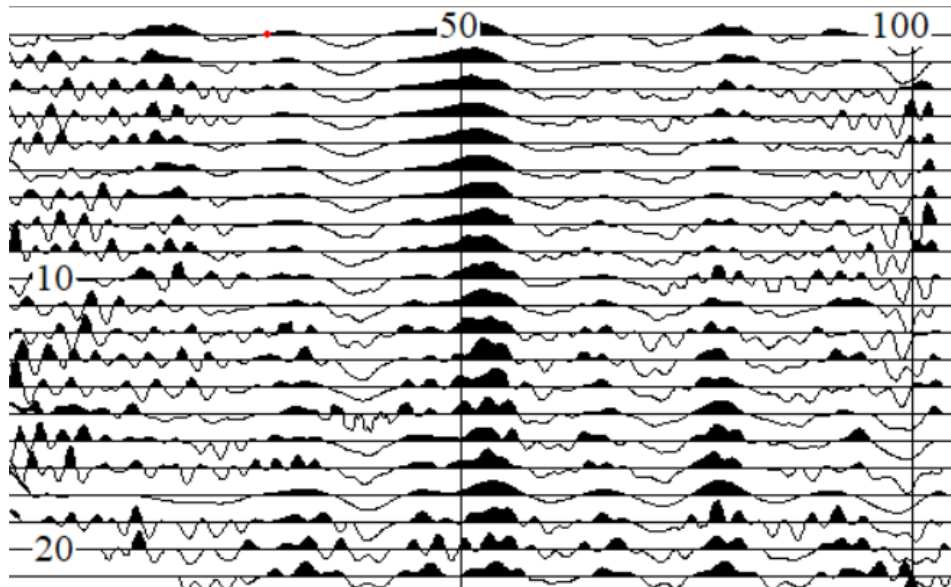


Рис. 5. Волновое поле на участке глубин до 29 м сейсмограммы №9122 (APУ — 25 мс)

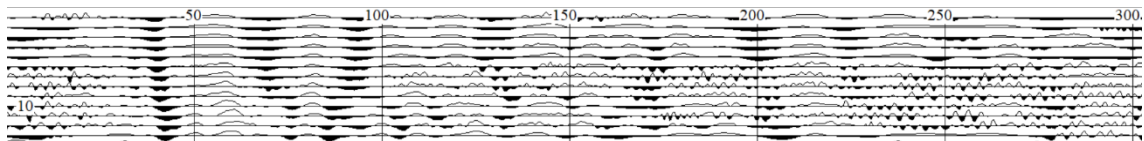


Рис. 6. Волновое поле на участке глубин до 13 м сейсмограммы №1378 (APУ — 25 мс)

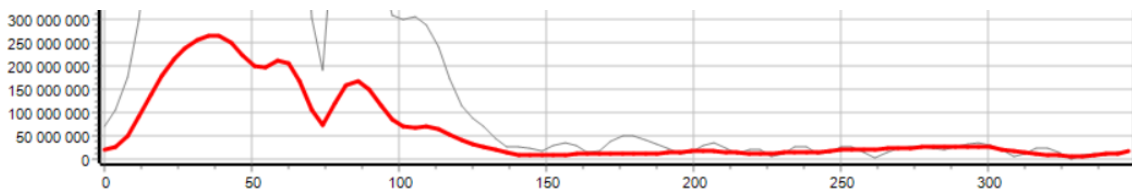


Рис. 7. Спектр трубной волны сейсмограммы №9122

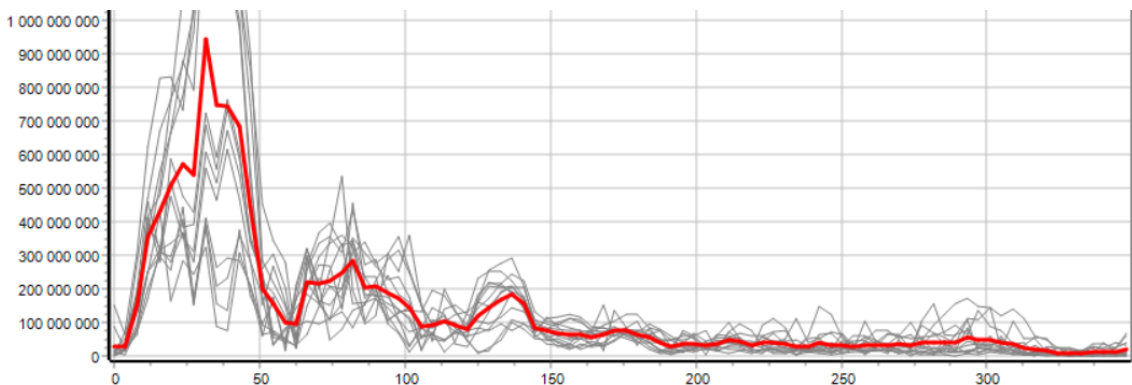


Рис. 8. Спектр трубной волны сейсмограммы №1378



Рис. 9. Спектр зоны потери корреляции на глубинах 14-26 м сейсмограммы №1378

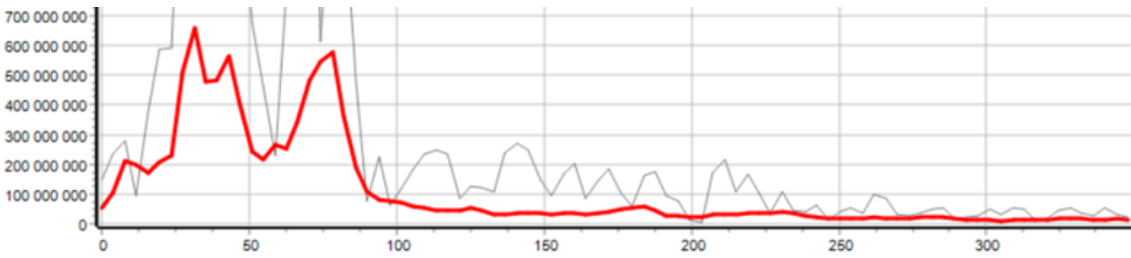


Рис. 10. Спектр сейсмограммы №2920



Рис. 11. Спектр сейсмограммы №9122

Геофизические исследования производились, как часть инженерных изысканий с целью строительства метрополитена, в следствии чего не всегда имелась возможность выждать достаточное время. Данный факт должен отрицательно повлиять на качество записи, так как обсадка может недостаточно плотно прилегать к стенкам скважины. В скважинах с пластиковой обсадкой ВСП проводилось минимум через 2 дня после завершения бурения.

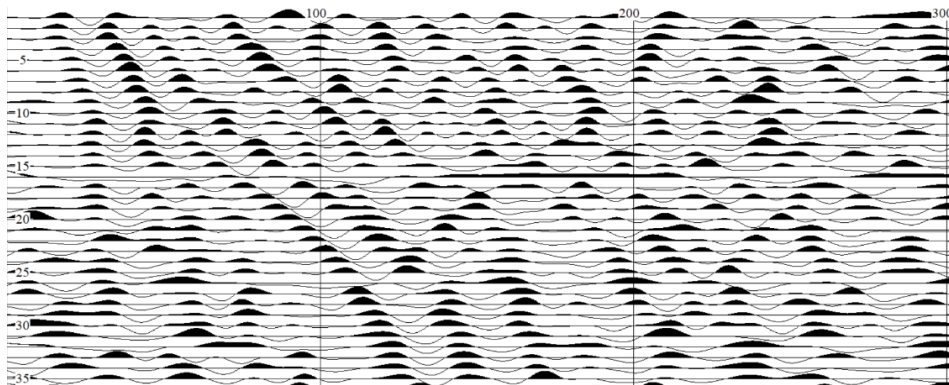


Рис. 12. Волновое поле сейсмограммы 32340 (APУ — 50 мс; ПФ — 10;50;20;40)

Как и в скважинах с металлической обсадкой прослеживание продольной падающей волны практически невозможно на интервале глубин до 10-15 м и затруднительно на

остальном интервале глубин из-за влияния трубных и кратных волн. В спектральной области продольные волны являются широкополосными.

Среди исследуемых данных имеется сейсмограмма, на которой уверенно можно выделить только трубную волну, перекрывающую все полезные волны. Подобный результат может появиться при некачественном прилегании обсадной колонны к стенкам скважины и отсутствии цементации затрубного пространства. На рисунке 13 представлена сейсмограмма, на которой преобладает трубная волна, а на рисунке 14 — спектр трубной волны, полученный по ней.

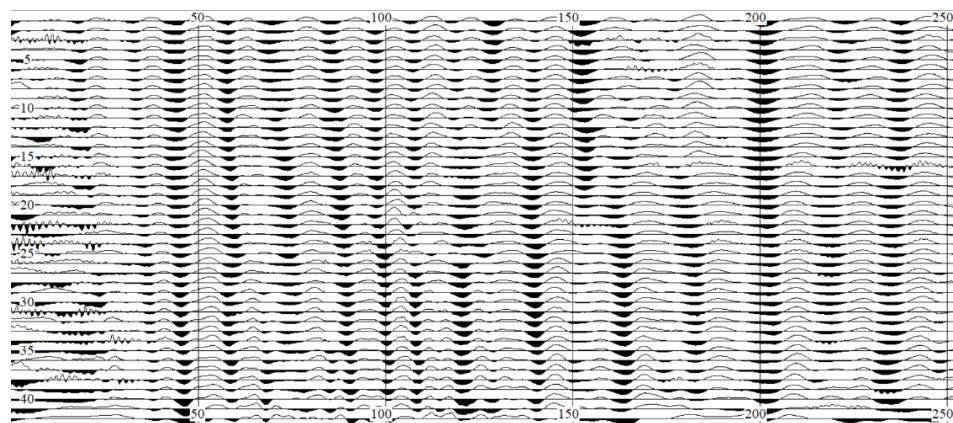


Рис. 13. Волновое поле сейсмограммы 21 (APY — 25 мс)

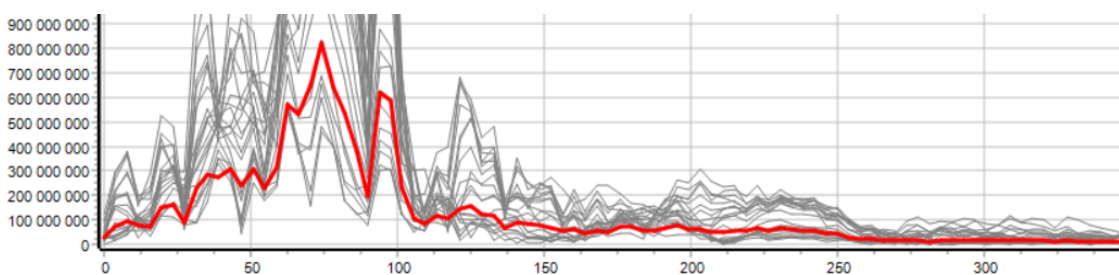


Рис. 14. Спектр трубной волны, полученный по сейсмограмме №21

В спектральной области трубные волны являются широкополосными помехами, спектр которых похож на спектр полезных волн. Подавление трубных волн полосовой фильтрацией затруднительно. Преобладающая частота спектра вертикальной компоненты трубной волны в скважинах, обсаженных пластиковой колонной, равна 70-80 Гц, а ширина — 120-150 Гц.

При анализе спектров сейсмограмм поперечной волны, полученных в скважинах, обсаженных пластиком, отсутствует пик характерный для скважин с металлической обсадкой (73-80 Гц), однако возникает характерный для данного материала обсадки пик на частоте 110-120 Гц. Так как данный пик отсутствует на сейсмограммах, полученных при других материалах обсадки предполагается, что он соответствует трубной волне характерной для пластиковой обсадной колонны. На рисунках 15-16 представлены спектры сейсмограмм поперечной волны, полученных в скважинах, обсаженных пластиком.

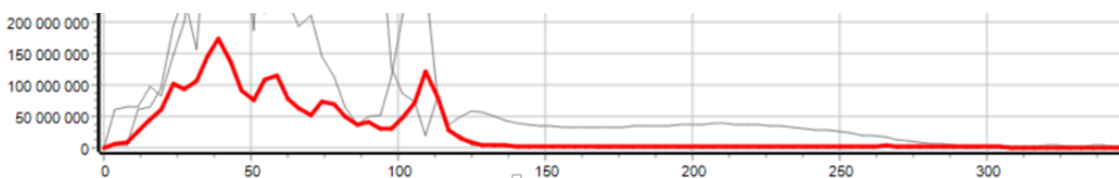


Рис. 15. Спектр сейсмограммы №9033

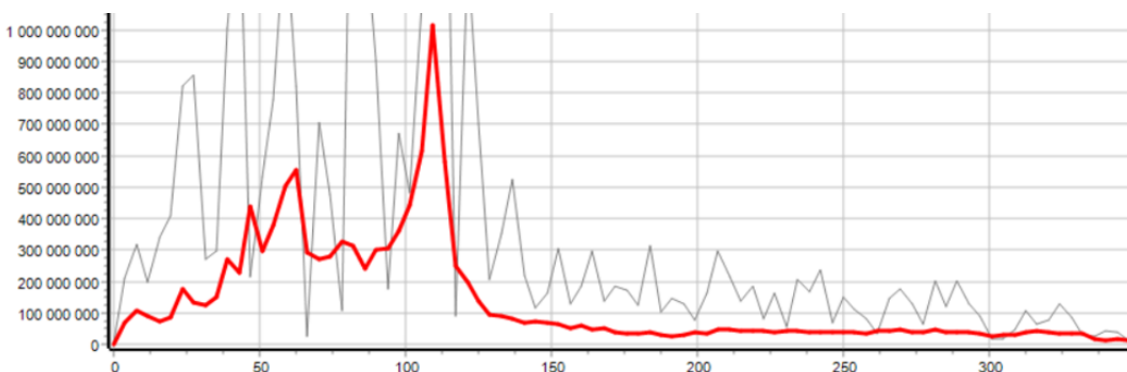


Рис. 16. Спектр сейсмограммы №21

При хорошем контакте обсадной колонны и стенок скважины трубные волны не оказывают значительного влияния на запись, однако подавление полосовой фильтрацией частот выше 100 Гц улучшает прослеживание поперечной волны. Падающая и отражённые волны становятся более контрастными и лучше подлежат корреляции.

В таблице 2 представлены результаты сравнения спектральных характеристик трубной волны в скважинах с пластиковой и металлической обсадкой.

Таблица 2.
Сравнение спектральных характеристик трубной волны

Металл		Пластик	
Вертикальная компонента		Вертикальная компонента	
$f_{п}$, Гц	30-40	$f_{п}$, Гц	70-80
Горизонтальная компонента		Горизонтальная компонента	
$f_{п}$, Гц	70-80	$f_{п}$, Гц	110-120

Выводы

В ходе эксперимента по спектральным характеристикам и форме сейсмических сигналов была изучена степень влияния материала обсадной колонны на результаты малоуглубинного вертикального сейсмического профилирования. Установлено, что материал обсадки оказывает значительное влияние на данные вертикального сейсмического профилирования.

Было установлено, что в скважинах, обсаженных пластиковыми колоннами, продольные и поперечные волны прослеживаются лучше при условии достаточно длительной подготовки скважины к проведению ВСП. Однако данные, полученные в скважинах с металлической обсадкой, в большинстве случаев не сильно уступают по качеству данным, полученным в скважинах с пластиковой обсадкой.

Кроме того, материал обсадки значительно влияет на спектр трубной волны. При обсадке скважины пластиком частота трубной волны увеличивалась, а при обсадке металлом уменьшалась.

Таким образом при выполнении малоуглубинного ВСП оптимальным решением является использование металлической обсадки, так как она ненамного уступает пластиковой по качеству получаемых сейсмических данных. Подготовка скважины со стальной обсадкой происходит быстрее и надёжнее.

Список литературы

1. Артемьев А.Е., Физические основы сейсморазведки: Учебное пособие. — Саратов: ООО Издательский Центр «Наука», 2012 — 56 с.
2. Боганик Г.Н., Гурвич И.И., Сейсморазведка: Учебник для вузов. — Тверь: Издательство АИС, 2006 — 744 с.
3. Гальперин Е.И., Вертикальное сейсмическое профилирование. — М.: Издательство «Недра», 1971 — 264 с.
4. Ионов А. М., Максимов Г. А., О возбуждении гидроволны в скважине внешним сейсмическим источником // Акустический журнал, том 45, № 3, 1999, 354-362 с.
5. Козяр В.Ф., Козяр Н.В., Волны Лэмба и Стоунли в скважине и решение с их помощью задачи промысловой геофизики// Каротажник, №4 (226), 2013, 95-125 с.
6. Сердобольский Л.А., Распространение сейсмических волн. — М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012 — 256 с.
7. Шехтман Г.А., Нарский Н.В., Факторы, влияющие на качество данных вертикального сейсмического профилирования// Технологии сейсморазведки, №2, 2011, 59-69 с.
8. 3С телеметрический скважинный комплекс ТЕЛСС-ВСП. URL: <https://geodevice.ru/main/seismic/well/telssvsp/> (дата обращения: 08.04.2023).

ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМИРУЕМОСТИ, ПРОЧНОСТИ И ПРОСАДОЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ЛАБОРАТОРНЫМИ И ПОЛЕВЫМИ МЕТОДАМИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Крупин С. А.

СОФ МГРИ, Белгородская обл., г. Старый Оскол, info@sofmgr.ru

Данная статья подготовлена на основе существующих нормативных правил и стандартов, целью работы является систематизация наиболее часто используемых методов исследования. Автор выражает глубокую признательность сотрудникам ООО «БелгородТИСИЗ» за помощь, оказанную в процессе написания данной статьи.

Рассмотрены определения следующих характеристик: деформируемости (одеметрический модуль деформации; модуль деформации); прочности (удельное сцепление; угол внутреннего трения), просадочности (относительная просадочность; начальное просадочное давление).

Модуль деформации, удельное сцепление, угол внутреннего трения являются основными механическими свойствами грунтов, определяемых при выполнении инженерно-геологических изысканий.

Характеристики просадочности определяются в просадочных грунтах. Выполнение определений этих характеристик следует назначать, основываясь на значения физических свойств грунтов. Низкие значения числа пластичности, низкая плотность скелета грунта, невысокая природная влажность, светлая окраска, могут быть основанием для назначения данных определений.

Лабораторные определения характеристик деформируемости

Метод компрессионного сжатия

(регламентируемый нормативный документ ГОСТ 12248.4-2020)

Метод позволяет получить одометрический модуль деформации грунта [1]. Испытания проводят в компрессионных приборах (одометрах), исключающих возможность бокового расширения образца при его нагружении вертикальной нагрузкой. Нагружение образца проводят путем ступенчатого нагружения статической нагрузкой. Ступени нагрузки прикладывают равномерно, без ударов. Значения первой ступени давления принимают в зависимости от показателя текучести. Конечное давление доводят до заданного программой значения. При этом общее число ступеней должно быть не менее пяти. На каждой ступени нагружения образца регистрируют показания приборов для измерения вертикальных перемещений в следующей последовательности: первое показание — сразу после приложения нагрузки, затем через 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30 мин. и далее с интервалом 1 ч. в течение рабочего дня, а затем — в начале и конце рабочего дня. По окончании опыта обрабатывают результаты с расчетом относительной вертикальной деформации образца грунта, коэффициента пористости грунта при давлениях. По вычисленным значениям строят график зависимости относительной вертикальной деформации от давления (см. рис. 1) или коэффициента пористости от давления. Рассчитывают коэффициент сжимаемости на каждой ступени нагрузки и одометрический модуль деформации в заданном интервале давлений. Модуль может быть рассчитан двумя способами. В первом способе расчет происходит через давление и относительную вертикальную деформацию. Во втором, через коэффициент пористости и коэффициент сжимаемости.

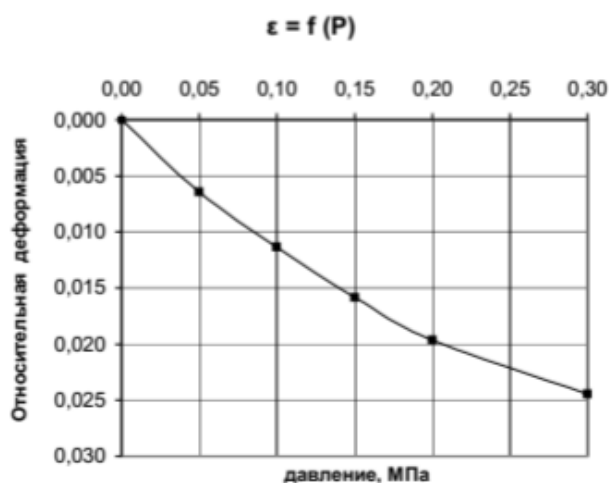


Рис. 4. График зависимости относительной вертикальной деформации от давления

Метод трехосного сжатия

Консолидированно-дренированное испытание
по определению деформационных характеристик

(регламентируемый нормативный документ ГОСТ 12248.3-2020)

Испытание позволяет получить модуль деформации грунта [2]. Испытания проводят в камерах установки трехосного сжатия (стабилометра) по консолидированно-дренированной схеме. Для неводонасыщенных в природных условиях грунтов вначале проводят изотропную реконсолидацию образцов при открытом дренаже под атмосферное давление в одну ступень всесторонним напряжением, равным горизонтальному эффективному напряжению от

собственного веса грунта. Для водонасыщенных в природных условиях грунтов изотропную реконсолидацию проводят путем восстановления двухфазного состояния — метод ВФС.

Далее образец переводят в анизотропное напряженное состояние путем приложения вертикальной нагрузки, равной вертикальному эффективному напряжению от собственного веса грунта. Далее приступают к испытаниям образца путем вертикального нагружения. Для неводонасыщенных в природных условиях грунтов вертикальное нагружение проводят при открытом дренаже под атмосферное давление. Для водонасыщенных в природных условиях грунтов вертикальное нагружение проводят при открытом дренаже под противодействие, равное поровому давлению, достигнутому при реконсолидации. Ступени вертикального давления принимают в зависимости от показателя текучести и % от среднего эффективного напряжения консолидации или задают программой испытаний. Испытание продолжают до момента разрушения образца (достижения максимального девиатора напряжений или до достижения относительной вертикальной деформации образца = 0,15 в зависимости от того, что наступит раньше). В процессе испытания регистрируют показания всех измерительных устройств на каждой ступени вертикального нагружения в следующей последовательности: через 1, 5, 15, 30 мин., 1, 2, 4, 6 и 8 ч., а затем в начале и в конце рабочего дня. По окончании опыта обрабатывают результаты с расчетом относительной вертикальной деформации образца грунта, относительной объемной деформации грунта. Строят график зависимости относительной вертикальной деформации от давления (см. рис. 2) Для определения модуля деформации используют прямую (см. рис. 3), построенную методом линейной аппроксимации, для участка кривой в диапазоне от вертикального напряжения от собственного веса грунта до 1,6 вертикального напряжения от собственного веса грунта (графическое определение модуля деформации) или расчетом по формуле в заданном диапазоне, аналогичном при графическом определении.

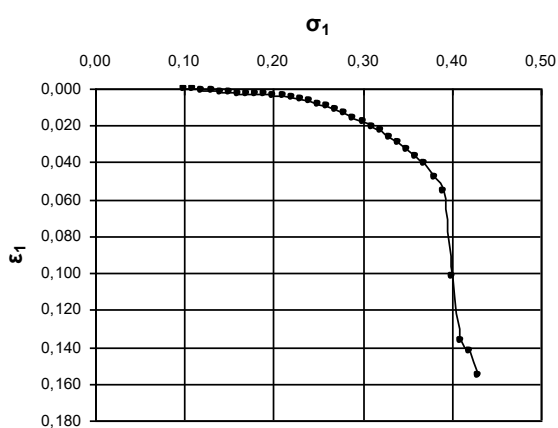


Рис. 2. График зависимости относительной вертикальной деформации от давления

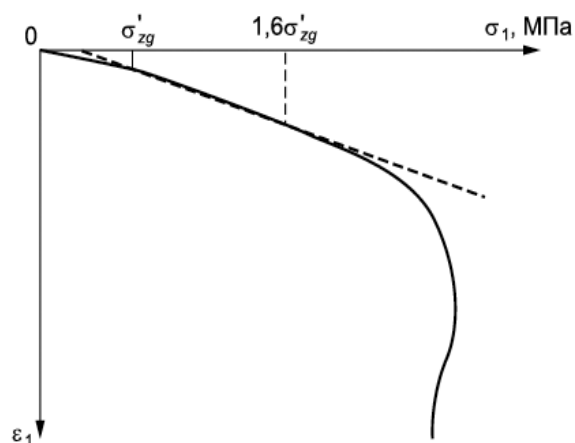


Рис. 3. Иллюстрация графического определения модуля деформации E

Лабораторные определения характеристик прочности

Метод одноплоскостного среза

Консолидированно-дренированное испытание

по определению характеристик прочности

(регламентируемый нормативный документ ГОСТ 12248.1-2020)

Испытание позволяет получить удельное сцепление и угол внутреннего трения грунта [3]. Для проведения срезных испытаний используется оборудование, состоящее из следующих

основных частей: срезной коробки, разделенной на две жесткие половины, имеющие возможность горизонтального смещения относительно друг друга; рабочих колец; жестких перфорированных штампов для передачи нормальных нагрузок на образец; механизма для вертикального нагружения образца; механизма создания горизонтальной сдвигающей нагрузки; устройств для измерения деформаций образца и прикладываемых нагрузок. В начале срезных испытаний проводят предварительное уплотнение образца непосредственно в рабочем кольце срезного прибора или уплотнителя. Значения нормальных давлений и ступеней давления при предварительном уплотнении грунтов назначают в зависимости от показателя текучести.

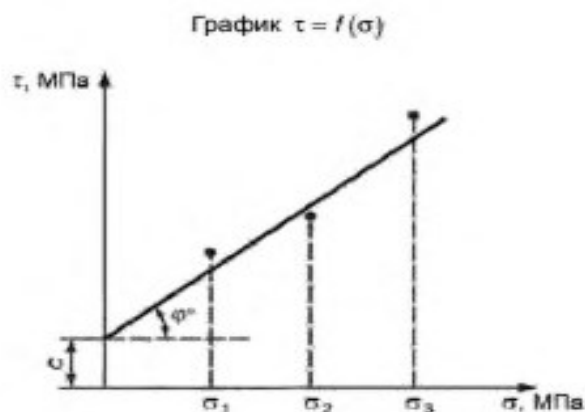


Рис. 4. Образец графического оформления результатов испытания грунта методом одноплоскостного среза

После предварительного уплотнения, если оно проводилось в уплотнителе, следует быстро разгрузить образец и перенести рабочее кольцо с образцом в срезную коробку. В случае предварительного уплотнения образца в условиях полного водонасыщения перед разгрузкой образца удаляют воду из ванны уплотнителя. Далее закрепляют рабочее кольцо в срезной коробке, устанавливают перфорированный штамп, регулируют механизм нагрузки, устанавливают зазор между подвижной и неподвижной частями срезной коробки (0,5 мм), устанавливают измерительную аппаратуру для регистрации вертикальных деформаций образца. На образец грунта передают то же нормальное давление, при котором происходило предварительное уплотнение грунта. После передачи на образец грунта нормальной нагрузки приводят в рабочее состояние механизм создания горизонтальной сдвигающей нагрузки и устройство для измерения деформаций среза грунта и регистрируют его начальное показание. Испытание на срез проводят при возрастании нагрузки ступенями по 5 % от значения нормальной нагрузки, при которой проводят срез. Не реже чем через каждые 2 мин. после передачи ступени нагрузки проводится измерение деформации среза, уменьшая интервал между измерениями до 1 мин. в период затухания деформаций до ее условной стабилизации. Критерием завершения ступени нагружения является достижение скорости деформации среза, не превышающее 0,01 мм/мин. Испытание следует считать законченным, если при приложении очередной ступени сдвигающей нагрузки произойдет мгновенный срез (срыв) одной части образца по отношению к другой или относительная деформация образца превысит 10 % (в зависимости от того, что наступит раньше). По измеренным в процессе одноплоскостного среза значениям горизонтальной сдвигающей и нормальной нагрузок вычисляют касательные и нормальные напряжения. По измеренным в процессе испытания значениям деформаций среза соответствующим различным напряжениям строят график

зависимости. Угол внутреннего трения и удельное сцепление, вычисляют по формулам, полученным обработкой экспериментальных точек методом наименьших квадратов, или определяют по графику проводя прямую наилучшего приближения к экспериментальным точкам (см. рис. 4)

Метод трехосного сжатия.

*Консолидированно-дренированное испытание
по определению прочностных характеристик*

(регламентируемый нормативный документ ГОСТ 12248.3-2020)

Испытание позволяет получить удельное сцепление и угол внутреннего трения грунта [2]. Проводят в камерах установки трехосного сжатия (стабилометра) по консолидированно-дренированной схеме. Испытания проводят при открытом дренаже под атмосферное давление без этапа реконсолидации. После завершения консолидации приступают к разрушению образца вертикальным нагружением при постоянном давлении в камере, достигнутом на этапе консолидации, или при иных условиях нагружения, предусмотренных программой испытаний.

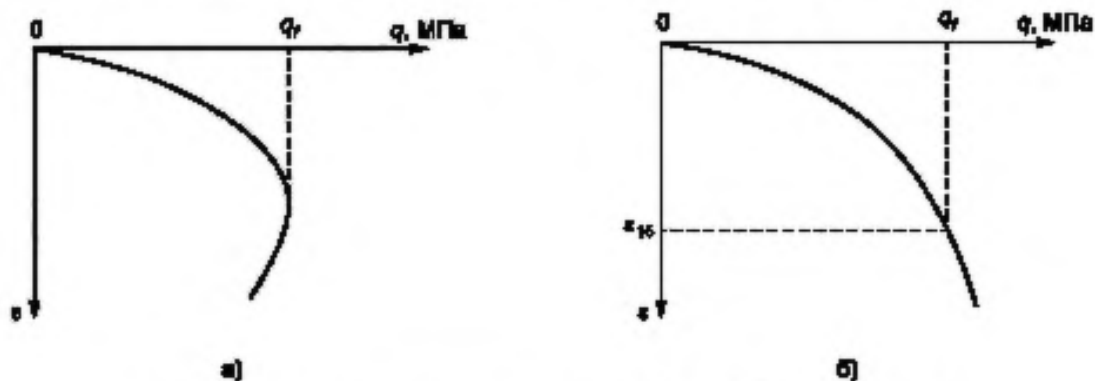


Рис. 5. График разрушения образца

а) при выраженном сдвиге

б) при отсутствии выраженного сдвига

Разрушение образцов водонасыщенного грунта производят ступенями. Ступени принимаются в зависимости от показателя текучести и % от среднего эффективного напряжения консолидации или задаются программой испытаний. Показания всех измерительных устройств регистрируют в конце каждой ступени нагрузки. Испытание продолжают до момента разрушения образца (достижения максимального девиатора напряжений, или до достижения относительной вертикальной деформации образца = 0,15 в зависимости от того, что наступит раньше).

После окончания испытания образец разгружают, сбрасывают давление в камере и сливают рабочую жидкость. По окончании опыта обрабатывают результаты с расчетом относительной вертикальной деформации образца грунта, относительной объемной деформации грунта, девиатора напряжений. По вычисленным значениям строят графики зависимости относительной вертикальной деформации от девиатора напряжений (см. рис. 5)

На графиках определяют значения разрушающего девиатора напряжения соответствующего моменту разрушения образца грунта, и строят круги Мора-Кулона с

радиусами и координатами центров (см. рис. 6). Далее рассчитывают угол внутреннего трения и удельное сцепление по формулам (9.9) и (9.10).

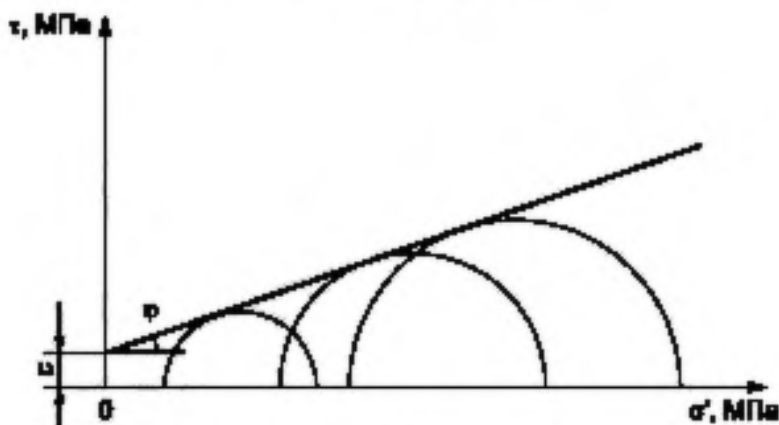


Рис. 6. Диаграмма прочности Кулона-Мора

Лабораторные определения характеристик просадочности (регламентируемый нормативный документ ГОСТ 23161-2012)

Метод позволяет получить относительную просадочность, начальное просадочное давление и начальную просадочную влажность [4]. Характеристики просадочности определяют по относительному сжатию, полученному по результатам испытаний образцов грунта ненарушенного сложения в компрессионных приборах без возможности бокового расширения образцов грунта. Испытания проводят на образцах грунта ненарушенной структуры с природной влажностью и с замачиванием их водой при давлении, последовательно увеличиваемом ступенями. Испытания просадочных грунтов в компрессионных приборах проводят по следующим схемам: «одной кривой» — для определения относительной просадочности при одном заданном значении давления; «двух кривых» — для определения относительной просадочности при различных давлениях, начального просадочного давления.

При испытаниях по схеме «одной кривой» нагрузку штампа на образец грунта с природной влажностью следует прикладывать ступенями равными 50 кПа до заданного давления. После условной стабилизации осадки образца грунта на последней ступени давления, соответствующей заданному давлению, образец грунта необходимо замочить водой, продолжая замачивание до условной стабилизации просадки. За критерий условной стабилизации осадки и просадки надлежит принимать приращение осадки и просадки образца, не превышающее 0,01 мм за 3 ч.

Испытания по схеме «двух кривых» проводят на двух образцах грунта, отобранных из одного монолита. Один образец следует испытывать в соответствии со схемой «одной кривой», второй образец необходимо до его нагрузки замочить (без применения арретира) до полного водонасыщения, начиная замачивание не менее чем за 6 ч. до передачи первой ступени давления при испытаниях просадочных грунтов. Затем следует провести нагружение штампа на образец ступенями равными 50 кПа до заданного давления, продолжая замачивание.

Относительную просадочность грунта, при заданном давлении по испытаниям по схеме «одной кривой» следует определять как дополнительное относительное сжатие образца грунта в результате замачивания по формуле (3). Значения относительной просадочности для различных давлений при испытаниях по схеме «двух кривых» надлежит определять как

разность значений относительного сжатия образцов в водонасыщенном состоянии и природной влажности или разности ординат соответствующих кривых графика. По значениям следует строить график зависимости относительной просадочности от давления. Начальное просадочное давление следует определять по графику зависимости относительной просадочности от давления, принимая за величину начального просадочного давление, при котором относительная просадочность составляет 0,01 (см. рис. 7).

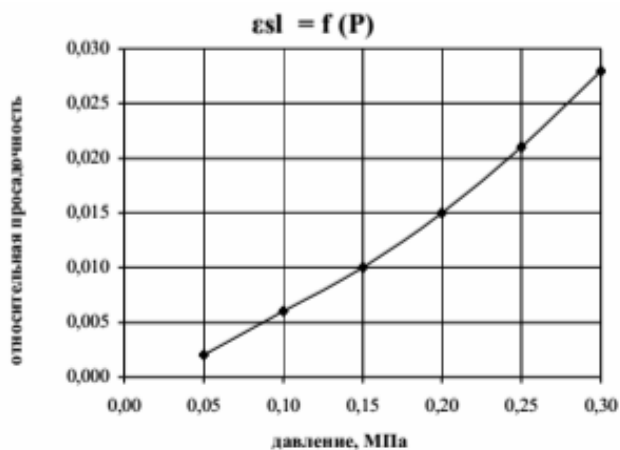


Рис. 7. График зависимости относительной просадочности от давления

Испытания просадочного грунта для определения начальной просадочной влажности следует производить по схеме «четырёх-пяти кривых», включающей испытания двух образцов по схеме «двух кривых» и испытания дополнительных двух-трех образцов по схеме «одной кривой», предварительно увлажненных до неполного водонасыщения идентичных образцов грунта до промежуточных значений влажности, разделяющих предел изменения влажности от природной до полного водонасыщения (0,9) примерно на равные интервалы. Повышение влажности образцов грунтов до заданных промежуточных значений неполного водонасыщения проводят заливкой в него расчетного количества воды, определяемого по формуле (Г.1). При повышении влажности грунта в рабочем кольце паром вначале образец подогревают в сушильном шкафу в течение 3-5 мин. до температуры 40-50°C. Затем покрывают резиновой прокладкой, помещают на металлическую сетку над сосудом с кипящей водой и в течение 3-5 мин. через него пропускают пар. После этого рабочее кольцо с грунтом помещают между двумя резиновыми прокладками и охлаждают под вентилятором, а затем взвешивают. В результате одного цикла пропаривания влажность грунта повышается обычно на 0,02-0,04. Полученную влажность рассчитывают по формуле (Г.2). При недостаточном увлажнении циклы пропаривания повторяют до тех пор, пока не будет достигнута требуемая влажность грунта в образце. Для определения начальной просадочной влажности грунтов по результатам компрессионных испытаний образцов с различной влажностью строят графики зависимости относительного сжатия грунта при различной влажности от давления (см. рис. 8).

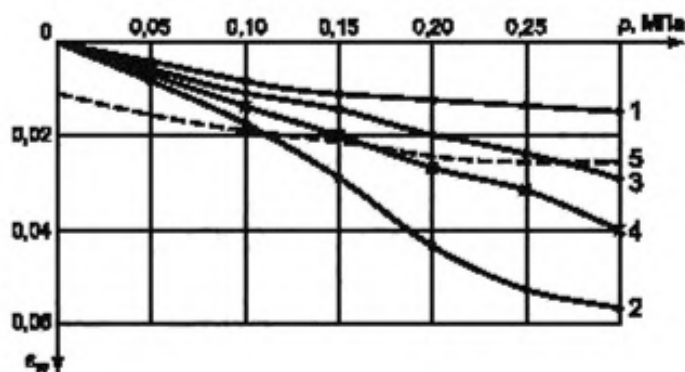


Рис. 8. График зависимости относительного сжатия при различной влажности от давления

На этом же графике проводят вспомогательную кривую (пунктирную линию), параллельную кривой относительного сжатия с природной влажностью, соответствующую относительной просадочности (разности абсцисс обеих кривых) $\varepsilon_{sl}=0,01$. По точкам пересечения пунктирной кривой с кривыми относительного сжатия грунта при различной влажности определяю значения начальной просадочной влажности по каждому испытанному образцу. Полученные значения начальной влажности и соответствующих им давлений используют для построения графика зависимости начальной просадочной влажности от давления (см. рис. 9).

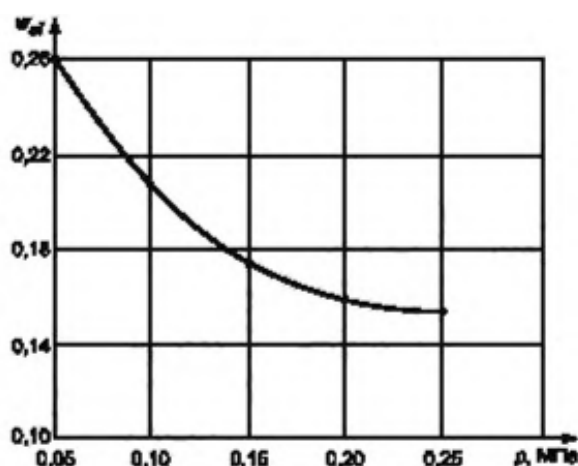


Рис. 9. График зависимости начальной просадочной влажности от давления

Абсцисса точек этого графика, соответствующая минимальному давлению, при котором проявляются просадочные свойства (в состоянии полного водонасыщения) представляет собой начальное просадочное давление.

Полевые определения характеристик деформируемости

Метод испытания штампом

(регламентируемый нормативный документ ГОСТ 20276.1-2020)

Позволяет получить модуль деформации грунта [5]. В состав установки для испытания грунта штампом входит: штамп; устройство для создания и измерения нагрузки на штамп; анкерное устройство (для установок без грузовой платформы); устройство для измерения осадок штампа (прогибомеры, датчики перемещений). Конструкция установки должна обеспечивать: возможность нагружения штампа ступенями давления по 0,01-0,1 МПа;

центрированную передачу нагрузки на штамп; постоянство давления на каждой ступени нагружения.

Существует несколько типов штампа:

I — с плоской подошвой площадью 2500 и 5000 см²;

II — с плоской подошвой площадью 1000 см² с кольцевой пригрузкой по площади, дополняющей площадь штампа до 5000 см²;

III — с плоской подошвой площадью 600 см²;

Ша — с плоской подошвой площадью 600 см² и встроенным очистным устройством;

IV — винтовой штамп площадью 600 см²

Тип и площадь штампа назначают от показателя текучести грунта, наличия просадочных свойств испытуемого грунта и положения уровня подземных вод.

Нагружение штампа осуществляют домкратом или тарированным грузом. Домкраты должны быть предварительно оттарированы. Нагрузку измеряют с погрешностью не более 5 % ступени давления. Ступени давления и время условной стабилизации деформации принимают в зависимости от показателя текучести и коэффициента пористости. Для просадочных грунтов в зависимости от условий испытаний (при природной влажности или после замачивания).

Измерительная система осадки штампа должна обеспечивать измерение осадок с погрешностью не более 0,1 мм. Осадку штампа следует определять как среднее арифметическое значение показаний трех измерителей, фиксирующих осадку штампа в трех точках, расположенных под углом 120° от оси штампа в горизонтальной плоскости.

Фиксация отсчетов на каждой ступени нагружения проводят через каждые 15 мин. в течение первого часа. 30 мин. в течение второго часа, далее через 1 ч. до условной стабилизации деформации грунта.

Общее число ступеней давления после достижения давления, соответствующего вертикальному эффективному напряжению от собственного веса грунта на отметке испытания, должно быть не менее четырех. В первую ступень давления следует включить вес деталей установки, влияющих на нагрузку штампа.

По данным испытаний строят график зависимости осадки штампа от давления (см. рис. 10).

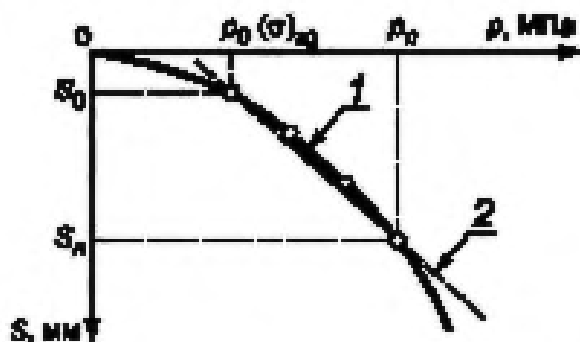


Рис. 10. График $S=f(p)$. 1 — линейная часть графика, 2 — осредняющая прямая

Модуль деформации вычисляют в диапазоне давлений от начального до конечного. За начальное значение давления и осадки принимают давление, равное вертикальному эффективному напряжению от собственного веса грунта на отметке испытания и

соответствующую осадку. За конечные значения давления и осадки принимают значения давления и осадки, соответствующие четвертой точке графика на прямолинейном участке.

Если при давлении приращение осадки будет вдвое больше, чем для предыдущей ступени давления, а при последующей ступени давления приращение осадки будет равно или больше приращения осадки при давлении, за конечные значения давления и осадки следует принимать значения предшествующей ступени нагружения. При этом число точек в рассматриваемом диапазоне должно быть не менее трех. В противном случае при испытании грунта необходимо применять меньшие ступени давления. Расчет модуля деформации зависит от типа штампа и выполняется по формулам (1) или (2).

Данный метод полевого определения, является наиболее трудоемким и длительным. Не мало времени отводится на подготовку к испытаниям. Необходимо учитывать минимальную толщину однородного слоя испытуемого грунта, которая должна быть не менее двух диаметров штампа. Однако данный метод является наиболее достоверным, условия проведения испытаний, практически не нарушают условия природного залегания испытуемых грунтов. Применения этого метода возможно для всех сооружений, независимо от уровня ответственности. Данный метод позволяет получить не только модуль деформации, а также коэффициент для корректировки компрессионных испытаний.

Полевые определения характеристик прочности

Метод среза целиков грунта

Проведение испытания по схеме консолидированно-дренированного среза (регламентируемый нормативный документ ГОСТ 20276.4-2020)

Позволяет получить удельное сцепление и угол внутреннего трения грунта [6]. В состав установки для испытания целика грунта методом среза входит: кольцо с внутренним диаметром $D = 200$ мм и высотой кольца $H = 120$ мм; жесткие штампы с размерами, соответствующими внутреннему диаметру кольца; механизм для вертикального нагружения целика грунта; механизм для создания срезающей нагрузки с анкерным устройством; устройства для измерения деформаций целика грунта и прикладываемой нагрузки. Конструкции установок должны обеспечивать возможность; передачи нормальной нагрузки центрально на штамп по оси целика грунта; передачи касательной нагрузки в плоскости, перпендикулярной к приложению нормальной нагрузки; при этом касательная нагрузка должна быть приложена в плоскости среза или выше ее на расстоянии не более 30 мм; передачи нормальной и касательной нагрузок ступенями или в виде непрерывно возрастающей нагрузки с постоянной скоростью. Приборы (прогибомеры, индикаторы и др.) для измерения деформаций сжатия и среза целика грунта с погрешностью не менее 0,1 мм должны быть надежно закреплены на металлической реперной системе.

Предварительное уплотнение целика грунта проводят нормальными давлениями, при которых определяют сопротивление грунта срезу. Нормальные давления передают на целик грунта последовательно ступенями; значения давлений и их ступеней принимают в зависимости от показателя текучести. Каждую ступень давления при предварительном уплотнении необходимо выдерживать не 30 мин. Конечную ступень выдерживают до условной стабилизации деформации сжатия целика грунта. За критерий условной стабилизации деформации сжатия принимают приращение осадки целика, не превышающее 0,1 мм за время, зависящее от показателя текучести. После предварительного уплотнения грунта и восстановления зазора проводят срез целика грунта при ступенчатом или плавном увеличении касательной нагрузки. При передаче касательной нагрузки ступенями их значения

не должны превышать 10 % значения нормальной нагрузки, при которой проводят срез. На каждой ступени нагружения записывают показания приборов для измерения деформации среза через каждые 2 мин. до ее условной стабилизации. За критерий условной стабилизации среза принимают приращение перемещения кольца в плоскости среза, не превышающее 0,1 мм за время, зависящее от показателя текучести. При непрерывно возрастающей касательной нагрузке скорость среза должна быть постоянной и соответствовать указанной в таблице (3). Деформации среза фиксируют не реже чем через 2 мин. Испытание следует считать законченным, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки происходит мгновенный срез (срыв) одной части грунта по отношению к другой или общая деформация среза превысит 0,1 диаметра кольца. При проведении среза с постоянной скоростью за окончание испытаний принимают момент, когда касательная нагрузка достигает максимального значения, после чего наблюдается некоторое ее снижение или установлено постоянство значения деформации среза, или если общее значение деформации среза превысит 0,1 диаметра кольца. После окончания испытания целики грунта следует разгрузить и отобрать из зоны среза две пробы грунта для определения влажности.

Угол внутреннего трения и удельное сцепление находят по графику зависимости (см. рис. 11). При этом величину удельного сцепления определяют как отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, а тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс есть тангенс угла внутреннего трения.

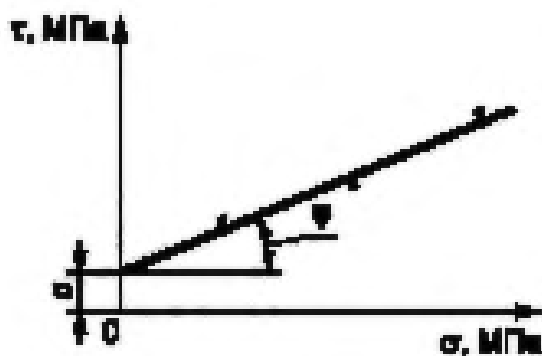


Рис. 11. График $t = f(p)$

Полевые определения характеристик просадочности

Метод испытания штампом

(регламентируемый нормативный документ ГОСТ 20276.1-2020)

Позволяет получить относительную просадочность, начальное просадочное давление [5]. В состав установки для испытания грунта штампом входит: штамп; устройство для создания и измерения нагрузки на штамп; анкерное устройство (для установок без грузовой платформы); устройство для измерения осадок штампа (прогибомеры, датчики перемещений). Конструкция установки должна обеспечивать: возможность нагружения штампа ступенями давления по 0,01-0,1 МПа; центрированную передачу нагрузки на штамп; постоянство давления на каждой ступени нагружения. Для получения характеристик просадочности используют штамп I типа площадью 5000 см².

Нагружение штампа осуществляют домкратом или тарированным грузом. Домкраты должны быть предварительно оттарированы. Нагрузку измеряют с погрешностью не более 5 % ступени давления. Ступени давления и время условной стабилизации деформации

принимают в зависимости от условий испытаний (при природной влажности или после замачивания).

Измерительная система осадки штампа должна обеспечивать измерение осадок с погрешностью не более 0,1 мм. Осадку штампа следует определять как среднее арифметическое значение показаний трех измерителей, фиксирующих осадку штампа в трех точках, расположенных под углом 120° от оси штампа в горизонтальной плоскости.

Фиксация отсчетов на каждой ступени нагружения проводят через каждые 15 мин. в течение первого часа. 30 мин. в течение второго часа, далее через 1 ч. до условной стабилизации деформации грунта.

Общее число ступеней давления после достижения давления, соответствующего вертикальному эффективному напряжению от собственного веса грунта на отметке испытания, должно быть не менее четырех. В первую ступень давления следует включить вес деталей установки, влияющих на нагрузку штампа.

Испытания просадочных грунтов с замачиванием следует проводить по схеме «двух кривых» или «одной кривой». Схему испытаний выбирают в зависимости от комплекса характеристик, необходимых для проектирования. Испытания по схеме «двух кривых» следует выполнять при необходимости определения полного комплекса характеристик, по схеме «одной кривой» — в случаях, относительную просадочность при одном заданном давлении.

При испытаниях по схеме «одной кривой» нагрузку на штамп увеличивают степенями до заданного давления. После достижения условной стабилизации осадки на последней ступени, соответствующей давлению, грунт в основании штампа следует замочить и продолжать замачивание с измерениями просадки грунта до ее условной стабилизации при расходе воды не менее определяемого по расчету. За критерий условной стабилизации просадки грунта следует принимать скорость осадки штампа, не превышающую 0,1 мм за 2 ч.

Испытания по схеме «двух кривых» следует проводить на одной глубине в двух шурфах, расположенных на расстоянии 5-6 м. В одном шурфе испытания необходимо проводить при природной влажности в другом — замочить грунт (при расходе воды не менее определяемого по расчету) после монтажа установки до приложения нагрузки, а затем нагружать штамп степенями до заданного давления продолжая замачивание грунта. Отсчеты по измерителям после замачивания просадочного грунта следует проводить через каждые 15 мин. в течение первого часа. 30 мин. в течение второго часа, далее через 1 ч. до условной стабилизации деформации грунта.

Модуль деформации просадочных грунтов вычисляют по формуле (2). При испытаниях по схеме «двух кривых» модуль деформации грунта в насыщенном водой состоянии (после замачивания) определяют отдельно для двух участков графика (см. рис. 12): в интервале измерений давлений от начального давления до начального просадочного давления и от начального просадочного давления до заданного давления. Для вычисления модуля деформации просадочных грунтов, испытываемых в насыщенном водой состоянии (после замачивания), за начальные значения давления и осадки, принимают давление и осадку, соответствующие первой ступени давления.

Начальное просадочное давление необходимо определять по результатам испытаний грунтов по схеме «двух кривых». За начальное просадочное давление (принимают давление, соответствующее точке перегиба графика для грунта, испытываемого в насыщенном водой состоянии. При нечетко выраженном перегибе графика за начальное просадочное давление принимают давление, при котором просадка грунта в основании штампа составит $0,005 h_{sl}$, где

h_{sl} — деформируемая зона грунта по вертикали, равная 0,4; 0,7; 1,2; 1,7 и 2,0 диаметра штампа при давлениях равных 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 МПа соответственно. Относительную просадочность вычисляют по формуле (Д.2). Просадку грунта в основании штампа для вычисления относительной просадочности при испытаниях по схеме «одной кривой» необходимо определять как приращение осадки штампа в результате замачивания грунта при заданном давлении, а при испытаниях по схеме «двух кривых» — как разность осадок штампа на грунте в насыщенном водой состоянии и грунте природной влажности на каждой ступени давления. Значения относительной просадочности необходимо считать соответствующими средним давлениям в деформируемой зоне, определяемым по формуле (Д.3).

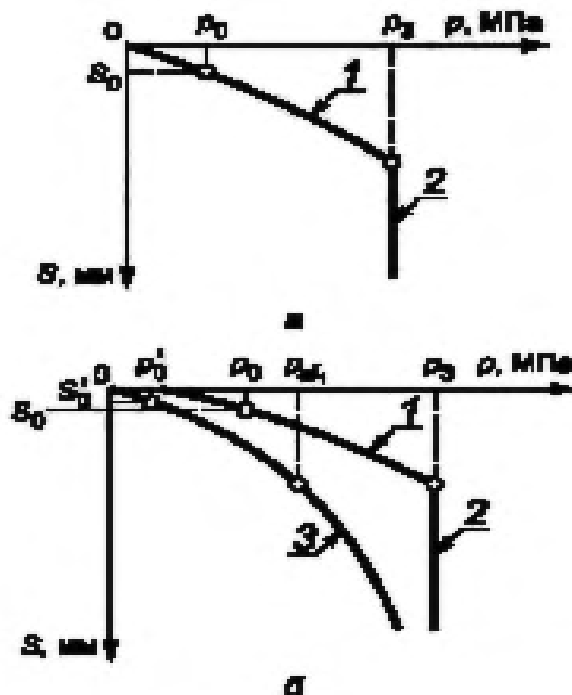


Рисунок 12. Графики $S=f(p)$ испытания штампом просадочного грунта с замачиванием по схемам «одной кривой» (а) и «двух кривых» (б)

Полевые определения характеристик деформируемости и прочности на основании результатов статического зондирования

Метод испытания статическим зондированием

(регламентируемый нормативный документ

на проведение статического зондирования ГОСТ 19912-2012)

(регламентируемый нормативный документ на принятие характеристик деформируемости и прочности по результатам статического зондирования

СП 11-105-97 ч. I и СП 446.1325800.2019)

Статическое зондирование проводится специальными установками, обеспечивающими вдавливание зонда в грунт [7]. Например, ПИКА-17 с зондом II типа согласно ГОСТ 19912-2012. (см. рис. 13). Данная установка позволяет получить значения удельного сопротивления грунта под наконечником (конусом) зонда и значения удельного сопротивления грунта на участке боковой поверхности (муфте трения) зонда.

Статическое зондирование следует выполнять путем непрерывного вдавливания зонда в грунт, соблюдая порядок операций, предусмотренный инструкцией по эксплуатации установки. При непрерывном зондировании перерывы в погружении зонда допускаются только для

наращивания штанг зонда. В процессе зондирования необходимо осуществлять постоянный контроль за вертикальностью погружения зонда. Показатели сопротивления грунта следует регистрировать непрерывно или с интервалами по глубине погружения зонда не более 0,1 м. Скорость погружения зонда в грунт должна быть $(1,2 \pm 0,3)$ м/мин. Испытания заканчивают после достижения необходимой глубины или же при достижениях предельных нагрузок на установку. По данным измерений составляют таблицы и строят графики (см. рис. 14)

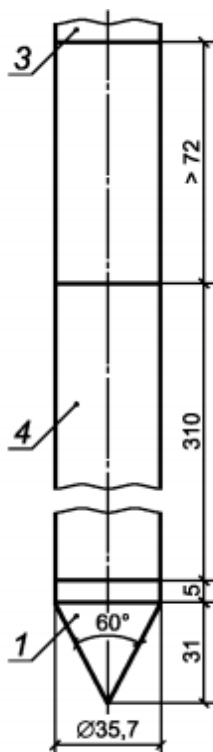
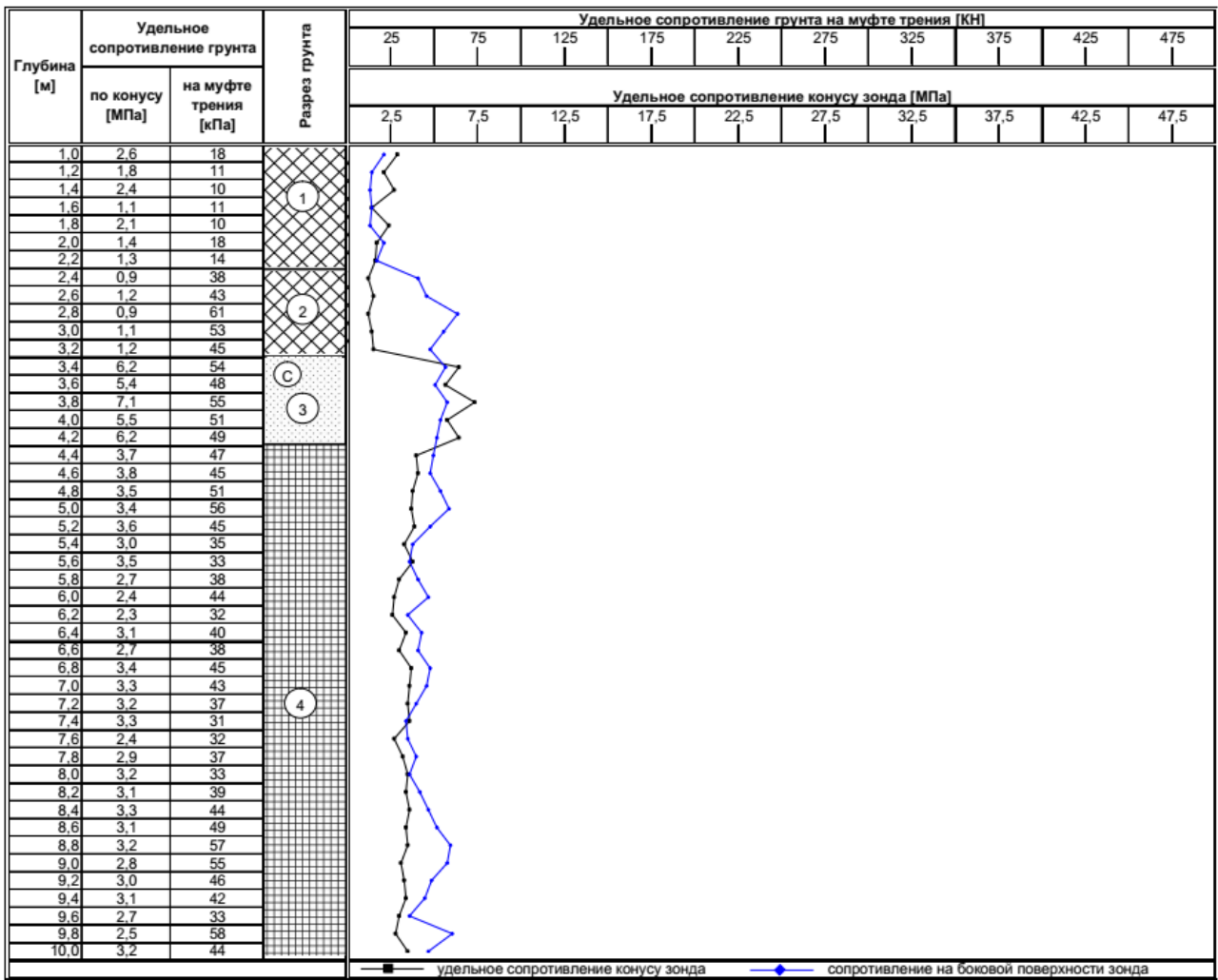


Рис. 13. Электрический зонд (тип II) для статического зондирования. 1 — конус, 3 — штанга, 4 — муфта трения

На основании результатов статического зондирования, а именно значения удельного сопротивления грунта под наконечником зонда, по таблицам из СП 11-105-97 часть I и СП 446.1325800.2019 принимаем деформационные характеристики (модуль деформации) и прочностные (удельное сцепление и угол внутреннего трения).

Список литературы

1. ГОСТ 12248.4-2020 «Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия».
2. ГОСТ 12248.3-2020 «Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия»
3. ГОСТ 12248.1-2020 «Грунты. Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза»
4. ГОСТ 23161-2012 «ГРУНТЫ. Метод лабораторного определения характеристик просадочности»
5. ГОСТ 20276.1-2020 «Грунты. Метод испытания штампом»
6. ГОСТ 20276.4-2020 «Грунты. Метод среза целиков грунта»
7. ГОСТ 19912-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием»



Частные предельные сопротивления свай. СП 24.13330.2021 формула 7.27

Сторона свай 0,3 м. Периметр свай 1,2 м. Тип грунта - песчаный Тип грунта - глинистый

Глубина [м]	Среднее сопротивление конусу [кПа]	Коефф. перехода В1	Сопротивление под нижним концом свай [кПа]	Среднее удельное сопротивление на муфте трения на 1 п.м. [кПа]	Коефф. перехода В1	Сопротивление на боковой поверхности свай на 1 п.м. [кПа]	Сопротивление на боковой поверхности свай [кПа]	Предельные сопротивления свай [кН]			Коефф. перехода В1	Сопротивление на боковой поверхности свай на 1 п.м. [кПа]	Сопротивление на боковой поверхности свай [кПа]	Предельные сопротивления свай [кН]		
								Под нижним концом	На боковой поверхности	Общее				Под нижним концом	На боковой поверхности	Общее
2,0	1244	0,88	1100	12,00	0,75	9,00	4,50	98,97	10,80	109,77	1,00	12,00	6,00	98,97	14,40	113,37
3,0	3867	0,72	2776	41,80	0,60	24,89	11,30	249,86	40,67	290,53	0,74	30,79	14,26	249,86	51,34	301,21
4,0	4689	0,67	3135	50,60	0,57	29,02	15,73	282,18	75,49	357,67	0,67	33,93	19,18	282,18	92,06	374,23
5,0	3133	0,76	2388	49,60	0,58	28,57	18,30	214,88	109,78	324,66	0,68	33,63	22,07	214,88	132,41	347,29
6,0	2956	0,77	2284	39,00	0,61	23,69	19,20	205,53	138,21	343,74	0,76	29,74	23,35	205,53	168,10	373,62
7,0	3056	0,77	2343	39,60	0,60	23,88	19,86	210,83	166,86	377,70	0,75	29,90	24,28	210,83	203,97	414,81
8,0	3000	0,77	2310	34,00	0,65	21,93	20,12	207,90	193,18	401,08	0,82	28,05	24,75	207,90	237,63	445,53

Рис. 14. Таблицы и графики статического зондирования

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ИЗЫСКАНИЯХ

Кукушкин Д. А.

ООО «ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ», г. Москва, KD@gsi.ru

Научно-технический прогресс не стоит на месте в различных областях промышленности, нефтегазовом секторе, добычи полезных ископаемых, сельском хозяйстве и других областях. Стоит отметить, что развитие технологий и оборудования происходит и в геодезическом, маркшейдерском, измерительном оборудовании. С каждым годом совершенствуются сами приборы, программные продукты, выпускаются новые решения, которые совмещают в себе несколько технологий, позволяя тем самым более эффективно использовать временные и человеческие ресурсы для выполнения поставленных задач перед изыскателями, геодезистами, маркшейдерами, топографами, кадастровыми инженерами, строителями, проектировщиками, замерщиками и другими специалистами смежных областей.

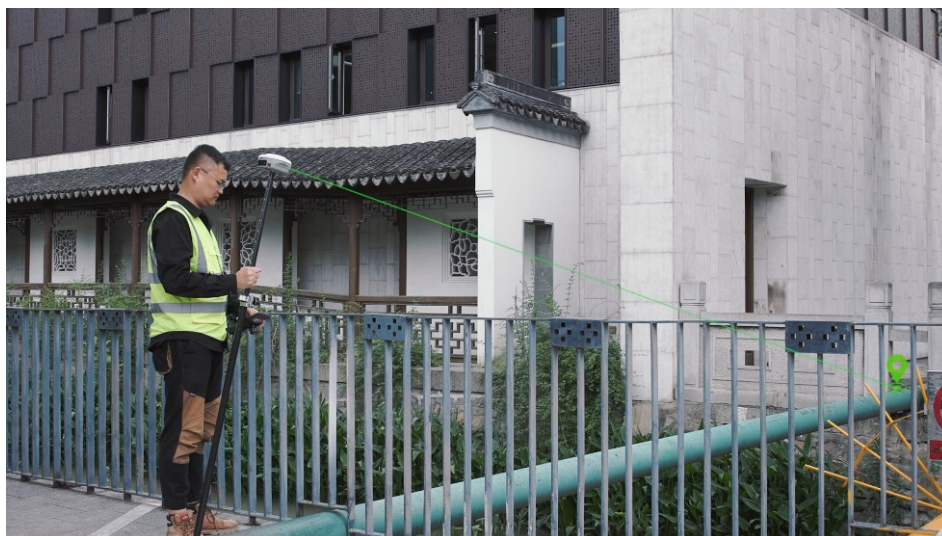
За последние годы технология определения координат объектов с использованием спутниковых приемников получила наибольшее распространение в разных областях. Количество приемников, используемых в работе, растет с каждым годом, постепенно вытесняя с рынка как оптические, так и оптико-электронные приборы. Одним из таких решений в области геодезического приборостроения стали спутниковые приемники со встроенным дальномером и блоком инерциальных измерений, которые появились на мировом рынке в 2023 году. Комбинация технологий позволяет более быстро и безопасно решить ряд практических, производственных задач при проведении съемочных и разбивочных работ. Использование встроенного дальномера позволяет располагать приемник в местах с уверенным приемом спутниковых сигналов, определяя свое местоположение с высокой степенью точности от геостационарных спутников и производить измерение расстояния от приемника до характерных точек объекта, без ухудшения получения точности их координат. Встроенный в приемник блок инерциальных измерений позволяет пользователю наклонять и поворачивать прибор под определенными углами таким образом, чтобы с помощью лазерного луча определять координаты именно необходимой характерной точки. Сегодня существуют приемники со встроенным дальномером, расположенном как в боковой части корпуса, так и в нижней его части.

Приведем несколько примеров использования спутниковых приемников со встроенным блоком инерциальных измерений и дальномером.

Выполняя работы в городской застройке, зачастую возникает необходимость измерения координат углов зданий или сооружений, но при приближении к зданию точность получения координат снижается или становится невозможной из-за экранирования спутниковых сигналов объектами, особенно если они расположены с южной стороны по отношению к исполнителю. Используя приемник с дальномером на 15 метров, можно отойти от угла здания, где прием сигналов достаточно устойчив и произвести определение координат необходимой точки. В таких условиях лучше производить работы с приемником у которого встроенный лазерный дальномер находится на боковой части корпуса, как приведено на фотографиях №1 и №2. Приемники серии MARS так же актуальны при изысканиях, выполнении кадастровых работ и топографических съемках.

Возможность измерять расстояние от приемника до объекта ограничена 15 метрами. Эта дальность позволяет сохранять точность получаемых координат объекта при использовании

блока инерциальных измерений и дальномера соответствующей точности определения координат самим спутниковым приемником.



Фотография №1. Спутниковый приемник MARS SinoGNSS



Фотография №2. Спутниковый приемник MARS SinoGNSS

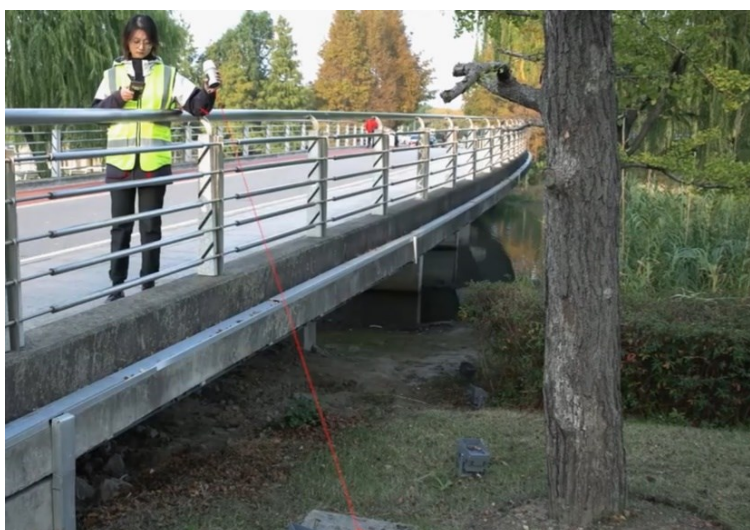
Для маркшейдерских работ на открытом пространстве и при выполнении разбивки наиболее подходящим будет приемник, лазерный дальномер у которого расположен в нижней части корпуса.

Выполнение измерений низа траншей, дна колодцев, откосов, опор мостовых пролетов и других объектов, расположенных снизу относительно исполнителя, безопаснее и более эффективнее производить приемником VENUS, как показано на фотографиях №3 и №4.

Стоимость приемников со встроенным дальномером не сильно отличается от аналогичных приборов без встроенных дальномеров, что делает их применение не только удобным и безопасным, но еще и экономически выгодным в различных приложениях.



Фотография №3. Спутниковый приемник Venus SinoGNSS



Фотография №4. Спутниковый приемник Venus SinoGNSS

За последние несколько лет, развитие коснулось не только традиционных геодезических приборов, но и более современных, таких как лазерные сканирующие системы. Первые лазерные сканеры появились в России еще в 90-е годы и стали быстро распространяться среди проектных институтов, производственных компаний, а в дальнейшем и специализированных отделов крупных предприятий. В след за стационарными сканерами, скорость сканирования которых в те годы была от 1000 точек в секунду до 500000 точек в секунду, в начале 2000-х годов стали появляться сканеры воздушного базирования, затем мобильные лазерные сканирующие системы. Мобильные лазерные сканеры актуальны и в данный момент — их устанавливают на железнодорожный транспорт, автомобили, квадроциклы, БЛА для сканирования протяженных объектов за короткий промежуток времени. В 2010-е годы развитие сканирующих систем привело к появлению носимых ручных сканеров, которые характеризуются малым весом по сравнению с существовавшими ранее, высокой точностью измерения расстояний, а также высокой скоростью получения результата сканирования после завершения работы. В 2020 годах технология была доработана и позволяет получать качественные данные за колоссально рекордно короткое время. Таким образом первичные

данные после сканирования допустим в течение 30 минут можно получить уже через 45 минут после завершения сканирования.

Современные ручные сканеры — это программно-аппаратный комплекс, включающий в себя сам сканер, блок инерциальных измерений, блок управления, в роли которого может выступать мобильный телефон или планшет для наглядности получения результатов в процессе выполнения работы, блок питания, соединительные элементы и накопитель данных с процессором для выполнения первичной обработки полученных результатов в поле. (Фотография №5). В принципе, сканирование может выполняться и без использования внешнего устройства управления, а используя клавиши включения и выключения на корпусе прибора.



Фотография №5. Мобильный лазерный 3D сканер GOSLAM RS100S

Обработка данных в современных мобильных ручных лазерных сканерах реализована по технологии одновременного процесса сканирования и определения своего место положения в пространстве по массиву собранных данных, облаков точек. Аббревиатура этого процесса имеет наименование SLAM. В процессе выполнения сканирования окружающего пространства, создаются «блоки» облаков точек, сформированных за определенные промежутки времени, а при первичной обработке данных, эти блоки совмещаются по характерным контурам (стенам, потолкам, полу, деревьям, столбам, заборами и другим статичным элементам) находящихся в неподвижном состоянии. Предварительное ориентирование «блоков» облаков точек происходит за счет блока инерциальных измерений, встроенного в сканер. Проще говоря, программное обеспечение выискивает одни и те же элементы в разных «блоках» облаков точек и совмещает их последовательно друг с другом. Поэтому для получения наилучших точностных результатов необходимо соблюдать методику выполнения полевых работ.

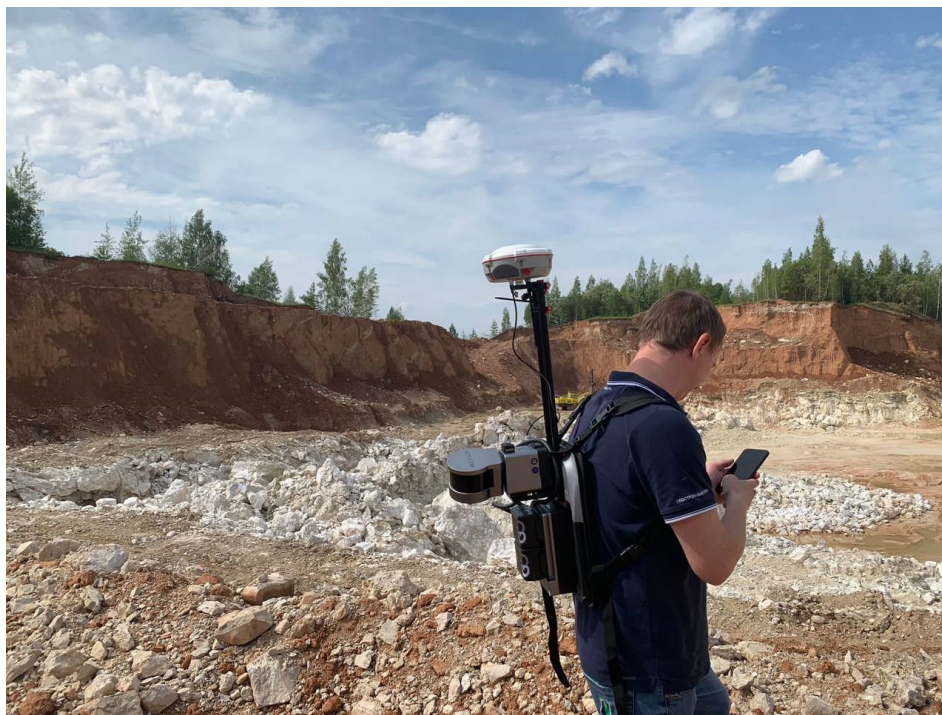
Дополнительно, для повышения эффективности и наглядности работы, помимо встроенного блока инерциальных измерений, комплекс ручного сканера может дополняться фотокамерой высокого разрешения для получения данных в реальных цветах, а также спутниковым приемником для координирования положения комплекса в пространстве в режиме RTK в момент выполнения полевых работ. Методика выполнения полевых работ

значительно упрощается при использовании спутникового приемника или осуществляя привязку данных к контрольным точкам (точкам с известными координатами), расположенных вблизи траектории движения комплекса.

В последние два года мобильные ручные сканеры стали широко применяться в маркшейдерии, изысканиях, съемке городских и промышленных территорий. Данные приборы могут крепиться на БЛА или автомобиль, для выполнения сканирования на сложных участках. Применение новых технологий в области сканирования позволяет выполнять работы в кратчайший период времени, получая при этом избыточно большие объемы данных, которые в дальнейшем могут быть использованы совершенно разными службами.

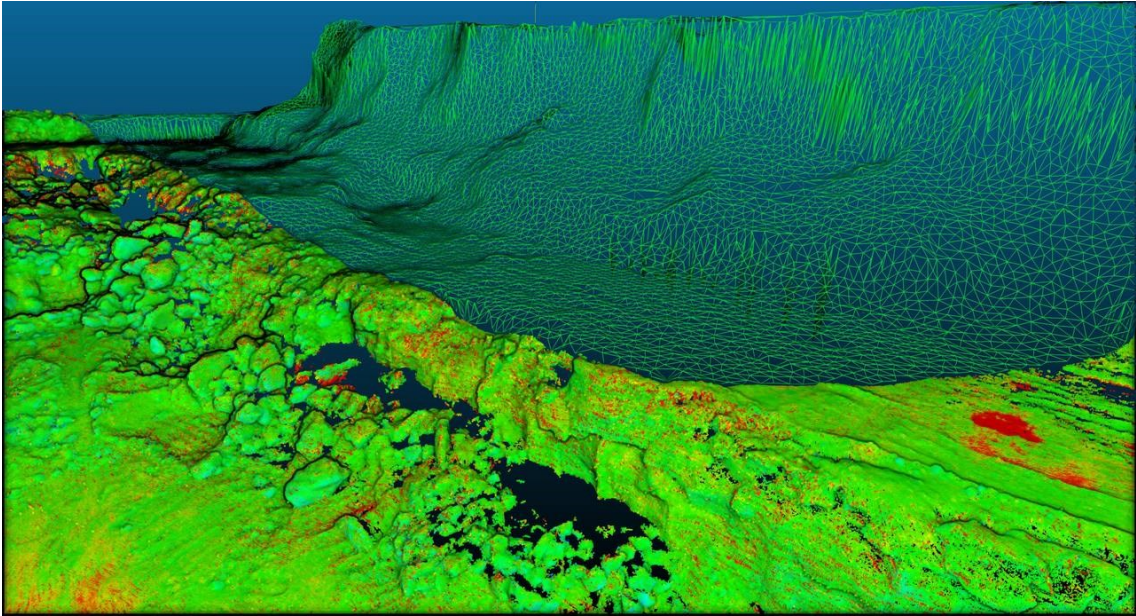
Приведем несколько примеров по сканированию некоторых объектов, используя мобильный ручной лазерный сканер.

Съемка карьеров открытого типа, является периодической задачей с необходимостью получения данных высокой плотности для более точного подсчета объемов выполненных работ по добыче полезных ископаемых. Для удобства выполнения сканирования, оборудование располагалось на креплении рюкзачного типа, как приведено на фотографии №6.



Фотография №6. Сканер размещен на креплении рюкзачного типа

Размер карьера составлял ориентировочно 300 метров в ширину и 400 метров в длину. Сканирование всего объекта было выполнено за 20 минут. Для привязки данных в местную систему координат использовался спутниковый приемник. По завершению работы, данные в локальной системе координат были получены уже через 25 минут. Результат сканирования приведен на Фотографии №7.

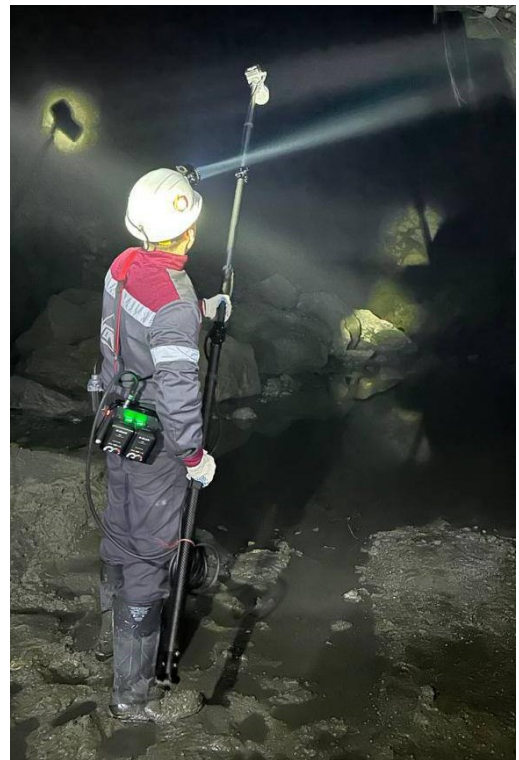


Фотография №7. Облако точек и триангуляционная модель части карьера

Использование ручных сканеров сейчас очень актуально и для съемки подземных выработок по сравнению с традиционными методами съемки.



Фотография №8. Сканирование в подземных выработках



Фотография №9. Сканирование в подземных выработках с использованием вехи

Сканирование архитектурных объектов и объектов культурного наследия на сегодняшний день так же является одной из актуальных задач при проектировании и реконструкции зданий и сооружений.

Как правило, сканирование фасадов ручными мобильными сканерами занимает еще меньше времени, чем сканирование карьеров и других объектов. Так на сканирование фасада одного из зданий архитектурного наследия было потрачено около 8 минут. Обработка данных заняла порядка 20 минут. Фотографии фасада и модели приведены ниже.



Фотография №10. Сканирование архитектурных объектов



Фотография №11. Облако точек фасада в реальных цветах фотографии

Современные приборы и технологии в области лазерного сканирования становятся все более доступны для применения в различных областях промышленности, строительства и добычи полезных ископаемых.

По сравнению с традиционными геодезическими методами мобильное лазерное сканирование характеризуется:

- Более высокой скоростью выполнения полевых работ. Зачастую работа по съемке объектов с использованием мобильных сканеров выполняется в десятки раз быстрее традиционных методов работы.

- Повышается безопасность выполнения полевых работ за счет дистанционной съемки объектов.

- Огромной плотностью и детальностью получаемых данных.

- Как следствие, более экономически выгодным решением при значительных объемах работ.

Не стоит забывать основное оборудование для изысканий, которыми являются электронные тахеометры. Для пользователей сегодня представлены тахеометры различных моделей от простых до роботизированных. На протяжении последних 30 лет электронные тахеометры стали незаменимыми помощниками геодезистов на строительных объектах и в изысканиях. Сегодня пользователям доступны тахеометры как в самом простом исполнении, так и с операционной системой Windows на борту. Пример современных электронных тахеометров представлен на Фотографии №12.



Фотография №12. Электронные тахеометры VEGA серий NX40, NX50 и NX60

Более детальную информацию о современных приборах и оборудовании вы можете посмотреть на официальном сайте компании ООО «ГЕОСТРОЙИЗСКАНИЯ»

МЕТОД МЕЖСКВАЖИННОГО СЕЙМОАКУСТИЧЕСКОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ, ОСЛАБЛЕННЫХ ЗОН И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ IN SITU

Кулакова О. В., Вязниковцев А. А., Ошкин А. Н.

ООО «НЕОГЕН», г. Санкт-Петербург, welcome@n-gen.co

Карстовые процессы одни из самых опасных при строительстве инженерных сооружений. Метод межскважинного сейсмоакустического просвечивания (МСП) один из наиболее подходящих методов для обнаружения таких процессов. При строительстве не всегда изучаемая площадка допускает комфортное использование наземных методов, при этом и разрешающая способность скважинных методов намного выше. В данной работе предлагается комплекс геофизических работ, основой которого является метод МСП, предназначенный для выявления карстовых полостей и ослабленных зон под фундаментами сооружений и определения предела прочности пород на одноосное сжатие в условиях естественного залегания.

Предлагаемый комплекс геофизических работ предназначен для объектов с возможным проявлением карстовых процессов. Данные работы могут проводиться в местах строительства различных объектов, таких как: опоры мостов, путепроводы, шлюзы, дорожные покрытия и т.п.

Далее будет рассмотрен пример работ на объекте с карстопроявлением в толще скальных ангидритов и гипсов. Скальные породы перекрыты толщиной мощностью 30-40 м, представленной чередованием суглинков, песков, глин и дресвяно-щебнистых грунтов. Также в этой толще местами встречаются прослой известняков. Верхняя часть разреза характеризуется скоростями продольных волн 1,5-3,5 км/с, для скальных пород характерны скорости 4-6 км/с.

Комплекс геофизических работ состоит из МСП, вертикального сейсмоакустического профилирования (ВСП), индукционного каротажа (ИК), гамма-каротажа (ГК) и лабораторных исследований. Очередность действий выглядит следующим образом:

1. Бурение пары скважин по разные стороны от объекта исследований на глубину, достаточную для исследования целевой области. Скважины должны быть расположены на расстоянии, не превышающем глубину скважин, обязательным требованием к скважинам является их водонаполнение. Бурение производится с отбором керна.

2. Проведение геофизических работ методом МСП, ВСП, ГК и ИК. Информация, получаемая методом МСП, относится непосредственно к области, расположенной под объектом исследования.

3. Проведение лабораторных исследований на отобранных образцах керна, устанавливается зависимость предела прочности на одноосное сжатие от скорости продольных волн для различных ИГЭ.

4. Построение модели среды по данным бурения, ВСП, ГК и ИК. По данным МСП строится скоростная модель среды, по которой можно сделать выводы о наличии или отсутствии карстовых полостей и ослабленных зон

5. Пересчёт скоростных разрезов в разрезы предела прочности на одноосное сжатие по полученным зависимостям $R_c(V_p)$ и моделям среды.

Оборудование

Для работ методом МСП и ВСП использовалась сейсмостанция ЭЛЛИСС-3, 24-канальная пьезокоса WellStreamer, для генерации упругих колебаний в скважине использовался электроискровой источник типа «спаркер» Pulse с накопителем энергии «Jack-2500HP».

Каротажные работы методом ИК и ГК выполнялись с использованием каротажной станции КРГС-2000. Каротажная станция включает следующий набор устройств: Лебедка каротажная, Малогабаритный каротажный блок, Устройство приустьевое и Набор каротажных приборов.

Методика полевых и камеральных работ

Каротажные работы

После установки оборудования на исследуемую скважину выполнялась регистрация как при спуске прибора, так и при его подъеме. Запись при подъеме принималась как основная, запись при спуске принималась как контрольная, так как при спуске возможны застревания прибора на неровностях скважины, что может вызвать ошибки определения глубины точки записи. При подъеме подобные ошибки исключены.

Обработка каротажных данных ИК и ГК включала пересчет кабельной глубины, измеренной от оголовья скважины и кабельного наконечника прибора к точке записи. Также на полученных кривых фильтровались случайные выбросы.

Сейсмоакустические работы

Для получения скоростей продольных Р-волн использовалась методика ВСП. Суть методики заключалась в том, что на забое скважины устанавливался скважинный излучатель (спаркер), а гидрофонная 24-канальная коса перемещалась по скважине таким образом, что шаг между точками приема составлял 0,1 м.

Межскважинное просвечивание (МСП) выполнялось по так называемой полнолучевой схеме, суть которой заключалась в регистрации сейсмических лучей из всех фиксированных точек излучающей скважины во все фиксированные точки приемной скважины. То есть томографическая схема предполагает заполнение всего межскважинного пространства пересекающимися лучами. Коса фиксировалась в скважине А так, чтобы нижний канал был на забое. Излучатель при этом перемещался в скважине Б с заданным шагом весь рабочий интервал (от самой глубокой точки скважины до окончания воды в ней). На каждой точке скважины Б производилось от 5 до 10 накоплений для улучшения соотношения сигнал/шум.

В данные МСП и ВСП вводилась геометрия, производилась сигнальная обработка, после чего производилась пикировка первых вступлений. Первые вступления данных ВСП пересчитывались в значения скорости продольных волн вдоль скважины, первые вступления данных МСП отправлялись на вход программе инверсии для получения скоростного разреза между скважинами.

Лабораторные исследования

Комплекс лабораторных исследований выполнялся на образцах, рассортированных по типу пород на несколько групп, каждая группа относится к своему ИГЭ. Полученные значения V_p и V_c необходимы для построения корреляционной зависимости. Уравнение зависимости $V_c(V_p)$ принимают линейным:

$$V_c = aV_p + b,$$

где R_c — предел прочности на одноосное сжатие, V_p — скорость продольных волн. Коэффициенты a и b рассчитываются напрямую.

Наличие связи между величинами предела прочности на одноосное сжатие и скорости продольных волн оценивается с помощью параметра r , именуемого коэффициентом корреляции. Для получения стабильной корреляции необходимо использовать как можно больше образцов с различных скважин на исследуемой территории.

Результатом проведенного комплекса геофизических работ является оценка карстово-суффозионной опасности. Для этого выполнялся анализ полученных данных на предмет выделения ослабленных зон в скальных породах (карстовые полости).

Выделение ослабленных зон производилось преимущественно по значениям скоростей продольных волн, получаемых в методе МСП. Значения V_p в диапазоне 4-6 км/с соответствуют хорошо сохранным породам. При уменьшении значений V_p до 3-4 км/с в пределах скальной толщи, делается вывод о средней степени ее трещиноватости и закарстованности. Значения V_p в диапазоне 2-3 км/с в толще скальных пород характеризуют сильно разрушенные породы, фактически в состоянии дресвы.

Пример выявления неоднородностей (карстовой полости) на данных МСП приведен на Рисунок 6. На Рисунок 5 показан разрез на участке с сохранными скальными породами. Значения скоростей V_p в них составляют 5-5,5 км/с. Четко прослеживается горизонтальная слоистость, соответствующая их изначальному формированию. На рисунке с карстом в левой части скальных пород выделяется «яма» - область резкого понижения скоростей ниже 3 км/с. При этом отмечается нарушение горизонтального строения разреза. Перечисленные признаки свидетельствуют о наличии карстовой полости на этом участке разреза.

Данные ВСП, а также ИК и ГК используются для контроля данных МСП. Результаты ВСП участвуют в построении начальной модели для метода МСП. А также позволяют выявить отклонение стволов скважин от вертикали, что может сказываться на значениях вычисляемых в методе МСП скоростей V_p . Метод ГК чувствителен к глине в околоскважинном пространстве. Каротажные методы на Рисунок 6 помогают интерпретировать аномальную область.

Основываясь на скважинных данных и геофизических методах, можно построить инженерно-геологический разрез. Для областей с известной зависимостью $R_c(V_p)$ можно произвести пересчет скоростного разреза в разрез предела прочности на одноосное сжатие, они также представлены на рисунках.

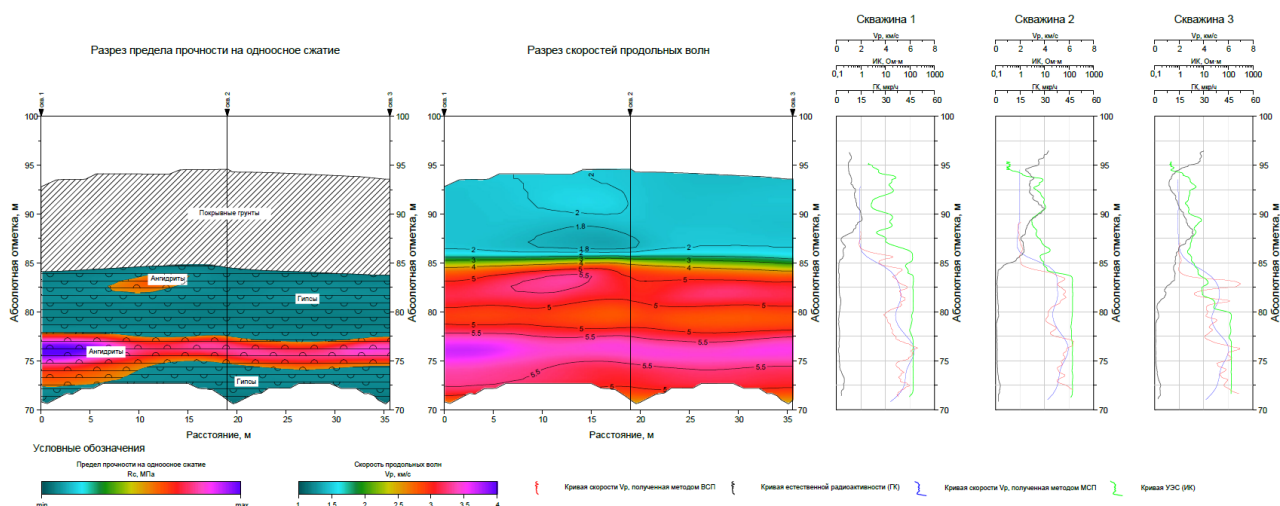


Рисунок 5. Пример данных МСП и разреза прочности на участке без карста

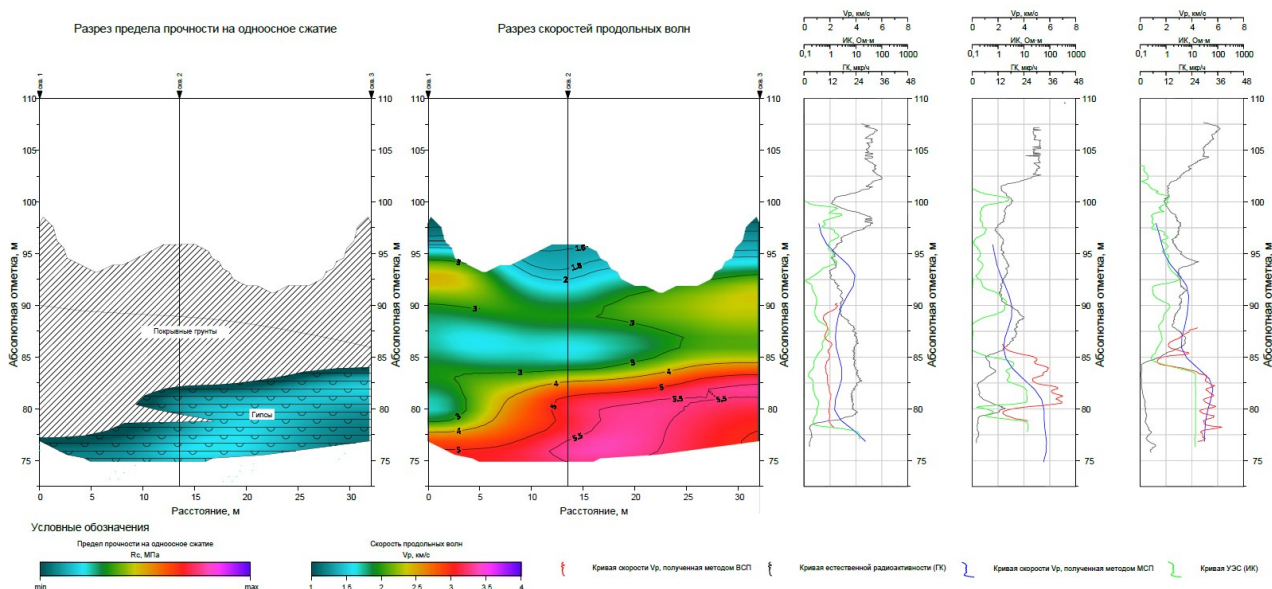


Рисунок 6. Пример данных МСП и разреза прочности на участке с карстом

Таким образом, представленный комплекс геофизических работ позволяет решить поставленную задачу и получить не только качественные характеристики изучаемой толщи, но и количественные, такие как предел прочности на одноосное сжатие.

Список литературы

1. Гальперин Е.В. Вертикальное сейсмическое профилирование. М.: Недра, 1982 г.
2. Карус Е. В., Кузнецов О. Л., Файзуллин И. С. Межскважинное прозвучивание. М., Недра, 1986, 149 с.
3. Сейсморазведка. Справочник геофизика. Кн. 1 и 2. М., Недра, 1990 г.
4. Тихоцкий С.А., Фокин И.В., Шур Д.Ю. Активная лучевая сейсмическая томография с использованием адаптивной параметризации среды системой вэйвлет-функций // Физика Земли. 2011. № 4. С. 67-86

ПЯТЬ РАБОЧИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ВЫБОРА НАДЕЖНОГО ИСПОЛНИТЕЛЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ

Лапа Ю. И.

ООО «НПО «ГИДРОИЗЫСКАНИЯ», г. Омск, gidroinfo55@mail.ru

Рассмотрим основные проблемы, с которыми сталкиваются проектировщики при взаимодействии с изыскателями. Определим инструменты для определения надежного исполнителя в инженерных изысканиях.

Проблемы взаимодействия проектировщиков и изыскателей

Согласно проведенным опросам, главная проблема заказчиков инженерных изысканий — сложность в коммуникации с исполнителем на всех стадиях выполнения работ.

Со стороны исполнителя часто можно наблюдать:

- проблемы с обратной связью;
- срыв сроков;
- игнорирование заказчика на всех этапах взаимодействия:
 - при запросе стоимости и согласование ТЗ,
 - на этапе полевых и лабораторных работ,
 - на этапе выдачи технического отчета;
- «исчезновение» исполнителя на этапе замечаний от экспертизы.

Заказчик вынужден:

- постоянно проверять документацию на всех этапах работ;
- искать ответственных исполнителей внутри компании подрядчика;
- контролировать ход работ и соблюдение сроков;
- прикладывать усилия для получения согласованного в договоре результата.

Чтобы избежать описанных выше ситуаций, необходимо изначально уделить внимание выбору надежного подрядчика по инженерным изысканиям (ИИ).

Поделимся опытом нашей компании. Для нас важно взаимовыгодное сотрудничество с заказчиком, конечный результат которого принятые экспертизой проектно-изыскательские работы. Только при достижении общей цели - получение положительного заключения по ПИР, мы можем рассчитывать на повторное обращение и выполнение совместных проектов. И для этого мы в компании транслируем известные 4 вида обмена между заказчиком и исполнителем, понимание которых помогают нам выстраивать взаимоотношения с заказчиком:

4 вида обмена между заказчиком и исполнителем:

- с превышением;
- равноценный;
- неравноценный;
- криминальный.

Взаимовыгодное сотрудничество в нашем понимании — это долгосрочные партнерские отношения, на которые можно рассчитывать только при первых двух видах обмена.

Малоэффективность стандартных способов проверки исполнителя инженерных изысканий

Чаще всего для проверки исполнителя выполняются следующие действия:

— Поиск в интернете. Сайтов компаний огромное количество и достоверность информации сложно проверить.

— Поиск по рекомендациям. Субъективный способ, потому что критерии качества и требования у всех разные. И не факт, что исполнитель подойдет под специфику вашего проекта (отрасль, тип сооружения, особенности местности и т.д.).

— Проверка через специальные сервисы: имелись ли у предприятия споры, как часто выступает в роли ответчика, какое у него финансовое положение.

— Заполнение референс-листа. Полученная информация дает лишь общее представление об исполнителе.

Наш опыт показывает, что перечисленные способы проверки малоэффективны и не гарантируют отсутствия проблем с исполнителем.

Что значит надежный исполнитель инженерных изысканий?

Здесь стоит рассмотреть основные пункты, которым следует уделить внимание на начальном этапе взаимодействия с исполнителем.

Согласованное техническое задание и программа работ

Нет смысла обсуждать стоимость ИИ пока нет ТЗ, составленного в соответствии с требованиями НТД, в содержании которого в обязательном порядке должны присутствовать перечень и характеристики проектируемых сооружений.

Поэтому составленное проектировщиком ТЗ должно быть внимательно изучено исполнителем. После чего задаются уточняющие вопросы, чтобы правильно определить объем изыскательских работ. Продуктом данного взаимодействия является согласованная программа работ, в которой описана методика и назначены объемы исследований.

Таким образом надежный исполнитель — это тот, кто быстро вникает в процесс, выясняет необходимую информацию и добивается того, чтобы у заказчика и исполнителя было единое видение результата работ.

Оперативная обратная связь между заказчиком и исполнителем

Весь процесс выполнения работ по ИИ как правило контролируется не только исполнителем, но и заказчиком.

Задачу по контролю подрядчиков некоторые предприятия решают назначением своего специалиста, который присутствует на месте производства работ и следит за соблюдением необходимых требований и согласованных в программе работ объемов. Данный способ контроля является наиболее надежным для определения исполнителя. Но не все заказчики имеют такую возможность.

Поэтому задача надежного исполнителя - минимизировать участие заказчика в этом процессе путем налаживания оперативной обратной связи. А именно:

- выявить точки контроля этапов работ;
- согласовать форму и вид предоставляемой информации в точках контроля;
- назначить ответственных за предоставление информации в точках контроля;
- оперативно доводить достоверную информацию по согласованным каналам коммуникаций.

Фото- и видеофиксация работ

Фото- и видеофиксация — еще один инструмент, который помогает контролировать ход работ. Но не все компании готовы к требованиям по фото- и видеофиксации. Поэтому этот пункт может служить критерием отбора надежного исполнителя.

Поэтапная сдача

Мы рекомендуем включать в договор и ТЗ поэтапную сдачу работ.

Это помогает «держать руку на пульсе», контролировать ход проекта, видеть реальный объем и качество выполненных работ для оперативного принятия решений.

Особенно это актуально для долгосрочных проектов, что позволяет минимизировать риск срыва сроков по договорным обязательствам в целом.

Средства автоматизации

Должны ли быть у надежного исполнителя средства автоматизации? Скорее, да. Это говорит о том, что компания настроена на выстраивание своих внутренних бизнес-процессов таким образом, чтобы их продукт был ценным и востребованным. Главное преимущество этой системы — возможность учета каждого шага в работе с заказчиком.

Основные задачи, которые решаются благодаря внедрению CRM-системы:

- ведение каждого проекта изысканий в четком соответствии с разработанным и внедренным бизнес-процессом;
- установление согласованных с заказчиком сроков на любом этапе работ;
- закрепление ответственного за каждый этап;
- хранение истории коммуникации с заказчиком и документации в едином месте;

5 рабочих инструментов для выбора надежного исполнителя в инженерных изысканиях

1. Коммуникация на этапе переговоров

На этапе запроса коммерческого предложения по любому из каналов связи важно, чтобы Исполнитель оперативно ответил, что запрос получен и назначил сроки по обратной связи.

Следующий важный момент — согласовать созвон для уточнения необходимой информации и понимания объема работ.

При общении исполнитель должен быть коммуникабельным, быстро ориентироваться в вопросах, связанных с профессиональной деятельностью своей компании. Разъяснять, задавать и давать развернутые ответы на поступившие вопросы.

На данном этапе складывается первое впечатление об исполнителе.

2. Процесс согласования технического задания

На данном этапе важно разъяснить назначение объемов работ, согласно предоставленного в ТЗ перечня и характеристик проектных сооружений, со ссылками на нормативно-техническую документацию.

Это поможет убедиться в компетентности специалиста со стороны исполнителя, что позволит избежать проблем на этапе экспертизы и разработать верное проектное решение.

Вас должны насторожить фразы:

«Да ты что, я собаку на этом съел! Я уже 20 лет на рынке»

«Я так всегда делал. Не переживайте, нормально всё будет!»

«Мы 100 раз так делали и хорошо получалось»

3. Фото- и видеофиксация

При отсутствии представителя заказчика на объекте производства работ рекомендуем согласовать и прописать в ТЗ требования к фото и видеофиксации.

При согласовании данных условий, исполнитель берет на себя ответственность по выполнению данных обязательств, что также является одним из критериев его надежности.

4. Поэтапная сдача

Необходимость поэтапной сдачи рекомендуем прописывать в договоре, чтобы избежать рисков неисполнения договорных обязательств со стороны исполнителя. Стоит обратить внимание, если исполнитель пытается избежать данного пункта договора.

Вас должны насторожить фразы:

«Постараемся сдавать поэтапно»

«Мы сдаем проект только целиком»

«Зачем вам промежуточные результаты? Они не точные и для проектирования не подойдут»

5. Организация работы в компании изыскателя

Наличие CRM системы признак исполнителя, у которого налажены бизнес-процессы для удобства ведения проектов и взаимодействия с заказчиком.

Данный факт дополнительно подтверждает стремление исполнителя развиваться и выходить на новые уровни сотрудничества.

Описанные выше инструменты помогут выбрать надежного исполнителя, результатом сотрудничества с которым будут приняты экспертизой проектно-изыскательские работы.

ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

¹Лосева Е. С., ²Лозовский И. Н., ³Жостков Р.А., ⁴Чуркин А. А.

¹Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, elizaveta_loseva@mail.ru

²Центр геоэлектромагнитных исследований — филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Российской академии наук, г. Москва, i.n.lozovsky@yandex.ru

³Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук, г. Москва, shageraxcom@yandex.ru

⁴НИИОСП им. Н. М. Герсевича АО «НИЦ „Строительство“», г. Москва, chaa92@mail.ru

Для оценки длины и сплошности свай широко применяются методы неразрушающего контроля, наиболее распространенным среди которых является сейсмоакустический метод. Метод основан на анализе распространения акустических волн в теле свай, которые возбуждаются ударом молотка по оголовку и отражаются от областей изменения акустического импеданса свай [1]. Метод отличается высокой производительностью, минимальными затратами на подготовку свай к испытаниям, не требует предварительной установки труб доступа или бурения скважин [2]. При этом метод обладает рядом ограничений. Согласно принятой в сообществе испытателей эмпирической оценке [9], метод не позволяет локализовать дефекты, занимающие менее четверти поперечного сечения свай. В настоящей работе рассматривается возможность анализа фазы непрерывного вейвлет-преобразования (НВП) сейсмоакустических сигналов [4-7] для локализации дефектов меньшего размера [3].

Прямое НВП отображает рассматриваемый сигнал $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ в функцию двух переменных $a, b \in \mathbb{R}, a > 0$:

$$W(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt,$$

где функция $\psi(t)$ — материнский вейвлет, * — процедура комплексного сопряжения, параметр a задает степень масштабирования (ширину) материнского вейвлета, параметр b определяет его положение на оси времени. Увеличение значений параметра a приводит к

растяжению материнского вейвлета во временной области, сужению и смещению его Фурье-образа в область низких частот. Путем сдвига по переменной $(t - b)$ вейвлет перемещается по всей оси времени входного сигнала. Таким образом, за счёт изменения значений параметров a и b НВП позволяет локализовать на всем протяжении сигнала его особенности различной длительности и, соответственно, различного частотного состава [8].

Для анализа сейсмоакустических данных в качестве базовой (материнской) функции мы будем использовать комплексный вейвлет Морле [8, 10], позволяющий разделить фазовые и амплитудные компоненты сигнала. Фаза НВП $\phi(a, b)$ определяется по формуле:

$$\phi(a, b) = \arctan \left(\frac{W_I(a, b)}{W_R(a, b)} \right),$$

где $W_I(a, b)$ — мнимая часть сигнала, а $W_R(a, b)$ — его вещественная часть.

Для исследования чувствительности фазы вейвлет-преобразования к дефектам небольшого размера была выполнена серия численных расчетов в программном комплексе Comsol Multiphysics (лицензия № 9600341) по методике, представленной в работах [3, 4]. Численное моделирование проводилось для свай с ненарушенной сплошностью и для свай с тремя типами искусственных дефектов — Моделей 1, 2, 3 и 4 (Рисунок 1). Длина свай была задана равной 3 м, диаметр — 450 мм. В качестве вмещающей сваю среды был задан песок (условно не показан на Рисунке 1). Физические параметры материалов модели: плотность, скорости распространения продольных и поперечных волн, параметры α и β рэлеевской модели затухания [3, 4] приведены в Таблице 1.

Расчеты проводились для различных длительностей входных импульсов 0,5; 0,75; 1 и 1,2 мс, имитирующих ударные источники различного веса [3, 10]. Размер конечных элементов выбран с учетом характерных размеров геометрии модели и длины волны в материале таким образом, чтобы обеспечить ошибку расчета не более 0,5 %. Шаг по времени составил 1 мкс (в соответствии с критерием Куранта — Фридрихса — Леви).

На верхних панелях (в первом ряду) Рисунков 2-5 приведены сейсмоакустические сигналы (во временной области), полученные в результате численных расчетов для Моделей 1-4. На сигналах отчетливо выделяются особенности, отвечающие регистрации волн, отраженных от нижнего конца свай. Результаты низкочастотного возбуждения (широкие входные импульсы) оказались нечувствительны к дефектам в теле свай. Высокочастотное возбуждение (узкие входные импульсы) позволило выделить характерные отражения от искусственных дефектов в случае покрытия дефектом 30% поперечного сечения сваи (Модель 2). Дефекты с размерами 150×300 мм (Модель 3) и 150×150 мм (Модель 4) отразились крайне слабо, в виде малоамплитудных, едва проявленных импульсов.

Таблица 1. Свойства материалов

Параметры / Материал	Бетон	Песок	Воздух	Полистирол
Плотность, кг/м ³	2400	1500	1275	1060
Скорость продольной волны, м/с	4000	600	330	2350
Скорость поперечной волны, м/с	2450	200	—	1120
Коэффициенты Рэлея: α , s-1; β , s	20; 10-8	200; 10-7	—	2000; 10-6

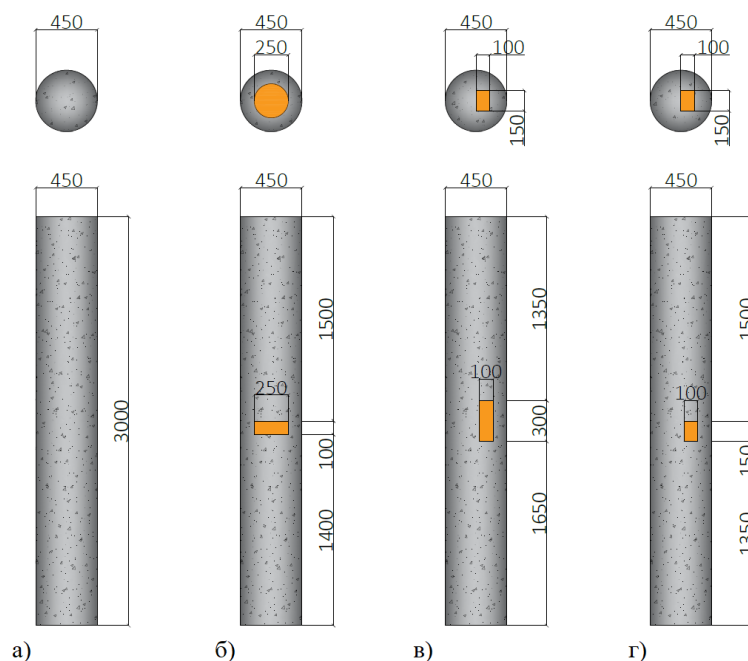


Рисунок 1. Схемы численных моделей монолитных железобетонных свай: а) свая без дефектов (Модель 1); б) с искусственным дефектом диаметром 250 мм и толщиной 100 мм (Модель 2); в) с искусственным дефектом 100x150x300 мм (Модель 3); г) с искусственным дефектом 100x150x150 мм (Модель 4).

На нижних панелях Рисунков 2-5 (во втором ряду) показаны результаты НВП сейсмоакустических сигналов, представленные в виде плоского изображения, где градациями цветовой шкалы показано распределение значений фазы вейвлет-преобразования. При визуализации результатов НВП значения параметра a были переведены в значения частоты (или, точнее, псевдочастоты) [8], а значения фазы вейвлет-коэффициентов были нормированы относительно максимального значения (π).

На отметках времени 0 и 1,5 мс, отвечающих моментам возбуждения упругих волн в свае и регистрации волн, отраженных ее пятой, во всем частотном диапазоне наблюдается изменение значений фазы НВП с 1 на -1. Для сигналов, полученных для свай с дефектами (Рисунки 3-5), характерное изменение фазы также проявляется на отметке времени 0,75 мс, что соответствует времени прихода отраженных волн от дефекта (при скорости распространения волн в свае 4000 м/с).

Таким образом, небольшие дефекты, заданные в численных моделях, крайне слабо проявились на результатах моделирования сейсмоакустических испытаний, представленных во временной области, но ярко отразились на фазовых спектрах НВП. Представленная методика анализа сейсмоакустических данных может быть рекомендована в качестве дополнительного инструмента, помогающего в интерпретации результатов сейсмоакустических испытаний. Следующим шагом исследований станет физическое моделирование и применение методики на полевых данных, собранных на строительных площадках, для изучения особенностей и ограничений предложенного подхода.

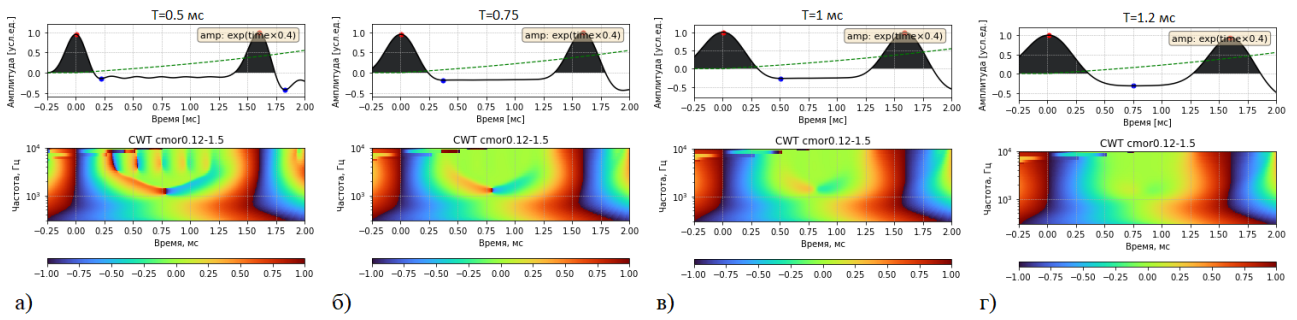


Рисунок 2. Результаты численного моделирования для Модели 1 (свая без дефектов). Верхние панели — временное представление сигнала, нижние панели — распределение значений фазы вейвлет-преобразования. Результаты представлены для различных длительностей входных импульсов, отвечающих возбуждению волн в свае: а) 0,5 мс, б) 0,75 мс, в) 1,0 мс, г) 1,2 мс.

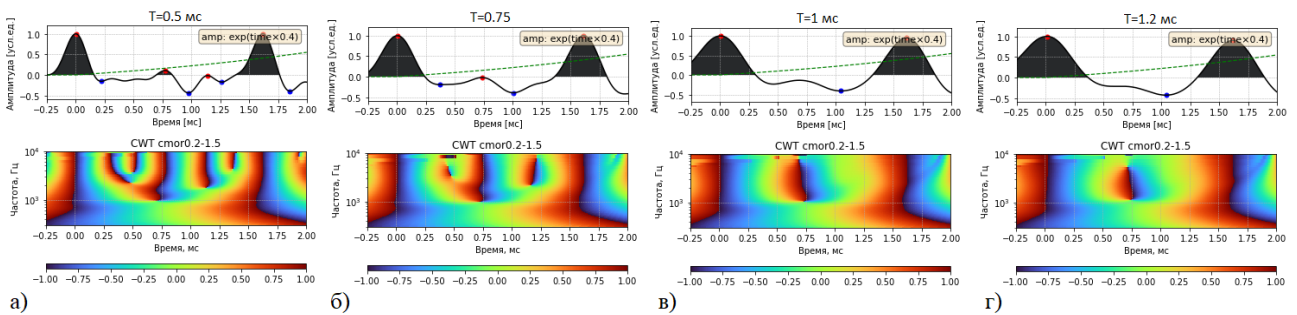


Рисунок 3. Результаты численного моделирования для Модели 2 (свая с дефектом диаметром 250 мм и толщиной с 100 мм). Описание панелей приведено в подписи к Рисунку 2.

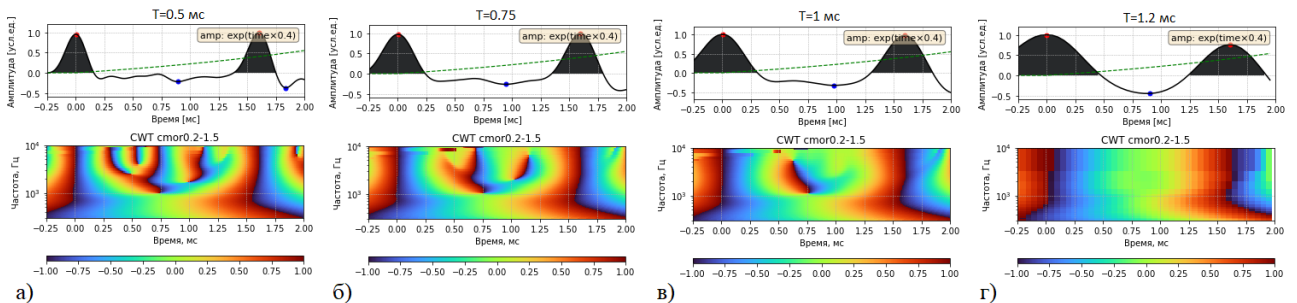


Рисунок 4. Результаты численного моделирования для Модели 3 (свая с дефектом 100x150x300 мм). Описание панелей приведено в подписи к Рисунку 2.

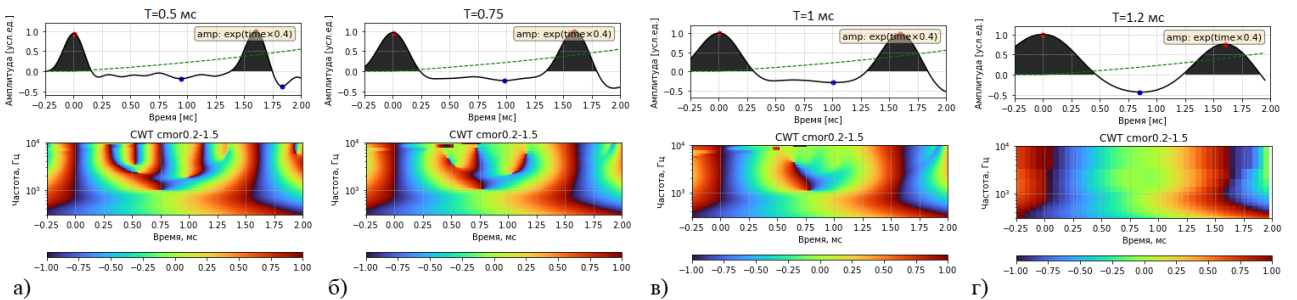


Рисунок 5. Результаты численного моделирования для Модели 4 (свая с дефектом 100x150x150 мм). Описание панелей приведено в подписи к Рисунку 2.

Список литературы

1. Капустин В.В. К вопросу о физических основах акустического метода испытания свай // Инженерные изыскания. — 2011. — № 11. — С. 10-15.
2. ASTM D5882-16. Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations. West Conshohocken: ASTM International, 2016. <https://doi.org/10.1520/D5882-16>.
3. Loseva E., Lozovsky I., Zhostkov R. Identifying small defects in cast-in-place piles using low strain integrity testing // Indian Geotechnical Journal. 2022. Vol. 52. No. 2. P. 270-279. <https://doi.org/10.1007/s40098-021-00583-y>.
4. Loseva E., Lozovsky I., Zhostkov R., Syasko V. Wavelet Analysis for Evaluating the Length of Precast Spliced Piles Using Low Strain Integrity Testing // Applied Sciences. 2022. Vol. 12(21). 10901. doi:10.3390/app122110901
5. Ni S.H., Yang Y.Z., Lyu C.R. Application of wavelet analysis for the impulse response of pile // Smart Structures and Systems. 2017. Vol. 19. No. 5. P. 513-521. <https://doi.org/10.12989/sss.2017.19.5.513>.
6. Ni S.H., Li J.L., Yang Y.Z., Lai Y.Y. Applicability of complex wavelet transform to evaluate the integrity of commonly used pile types // Journal of GeoEngineering. 2019. Vol. 14. No. 1. P. 21-30. [https://doi:10.6310/jog.201903_14\(1\).3](https://doi:10.6310/jog.201903_14(1).3).
7. Zheng W., Zheng W., Wang S., Lin C., Yu X., Liu J. Damage localization of piles based on complex continuous wavelet transform: numerical example and experimental verification // Shock and Vibration. 2020. Vol. 2020. P. 1-9. <https://doi:10.1155/2020/8058640>.
8. Лозовский И. Н., Сясько В. А., Лосева Е. С. Фильтрация данных сейсмоакустического контроля сплошности свай с использованием непрерывного вейвлет-преобразования // Контроль. Диагностика. 2022. Т. 25. № 9. С. 36-45. <https://doi.org/10.14489/td.2022.09.pp.036-045>
9. Мухин А.А., Лозовский И.Н., Чуркин А.А. СТО ЭГЕОС 1-1.2-001-2017. Стандарт организации. Применение неразрушающего контроля сплошности свай сейсмоакустическим методом // Геотехника. 2019. Т. 11. № 4. С. 68-78.
10. Чуркин А. А., Лосева Е. С., Лозовский И. Н., Сясько В. А. Приемы повышения достоверности оценки длины свай в составе существующих сооружений при обследовании сейсмоакустическим методом // Контроль. Диагностика. 2022. Т. 25. № 10. С. 24-33.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ ИОТ: УМЕНЬШЕНИЕ ЗАТРАТ, ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

Нагайцев М. В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва,
office@mgru.ru

Аннотация

Рассматриваются проблемы, связанные с недропользованием, которые можно решить с помощью технологии ИОТ: неэффективное использование ресурсов, высокие затраты на

производство, низкая безопасность и высокие риски для работников, негативное влияние на окружающую среду.

Технология IoT может помочь в решении этих проблем: автоматизация процессов и управление оборудованием, мониторинг состояния оборудования и среды, оптимизация производства и управление ресурсами, улучшение безопасности и снижение рисков, снижение воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: Технология IoT, мониторинг, оптимизация, недропользование.

Теория

Технология IoT (Интернет вещей, Internet of Things) — представляет собой концепцию, согласно которой физические устройства и объекты, которые необходимы для повседневной жизни, могут быть подключены к Интернету и обмениваться информацией друг с другом. Это позволяет создать сеть взаимосвязанных устройств, которые могут обеспечивать автоматизированный обмен информацией и совместную работу для повышения эффективности, и удобства использования [2, 4].

Технология IoT представляет собой многоуровневую систему, включающую в себя датчики и контроллеры, установленные на узлах и агрегатах промышленного объекта, средства передачи собираемых данных и их визуализации, мощные аналитические инструменты интерпретации получаемой информации и многие другие компоненты [4].

Применение технологии IoT может быть очень разнообразным, от управления умным домом и автоматизации производственных процессов до создания инновационных медицинских устройств, и улучшения услуг общественного транспорта.

Возможности и вызовы внедрения технологии IoT в недропользовании: выбор оптимальной системы IoT и ее компонентов, интеграция с существующими системами, обеспечение безопасности и конфиденциальности данных, обучение персонала, управление изменениями и другие [1, 5].

Примеры успешного применения технологии IoT в недропользовании:

1. Мониторинг состояния различного оборудования. Технология IoT позволяет отслеживать состояние оборудования, контролировать параметры среды и выявлять проблемы заблаговременно. Например, датчики могут измерять температуру, влажность, давление и другие параметры в различных участках шахты. При возникновении проблемы, система автоматически отправляет оповещения на мобильный телефон или электронную почту [2].

2. Управление технологическими процессами и оборудованием. Системы IoT могут помочь в управлении технологическими процессами и оборудованием, увеличивая эффективность и снижая затраты на производство. Например, система может автоматически контролировать загрузку и разгрузку грузовиков на карьере, оптимизируя процесс и уменьшая время простоя оборудования.

3. Оптимизация транспортировки и хранения ресурсов. Системы IoT могут помочь в оптимизации транспортировки и хранения ресурсов, уменьшая затраты на логистику и увеличивая эффективность процесса. Например, система может контролировать заполненность складов и оповещать об их переполнении, а также оптимизировать маршруты доставки грузов [3].

4. Улучшение безопасности и снижение рисков. Системы IoT могут помочь в улучшении безопасности и снижении рисков в недропользовании. Например, система может

контролировать параметры среды и предотвращать возможные аварии, а также отслеживать местоположение работников и контролировать их состояние здоровья.

Таким образом, технология IoT улучшает эффективность и безопасность процессов в недропользовании, что в свою очередь может увеличить прибыльность и снизить негативное влияние на окружающую среду.

Выводы

Последние годы наблюдается заметный прогресс в области применения технологии IoT в различных сферах ее применения. Преимущества технологии IoT в недропользовании:

— IoT-технологии могут создавать новые возможности для бизнеса и промышленности, например, улучшать производственные процессы, увеличивать продуктивность и создавать новые продукты и услуги;

— В недропользовании IoT-устройства могут использоваться для управления энергопотреблением в производственных и коммерческих зданиях, что может улучшить эффективность и снизить затраты на энергию;

— IoT-устройства отслеживает качество воздуха, воды и почвы в районах, где происходят добыча и производство. Это может помочь своевременно выявлять проблемы и предотвращать возможные экологические катастрофы.

Применение технологии IoT в недропользовании может принести значительные преимущества, такие как повышение эффективности процессов, снижение затрат на производство, улучшение безопасности и снижение рисков для работников, а также снижение воздействия на окружающую среду.

Библиография

1. Андреев Ю.С., Третьяков С.Д. Промышленный интернет вещей: Учебное пособие. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. — 54 с.

2. Статья «Промышленный интернет вещей» [Электронный ресурс]: Режим доступа URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/>.

3. Бобцов А.А., Болтунов Г.И. и др. Управление непрерывными и дискретными процессами — СПб.:СПбГУ ИТМО, 2010. — 175с.

4. Статья «Комплексные технологические платформы для разработки IoT-решений» [Электронный ресурс]: Режим доступа URL: <https://iot.ru/promyshlennost/kompleksnye-tekhnologicheskie-platformy-dlya-razrabotki-iot-resheniy->.

5. Якушевич М.С. Нефть без человека: как роботы и интернет вещей изменили нефтедобычу [Электронный ресурс] / М.С. Якушевич, 2019: Режим доступа URL: <https://nangs.org/news/it/>.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ЭКСПЕРТИЗЫ МАТЕРИАЛОВ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

Озмидов О. Р., Тишин Н. Р., Фролова Н. А., Селиванова О. С.

АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ», г. Москва, mostdorgeotrest@mail.ru

Значительное использование различных конечно-элементных моделей для моделирования поведения грунтов требует качественных исходных параметров [1, 2]. На данный момент одна из главных проблем экспертизы инженерно-геологических изысканий для строительства — низкое качество данных лабораторных испытаний, их возможная фальсификация и сложность выявления некачественных данных [3, 4]. Некорректное проведение лабораторных испытаний может вызвать ряд проблем, таких как:

— **Несоответствие проектных решений и угроза безопасности строительства.** Если данные инженерных изысканий фальсифицированы, то это может привести к несоответствию между расчетными и реальными осадками зданий и сооружений. Так, фальсифицированные данные об механических свойствах грунтов могут привести к разрушению фундамента здания, создавая тем самым угрозу жизни людей.

— **Финансовые убытки.** Фальсифицированные данные могут привести к дополнительным расходам на строительство зданий и сооружений, а также к снижению темпов строительства.

— **Ущерб репутации.** Фальсификация данных инженерных изысканий может нанести серьезный ущерб репутации проектировщикам, застройщикам и подрядчикам. Если их работа не соответствует стандартам или безопасности, то это может привести к потере доверия со стороны клиентов, общественности и регулирующих органов.

— **Экологические последствия.** Фальсификация данных инженерных изысканий может привести к неправильной оценке воздействия на окружающую среду. Так, фальсификация данных об уровне загрязнения грунтов и грунтовых вод может привести к неправильным мерам по защите окружающей среды и угрожать природным ресурсам и экосистемам.

Современные компьютерные средства предоставляют неограниченные возможности по фальсификации результатов лабораторных опытов, моделированию графиков и иных способах получения недобросовестных результатов в инженерных изысканиях.

Одна из перспективных возможностей по определению фальсифицированных данных — это создание интеллектуальной системы с использованием возможностей нейронных сетей для анализа протоколов лабораторных испытаний [5, 6]. Такая система должна содержать большой объем верифицированных лабораторных данных для возможности их анализа и сопоставления с анализируемым протоколом лабораторных испытаний.

Перспективная модель системы, разработанная в компании АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ», представлена на Рис.1. Состав системы определен следующими модулями:

— **Интерфейс пользователя.** Позволяет пользователю отправлять и принимать данные в удобном для человека виде.

— **Сервис анализа данных.** Предоставляет математический аппарат сравнения верифицированных данных лабораторных испытаний и анализируемых протоколов испытаний.

— **Базы данных.** База данных опытов лабораторных испытаний, база признаков генерации кривых (база признаков подлинности первичных файлов прибора, база регламентированных режимов испытаний, база параметров датчиков типового испытательного оборудования)

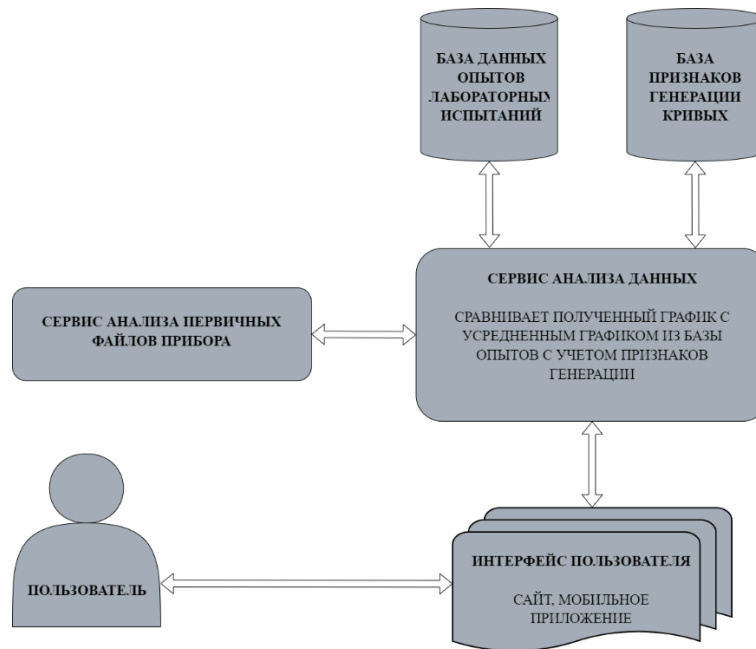


Рис. 1. Перспективная модель системы определения качества лабораторных данных

Для реализации алгоритма анализа данных лабораторных испытаний предлагается 2 варианта. Первый вариант (Рис. 2) предполагает цифровизацию графика из проверяемого протокола и его сравнение с некоторой усредненной кривой с такими же параметрами E_{50} и q_f . Усредненная кривая получается путем статистической обработки верифицированных лабораторных данных из базы опытов аналогичных графиков.

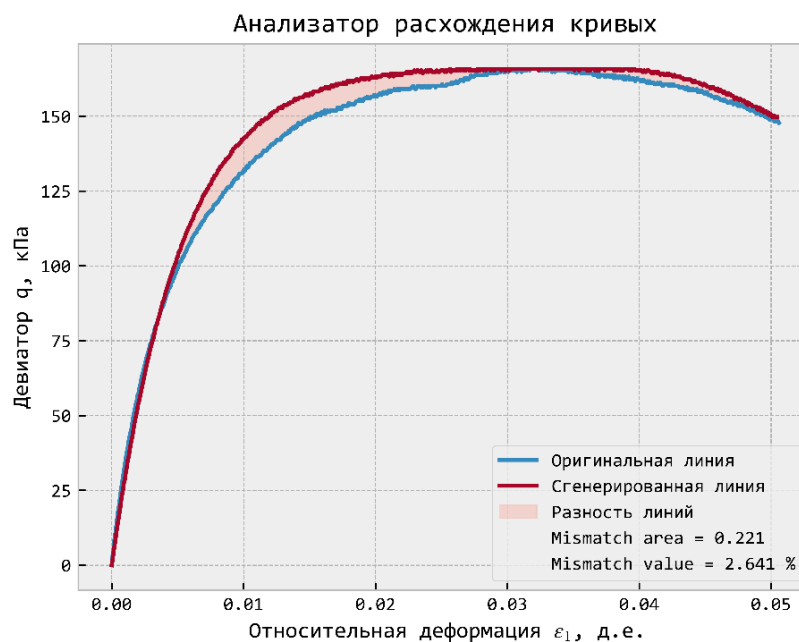


Рис. 2. Алгоритм сравнения кривых по параметрам E_{50} и q_f

Второй вариант алгоритма (Рис. 3) предполагает глубокий анализ базы данных опытов и построение статистической линии с учетом дополнительных характеристик грунта, таких как тип грунта, обжимающее давление, гранулометрический состав, стратиграфический индекс и другие параметры. Полученная кривая сможет показывать отклонение верифицируемых параметров E_{50} и q_f для данного типа грунта от статистических, а также позволит произвести сравнение расхождений с оцифрованной проверяемой кривой, расхождений параметров датчиков оборудования, анализ отклонений методом разложения функции в ряд Фурье и применять прочие методы анализа.

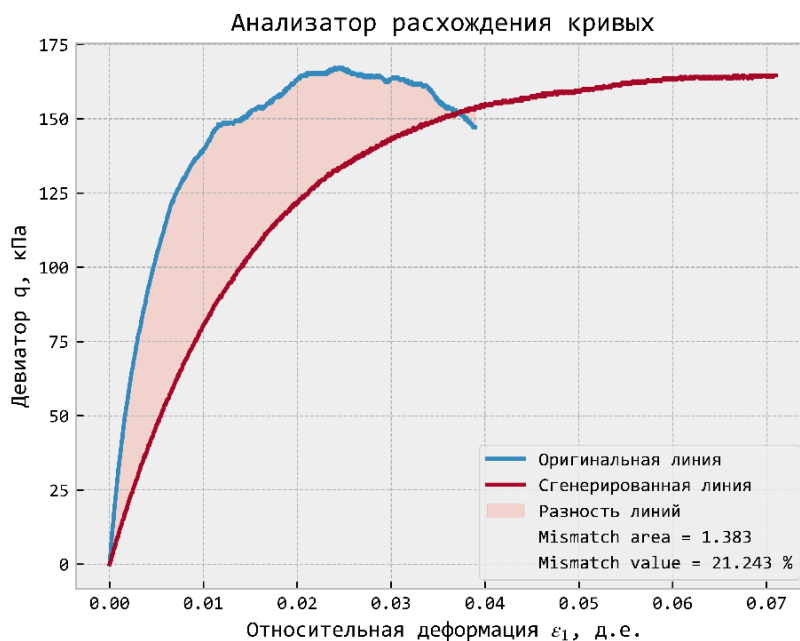


Рис. 3. Алгоритм сравнения кривых по параметрам E_{50} и q_f .

В результате тестирования системы на пробных данных с малой заполненностью базы были показаны следующие результаты:

- 64% верно определенных сгенерированных кривых для первого варианта алгоритма.
- 76% верно определенных сгенерированных кривых для второго варианта алгоритма.

Данный результат был получен с использованием тестовой базы опытов, имеющей около 500 записей.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о перспективности системы для использования в будущем, а также необходимости повышения качества работы системы путем повышения объема баз данных опытов лабораторных испытаний.

Внедрение подобной интеллектуальной системы позволит экспертам простым сравнением графика при помощи мобильного телефона или персонального компьютера с высокой вероятностью идентифицировать сгенерированные испытания и выявить нарушение регламентов и нормативных требований.

Литература

1. Горынин А.С., Кошкина Н.В., Хрянина О.В. ЗНАЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ // Вестник магистратуры. 2014. №11-1 (38). URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-inzhenerno-geologicheskikh-izyskaniy-v-protsesse-proektirovaniya-na-sovremennom-etape> (дата обращения: 28.08.2023).

2. А. Н. Драновский, Р. К. Галеев Качество инженерно-геологических изысканий — основа надежности зданий и сооружений // Известия КазГАСУ. 2005. №2 (4). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kachestvo-inzhenerno-geologicheskikh-izyskaniy-osnova-nadezhnosti-zdaniy-i-sooruzheniy> (дата обращения: 28.08.2023).

3. Арнаутов А. И. К вопросу создания системы управления качеством инженерно-геологических изысканий: актуальность, понятие, основные модели / А. И. Арнаутов, М. С. Захаров // Грунтоведение. — 2015. — № 1(6). — С. 3-9. — EDN UHOURB.

4. Хачатрян В.А. Качество инженерно-геологических изысканий и особенности современных геотехнических расчетов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. №5-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kachestvo-inzhenerno-geologicheskikh-izyskaniy-i-osobennosti-sovremennyh-geotekhnicheskikh-raschetov> (дата обращения: 28.08.2023).

5. S. Alemdag, Z. Gurocak, A. Cevik, A.F. Cabalar, C. Gokceoglu. Modeling deformation modulus of a stratified sedimentary rock mass using neural network, fuzzy inference and genetic programming // Engineering Geology Volume 203, 25 March 2016, Pages 70-82

6. L. Rasim, P. Pouliot. Assessment of Convolution Neural Networks for Surficial Geology Mapping in the South Rae Geological Region, Northwest Territories, Canada // Remote Sens. 2018, 10(2), 307; <https://doi.org/10.3390/rs10020307>

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕДУРЫ КАЛИБРОВКИ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ГРУНТОВ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Озмидов О. Р., Тишин Н. Р., Фролова Н. А., Селиванова О. С.

АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ», г. Москва, mostdorgeotrest@mail.ru

Большинство современных задач в области геотехники требуют применения численных методов расчета. Проектировщики сталкиваются с рядом факторов, которые затрудняют точный расчет оснований и фундаментов с использованием аналитических методов: неоднородность грунтов, строительство в плотно застроенных районах, сложная геометрия зданий и сооружений, неравномерное распределение нагрузок и другие. Все эти факторы могут быть учтены с помощью программных комплексов, которые реализуют численное моделирование геотехнических задач. Одним из основных этапов реализации численного моделирования является определение свойств грунта и задание его параметров в выбранной модели. Для проверки достоверности и соответствия полученных результатов с теоретическими моделями и ожидаемыми значениями выполняется верификация кривых в модуле Soil Test. Верификация кривых в Soil Test является важным этапом в процессе анализа геотехнических данных и помогает решить следующие проблемы:

— Проверка точности измерений: позволяет оценить точность и надежность измерений, проведенных на испытуемых грунтах. Это важно для того, чтобы убедиться, что

полученные данные являются достоверными и могут быть использованы для дальнейшего анализа и проектирования.

— Оценка соответствия моделей: позволяет сравнить результаты испытаний с теоретическими моделями и оценить, насколько хорошо эти модели описывают поведение грунта. Если результаты не соответствуют ожидаемым значениям, это может указывать на необходимость корректировки моделей или дополнительного исследования. Пример такого сравнения представлен на рис. 1 и рис. 2. Модель HS предполагает гиперболическую зависимость (1) между напряжениями и деформациями в стандартном дренированном испытании на трехосное сжатие.

$$\varepsilon_1 = \frac{q_a}{2E_{50}} \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{q_a - (\sigma_1 - \sigma_3)} \quad (1)$$

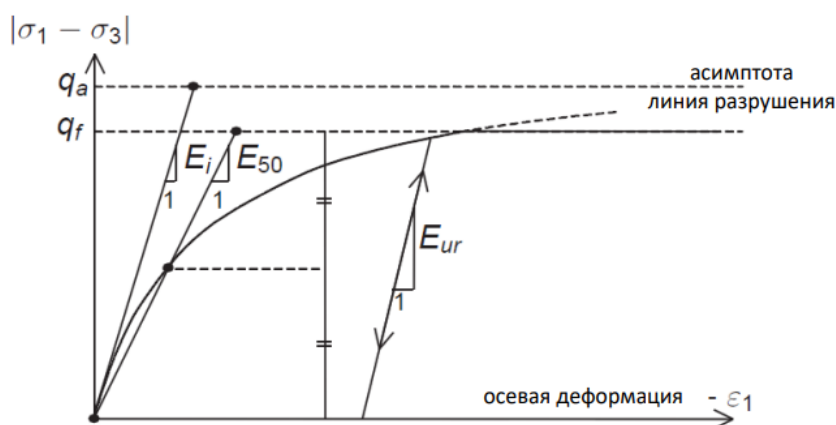


Рис. 1. Модель HS

— Определение параметров грунта: верификация кривых может быть использована для определения геотехнических параметров грунта, таких как коэффициенты сдвига, модули деформации и прочие характеристики. Это позволяет получить более точные данные, которые могут быть использованы при проектировании фундаментов и других геотехнических конструкций.

— Обнаружение аномалий: помогает выявить аномалии или необычные значения, которые могут указывать на проблемы с испытаниями или неправильное поведение грунта. Это позволяет внести коррективы в анализ и принять соответствующие меры для обеспечения безопасности и надежности геотехнических конструкций.

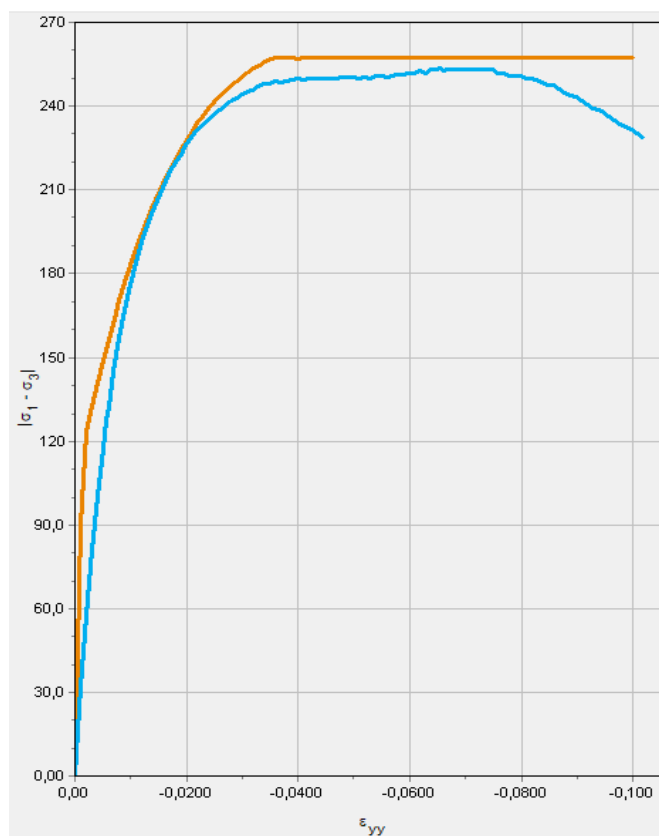


Рис. 2. Отличие экспериментального и теоретического графиков

Рассмотрим алгоритм оптимизации такого процесса как верификация кривых, а именно алгоритм усреднения кривых. Базой является метод объединения кривых девиаторного нагружения в пределах одного инженерно-геологического элемента. Алгоритм состоит из двух основных этапов: интерполяция и полиномиальная аппроксимация.

Каждая отдельная кривая интерполируется кубическим сплайном. Такая интерполяция является локальной, каждый участок кривой описывается кубическим уравнением (рис. 3).

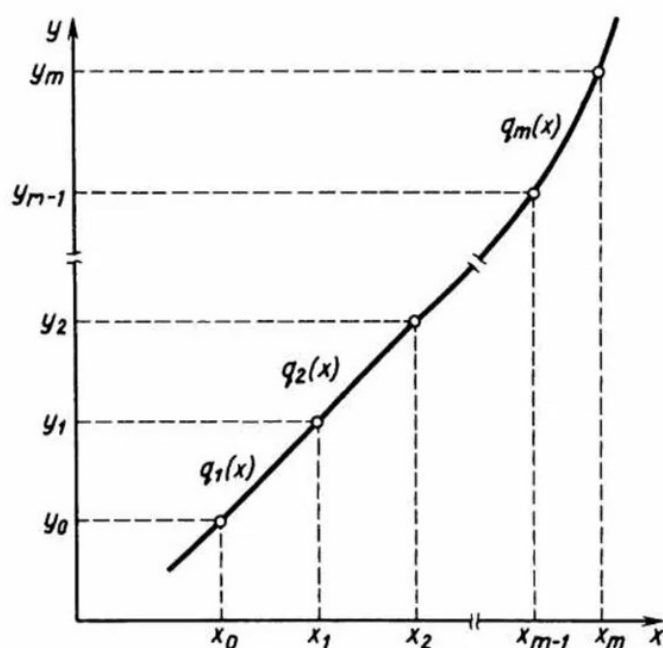


Рис. 3. Интерполяция

Коэффициенты полученной системы (2) определяются исходя из следующих условий:

$$\begin{cases} y_1 = a_1 + b_1(x - x_1^0) + c_1(x - x_1^0)^2 + d_1(x - x_1^0)^3 \\ y_2 = a_2 + b_2(x - x_2^0) + c_2(x - x_2^0)^2 + d_2(x - x_2^0)^3 \\ \dots \\ y_m = a_m + b_m(x - x_m^0) + c_m(x - x_m^0)^2 + d_m(x - x_m^0)^3 \end{cases} \quad (2)$$

- Сплайны должны проходить через узловые точки;
- В местах соединения сплайнов не должно быть изменения кривизны;
- Поведение сплайна в начальной и конечной точках.

Полученные на данном этапе кривые задаются 50-ю точками, таким образом каждая кривая имеет одинаковый «вес» перед следующим шагом — аппроксимацией.

После интерполяции кривые аппроксимируются полиномом n-й степени. Данный этап завершающий и его результатом является получение усреднение кривых девиаторного нагружения по ИГЭ (рис. 4).

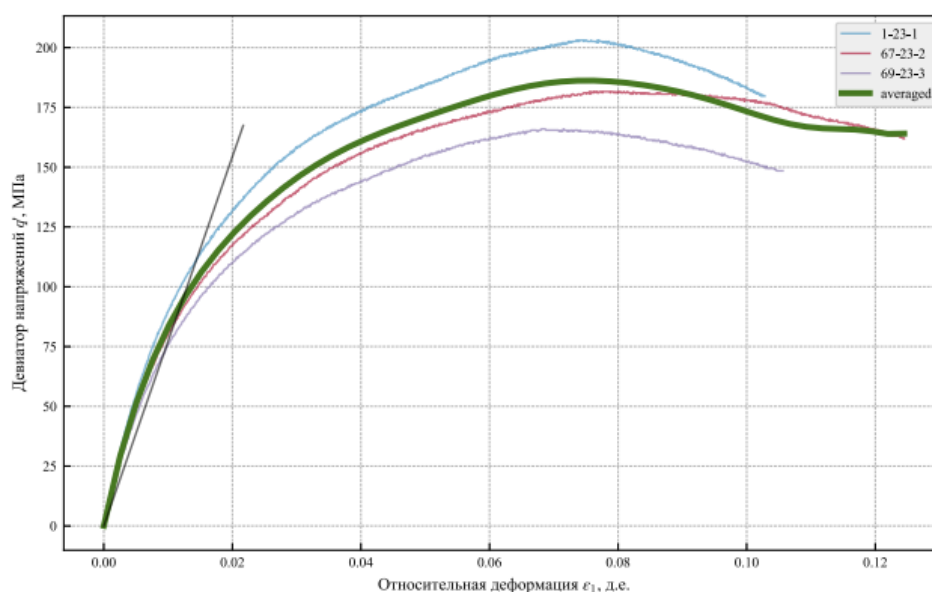


Рис. 4. Усреднение кривых девиаторного нагружения по ИГЭ

Использование данного алгоритма позволяет значительно упростить и ускорить такой трудоемкий процесс как верификация кривых нагружения, что, в свою очередь, приведет к повышению производительности, сохраняя при этом качество проведенной процедуры.

Литература

1. Строкова Л. А. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов // Известия томского политехнического университета. — 2008. Т.313. №1. С. 69-74
2. Shanz T., Vermeer P.A., Bonnier P.G. The hardening soil model: Formulation and verification // Beyond 2000 in Computational Geotechnics – 10 2014s of Plaxis. P.1–16
3. Горынин А.С., Кошкина Н.В., Хрянина О.В. ЗНАЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ // Вестник магистратуры. 2014. №11-1 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-inzhenerno-geologicheskikh-izyskaniy-v-protsesse-proektirovaniya-na-sovremennom-etape> (дата обращения: 28.08.2023)
4. Plaxis 3D. Руководство пользователя 2011. R.V.J. Brinkgreve. СПб: ООО «НИП-Информатика»

ПРИМЕНЕНИЕ ПЫЛЕВИДНОГО ОТХОДА СИЛИКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В СОСТАВЕ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ЦЕМЕНТАЦИИ ГРУНТОВ

¹Орлов Д. М., ²Петропавловская В. Б.

Тверской государственной технической университет,
кафедра производства строительных изделий и конструкций, г. Тверь

¹den.orlov.2018@inbox.ru

²victoriapetrop@gmail.com

Введение гидравлических вяжущих веществ в основания с недостаточной несущей способностью или цементация грунтов — один из популярных способов производства работ по укреплению и подготовке основания под возведение зданий и сооружений.

Сам способ представляет собой комплекс строительных работ по заполнению пор, пустот и трещин грунта специальными вяжущими составами, которые вводятся в грунт через пробуренные скважины. Как правило, используются цементные композиции и растворы на их основе. Затвердевшие каменные составы являются связующим звеном между частицами грунта, а также выполняют роль своеобразного «каркаса», тем самым, повышая несущую способность основания, снижая воздействие карстовых процессов на грунт и препятствуя возникновению усадки.

Техническая и экономическая эффективность цементационного закрепления грунтов подтверждена многолетней практикой. Наибольшую популярность технологии цементации грунтов получили в области реконструкции / реставрации существующих зданий / объектов культурного наследия и строительства различных сооружений в зоне плотной городской застройки, что объясняется компактностью технологического оборудования, незначительными шумовыми и экологическими нагрузками на окружающую среду [2, 10].

Выбор состава и типа инъекционного раствора для цементации следует предварительно производить по физико-механическим характеристикам используемых материалов с обязательным подтверждением этого выбора лабораторными исследованиями свойств раствора, обеспечивающих заданные требования к результатам цементации, при этом необходимо добиваться минимальной стоимости раствора.

Как известно, использование некоторых отходов в строительных материалах помогает решить проблему по их утилизации, позволяет экономить уже истощенную базу природного сырья и, к тому же, может положительно сказываться на свойствах строительных материалов и конструкций. Чаще всего, отходы используют при создании строительных вяжущих композитов, здесь наибольший интерес предоставляют мелкие по крупности и тонкодисперсные (пылеватые) отходы, которые можно использовать в качестве заполнителя, наполнителя для цемента или добавки, которая позволит добиться тех или иных требований, предъявляемых к каждому конкретному типу вяжущего материала. В данной области проводятся многочисленные научные исследования [6].

Применение отходов в вяжущих составах — один из возможных способов решения задачи по достижению минимальной стоимости растворов для цементации грунтов.

Обратимся к предпосылкам использования пылевидного отхода силикатного кирпича в строительных композитах. Производство сопровождается достаточно крупным выделением пыли. Это происходит на этапах дозирования, перемешивания и измельчения. Основные источники появления пыли: шаровые мельницы, ленточные конвейеры загрузки бункеров мельниц. В соответствии с требованиями техники безопасности подобные участки

производственного цикла оборудованы аспирационными системами. Отсасываемая пыль подается на очистные установки, где производится ее отделение из запыленного воздуха [1, 4].

Накапливающиеся объемы тонкодисперсного материала, помимо проблемы запыленности цехов, представляют ещё одну серьезную проблему для производства — складирование, поскольку предприятия в большинстве своем не имеют ни лишних площадей для их размещения, ни возможности для их утилизации.

Пылевидный отход имеет светло-серую окраску, дисперсность частиц варьируется от 0,005 до 0,1 мм. По данным [1, 6] известково-кремнеземистая пыль содержит до 70% частиц размером менее 20 мкм. Исследования в работе [1] показали наличие в составе пыли портландита ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) — 40 %, кварца (SiO_2) — 30 %, кальцита (CaCO_3) — 20 %, в меньших количествах негашёной извести (CaO) и альбита ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$) в количестве 1-5 % (рисунок 1).

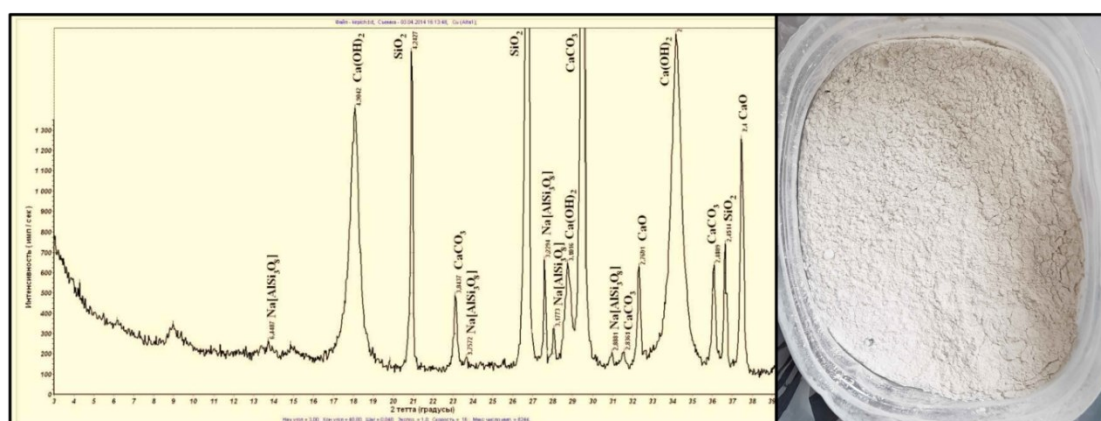


Рисунок 1. Рентгеновская дифрактограмма [1] и внешний вид пылевидного отхода

Рассмотрим влияние отдельных компонентов пыли производства силикатного кирпича на свойства цементных растворов, в том числе работающих в условиях грунта.

Содержание кварца (30 %) в составе пыли производства силикатного кирпича делает возможным его использование в молотом виде как аналога молотого песка, что позволит улучшить стойкость строительного композита к морозным условиям и агрессивным средам в грунтах. Микрокремнезем (SiO_2) обладает повышенной дисперсностью и является эффективным наполнителем. Благодаря своей структуре и развитой удельной поверхности (около 20000 $\text{м}^2/\text{кг}$), микрокремнезем обладает высокой реакционной способностью в цементных системах. Улучшается водонепроницаемость растворов, а также прочность и устойчивость к механическим воздействиям. Добавление микрокремнезема повышает сцепление между частицами и водоудерживающую способность, что способствует улучшению и технологических свойств [3, 5].

Известняк (CaCO_3) оказывает оптимизирующее действие на гранулометрический состав цемента, способствует уплотнению структуры и снижению пористости цементного камня. Благодаря этому повышается начальная прочность растворов и бетонов.

Карбонат кальция, вследствие хорошей водоудерживающей способности, снижает водоотделение цемента, это способствует производству более качественных и однородных по своей структуре растворных смесей (отсутствие водоотделения и расслоения). Также улучшаются пластичность и удобоукладываемость, что способствует получению более качественных поверхностей бетонных изделий, снижению количества пор [7].

Взаимодействуя с трехкальциевым алюминатом, тонкомолотый известняк образует гидрокарбоалюминат кальция $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$, который способствует формированию кристаллического каркаса цементной матрицы. Происходит улучшение прочностных свойств цемента как при сжатии, так и при изгибе, особенно в ранние сроки твердения. Оптимизация свойств композиционных материалов на основе портландцемента и известняка может быть достигнута при использовании известняка, гранулометрический состав которого близок к гранулометрическому составу цемента. Тонкая фракция известняка проявляет химическую активность, при этом, не снижая прочности [7, 8].

Известны методы цементации путем использования гашеной и негашеной извести. В работе [9] рассматриваются физико-механические процессы при укреплении песчаных и глинистых грунтов известью. В данном случае, кипелка (CaO) будет оказывать осушающее действие, вследствие выделения тепла. В результате чего, грунт будет уплотняться быстрее, чем при естественном испарении влаги из толщи грунта. Портландит или пушонка ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ в молотом виде будет вступать в реакцию с углекислотой. Пленка образовавшегося углекислого кальция, образующаяся в первый период твердения на поверхности извести, кольматирует поры и препятствует попаданию агрессивных веществ в материал. Кроме того, возможны реакции портландита с кремнезёмом и глинозёмом (SiO_2 , Al_2O_3), образующие глинистый грунт (кремнезём также входит в состав пылевидного отхода), это может привести к образованию малоосновных гидросиликатов и гидроалюминатов, которые, в свою очередь, приводят к увеличению прочности и стабилизации грунта.

В целях дальнейшего изучения свойств цементных систем, содержащих пылевидный отход производства силикатного кирпича, были изучены характеристики пылевидного отхода (таблица 1), а также определена зависимость плотности цементно-песчаного раствора от его содержания (таблица 2).

Таблица 1. Сводная таблица характеристик пылевидного отхода силикатного производства

Цвет	Размер частиц, мм	Насыпная плотность в естественном / уплотнённом состоянии, кг/м ³	Истинная плотность, кг/м ³	Влажность, %
Светло-серый	0,005 - 0,1	402 / 457	2810	0,3

Сама пыль имеет светло-серую окраску с кремовым оттенком, агрегация отсутствует. Крупных включений не обнаружено. В насыпном состоянии обладает очень малым удельным весом. Влажность пыли определялась согласно ГОСТ 8735-88 по пункту 10 и составила 0,3 %.

Таблица 2. Определение плотности составов с разным содержанием пыли

Портланд-цемент / ПЫЛЬ	3,5 : 1	3,25 : 1	3 : 1	2,75 : 1	2,5 : 1	2,25 : 1	2 : 1
Плотность ρ_0 , кг/м ³	2075,9	2107,2	2127,5	2140,8	2149,1	2153,5	2153,7

В таблице приведены значения плотности образцов кубов $30 \times 30 \times 30$ мм цементно-песчаных растворов при содержании песка по отношению к системе «Пыль +

Портландцемент» равным 1:1. Уплотнение растворной смеси производилось на вибростоле в течение двух минут.

Как видно из графика (рисунок 2), плотность системы изначально сильно возрастает с увеличением количества пылевидного отхода (плотность цементно-песчаного раствора без содержания добавки составила 1874,4 кг/м³), при этом рост плотности замедляется в диапазоне 2,25:1 и 2:1

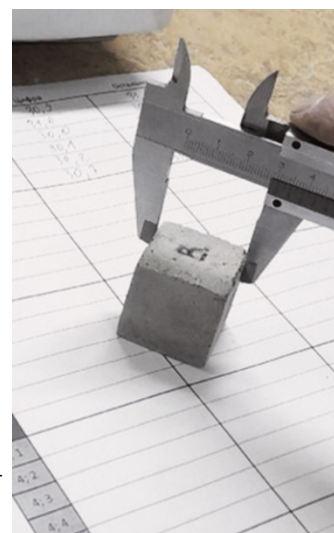
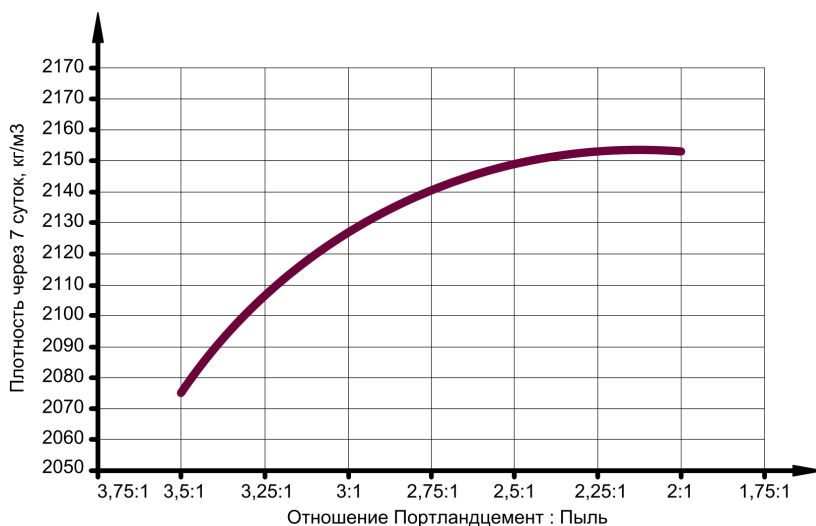


Рисунок 2. Зависимость плотности затвердевшего раствора от соотношения портландцемента к пылевидному отходу и внешний вид образца раствора

Для оценки водопоглощения были изготовлены 3 образца-куба размерами 70,7 × 70,7 × 70,7 мм (таблица 3). Отношение портландцемент: пыль взято в количестве 2 : 1. Методика определения водопоглощения по массе соответствовала требованиям п. 9 ГОСТ 5802-86.

Таблица 3. Определение водопоглощения по массе

№ куба	Масса сухого образца, г	Масса образца, насыщенного водой, г	Водопоглощение по массе, %
1	758,91	773,62	1,94
2	755,34	771,69	2,16
3	754,02	768,78	1,96

Полученное значение среднего водопоглощения по массе составило 2,02 %, при этом для обычных цементно-песчаных растворов этот показатель составляет — 8-10 %.

Таким образом, полученные результаты подтверждают ранее известные положения, приведенные в литературных источниках. Добавка в виде тонкодисперсной пыли, образующейся на производствах силикатного кирпича, приводит к уплотнению структуры цементной системы, а также значительно снижает количество воды, поглощаемой материалом. Это даёт возможность судить об увеличении таких показателей как прочность при сжатии, морозостойкость, стойкость к коррозии по причине фильтрации воды через толщу раствора, тем самым делая такой материал достаточно перспективным для применения при цементации грунтов. Исследования, в дальнейшем, будут продолжены.

Список литературы

1. Бариева, Э.Р. Пылеватые отходы производства силикатного кирпича и возможности их рециклинга / Э.Р. Бариева, А.Р. Фасхутдинова, Э.А. Королёв // Науки о Земле и смежные экологические науки. — 2020. — № 5. — С. 21-22.
2. Вязов, А.Ю. Цементация грунтов в Воронежской области / А.Ю. Вязов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука. — 2015. — № 8. — С. 260-265.
3. Джаббарова, Н.Э. Влияние добавки микрокремнезёма на прочность бетона / Н.Э. Джаббарова, У.Ф. Гасанова // Проблемы науки. — 2022. — № 1 (69). — С. 12-15.
4. Клименти, Н.Ю. Исследование опасных и вредных факторов технологического процесса производства силикатного кирпича / Н.Ю. Клименти, О.С. Власова, С.И. Голубева // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 4. — С. 334-346.
5. Кузнецова, Г.В. Добавки для прямой технологии производства силикатного кирпича / Г.В. Кузнецова, А.А. Шинкарев, Н.Н. Морозова, А.З. Газимов // Строительные материалы. — 2018. — № 9. — С. 12-16.
6. Орлов, Д.М. Пылеватые отходы производства силикатных изделий и возможности их применения / Д.М. Орлов, М.А. Смирнов, Т.Б. Новиченкова, В.Б. Петропавловская // Теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. В 2-х частях, Тверь, 16 февраля 2023 года / Под редакцией Т.Б. Новиченковой. Том Часть 1. — Тверь: Тверской государственный технический университет, 2023. — С. 66-74. — EDN PJKTMK.
7. Самченко, С.В. Свойства цементных композитов на основе известняка в зависимости от его гранулометрического состава / С.В. Самченко, О.В. Александрова, А.Ю. Гуркин // Вестник МГСУ. — 2020. — № 7. — Т. 15. — С. 999-1006.
8. Сизяков, В.М. Синтез наноструктурированных гидрокарбоалюминатов кальция и пути их использования в производстве строительных материалов / В.М. Сизяков, Е.В. Сизякова, В.Н. Бричкин, А.В. Цыбизов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2009. — № 3. — С. 35-39.
9. Слободчикова, Н.А. Научные основы подбора состава грунтов, укрепленных известью / Н.А. Слободчикова // Вестник науки и образования Северо-Запада России. — 2017. — № 4. — Т. 3. — С. 1-7.
10. Харченко, И.Я. Современные технологии цементационного закрепления грунтов / И.Я. Харченко, В.А. Алексеев, К.А. Исрафилов, А.С.-Э. Бетербиев // Вестник МГСУ. — № 5 (104). — Т. 12. — С. 552-558.

ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСШИРИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ ИНТЕРВАЛОВ НЕСТАБИЛЬНЫХ ГЛИН

Пакин А. В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва, office@mgri.ru.

Аннотация

В данной работе изучается проблематика разработки месторождения, индивидуальной особенностью которого является наличие интервалов нестабильных аргиллитов, способных оказать существенное влияние на снижение сроков строительства скважин. Предлагается внедрить в КНБК (компоновка низа бурильной колонны) новый гидравлический расширитель, который будет расширяться в необходимых интервалах).

Ключевые слова: бурение скважин, КНБК, расширитель, прихват.

Теория

Нарушения устойчивости стенок скважины [3] в результате наступления предельного состояния в глинистых и глиносодержащих породах пристволевой зоны не преодолены. Особенно остро проблема устойчивости ствола скважины, сложенного глинами и глинистыми сланцами, ощущается в тех районах, где бурение ведется в сложных горно-геологических условиях [7].

В комплексе осадочных отложений глинистые породы залегают на различных глубинах и составляют 80-82 % всей толщи пород [1].

По характеру поведения в процессе бурения В. Л. Михеев предлагает разделить эти отложения на 4 группы [10]:

- Набухающие, высокопластичные и легко переходящие в буровой раствор глины;
- Хрупкие, осыпающиеся и обваливающиеся глинистые сланцы;
- Сильно увлажняющиеся глины с пропластками солей, образующих каверны, осыпи и обвалы;
- Устойчивые породы.

Эти категории осадочных глинистых пород [2] обуславливают осложнения, часто приводящие к потерям ствола или к ликвидации скважин.

Я предлагаю внедрить гидравлический расширитель, который позволит облегчить прохождение сложных участков. Контроль над которым осуществляется с помощью потока промывочной жидкости, следовательно его можно достигнуть даже ниже телеметрической системы.

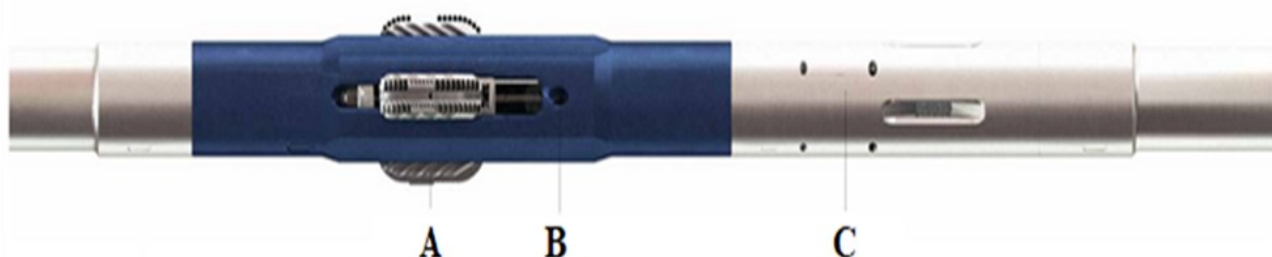


Рисунок 7. Схема расширителя

Для начала необходимо разобрать, что из себя представляет конструкция расширителя и из каких частей она состоит, на изображении символами АВС обозначены основные комплектующие [5].

За счет применения выдвигаемых блоков с резами РДК, расположенных по длине блока достигается повышенная выбуриваемость и скалывающе-дробящее воздействие на породу [9]. Также непосредственно под режущим блоком располагаются насадки в количестве 3х штук. Конструкция которых позволяет создавать перепады давления при активации расширителя. При уменьшении давления модуль в расширителе приподнимается вверх, подкручивается и закрывает клапан, часть ПЖ протекает через сам расширитель, а другая часть с большим давлением начнет протекать через насадки, что промоет их и позволит выдвинуть блоки [4].

Контроль осуществляется благодаря механической секции С, которая является активатором и деактиватором. Независимо от глубины за счет контроля подачи ПЖ можно осуществлять изменение положения расширителя.

Положение зависит от величины расхода, что соответствует трем зонам

1. Зона низкого расхода — в данном диапазоне механизм не переходит в активную фазу [8].

2. Зона индексирования — влияет на изменение цикла работы активационного механизма, т.е. на выдвигание режущих блоков. Повышение расхода выше зоны индексирования же не влияет на активацию или деактивацию движения блоков.

3. Рабочая зона — после намеренного индексирования блоки перейдут в рабочую фазу, для возвращения в неактивную фазу [6] необходимо стабилизировать давление до зоны индексирования, затем вернуть в рабочую зону, после этого произойдет закрытие режущих блоков.

Принцип работы расширителя. При протекании потока промывочной жидкости через расширитель, возникает давление на верхнюю часть поршня, так как там находится клапан, создающий сужение внутреннего диаметра. Тем самым поршень производит движение вниз до момента упора кулачков в стопорные блоки.

У расширителя есть два положения. Положение «две точки» соответствует деактивированному состоянию расширителя, положение «одна точка» активированному. Окна в верхней части поршня необходимы для прохождения через них бурового раствора. При закрытом положении, через них нет выхода, так как они перекрываются внутренней стенкой корпуса расширителя. Для открытия необходимо снизить расход промывочной жидкости, а затем повысить до определенного значения. В открытом положении стопорные блоки попадают в пазы между кулачками, при этом окна на поршне совмещаются с проходными каналами к режущим блокам, в следствии чего на них начинает воздействовать промывочная жидкость, тем самым выдвигая их из корпуса расширителя.

Выводы

Данная технология позволит многократно снизить расходы и облегчит изучение территорий, которые раньше были недостижимыми.

Развитие отечественных технологий области добычи углеводородов поможет избежать зависимости от иностранных аналогов.

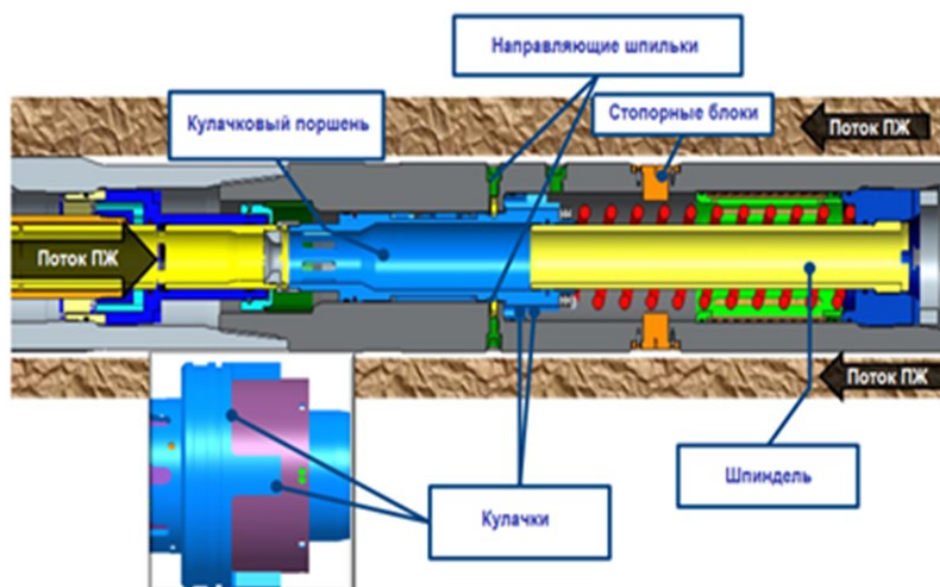


Рисунок 2. Схема внутри устройства КНБК

Библиография

1. Азмамбетова, Э. А. Автоматизация процесса измерения глубины скважин / Э. А. Азмамбетова, М. М. Алимова, Б. А. Овезов // Материалы международной научно-практической конференции молодых исследователей им. Д. И. Менделеева : сборник статей, Тюмень, 27 ноября 2020 года. — Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. — С. 344-345. — EDN MOATPW.
2. Автоматизированная система для предупреждения пересечений стволов скважин / В. В. Костин, Б. А. Овезов, А. М. Машкова, Н. В. Соловьев // Молодые - Наукам о Земле : Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах, Москва, 31 марта — 01 апреля 2022 года / Редколлегия: Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. Том 4. — Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2022. — С. 231-234. — EDN JHINTT.
3. Аппаратный комплекс для увеличения количества передаваемой информации в процессе бурения / Л. Р. Календарова, А. Ю. Чекалов, Б. А. Овезов, Н. В. Соловьев // Новые идеи в науках о Земле : Материалы XV Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах, Москва, 01-02 апреля 2021 года. Том 4. — Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2021. — С. 194-198. — EDN TAYYQR.
4. Внедрение наддолотного модуля / А. В. Мефодьева, А. М. Машкова, Н. В. Соловьев [и др.] // Молодые - Наукам о Земле : Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах, Москва, 31 марта — 01 апреля 2022 года / Редколлегия: Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. Том 4. — Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2022. — С. 264-266. — EDN UIBLCB.
5. Ганджумян Р.А. и др. Расчеты в бурении. Москва РГГРУ 2007.
6. Ганджумян Р.А., Тунгусов А.А., Тунгусов С.А. Буровые машины, механизмы и сооружения. Учеб. Пособие. М., РГГРУ, 2010.
7. Кононенко, Л. П. Развитие отечественных LWD-технологий. Разработка наддолотного модуля / Л. П. Кононенко, Н. В. Соловьев, Б. А. Овезов // Новые идеи в науках о Земле : Материалы XV Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах, Москва, 01—02 апреля 2021 года. Том 4. — Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2021. — С. 208-211. — EDN ZCAFIZ.

8. Саидов, С. С. Разработка геофизического прибора нейтронного каротажа для предупреждения аварийных ситуаций (Neutron) / С. С. Саидов, Б. А. Овезов // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. — 2022. — Т. 1. — С. 122-127. — EDN JWDDZS.

9. Цыганков, М. А. Технология бурения с применением гидравлических расширителей в условиях наличия интервалов нестабильных глин / М. А. Цыганков, К. О. Щербаклова // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. — 2022. — Т. 1. — С. 382-385. — EDN JISXJC.

10. Boiko, A. Development of a geophysical neutron logging device with equipment for exciting and stopping the synthesis reaction / A. Boiko, B. A. Ovezov, K. O. Shcherbakova // Нефтегазовые Горизонты, 16-19 ноября 2021 года, 2021. — С. 117-119. — EDN JHHCQR.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ 1D ЗАДАЧИ МТЗ В ТОЧКЕ ЗОНДИРОВАНИЯ СРЕДСТВАМИ НАДСТРОЙКИ «ПОИСК РЕШЕНИЯ» И VBA В MS EXCEL

Родионов Е. А., Хижняк М. А., Конобеев Т. А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва, office@mgri.ru

Аннотация

Разработано приложение, реализующее решение одномерной обратной задачи магнитотеллурического зондирования в точке при помощи инструмента MS Excel «Поиск решения». Одномерный геоэлектрический разрез представлен совокупностью горизонтальных однородных слоев, последний слой имеет бесконечную мощность. Параметрами задачи выступают мощности и удельные сопротивления этих слоев. Априорные ограничения задаются в виде диапазонов их возможного изменения.

В силу нелинейности данной обратной задачи, поиск ее решения осуществляется при помощи метода обобщенного приведенного градиента, который реализует оптимизацию целевой функции невязок, при заданных априорных ограничениях. Пользователю предоставляется возможность выбора той или иной целевой функции. Результаты работы программы на модельных данных иллюстрируются при помощи ошибок нахождения параметров, невязок решения и графиков кривых кажущегося сопротивления и фазы импеданса.

Ключевые слова: МТЗ, модель Тихонова-Каньяра, MS Excel, VBA, поиск решения

Теория

Рассмотрим модель Тихонова-Каньяра [1,4]. Пусть задано полупространство, разделенное горизонтальными границами на N слоев мощностью h_p с удельным сопротивлением ρ_p , где p — номер слоя. Мощность последнего слоя примем равной бесконечности.

Определим целевую функцию

$$F(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M f_i^2(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1})},$$

где M — число частот (периодов) колебания магнитотеллурического поля, $f_i, i = 1, \dots, M$ — некоторая функция, выражающая невязку решения на i -й частоте.

Сформулируем оптимизационную задачу с ограничениями:

$$\begin{cases} F(N, \rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) \xrightarrow{N, \rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}} \min \\ 1 \leq \rho_{\min} \leq \rho_p \leq \rho_{\max} \leq 10^4, \quad p = 1, \dots, N, \\ 0 < h_{\min} \leq h_p \leq h_{\max} < \infty, \quad p = 1, \dots, N-1. \end{cases} \quad (1)$$

Таким образом, необходимо подобрать параметры задачи $N, \rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}$, доставляющие минимум функционала невязки F , при условии, что удельные сопротивления слоев могут изменяться в интервале $[\rho_{\min}, \rho_{\max}]$, а мощности — в интервале $[h_{\min}, h_{\max}]$. Верхняя граница изменений удельных сопротивлений слоев в (1) указана в Ом·м. Задача (1) существенно упрощается, если положить количество слоев N априори известным и фиксированным, обратная задача в настоящей работе решается именно в такой постановке:

$$\begin{cases} F(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) \xrightarrow{\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}} \min \\ 1 \leq \rho_{\min} \leq \rho_p \leq \rho_{\max} \leq 10^4, \quad p = 1, \dots, N, \\ 0 < h_{\min} \leq h_p \leq h_{\max} < \infty, \quad p = 1, \dots, N-1. \end{cases} \quad (2)$$

Средствами MS Excel и языка VBA разработан программный продукт, который для решения оптимизационной задачи (2) вызывает встроенный инструмент «Поиск решения». При этом в силу нелинейности задачи оптимизация осуществляется при помощи метода обобщенного приведенного градиента [3].

Интерфейс разработанной программы решения одномерной обратной задачи МТЗ приведен на рисунке 1 и представляет собой лист книги MS Excel с элементами управления, ассоциированными с определенными макросами, написанным на языке VBA.

Программа реализует поиск решения обратной одномерной задачи МТЗ [2] в постановке (2) для данных, соответствующих параметрам определенной модели.

В ячейках, расположенных в левом верхнем углу листа программы, вводятся количество слоев решаемой задачи и ограничения на значения их удельных сопротивлений, $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$ (в Ом·м) и мощностей, $h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$ (в м), которые предполагаются априори известными.

Область данных, расположенная в левом нижнем углу листа, представляет собой послойные значения параметров (удельные сопротивления и мощности слоев) исходной модели (ячейки, залитые розовым цветом) и значения параметров, которые получаются в результате решения обратной задачи (ячейки, залитые синим цветом). Таким образом, исходя из описания модели Тихонова-Каньяра, при заданном количестве слоев N , обратная задача имеет $2N-1$ параметров. Также, справа от значений модельных параметров располагаются средние ошибки их определения.

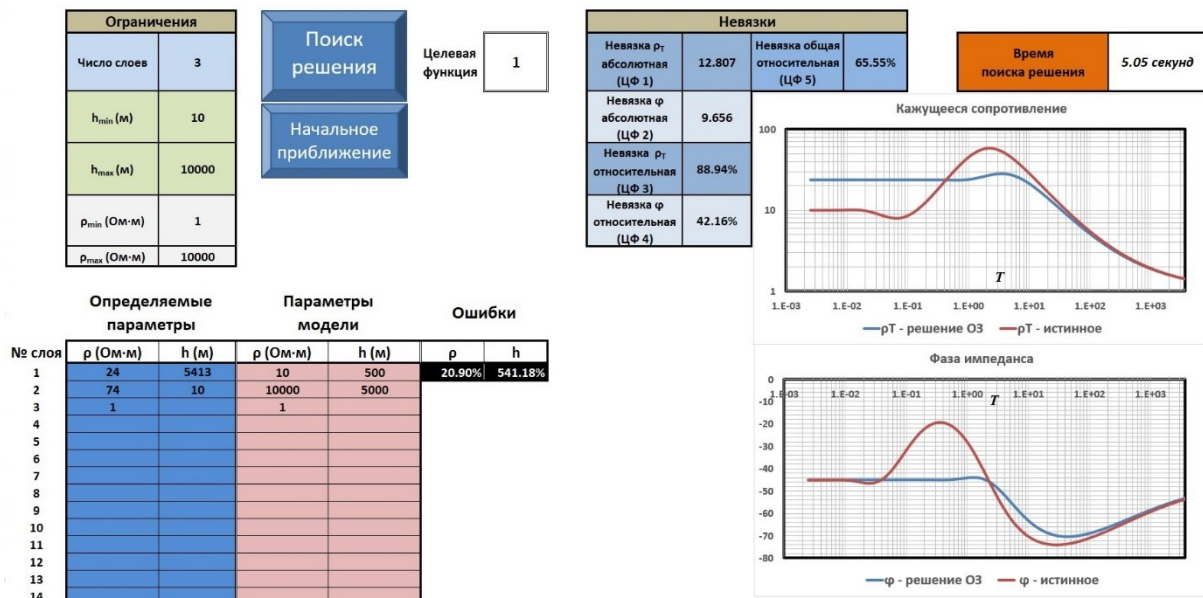


Рис. 1. Интерфейс программы

Обозначим через $\hat{\rho}_i, i=1, \dots, N, \hat{h}_i, i=1, \dots, N-1$, модельные (истинные) значения удельных сопротивлений и мощностей слоев соответственно, а через $\rho_i, i=1, \dots, N, h_i, i=1, \dots, N-1$, — их приближения, полученные в ходе решения обратной задачи. Ошибка определения удельных сопротивлений слоев рассчитывалась как усредненный модуль разности их десятичных логарифмов, деленный на максимальный возможный диапазон их изменения (пределы возможного изменения $\lg \rho$ предполагаются равными 0 и 4):

$$\varepsilon_{\rho} = \frac{1}{4N} \sum_{j=1}^N |\lg \rho_j - \lg \hat{\rho}_j|.$$

Ошибка определения мощностей слоев рассчитывалась как средняя относительная ошибка:

$$\varepsilon_h = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} \frac{|h_j - \hat{h}_j|}{\hat{h}_j}.$$

По параметрам исходной модели рассчитывается прямая задача [2] на каждом периоде заданной сетки. То же самое происходит для найденных значений параметров. В результате определяются различные невязки, которые располагаются в середине листа программы в его верхней части, и выполняют роль целевых функций оптимизационной задачи. Расчет данных по параметрам скрыт от пользователя интерфейсом программы.

При интерпретации данных МТЗ [1] обычно переходят от импеданса Z к кажущемуся сопротивлению,

$$\rho_T = \frac{10^7 |Z|^2}{4\pi \cdot \omega},$$

которое является средневзвешенным значением удельных сопротивлений слоев, в которые проникает поле на данной частоте ω , и фазе импеданса,

$$\varphi = \arg Z = \arctg(\operatorname{Im} Z / \operatorname{Re} Z),$$

которая является аргументом импеданса как комплексного числа на конкретной частоте.

Пусть $\hat{\rho}_{T,i}$ — моделируемое кажущееся сопротивление на i -й частоте ω_i (или, что то же, на i -м периоде), а $\rho_T(\omega_i, \rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1})$ — кажущееся сопротивление на i -й частоте, соответствующее решению обратной задачи, $i = 1, \dots, M$. Аналогично, через $\hat{\phi}_i$ и $\varphi(\omega_i, \rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1})$ обозначим соответствующие значения фаз импеданса.

В программе реализована оптимизация параметров задачи для пяти целевых функций, определяемых по следующим функциям невязок f_i :

— абсолютная невязка кажущегося сопротивления на i -й частоте

$$f_i^{(1)}(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) = \left| \rho_T(\omega_i, \rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) - \hat{\rho}_{T,i} \right|,$$

— абсолютная невязка фазы импеданса на i -й частоте

$$f_i^{(2)}(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) = \left| \varphi(\omega_i, \rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) - \hat{\phi}_i \right|,$$

— относительная невязка кажущегося сопротивления на i -й частоте

$$f_i^{(3)}(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) = f_i^{(1)}(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) / \hat{\rho}_{T,i},$$

— относительная невязка фазы импеданса на i -й частоте

$$f_i^{(4)}(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) = f_i^{(2)}(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) / \left| \hat{\phi}_i \right|,$$

— средняя общая относительная невязка на i -й частоте

$$f_i^{(5)}(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\left(f_i^{(3)}(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) \right)^2 + \left(f_i^{(4)}(\rho_1, \dots, \rho_N, h_1, \dots, h_{N-1}) \right)^2 \right)}.$$

Выбор целевой функции определяется вводом цифры (от 1 до 5) в ячейке справа от текста «Целевая функция».

Помимо полученных в ходе решения обратной задачи значений пяти невязок, в правом нижнем углу листа программы строятся графики кажущегося сопротивления (в логарифмическом масштабе по обеим осям) и фазы импеданса (в логарифмическом масштабе по оси абсцисс) в зависимости от значений периода, на которых рассчитывались прямые задачи, для модельных данных и данных, полученных в результате решения оптимизационной задачи.

Наконец, интерфейс программы содержит два элемента управления — кнопки «Начальное приближение» и «Поиск решения». При нажатии на первую из них в ячейках значений определяемых параметров (залитых синим цветом) происходит задание мощности каждого слоя как $(h_{\min} + h_{\max}) / 2$ и удельного сопротивления как $10^{(\lg \rho_{\min} + \lg \rho_{\max}) \cdot 0.5}$, эти значения служат начальным приближением в процессе решения обратной задачи, который запускается при нажатии на кнопку «Поиск решения».

После завершения работы «Поиска решения» можно произвести вторую итерацию, используя в качестве нового начального приближения значения параметров, полученные в ходе выполнения первой итерации.

В правом верхнем углу листа выводится время в секундах, затраченное программой на решение обратной задачи.

В рамках данной работы планируются определенные модификации программы: переход от удельных сопротивлений слоев к их десятичным логарифмам в качестве определяемых параметров, а также формирование сетки периодов с произвольными начальным периодом, количеством периодов и шагом.

Выводы

Создан программный продукт с наглядным интерфейсом и открытым кодом, позволяющий находить приближенное решение обратной одномерной задачи МТЗ в точке зондирования. Программа может быть полезна как обучающимся, так и заинтересованным лицам в области разведочной геофизики в целом.

Библиография

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. // Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2019.
2. Зубарев Т.Л., Иванова К.М. // Прямая и обратная задачи магнитотеллурического зондирования, М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016.
3. Сухарев А.В. Тимохов В.В. Федоров. Курс методов оптимизации: Учебное пособие. — [2-е изд]. // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
4. Яковлев А.Г., Пушкарев П.Ю. // Одномерная прямая задача МТЗ. Методическая разработка. Москва, МГУ, 2020.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЗОН АКТИВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ И ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДРОБЛЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ СЛОЖНОГО ГРУНТОВОГО МАССИВА (ГРАНИТОИДНОЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЭТАПЕ ВЫБОРА ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА

¹Сагдеев О. В., ^{2,8}Пайшанбиев С. А., ^{3,8}Погребных Е. О., ^{4,8}Бершов А. В., ^{5,8}Бессонова Е. В.,
^{6,8}Тарасова М. А., ^{7,8}Булатников М. А.

¹аспирант кафедры Геокриологии Геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова

²главный геолог

³руководитель сектора инженерно-геофизических камеральных работ

⁴генеральный директор

⁵начальник отдела камеральной обработки

⁶ведущий инженер-геофизик

⁷ведущий инженер-геолог

⁸ГК «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»; г. Москва; info@petromodeling.com

При строительстве линейных и больших площадных объектов в условиях активного развития тектонических движений приходится сталкиваться с комплексом инженерно-геологических проблем, связанных с приуроченностью интенсивного развития экзогенных и эндогенных геологических процессов к зонам тектонических разломов и повсеместного развития специфических грунтов в пределах дисперсного чехла грунтового массива и линейных кор выветривания. Специфика (интенсивность и пространственная приуроченность) упомянутых проблем обусловлена неотектоническими условиями конкретной территории. Данное утверждение является устоявшимся в инженерной геологии и отражено В.Т. Трофимовым [7] в 1999 году в основном законе инженерной геологии *«современные инженерно-геологические особенности любого объекта верхних горизонтов литосферы и их изменение определяются историей его (объекта) геологического развития,*

современными структурно-тектоническим положением и климатическими условиями, а на освоенных территориях — и характером техногенных воздействий».

Важность определения закономерностей и положение их в структуре инженерной геологии нашло свое отражение в определении научного направления инженерной геодинамики, что было сформулировано Ф.В. Котловым [4] в 1970 году в основном законе инженерной геодинамики *«Инженерно-геологические процессы и явления развиваются в зависимости от регионально-геологических условий и контролируются региональными закономерностями в распределении геотектонических структур, генетических и петрографических типов пород, геохимических комплексов подземных вод и т. п.»*

Основной вклад в изучение разрывных нарушений внесли геологи-тектонисты. Среди них следует отметить обобщающие работы Г. Д. Ажгирея, В.В. Белоусова, Ю.А. Косыгина, Н.И. Хаина, А.В. Пейве и др. В инженерной геологии данной проблематикой занимались же велись такие инженеры-геологи как А.С. Алешин (1982), А.А. Варга (1985, 1988, 1994, 1997), Г.А.Голодковская (1987), Г.С.Золотарев (1983), С.А. Несмеянов (1992, 1995, 2002, 2003), М.В. Рац (1970, 1973), В.С.Федоренко (1966), С.Н. Чернышев (1983), О.С. Барыкина и др. [1].

В настоящее время проблемой разрывных нарушений занимаются следующие специалисты в области геофизических исследований: Модин И.Н., Скобелев А.Д., Ермаков А.П., Владов М.Л., Матюков В.Е., Юнусов А. И. и др. [2,5,6].

В условиях развития тектонических движений и близкого залегания кровли скальных грунтов к зоне контакта с дневной поверхностью в условиях интенсивного воздействия внешней среды начинают активно развиваться процессы выветривания. В таком случае, в грунтовом массиве можно наблюдать как площадную кору выветривания, так и линейную кору выветривания, приуроченную к зонам разрывных нарушений.

Коры выветривания по структурно-текстурным особенностям относятся к сложным грунтовым массивам (под фразой *«сложный»* коллектив авторов подразумевает многообразие геологических факторов, таких как наличие грунтов различных классов, пространственную неоднородность строения массива, наличие активных тектонических разломов).

Существует большое количество схем кор выветривания; в инженерной геологии общепринятой считается обобщённая схема, дополненная Г. С. Золотаревым в 1971 году (рис. 1).

Вышеупомянутая схема хорошо описывает закономерности строения кор выветривания по осадочным, метаморфическим и магматическим породам основного и ультраосновного состава. Для кислых магматических пород такие закономерности не прослеживаются, что обусловлено петрографическим составом пород.

Кора выветривания по гранитоидам (рис. 2) имеет ряд характерных отличий от других кор выветривания, расположенных в стабильных тектонических условиях. В условиях активной континентальной окраины эти отличия усиливаются. Также стоит отметить, что особенности строения гранитоидной коры выветривания сильно зависят от геоморфологических условий территории (наличие склона).

Названия и индексы зон выветривания	Характерные особенности	Принципиальный разрез
I „Дисперсная“ полного химического преобразования исходных пород	Глины, суглинки и супеси в основании с редкой щебенкой, выщелоченные и ожелезненные, карбонизированные и т.п. Возможно разделение на 2-3 горизонта. Слабо изучена в инженерном отношении.	
II „Обломочная“ Преобладание физической дезинтеграции и частичное химическое разложение пород	По степени раздробления и химического разложения, количеству минеральных новообразований и физико-механическим свойствам подразделяются, обычно, на 4 горизонта, обозначаемые: „А“, „Б“, „В“ и „Г“	
III „Трещинная“ Раздробление массива и начало разложения пород по крупным трещинам и тектоническим зонам	Проявление на значительных глубинах. Возможно образование зон выветривания малой толщины вдоль основной трещины.	

Рис. 1. Принципиальная схема инженерно-геологического расчленения коры выветривания [3]

В связи с этим была предложена схема коры выветривания гранитоидов в условиях активных тектонических движений и сложных геоморфологических условий. Для данной схемы выделяются 4 зоны (рис.2): Зона А — зона бесструктурного элювия; Зона Б — зона структурного элювия, состоящая из двух подзон, различающимися разным количеством сохранившихся текстурно-структурных особенностей материнской породы; Зона В — зона дробления и рыхления; Зона Г — зона коренных пород.

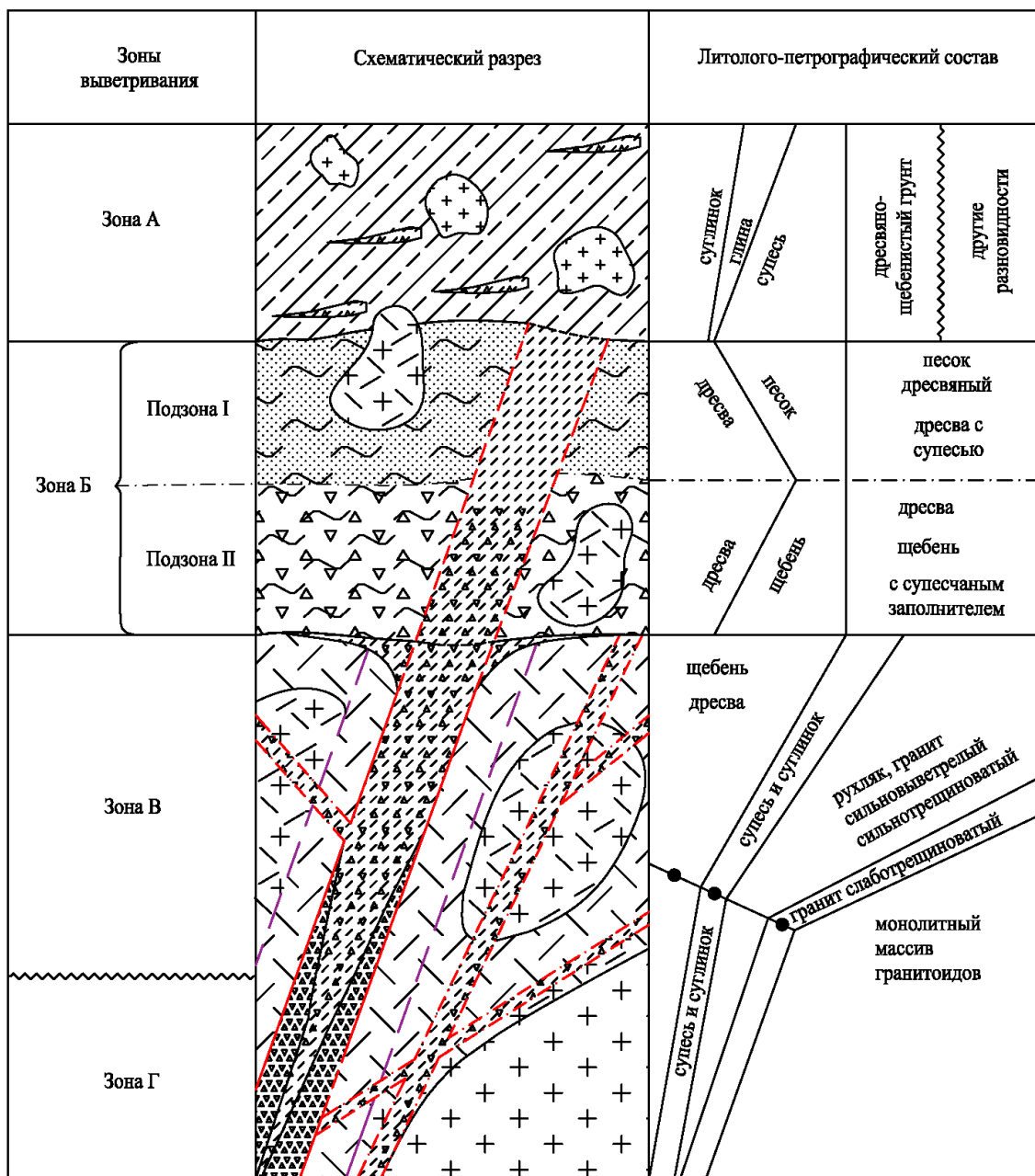
Приведенная схема имеет ряд отличий от общепринятой схемы:

1. В дисперсной части гранитоидной коры выветривания выделяются крупные глыбы;
2. В условиях склона могут возникать делювиальные шлейфы крупнообломочных и супесчаных грунтов в общей массе суглинистых грунтов;
3. Для дисперсной зоны не наблюдается закономерное увеличение с глубиной крупных обломков;
4. Для зоны сапролита характерно наличие крупных глыб, в подзоне Б1 встречаются редкие реликты коренных пород и по гранулометрическому составу данная зона представлена

дресвой или песком дресвяным. В подзоне БII наблюдается повсеместное включение реликтовых структур;

5. В зоне тектонического разлома прослеживается увеличение с глубиной щебенистых грунтов;

6. В зоне рухляка исходные скальные грунты подверглись сильному химическому преобразованию.



- Зона тектонического дробления
- Зона тектонической дезинтеграции
- - - Зона тектонического дробления при сместителе
- - - Зона тектонической дезинтеграции в структурном элювии
- ● ● Граница площадной и линейной коры выветривания и исключительно линейной
- · - · - Локальные трещины

Рис. 2. Принципиальная схема инженерно-геологического расчленения коры выветривания по гранитоидам для активной континентальной окраины на Дальнем Востоке (по А.В. Бершову и С.А. Пайшанбиеву, 2023)

Учитывая специфику и особенности строения коры выветривания по гранитоидам, их изучение является весьма сложной задачей, особенно сложность возрастает при изучении кор выветривания, расположенных в зонах активных тектонических движений. Отсюда следует важность определения пространственных закономерностей линейной коры выветривания.

Методика изучения подобных сложных гранитоидных кор выветривания в инженерно-строительной деятельности практически не упоминается в работах как отечественных, так и западных специалистов.

В ходе анализа нормативно-технических документов было выяснено, что в них присутствуют общие методические требования, позволяющие обеспечить изучение обобщенной схемы коры выветривания. Также стоит отметить, что в данных документах практически отсутствуют развернутые методические рекомендации по изучению линейных кор выветривания.

В рамках настоящей работы в условиях активной континентальной окраины на Дальнем Востоке была предпринята попытка решить задачу по выявлению пространственных закономерностей расположения разрывных нарушений и распространения коры выветривания для выбора площадки строительства, расположенной на меловом коллизионном интрузивном геодинамическом комплексе, приуроченном к осевой зоне Сихотэ-Алиньской покровно-складчатой системы.

Исследования проводились для объекта повышенного уровня ответственности. Территория исследований характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями. В первую очередь местность характеризуется сложным рельефом (рис. 3).

Также данная территория характеризуется сложными неотектоническими условиями, ввиду наличия активизировавшейся серии тектонических разрывных нарушений субмеридионального направления.

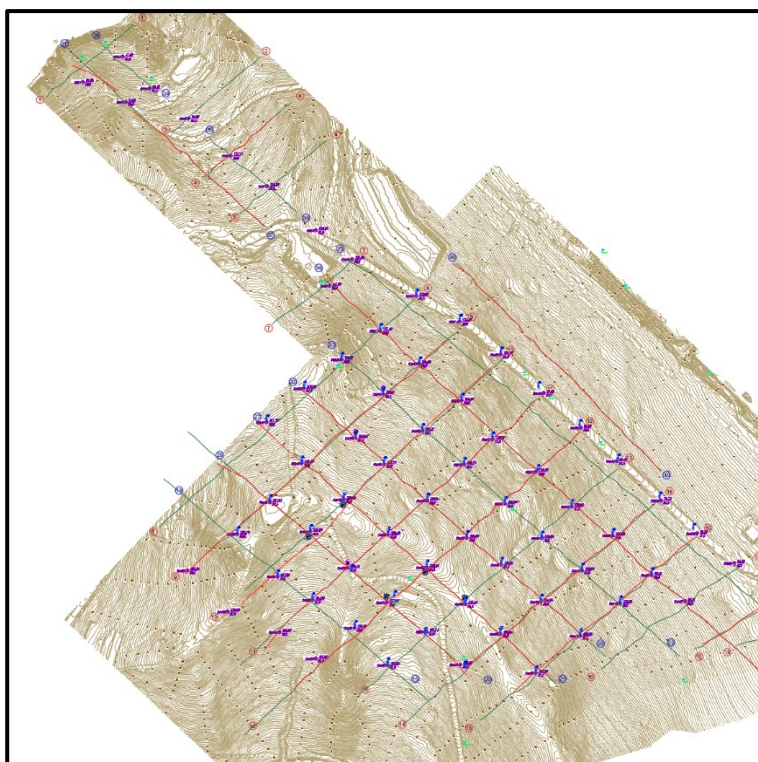


Рис. 3. Карта фактического материала исследуемой территории с нанесенными профилями ЭТ, СТ и МОВ-ОГТ

Основная задача исследований — выявление пространственных закономерностей зон активных тектонических разломов и тектонических дроблений с детализацией достаточной для рационального выбора площадки строительства объекта повышенного уровня ответственности.

В целях изучения этих закономерностей с нужной детализацией нам требовалось получить непрерывную информацию для всей территории потенциального строительства.

Для выполнения поставленной задачи потребовалось выполнить три блока исследований:

БЛОК 1 — сейсмотектонические исследования. Цель данного блока исследований — выявление общих признаков активных разломных зон;

БЛОК 2 — инженерно-геофизические исследования, состоящие из таких методов как ЭТ, СТ, МОВ-ОГТ. Цель данного блока исследований - подтверждение геофизическими методами наличия зон активных тектонических разломов и зон дробления, отмеченных в рамках блока 1, а также выделение кровли скальных грунтов и расчленение коры выветривания;

БЛОК 3 — инженерно-геологические исследования, включающие в себя бурение скважин, гидрогеологические наблюдения, полевые исследования свойств грунтов. Цель — верификация по сетке данных, полученных по двум предыдущим блокам.

В данной работе будут упомянуты только инженерно-геофизические методы исследования.

В ходе геофизических исследований были определены: характер нарушения сплошности массива; порядок¹ разрывных нарушений; кровля скальных грунтов.

Для данных разломов по данным ЭТ (рис. 4) характерны четкие вертикальные границы, центральная часть разломов представлена линейной корой выветривания, сложенной преимущественно супесчано-суглинистыми разностями. Для разломных зон характерны низкие сопротивления по методу ЭТ (50-150 Ом×м), для неизмененных скальных грунтов характерны сопротивления до 2000 Ом×м.

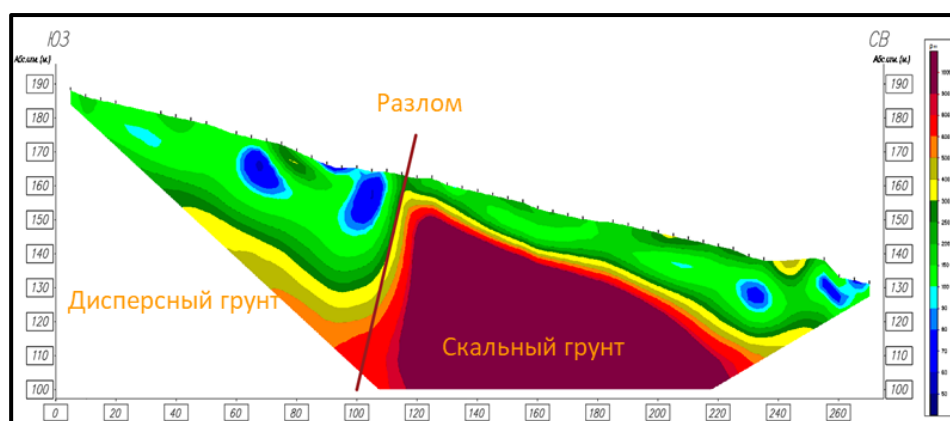


Рис. 4. Разрывное нарушение взбросового типа, выявленное по результатам ЭТ

По данным ОГТ и СТ в кровле скальных грунтов, примыкающих к разлому, прослеживается заглубление кровли скальных грунтов и тектонические разломы 3 и 4 порядков. Также в зоне разлома наблюдается заглубление низкоскоростной границы (200-400

¹ Классификация по характеру нарушения сплошности массива СНиП 2.02.02-85 Таблица 5

м/с), которая в геологическом разрезе, согласно результатам блока 3 приурочена к зоне Б, подзоне Б-І, коры выветривания гранитоидов (рис. 2).

Следует отметить, что разломные зоны с активным сместителем от вмещающего коренного массива выделяются контрастными границами, что весьма четко наблюдается для разлома №4 (рис. 5).

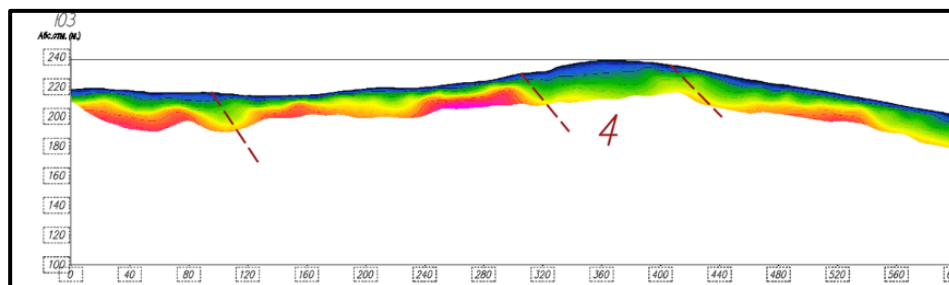


Рис. 5. Региональный разлом, выделенный по результатам СТ

По результатам комплекса исследований (блоки 1 и 2) для конкретной территории выявлена следующая неотектоническая макрозакономерность: основной сместитель регионального разлома, вероятнее всего, приурочен к активному тектоническому разлому №4 (рис. 7).

Пространственное расположение активной разломной зоны 4 соответствует оси самой региональной разломной зоны, выделенной на мелкомасштабной тектонической карте территории. Данное утверждение подтверждается тем, что для других активных разломов аналогичные резкие границы не наблюдаются. Однако, четкие закономерности разломной зоны прослеживаются. К таким закономерностям следует отнести отрицательные формы в кровле коренных пород и наличие мощного чехла площадной и линейной кор выветривания, а также отрицательные формы рельефа и наличие крупных оврагов.

По результатам пространственного анализа результатов блоков 1 и 2 было уточнено простираение всех активных разломов. Также уточнены их границы и мощности линейной коры выветривания в пределах исследуемой территории.

Для активных разломов, которые простираются параллельно основному сместителю, характерна выраженная площадная кора выветривания, которая в переходной зоне структурного элювия усложняется линейной корой выветривания. Наличие крупных глыб в зонах структурного элювия и дисперсной части массива позволяют выделить только крупные структурно-текстурные закономерности разломной зоны.

Отрицательные формы в кровле коренных пород весьма четко наблюдаются по результатам ОГТ и СТ. Однако при интерпретации глубины залегания кровли важно было учитывать, что скоростная граница в геологическом разрезе приурочена к переходной зоне сапролита, а реальная кровля скальных грунтов залегает ниже, что было подтверждено буровыми работами.

По данным ОГТ (рис. 6) также весьма четко выделяются зоны дробления, соединяющие активные тектонические разломы в геологическом пространстве. Также данные границы прослеживаются по данным ЭТ.

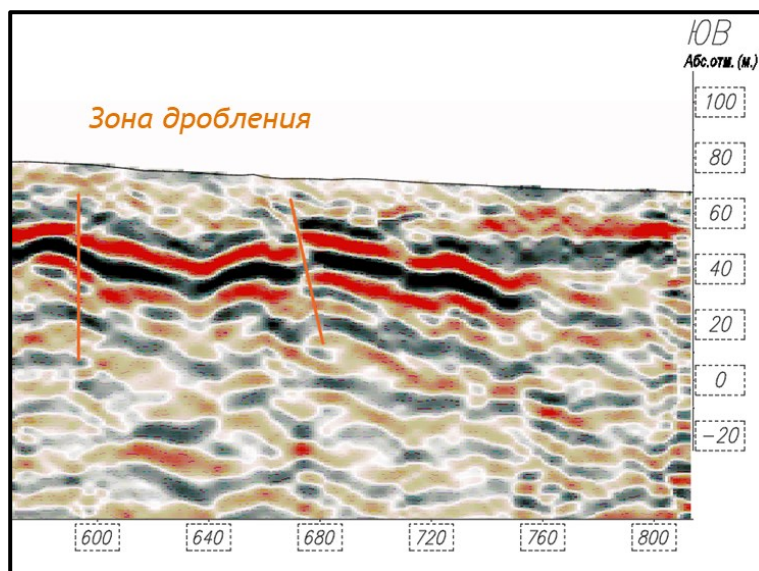


Рис. 6. Зона дробления, выделенная по результатам МОВ-ОГТ

Таким образом, по результатам интерпретации данных геофизических исследований в пределах исследуемого грунтового массива были откартированы зоны активных тектонических разломов (2 порядка), активный тектонический разлом, к которому приурочен сместитель регионального разлома (2 порядка), зоны дробления, приуроченные к тектоническим разломам 3 и 4 порядков. Для зон дроблений и разломов определены мощности площадной и линейной кор выветривания.

По результатам работ по трем блокам были построены карты распространения зон активных тектонических разломов и тектонических дроблений (рис. 7), изомощностей дисперсного чехла (рис. 8) и кровли коренных скальных пород (рис. 9). Также была построена трехмерная инженерно-геологическая модель всей территории (рис. 10, 11).



Рис. 7. Карта распространения зон активных тектонических разломов и тектонических дроблений. Масштаб 1:2500 (активные разломы выделены красным цветом, серой штриховкой выделены зоны дробления)

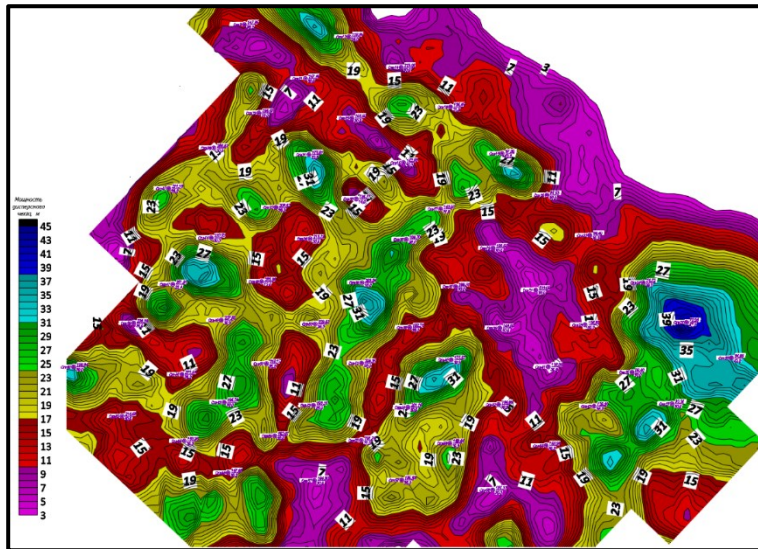


Рис. 8. Карта изомощностей дисперсного чехла. Масштаб 1:2500

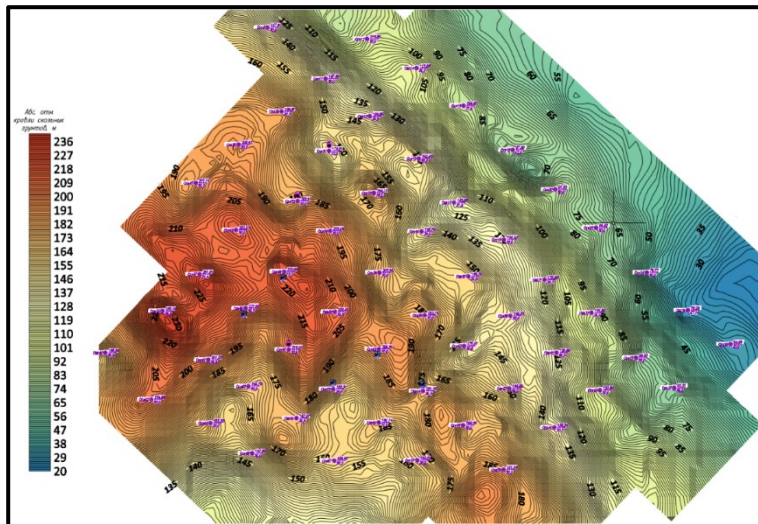


Рис. 9. Карта кровли скальных грунтов. Масштаб 1:2500

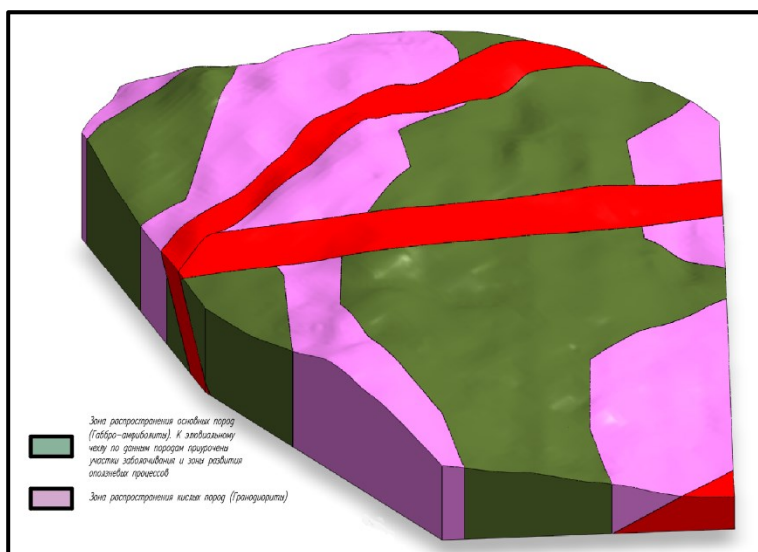


Рис. 10. Трехмерная инженерно-геологическая модель скального основания (красным указаны зоны активных тектонических разломов). Масштаб 1:2500

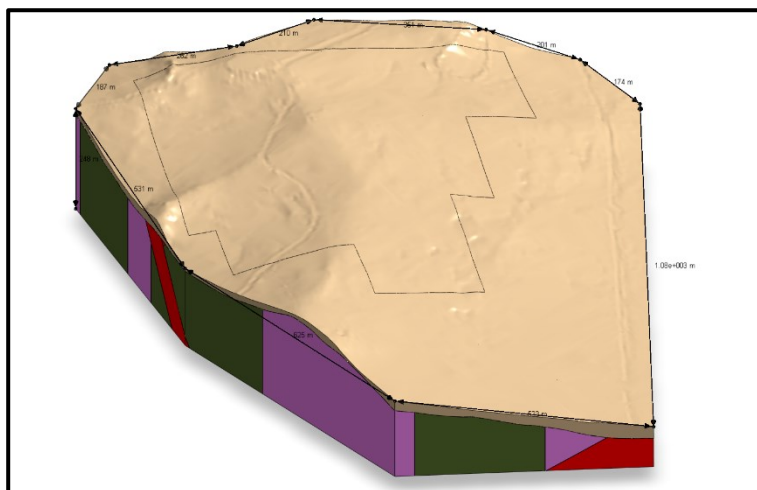


Рис. 11. Трехмерная инженерно-геологическая модель территории (дисперсный чехол выделен бежевым цветом). Масштаб 1:2500

Список литературы

1. Барыкина О.С. Инженерно-геологический анализ разрывных тектонических структур (на участках возведения плотин). Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. 2004. 206 с.
2. Ермаков А.П., Скобелев А.Д., Стром А.Л., Богданов М.И. и др. Инженерно-геофизические исследования активных тектонических разломов в Южной Якутии. Инженерные изыскания Том 4, 2017, с. 46-54
3. Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика. — М.: Изд-во МГУ, 1983 г. С ил., 328 с.
4. Котлов Ф.В. Настоящее и будущее инженерной геологии. // Пути дальнейшего развития инженерной геологии / Мат-лы дискуссии 1-го Межд. конгресса по инж. геологии. — М.: Изд-во Моск, ун-та, 1971, с. 41-53.
5. Матюков В.Е., Юнусов А.И. результаты обработки данных электрофотографии в зоне активной разломной структуры. Вестник КРСУ. 2023. Том 23. № 4, с. 189-193
6. Модин И.Н., Скобелев А.Д. Электротомография при картировании вертикальных трещин в карбонатных отложениях западного Крыма. Инженерные изыскания Том XVI, 2016, с. 38-47
7. Трофимов В.Т. Основные законы инженерной геологии и её научных направлений. — Теоретические проблемы инженерной геологии. / Тр. Межд. научн. конф. — М.: Изд-во Моск, ун-та, 1999, с. 30-34.

ЦИФРОВИЗИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ВЫДАЧЕ ПРОТОКОЛОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Селиванова О. С., Тишин Н. Р., Озмидов О. Р., Фролова Н. А.

АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ», г. Москва, mostdorgeotrest@mail.ru

В последнее время наблюдается тенденция к цифровизации различных процессов [2, 3]. Это объясняется тем, что повышение скорости и качества этих процессов позволяет человеку меньше времени уделять рутинным задачам и повышать производительность труда за счет новых возможностей по хранению, распространению, удобству отображения и защите данных. Помимо удобства процессов, цифровизация затрагивает также и их безопасность [3]. Информационная безопасность и, в частности, подтверждение подлинности документов является одним из приоритетных векторов цифровизации [1].

Переходя к отрасли геологических изысканий, важно отметить сложность распространения и подтверждения подлинности данных, а также ограниченность информации, хранимой на стандартном бумажном протоколе. Одним из перспективных подходов к решению этих задач является проект GEOREPORT, разработанный компанией АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ».

Сервис GEOREPORT создает цифровую версию протокола с уникальным идентификатором в базе данных, которая позволяет хранить на защищенном сервере, как различные текстовые данные, такие как: характеристики грунта, привязка пробы, результаты испытания, так и дополнительные файлы, файл с данными прибора, на котором проводилось испытание, стандарты лаборатории или дополнительные графические материалы

После сохранения протокола сервер генерирует уникальный для каждого испытания QR-код, который содержит ссылку для просмотра результатов испытания. Этот QR-код помещается на физический протокол испытания. Работая по аналогии с электронной подписью, QR-код на протоколе позволяет в любой момент времени просмотреть электронную версию протокола с дополнительной информацией и проверить подлинность протокола испытания.

Ниже, на рис. 1, представлен пример протокола трехосного испытания с таким QR-кодом. Если пользователь наведет камеру смартфона на QR-код и перейдет по предложенной ссылке, то он попадет на веб-страницу сервиса GEOREPORT, на которой отображаются две таблицы. В основной таблице представлена информация об образце: название объекта, лабораторный номер образца, дата, а также результаты самого испытания. Таблицы, соответствующие протоколу с рис. 1, представлены на рис. 2, рис. 3 и рис. 4. В данном случае это модуль деформации и коэффициент поперечной деформации. В таблице «дополнительные файлы» находятся сам файл протокола и файл изображения графика девиаторного нагружения. Также в этой таблице может быть размещен файл с данными прибора, на котором проводилось испытание, или любой другой файл. В таблице «справочные файлы» размещен файл стандарта, по которому проводился опыт. Таким образом, при совпадении информации на странице и информации на протоколе любой пользователь сможет удостовериться, что данный опыт проводился в конкретной лаборатории, а также в электронном виде получить дополнительную информацию, такую как файл протокола или файл данных с прибора.

МОСТДОРГЕОТРЕСТ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
 СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ АККРЕДИТАЦИИ № ИЛЛРН-01936 Срок действия с 03.09.2021 до 03.09.2026
 РЕЕСТР ГЕОИЗЛОРА г. МОСКВЫ №27 (РЕЙТИНГ М4)

ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ МЕТОДОМ ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ (ГОСТ 12248.3-2020)

Протокол испытаний №	1-1/-ТС		
Заказчик	-		
Объект	-		
Приказ пробы (скал, глубина отбора)	1, 5,6 м	ИГЭ/ИГЭ	-
Лабораторный номер №	1-1		
Наименование грунта	Глина тяжелая твердая		

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТА									
$\rho_d, \text{т/см}^3$	$\rho, \text{т/см}^3$	$\rho_R, \text{т/см}^3$	$n, \%$	$e, \text{ед.}$	$W, \%$	$S_t, \text{д.е.}$	$I_p, \%$	$I_L, \text{ед.}$	$I_n, \%$
2,76	1,60	1,16	58,1	1,39	38,4	0,76	30,1	-0,07	-

СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПЫТАНИИ			
Режим испытания:	К.Д. девиаторное нагружение в квазистатическом режиме		
Бюковое давление $\sigma_3, \text{МПа}$	0,100	$K_0, \text{д.е.}$	0,60
Оборудование:	ЛИГА К.Д.1С, АСИСТ 2 0.5, ОНЕСА UP-25а		
Параметры образца:	Высота, мм	76,00	Диаметр, мм
			38,00

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ

Модуль деформации $E_{50}, \text{МПа}$	11,9
Коэффициент поперечной деформации $\nu, \text{д.е.}$	0,27

Исполнитель: Жвалев Д.А., Старостин П.А., Чалая Т.А., Михалева О.В.
 Гуршова Е.С., Доровик С.А.
 Семенов О.В.
 Академик РАЕН Овчаров О.Р. / к.т.н. Череповской А.В.
 Жадров И.М.

Исполнительный директор / и.и. ИП: Семенов О.В.
 Научный руководитель ИЛ: Академик РАЕН Овчаров О.Р. / к.т.н. Череповской А.В.
 Главный инженер: Жадров И.М.

Ссылка georeport.ru

QR-код

№ документа №: 3.29LU54-1215 Дата: 26.04.2022 Лист: 1/1

Рис. 1. Пример протокола трехосного испытания с QR-кодом



Главная


 МОСТДОРГЕОТРЕСТ mdgt.ru	
Объект	-
Лабораторный номер	1-1/-ТС
Тип опыта	Трехосное нагружение
Даты выдачи протокола	2022-04-26
Модуль деформации $E_{50}, \text{МПа}$	11,9
Коэффициент поперечной деформации $\nu, \text{д.е.}$	0,27

Рис. 2. Информация об образце 1-1/-ТС

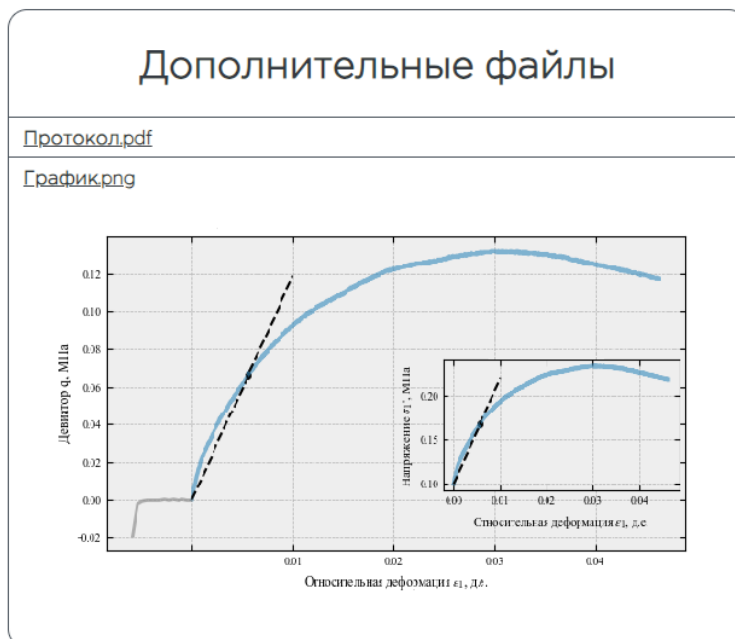


Рис. 3. Таблица дополнительные файлы

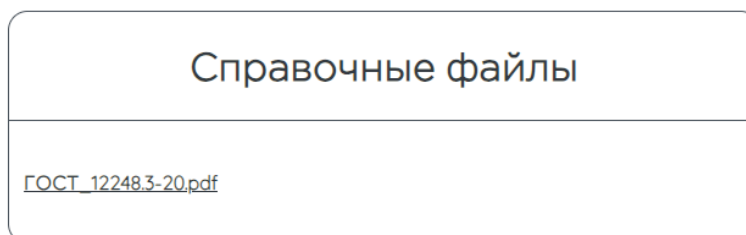


Рис. 4. Таблица дополнительные файлы

Принцип работы сервиса GEOREPORT заключается в следующем: данные каждого протокола загружаются на сервер, после чего записываются в базу данных, где данные хранятся по уникальному номеру, который формируется, исходя из номера объекта, лабораторного номера и типа испытания. Сервер осуществляет генерацию QR-кодов, которые могут быть размещены на протоколах, и обеспечивает возможность отображения данных из протокола на сайте. Для обеспечения безопасности данных их изменение доступно только пользователю сервиса, внесившего протокол, а идентификация пользователя проводится с помощью jwt токена авторизации.

Для того, чтобы воспользоваться возможностями сервиса необходимо войти в личный кабинет, который представлен на рис. 5. Функционал сервиса позволяет вносить данные протоколов с помощью формы. Форма имеет 3 обязательных поля с информацией о номере объекта, лабораторном номере пробы и типе испытания. И необязательные поля, в которые можно вносить такие данные, как дата и различные результаты испытаний, например: модуль деформации или угол внутреннего трения.

Внесенные опыты отображаются в таблице, представленной на рис. 6, в удобном формате. Пользователь имеет возможность отобразить все выданные и занесенные в систему

протоколы или только протоколы, выданные по выбранному объекту. Протоколы можно обновить, то есть изменить информацию или дополнить для уже сгенерированного QR-кода, а также удалить или повторно скачать QR-код.



Имя пользователя:	mdgt_admin
Уровень лицензии:	Enterprise
Дата окончания лицензии:	Dec 31 2030
Лимит:	1000000000
Выдано:	1848
Остаток:	999998152

Получить токен

[Просмотр инструкции к api](#)

Уникальный номер протокола формируется по номеру объекта, лаб.номеру и типу испытания, поэтому для разных протоколов эти параметры должны отличаться. Например, для одной пробы два разных протокола будут с одинаковыми номерами объекта и лаб.номерами, но тип опыта нужно вводить разный.

Объект *	Лаб.№ *	Тип испытания *
<input type="text" value="111-11"/>	<input type="text" value="A1-1/AA"/>	<input type="text" value="FC, FCE, вибро, консолидац."/>

Параметр	Значение
<input type="text" value="Дата выдачи протокола"/>	<input type="text" value="01.09.2022"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>

+ -

Отправить

Рис. 5. Личный кабинет

Выданные протоколы

Выбор объекта ▾

Дата выдачи:	Объект:	Лаб. номер:	Тип испытания	Информация:	Действия:
2 дня назад	530-23	4-1	Виброползучесть	Дата выдачи протокола: 29.08.2023	
2 дня назад	530-23	3-2	Виброползучесть	Дата выдачи протокола: 29.08.2023	
2 дня назад	530-23	3-1	Виброползучесть	Дата выдачи протокола: 29.08.2023	
2 дня назад	530-23	2-1	Виброползучесть	Дата выдачи протокола: 29.08.2023	
2 дня назад	530-23	1-1	Виброползучесть	Дата выдачи протокола: 29.08.2023	

Рис. 6. Таблица выданных протоколов

Сервис обеспечивает полную сохранность данных и не позволяет изменять или удалять данные никому, кроме авторизованного пользователя. При этом любой отсканировавший QR-код может сравнить данные из протокола с данными в системе. GEOREPORT выступает гарантом надежности и безопасности данных лабораторных испытаний, также позволяет в любое время продемонстрировать, что опыт был проведен в конкретной лаборатории.

Сервис GEOREPORT позволяет любой лаборатории начать использовать возможности по цифровизации протоколов лабораторных испытаний. Весь функционал реализован в личном кабинете онлайн. Сервис имеет открытый API и дает возможность настроить автоматизированное занесение данных в базу и генерацию QR-кодов при выдаче протоколов, как это сделано, например, в лаборатории АО МОСТДОРГЕОТРЕСТ.

Литература

1. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», электронный ресурс, URL: <http://government.ru/info/35568/> (дата обращения 24.08.2023).
2. Паспорт федерального проекта «Информационная безопасность» // утв. президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности, протокол от 28.05.2019 N 9.
3. Шуйский В.П. Цифровизация экономики России: достижения и перспективы // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2020. №6.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ BIM НА ЭТАПЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА ПРИМЕРЕ РЕАЛЬНОГО ПРОЕКТА

Семенова А. Е.

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), г. Москва

Любые работы по изысканиям состоят не только из процесса сбора и получения информации, а также включают в себя этап обработки: в инженерно-геодезических изысканиях в результате камеральных работ получают топографический план. Однако с 1 января 2022 года при выполнении работ на объекте госзаказа стало обязательным применение BIM-технологий 1, то есть исполнитель также передает заказчику идентичную топоплану цифровую модель местности (ЦММ) или BIM-модель — совокупность объемных моделей, представляющих объекты местности, обладающих семантическими и геометрическими свойствами, идентифицирующими его как часть всей системы, а также как отдельный компонент.

На основе геодезических изысканий формируются проектные решения так же в виде BIM, поэтому внедрение новой технологии следует осуществлять на этапе получения исходных данных о местности для проектировщиков, то есть на этапе геодезических изысканий.

В докладе подробнее разберем этапы и результаты внедрения BIM-технологии в отделе инженерной геодезии. Создание модели осуществлялось на объекте в городе Дмитров с использованием программного обеспечения «Топоматик Robur: Изыскания» на основе топографических планов формата DWG.

Как было сказано ранее процесс геодезических изысканий делится на две составляющие: сбор информации и ее обработка. Разбор внедрения BIM провели на основании создания ЦММ.

Наиболее распространенный способ обработки данных изысканий — это компьютерное черчение, осуществляемое через программы, такие как AutoCAD, NanoCAD, CREDO Топоплан, но в подобном методе одними из явных недостатков являются отсутствие связи между объектами, трудности в отслеживании ошибок и их исправлении, а также в получении ведомостей. BIM упрощает или устраняет подобные недостатки.

ЦММ включает в себя несколько видов моделей: цифровую модель рельефа (ЦМР), цифровую модель инженерных сетей (ЦМИС) и цифровую модель ситуации (ЦМС) 2. Для следования календарному плану был составлен график выпуска моделей, в котором помимо сроков сдачи отобразили обменный формат файлов, их наименование, процент выполнения и статус обработки.

Наиболее важной является ЦМР, к которой привязываются остальные объекты местности, поэтому ее формирование находится в приоритете. ЦМР создается по характерным точкам дневной поверхности. На изображении ниже представлена модель рельефа (Рисунок 8).

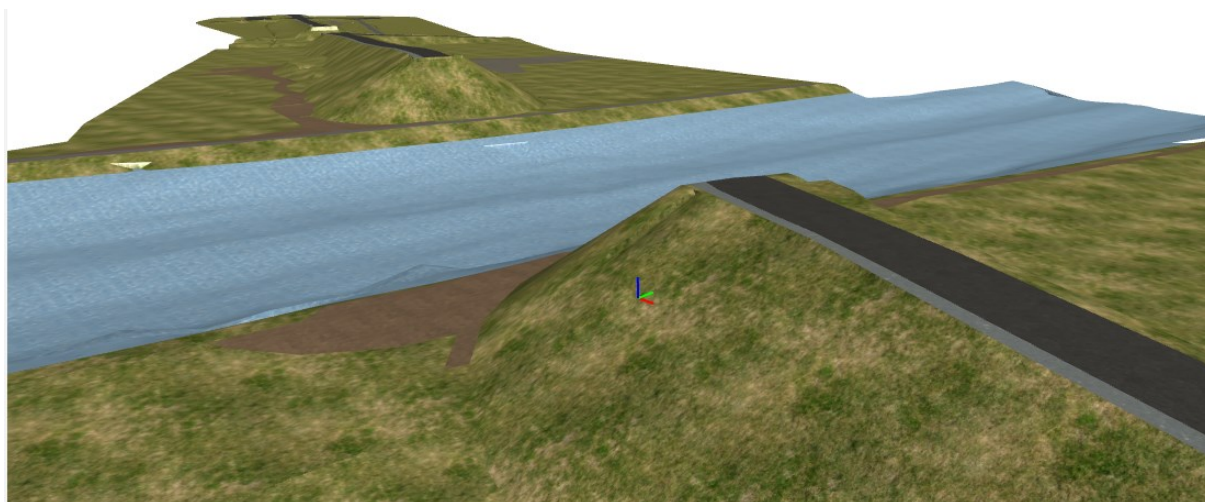


Рисунок 8. Цифровая модель рельефа дневной поверхности в ПО Топоматик Robur

Для ЦМИС были разработаны следующие типы инженерных коммуникаций: водопровод, канализация, газопровод, тепловые сети, линии электропередач, наружное освещение, наружные сети связи. Инженерные сети в местах примыкания и в колодцах были соединены между собой согласно данным геодезических изысканий (Рисунок 9, Рисунок 10 и Рисунок 11).

Согласно техническому заданию инженерно-топографический план был составлен в масштабе 1:500, поэтому на цифровой модели ситуации были отображены все объекты, представленные на плане: существующие здания и сооружения, растительность, покрытия существующих автомобильных дорог с бортовым камнем, ограждения, точечные объекты, такие как дорожные знаки, бензоколонки (Рисунок 12 и Рисунок 13).

Согласно требованиям к уровням проработки цифровых информационных моделей, каждому типу ЦИМ на каждом этапе жизненного цикла соответствует определенный уровень проработки ЦИМ. Модель инженерных изысканий соответствует первому уровню проработки 3.

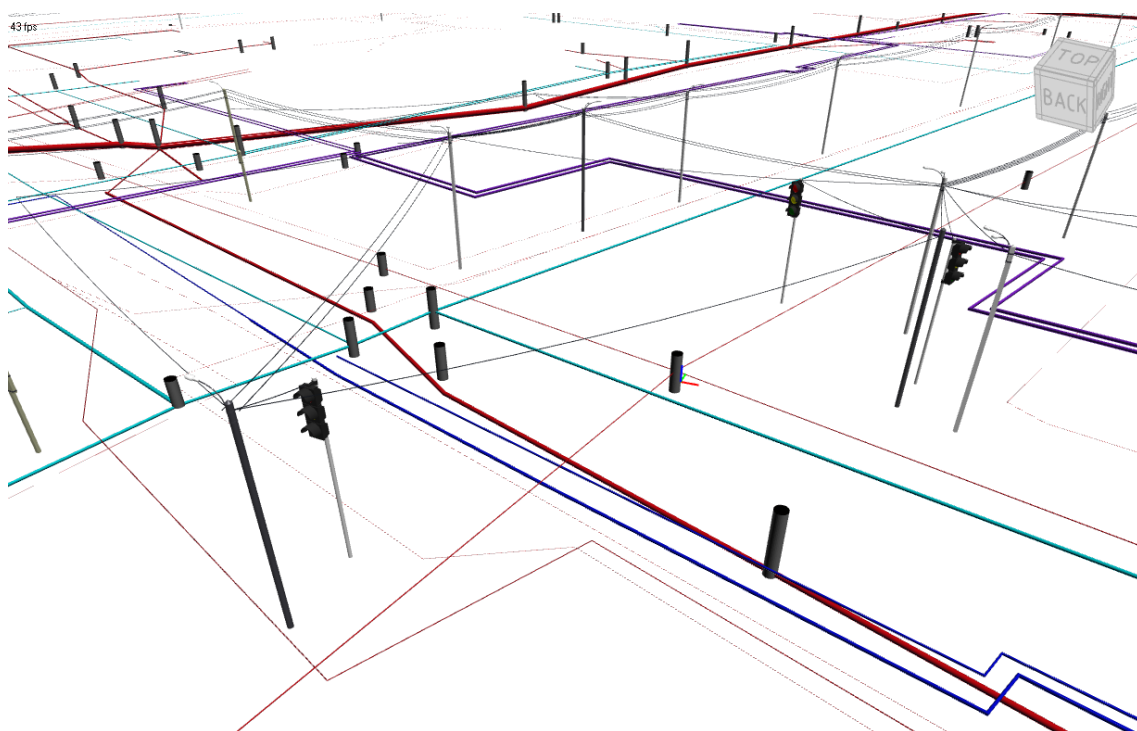


Рисунок 9. Цифровая модель инженерных сетей в ПО Топоматик Robur

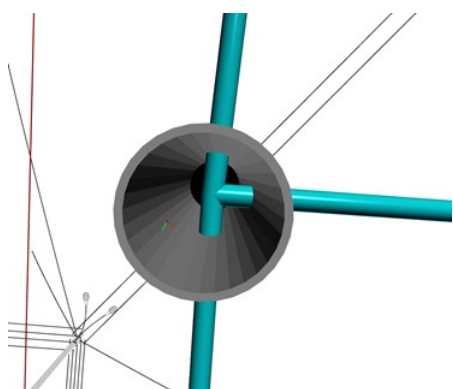


Рисунок 10. Соединение водопроводных труб в колодце

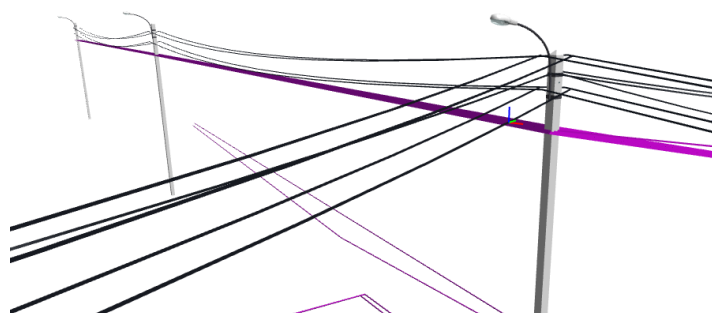


Рисунок 11. Воздушные линии электропередачи

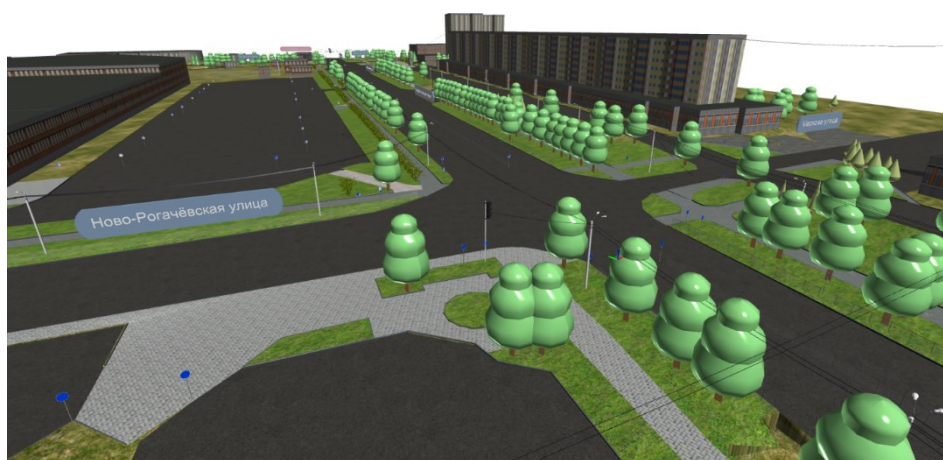


Рисунок 12. Цифровая модель ситуации в ПО Топоматик Robur



Рисунок 13. Сравнение Яндекс-панорамы с полученной ЦМС

Таблица 1. Уровни проработки цифровых информационных моделей

Наименование этапа жизненного цикла	Тип модели	Уровень проработки ЦИМ			Исходная информация
		Наименование	Обозначение	Описание	
Инженерные изыскания	ИЦММ	Модель инженерных изысканий	А	ЦИМ содержит взаимосвязанные графические и атрибутивные данные, представляющие результаты инженерных изысканий.	Результаты инженерных изысканий

Внутренние библиотеки программы не позволяют удовлетворить требования нормативной документации и заказчика, но дают возможность добавлять соответствующим объектам нужные атрибуты.

Атрибуты присваивались объектам согласно СП 333.1325800.2020, а значения брались из результатов геодезических изысканий. При отсутствии данных значение атрибута заполнялось прочерком.

Трехмерные модели присваиваются двумерным объектам в зависимости от набора свойств элемента, как это происходит и при назначении условных знаков для топографических планов 4. Для примера рассмотрим объект «Ограда»: условный знак зависит от материала

самого ограждения, вида опор, наличия фундамента, высоты. Таким образом условный знак имеет несколько вариаций начертания, а значит и объемный объект имеет несколько моделей. На рисунке 7 представлена часть семантического дерева, где «Контроллером визуализации линейного объекта» обозначается объемное тело, а на рисунке 8 представлен вид свойств объектов уже в модели.

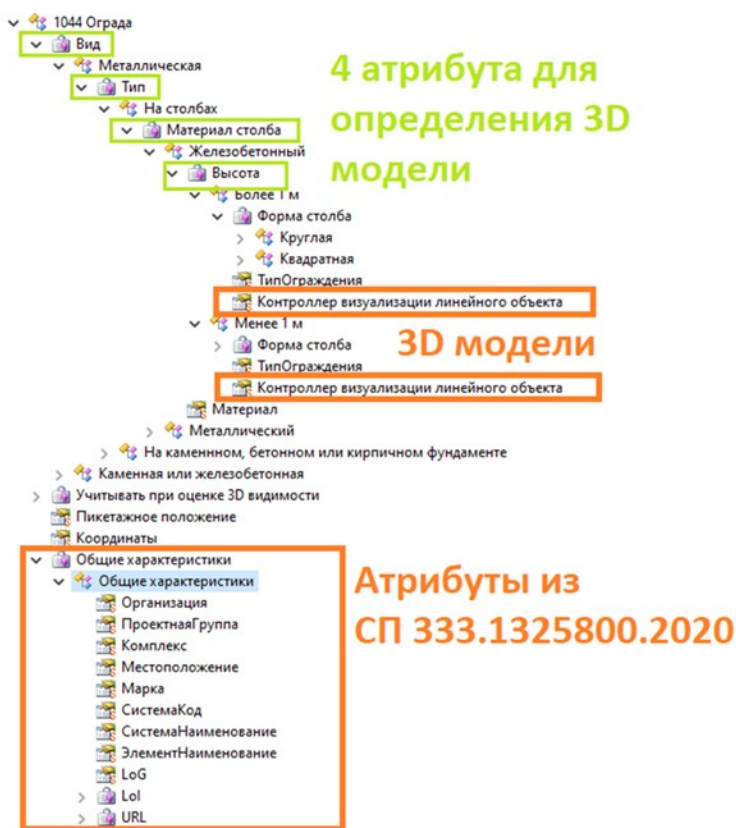


Рисунок 14. Дерево семантических свойств

Семантика	
Линейный объект	Ограда-(1044)
Вид	Металлическая
Тип	На столбах
Материал столба	Металлический
Высота	Менее 1 м
Общие характерист...	Общие характеристики
Организация	ОАО "Институт Гипрост...
Проектная группа	-
Комплекс	ИИ1
Местоположение	Наземный
Марка	ИГДИ
СистемаКод	НЕ ОПРЕДЕЛЕНО
СистемаНаименова...	-
ЭлементНаименова...	-
LoG	200
Lol	A
URL	URL
URL_INGIPRO1	https://gsm.ingipro.ru/i3...
URL_INGIPRO2	https://gsm.ingipro.ru/i3...
Ссылка на отчет	1/2023-06-ИГДИ-1.1

Рисунок 15. Свойства объекта

При подготовке тестового проекта сначала прорабатывалась геометрия, а позже объектам добавляли атрибутивную информацию. Данный метод тормозил создание ЦИМ, так как для некоторых объектов приходилось не только добавлять свойства, но и кардинально менять дерево свойств объекта.

На текущем проекте при добавлении в модель нового объекта параллельно вносились необходимые атрибуты, таким образом при последующих добавлениях подобного объекта сразу заполнялись строки с атрибутивной информацией, что гарантирует заполнение информацией всех объектов без пропусков.

К атрибутивной информации применяется требование по разделению характеристик на наборы при передаче моделей в формате IFC. В программе Топоматик Robur данное требование невозможно пока еще выполнить, но техническая поддержка предложила вариант разработки скрипта для группирования характеристик в нужные наборы.

При создании какого-либо свойства, ему присваивается код, набранный нами на латинице. С помощью этого кода можно «вытягивать» из объекта значение свойства, например, для изменения геометрии 3D-объекта или для отображения на плане значения напряжения ЛЭП.

Скрипт, написанный на языке Python, связывает значение свойства через его код с новым названием этого свойства, а также назначает группу. На рисунке ниже схематично представлена группировка свойств.

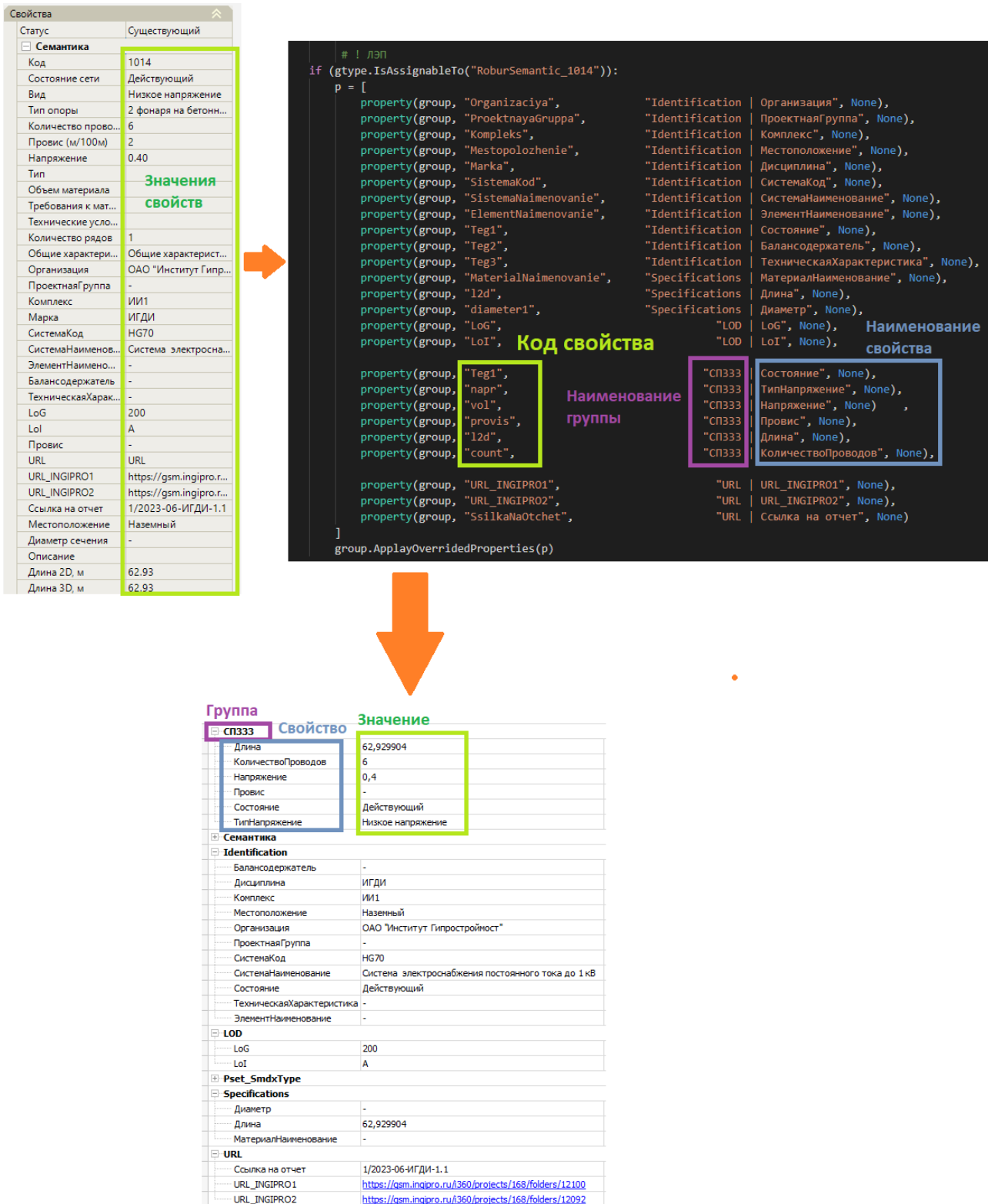


Рисунок 16. Схема группировки свойств для экспорта в формате IFC

При передаче моделей заказчику они загружаются в среду общих данных (СОД) «ИНГИПРО» 5.

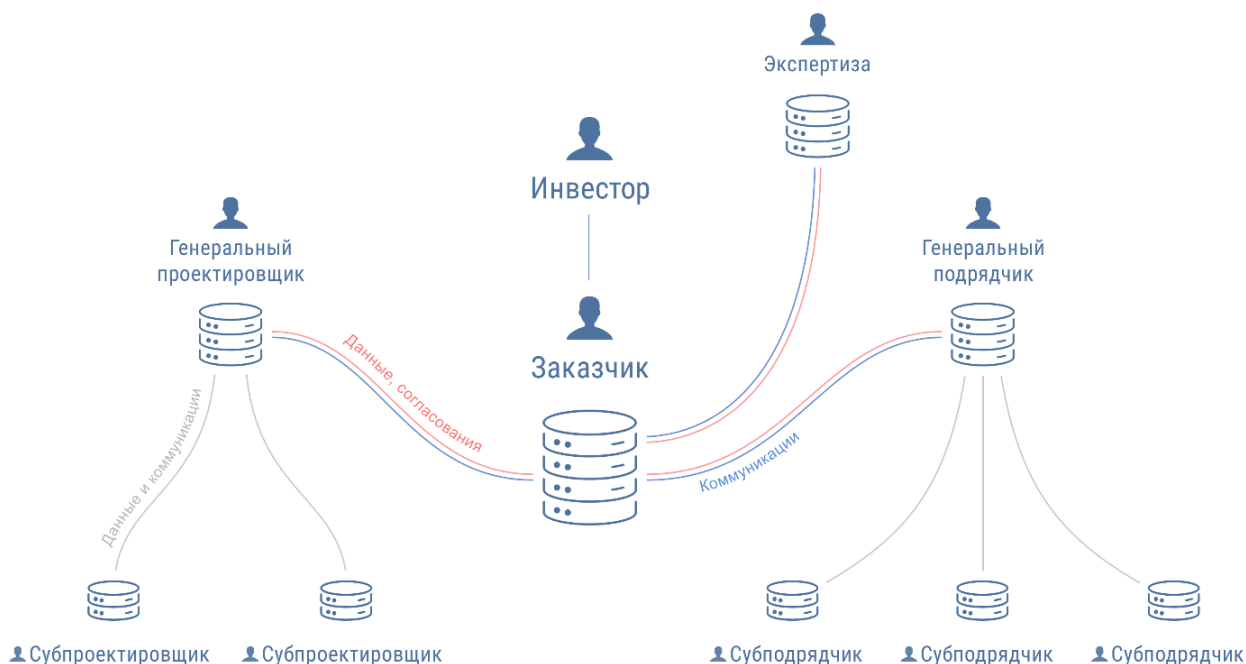


Рисунок 17. Принципиальная схема СОД

Топоматик Robur



ИНГИПРО

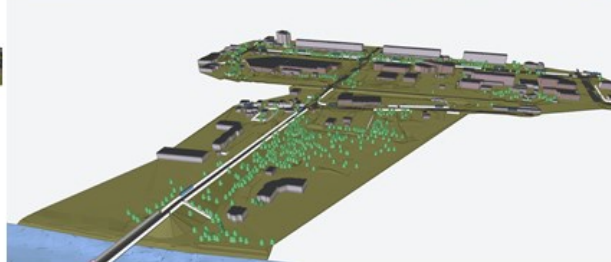
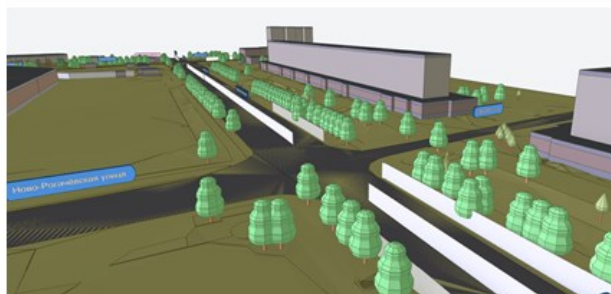


Рисунок 18. Сравнение сводной модели в представлении Топоматик Robur и ИНГИПРО

Сводная модель при экспорте была поделена в соответствии с графиком выпуска моделей, а в СОД части модели возможно объединить в полноценную модель с возможностью отключения различных моделей-групп.

Пройдя все этапы создания ЦММ, можем оценить временные затраты на разработку модели территории с плотной застройкой, сельской местностью и с занесёнными участками.

Таблица 2. Временные затраты на создание ЦММ

№	Раздел моделирования	Временные затраты	
		Внутри этапа	По модели
1. Геометрическое моделирование		—	50%
1.1.	Рельеф местности	30%	
1.2.	Коммуникации (подземные и надземные), освещение	25%	
1.3.	Здания, строения, ограждения	10%	
1.4.	Дорожное покрытие (проезжая часть, пешеходные дорожки) и ЖД	15%	
1.5.	Объекты растительности и иные земные покрытия	15%	
1.6.	Точечные объекты (указатели)	5%	
2. Наполнение атрибутивными данными		—	30%
3. Подготовка скрипта		—	20%

Полученная модель была передана для дальнейшего создания ведомостей. В отличие от компьютерного черчения BIM позволяет автоматизировать подобные задачи, настроив необходимые шаблоны ведомостей, что сокращает время на формирование отчетной документации, а также дает возможность быстро исправить ошибки.

В результате была составлена инструкция по формированию BIM для отдела инженерной геодезии, из которой вытекают требования к проведению изысканий, в частности к кодированию съемочных точек.

Однако процесс внедрения BIM на этапе геодезических изысканий продолжается: библиотека объектов дополняется новыми атрибутами и моделями, не предусмотренными программой, но готова к передаче на новый объект, а также продолжается настройка шаблонов ведомостей и отображения 2D условных знаков.

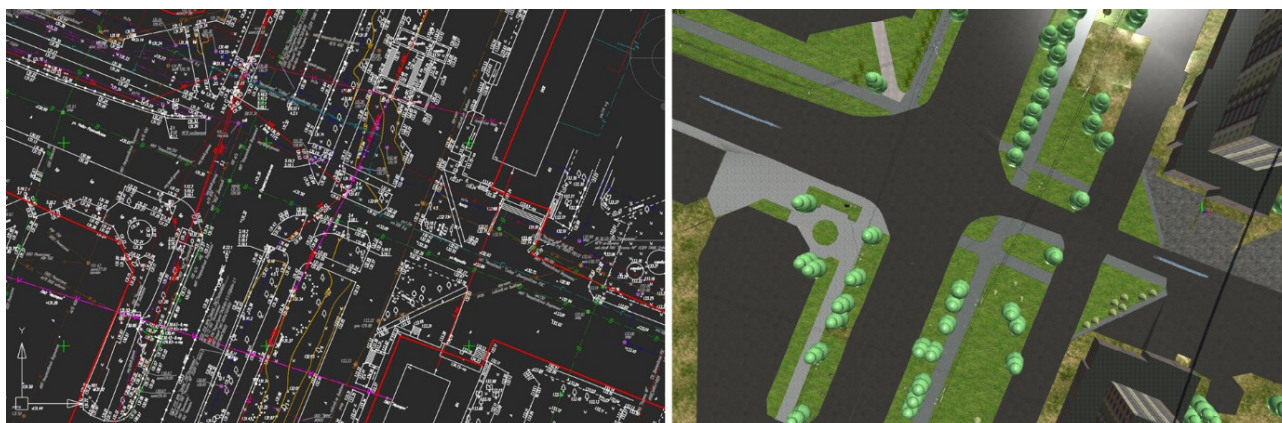


Рисунок 19. Сравнение топографического плана с BIM

Источники

1. Постановление Правительства РФ от 05.03.2021 № 331
2. МОГЭ.ЦИМ.ИИ.ОТ-1.0 Требования к цифровым информационным моделям, представляемым для проведения экспертизы результатов инженерных изысканий
3. СП 333.1325800.2020 Информационное моделирование в строительстве
4. ГКИНП от 25.11.1986 N 02-049-86
5. Среда общих данных <https://www.ingipro.com/>

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНОЧНОГО ПРОГНОЗА УРОВНЕЙ ТЕХНОГЕННОЙ ВИБРАЦИИ В ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЗДАНИЯХ, РАСПОЛАГАЕМЫХ НА ТЕРРИТОРИЯХ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН

Сизов Д. К., Марусев Ю. Я.

ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА», г. Москва, vibro@vibroprotect.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы прогноза уровней вибрации, возникающей в зданиях, проектируемых на территориях старых промышленных зон, располагаемых в непосредственной близости от линий наземного рельсового транспорта и тоннелей метрополитена. Анализируются особенности спектрального состава вибрационного воздействия, характерного для движения поездного состава, приводятся характерные временные графики и графики спектров. В дополнении к этому, рассматриваются различные методики прогноза уровней вибрации, как на основе действующих нормативных документов, так и на основе данных экспериментальных замеров уровней вибрационного воздействия на множестве объектов города Москвы (построенных и уже введенных в эксплуатацию).

Показано, что для большинства объектов, возводящихся на территории бывших промышленных зон с учетом поверхностного расположения источников вибрации, а также малых скоростей движения поездного состава в черте города и значительных расстояний от проектируемых зданий до источников вибрации, виброзащитные мероприятия не требуются, а в тех редких случаях, когда виброизоляция зданий все же необходима, виброзащитная система может сводиться только к виброзащите подземных участков боковой поверхности стен зданий.

Ключевые слова: измерение уровней вибрации, прогноз уровней вибрации и структурного шума, техногенная вибрация, вибрационное воздействие от железных дорог и линий метрополитена, допустимые уровни виброускорений в зданиях.

Введение. Одним из перспективных путей освоения бывших промышленных зон города Москвы является их застройка объектами жилой и социальной инфраструктуры. В связи с этим решаются важные градостроительные проблемы, в частности, преодолевается вопрос очагового включения в городскую среду фактически малоэксплуатируемых территорий с первоначально промышленными объектами, переоборудованными для их использования под офисы, либо складские кластеры. Текущее функциональное назначение этих объектов приводит к малой эффективности использования городских территорий, так как чаще всего возможности адаптации существующих объектов старых промышленных зон не в полной мере соответствует реальным требованиям современных городских районов и отражает лишь технически реализуемые возможности их применения, без учета необходимости их большего включения в общую инфраструктуру города.

Старые промышленные объекты, чаще всего возникали ещё в период первой промышленной революции (18-19 вв.), либо в годы первых пятилеток советской власти. На территории города существовали и на тот момент эффективно справлялись со своим первоначальным предназначением — производством товаров и материалов, целые кластеры, включающие в себя как сами промышленные предприятия, так и сопутствующую инфраструктуру (общежития для рабочих, клубы, жилые дома для работников и руководства данных промышленных зон), однако сейчас, после ряда трансформаций их функционального назначения, и многократных смен собственников эти объекты, в большинстве своем, полностью потеряли свою практическую ценность и могут рассматриваться лишь как

памятники промышленной архитектуры. Наиболее известными старыми промышленными зонами города Москвы, где уже фактически полностью исключена производственная деятельность, являются: «Павелецкая», «Верхние Котлы», «Серп и Молот», «Октябрьское поле», «Филикровля» в Дорогомилово, «Южный порт»; несколько более «новые» промзоны расположены в Ярославском районе, Солнцево, районе Соколиной Горы, Новогиреево, «Курьяново», «Котляково» и многих других.

Второй существенной проблемой наличия таких зон в черте города является их влияние на транспортную инфраструктуру. Фактически данные объекты представляют собой часто непреодолимые препятствия для возможности организации автомобильного сообщения между отдельными районами города, приводят к возникновению перегруженности отдельных автомагистралей и, в конечном итоге, способствуют формированию устойчивых пробок и заторов, которые становятся визитной карточкой тех районов города, где требуется наличие более кратких путей, соединяющих отдельные районы, но на пути которых располагаются «старые» промзоны.

Наиболее характерным для старых промышленных зон является их расположение в непосредственной близости от линий железнодорожного транспорта, это связано, как с существующей ранее необходимостью обеспечения подвоза ресурсов для проведения промышленной деятельности, так и для дальнейшего перемещения готовой продукции на другие предприятия. Такая особенность их размещения создавала естественную защитную зону, отсекающую распространение вибрационного и шумового воздействия со стороны подвижных составов железных дорог, что являлось одним из положительных моментов от столь тесного соседства промышленного производства, иногда весьма негативно сказывающегося на экологии целых районов города и жилых кварталов.

Наличие расположенных в непосредственной близости от промзон железнодорожных путей требует проведения инженерно-экологических изысканий для оценки возможности их текущей застройки проектируемыми зданиями, в том числе с учетом возможности необходимой разработки систем их виброзащиты, направленной на уменьшение негативного влияния динамического воздействия железнодорожного транспорта [2]. С целью оценки влияния вибрации требуется выполнять серии виброизмерений [1,2]. В том случае, если превышены допустимые уровни вибрации по действующим СанПин [9], то требуется разработка систем виброизоляции, основанной на использовании эластичных материалов, либо виброизоляторов [3], [8], [11] отделяющих конструкции здания от примыкающего грунта основания.

В процессе выполнения виброизмерений может фиксироваться как сам сигнал, так и его спектральное разложение в 1/1, либо 1/3 октавных полосах частот. Для гигиенической оценки важна именно спектральная составляющая уровней вибрации в отдельных полосах спектра.

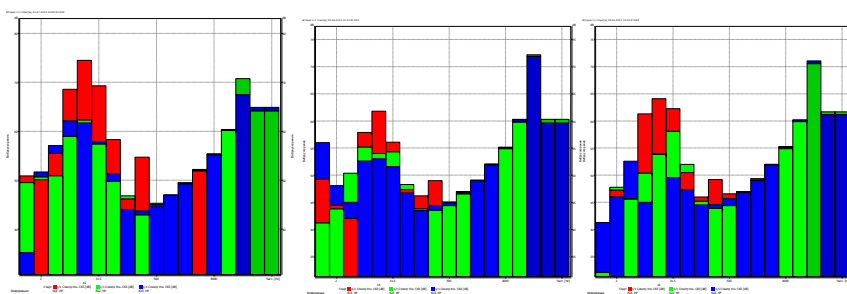


Рис. 1. Характерные графики спектров, полученные при исследовании вибрационного воздействия, возникающего при движении рельсового транспорта (железнодорожный транспорт, метрополитен)

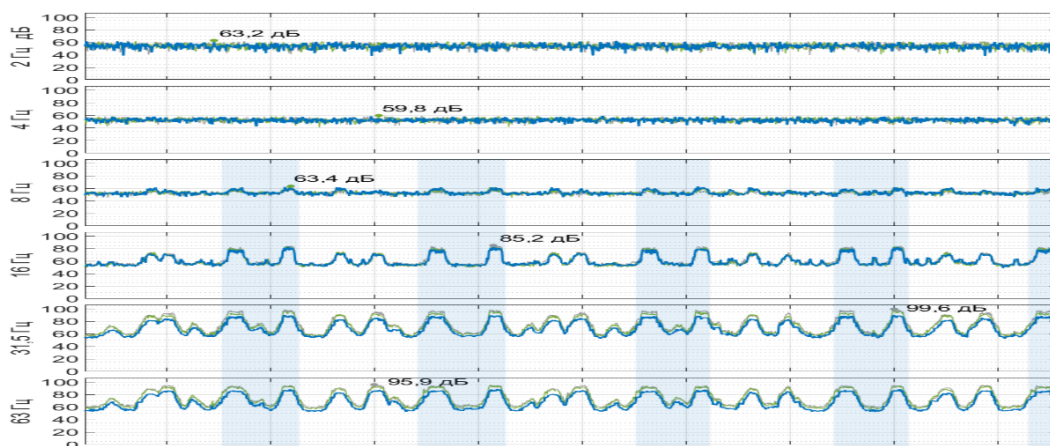


Рис. 2. Характерные графики разверток по времени спектральных составляющих сигнала, полученные при исследовании вибрационного воздействия, возникающего при движении рельсового транспорта (железнодорожный транспорт, метрополитен)

Как видно из представленных графиков спектров (Рисунок 1), наибольшие уровни вибрационного воздействия, возникающие от движения поездов железнодорожного транспорта, либо поездов метрополитена, наблюдаются в октавных полосах 16 Гц, 31,5 Гц, 63 Гц. Для результатов замеров также характерно, что для движения, например, высоконагруженных грузовых составов в черте города (редкое явление в наши дни) наблюдается смещение пиков виброускорений в более низкий диапазон частот. Так, например, при движении товарного поезда вполне возможны повышенные уровни вибрации и в октавной полосе 8 Гц. Более низкие частоты в спектре чаще всего не проявляются [1], либо уже связаны с наличием особенностей железнодорожных путей, расположенных вблизи точек виброизмерений (стрелочных переводов, разомкнутых стыков, общего износа рельсового пути).

После проведения виброизмерений, инженер обладает тем набором исходных данных, который в дальнейшем позволяет осуществить, собственно, прогноз уровней вибрации и структурного шума, ожидаемого внутри помещений исследуемого объекта. Особое внимание следует уделить такому явлению как «структурный шум», который может возникнуть в помещениях строительных объектов, возводимых вблизи от источников вибрации и, который не может быть уменьшен только за счет применения многослойных стеклопакетов и установки шумозащитных конструкций. Структурный шум проявляется в виде гула и инфразвуковых колебаний, вызывающих у людей чувство дискомфорта. Он представляет собой колебания воздуха, возбуждаемые механическими колебаниями конструкций, в отличие от воздушного шума, проникающего в помещения через ограждения и окна. Расчет структурного шума производится в некоторых характерных помещениях-объемах проектируемого здания с учетом действительной толщины перекрытий, материалов и толщин стен и прогнозируемых уровней вибрации конструкций. Основные положения, связанные с расчетом структурного шума приведены в [7],[12].

До недавнего времени фактически отсутствовала отечественная нормативная литература, регламентирующая как методику проведения виброизмерений, так и перечень мероприятий и методов, позволяющих выполнить прогнозирование уровней вибрации в проектируемых зданиях. Чаще всего исследователи полагались на опыт предшествующих виброизмерений на объектах, расположенных в аналогичных условиях, а также на данные эмпирического характера, в том числе на работы д.т.н. М.А. Дашевского. Однако в 2019-2020

годах, с учетом реальной потребности наличия регламентирующей нормативной базы, появились СП 465.1325800.2019 «Здания и сооружения. Защита от вибрации метрополитена» [11] и СП 441.1325800.2019 «Защита зданий от вибраций, создаваемой железнодорожным транспортом» [10] в которых, в частности, описывается подход к проведению замеров уровней вибрации от линейных источников техногенного происхождения (линий железных дорог и тоннелей метрополитена), устанавливается требуемое расположение датчиков вибрации в плане, относительно источника вибрации и проектируемого здания, а также приводится требуемое число характерных реализаций вибрационного процесса — прохода поезда. Полученные в результате такого прогноза уровни вибрационного воздействия уровни вибрации (как в отдельных октавных полосах, так и эквивалентные уровни) сравниваются с предельно допустимыми значениями уровней вибрационного воздействия, приведенными в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [9].

Упомянутая выше эмпирическая методика д. т. н. М. А. Дашевского (ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА») [1], позволяющая осуществить прогнозный переход от уровней вибрации, замеренный на поверхности земли к уровням вибрации прогнозируемым в центре полетов междуэтажных перекрытий зданий, опиралась на фактически неоднократно проверенные на практике факты о среднем (по типу перекрытий, величинам пролетов) увеличении вибрационного воздействия в отдельных октавных полосах 16, 31,5 и 63 Гц в среднем на 3,5 дБ выше уровней, замеренных на поверхности грунта. Схема проведения контрольных натурных замеров уровней вибрации, неоднократно проведенных в полевых условиях, приводится на следующем рисунке.

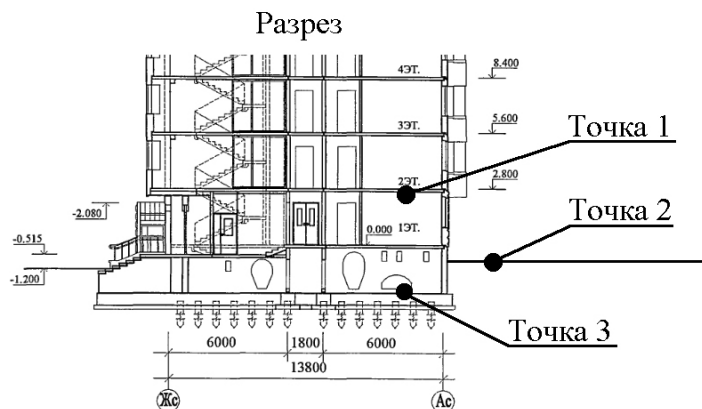


Рис. 3. Схема проведения виброизмерений, подтверждающих гипотезу д. т. н. М. А. Дашевского об увеличении уровней вибрации в центрах перекрытий многоэтажных зданий по сравнению с уровнями вибрации, замеренными на грунте

Именно эти данные, полученные при проведении замеров при таком расположении датчиков, позволили сформулировать принцип перехода от вибрации грунта к вибрации перекрытий и стен проектируемого здания, предложенный д.т.н. М.А. Дашевским (ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА») [1] и далее неоднократно проверенный в процессе измерений, в том числе и на ряде виброизолированных объектов в городе Москве. Основные положения методики д.т.н. Дашевского состоят в следующем:

— в диапазоне максимальных по энергии частот (20-50 Гц), совпадающих с частотами собственных колебаний несущих конструкций здания (перекрытий и стен). Амплитуды

колебаний фундаментов зданий ~ в 4 раза (на 12 дБ) меньше, чем амплитуды колебаний свободного грунта на тех же расстояниях от линии железной дороги (Точка 3 на Рисунке 3);

— эти колебания фундаментов являются для несущих конструкций здания (стен, ригелей, перекрытий и т.п.) колебаниями опорного контура;

— поскольку спектр возмущения, исходящего от поездов железной дороги, в октавных полосах 16-63 Гц является широкополосным, на практике всегда найдутся несущие конструкции здания, в которых при прохождении поездов возникают резонансные колебания с частотой, близкой частоте их собственных колебаний;

— эти колебания уже являются узкополосными, так как на колебания с другой частотой эти конструкции практически не откликаются;

— резонансное увеличение амплитуд вертикальных колебаний перекрытий и горизонтальных (поперечных) колебаний стен по сравнению с колебаниями фундамента (опорного контура) достигает ~ 6 раз (15,5 дБ) в октавных полосах 16, 31,5 и 63 Гц. с учетом потерь энергии за счет внутреннего трения, сухого трения на опорах и т.п.

Таким образом, если принять в качестве расчетного наихудший случай, то результирующий уровень вибрации перекрытий и стен в направлении, перпендикулярном плоскости конструкции (точка 1 на Рисунке 3), в октавных полосах 16-63 Гц окажется на 3,5 дБ выше уровня вибрации грунта (Точка 2 на Рисунке 3). Резонансное увеличение уровней вибрации по направлениям, лежащим в плоскости конструкций, не происходит фактически замеренные на уровне грунта величины [1].

Несколько иначе осуществляется прогноз уровней вибрации в соответствии с СП 465.1325800.2019 «Здания и сооружения. Защита от вибрации метрополитена» [11] и СП 441.1325800.2019 «Защита зданий от вибраций, создаваемой железнодорожным транспортом» [10].



Рис. 4. Факторы, которые необходимо учесть при прогнозе уровней вибрации по СП 441.1325800.2019

В данных СП указывается, что большинство из этих коэффициентов возможно определять как путем расчета, так и на основании статистических данных натурных измерений. Приведенная в СП методика основывается на многопараметрической прогнозной модели, однако сами коэффициенты данной модели во многом, также как и в методике д. т. н. М. А. Дашевского [1], носят эмпирический характер и, в некоторых случаях, например, при оценке влияния конструкции пути опираются на множество усредненных факторов, характерных для определенного типа пути. Для преодоления данного обстоятельства в п. 5.3 СП 441.1325800.2019 «Защита зданий от вибраций, создаваемой железнодорожным транспортом» [10] указывается на возможность применения детальных математических моделей, основанных на применении метода конечного элемента, метода граничного элемента и иных известных методов строительной механики для прогноза уровней вибрации. Безусловно, данный путь является более методологически верным и должен приводить к более точному прогнозу уровней виброускорений в проектируемых зданиях. Следующий рисунок иллюстрирует конечноэлементное моделирование для системы «источник—грунт—здание» с учетом особенностей фундаментных конструкций здания и расположения источников вибрации: линий метрополитена и железнодорожной ветки.



Рис. 5. Пример конечно-элементного моделирования системы «здание-основание-источник» вибрации с учетом свайного основания

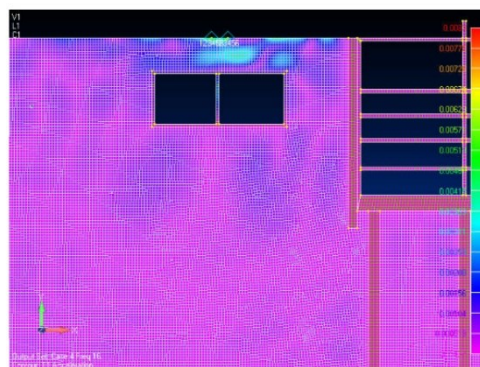


Рис. 6. Результат динамического расчета (показан только фрагмент подземной части здания)

Выбор той методики прогноза должен опираться на требуемую детализацию ожидаемых уровней виброускорений и учитывать этап разработки проектной документации, а также конструктивные особенности здания (фундаментные конструкции), геологические условия площадки и характеристики источников вибрации.

Приведенные выше нормативная база и изложенные методики применяются для оценки прогнозируемой вибрационной обстановки в помещениях офисных и жилых зданий, возводящихся на территории бывших промышленных зон с целью оценки необходимости разработки виброзащитных мероприятий [4, 5, 6].

Промзона «Павелецкая». В качестве характерного примера одной из таких промышленных зон, располагавшихся в непосредственной близости от Садового кольца, можно рассмотреть промзону «Павелецкая». Основные предприятия которой — уже не функционирующий в настоящее время Дербеневский химический завод, который располагался вдоль улицы Дербеневская и Жуковым проездом, а с западной стороны был ограничен железнодорожными путями Павелецкого направления. Основной продукцией которого было производство анилиновых красителей, применяемых, в частности, для

формирования рисунка на тканях. Сложность немецкого оборудования данного предприятия не позволяла длительное время произвести его перенос за черту города, несмотря на явный экологический урон, оказываемый данным объектом на прилегающую застройку. В настоящий момент территория промзоны полностью очищена от зданий промышленного назначения, выполнен проект Жилого комплекса, включающего в себя несколько многоэтажных башен 32-54 этажей и осуществляется подготовка территории к ведению земляных работ.

На следующем рисунке приводится схема расположения проектируемых объектов жилого комплекса с объектами социальной инфраструктуры в районе ул. Дербеневская.

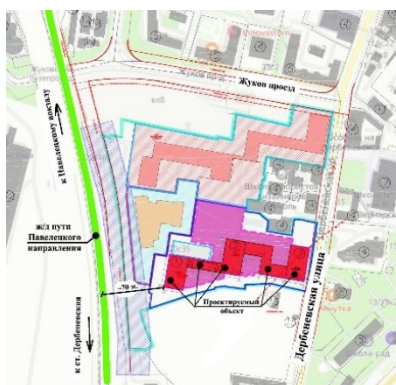


Рис. 7. Первая очередь проектируемой жилой застройки на месте Дербеневской промышленной зоны

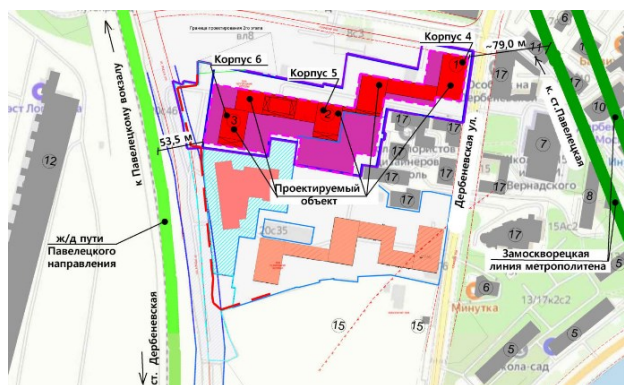


Рис. 8. Вторая очередь проектируемой жилой застройки на месте Дербеневской промышленной зоны

Как видно из представленных рисунков, объект расположен на значительном 53,5-70 м от действующих путей, однако оценка влияния вибрационного воздействия от подвижных составов Павелецкого направления все же должна быть произведена, так как частично сооружения проектируемой жилой застройки попадают в санитарно-защитную зону железной дороги, которая простирается на 100 метров от оси крайнего железнодорожного пути. С этой целью проводятся натурные замеры уровней вибрационного воздействия на грунте площадки застройки с использованием виброметра, анализатора спектра с пьезоэлектрическими акселерометрами. Далее на основе полученных на грунте значений уровней вибрации, производится прогноз уровней вибрации в жилых и общественных помещениях объекта исследования.

В качестве результатов выполненных замеров уровней вибрации на объекте рассматриваются средние максимальные (по числу наблюдаемых поездов) уровни вибрации, прогнозируемые в помещениях проектируемых зданий от движения железнодорожных поездов и их эквивалентные уровни. Далее на графике приводятся уровни вибрации для первой и второй очереди строительства на месте Дербеневской промзоны.

Как видно из представленных графиков, ожидаемые уровни вибрационного воздействия в проектируемых помещениях первой и второй очередей строительства жилой застройки не превысят предельно допустимых значений по действующему СанПиН, дополнительных мероприятий по устройству систем виброизоляции не требуется. Помимо проверки выполнения удовлетворения требованиям по допустимым уровням вибрации, была осуществлена также проверка уровней структурного шума, которая также не показала прогнозного превышения.

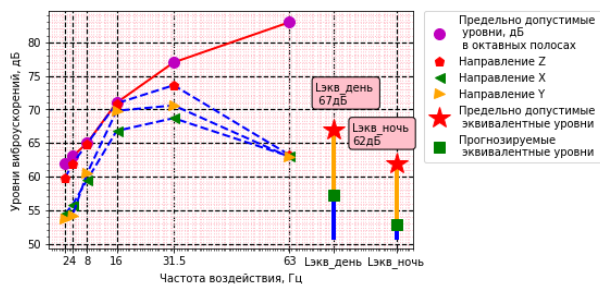


Рис. 9. Прогнозируемые уровни виброускорений в проектируемых помещениях первой очереди строительства на территории Дербеневской промышленной зоны

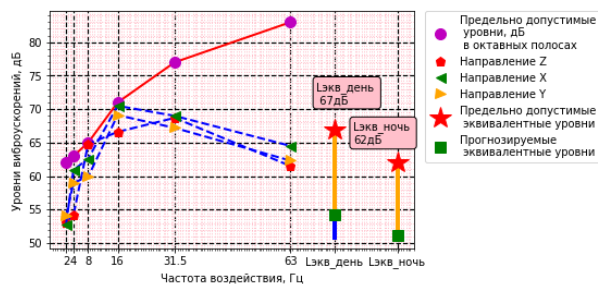


Рис. 10. Прогнозируемые уровни виброускорений в проектируемых помещениях второй очереди строительства на территории Дербеневской промышленной зоны

Промзона завода «ФилиКровля» в Дорогомилово. Вторым характерным примером застройки старой промышленной зоны является проектирование Многофункционального жилого комплекса с отдельно стоящим Учебным центром, расположенный по адресу: г. Москва, СЗАО, Кутузовский проезд, д. 16. Данный участок также расположен в промышленной зоне, на территории завода ОАО «ФилиКровля» и имеет плотную застройку и разветвленную автодорожную сеть.

На данном участке 30-го июля 1924 года Московским советом было принято решение об организации Государственного треста толевой промышленности «Москватоль». С этого момента отсчитывает свою историю данное старейшее в отрасли предприятие, на котором производился толь, рубероид, каменноугольные мастики и другие материалы для устройства «быстрых кровель». Так же, как и большинство предприятий того времени, данный объект, расположенный на берегу Москвы-реки, обладал своей собственной внутренней уникальной инфраструктурой, включающей в себя свой собственный конный двор, «пожарную часть», лабораторию и свой Учебный комбинат для подготовки будущих работников предприятия. На предприятии выпускались такие известные материалы, как «Фольгоизол», «Гидростеклоизол», ряд кровельных мастик. Несколько позже на территории предприятия наладили выпуск коврового покрытия на основе поливинилхлорида «Ворсолин». Однако в связи с экологической опасностью производства в 70-х годах было принято решение о реорганизации производства, частичном закрытии старых цехов и открытии новых, в частности, осуществляется покупка нового оборудования в Англии, Финляндии и Германии, использование которого позволяет организовать выпуск герметизирующей ленты «Герлен» а также обновленной линейки ковровых покрытий. На текущий момент большая часть построек предприятия используется не по их первоначальному функциональному назначению, в помещениях расположены арендаторы, осуществляется преимущественно офисная деятельность, либо открыты мелкие ремонтные мастерские.

С севера участок ограничен ж/д путями Смоленского направления МЖД (D1) между станциями «Фили» и «Тестовская», с юга — наземным участком Филевской линии Московского метрополитена, перегон ст. «Кутузовская» — ст. «Фили», с востока — руслом р. Москва и с запада территорией ул. 1812 года.

Схема расположения Многофункционального жилого комплекса с близкорасположенными источниками вибрационного воздействия приводится на следующем Рисунке 11. Особенностью объекта является расположенный в непосредственной близости от участка застройки переход надземного участка действующей линии метрополитена в подземную часть.

На рассматриваемом участке планируется возвести пять 50-этажных корпусов, расположенных на едином двухуровневом стилобате. На некотором отдалении от основного пятна застройки будет возведено здание Учебного центра.

Как и для ранее рассмотренной промышленной зоны «Павелецкая», для данного участка характерно наличие именно поверхностных источников вибрации, расположение участка в зоне действия сразу нескольких, пересекающихся (в плане) линий рельсового транспорта. Расстояния от линий железнодорожного транспорта достаточно велико (наименьшее расстояние от одного из жилых корпусов до железной дороги составляет 91 м, а расстояние от линии метрополитена до подземной части стилобата в самом близком месте также более 38 м (на границе технической зоны метрополитена).

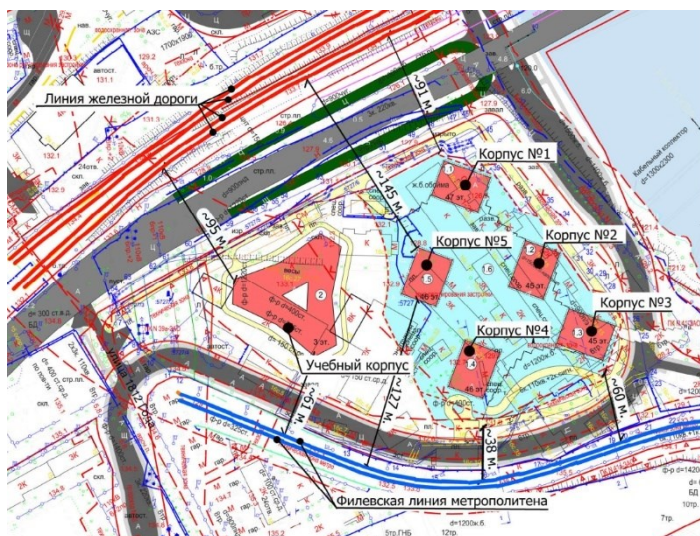


Рис. 11. Многофункциональный жилой комплекс с отдельно стоящим Учебным центром, располагаемый на территории промышленной зоны «ФилиКровля» в Дорогомилово

С целью оценки необходимости устройства виброзащитных систем для данного объекта также был выполнен прогноз средних уровней вибрации в помещениях каждой из многоэтажных башен проектируемого объекта. Ожидаемые средние максимальные и эквивалентные уровни вибрации для наиболее близкорасположенной к линии метрополитена башне (с наиболее неблагоприятной вибрационной обстановкой) приводятся на следующем графике.

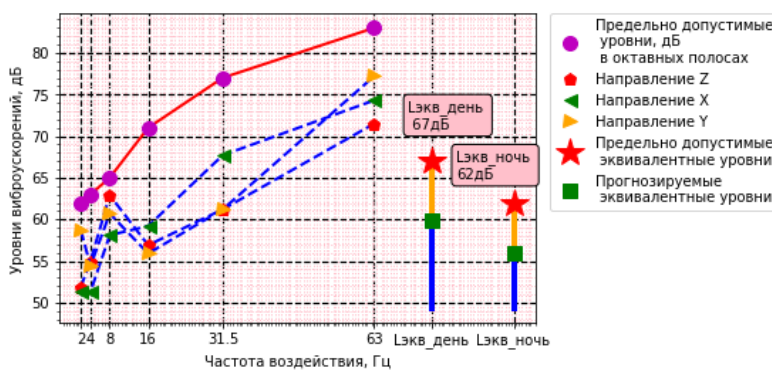


Рис. 12. Прогнозируемые уровни виброускорений в проектируемых помещениях наиболее близкорасположенной к линии метрополитена многоэтажной башне, возводящейся на территории бывшей промышленной зоны «ФилиКровля»

Для других зданий Многофункционального жилого комплекса ожидаются меньшие уровни вибрационного воздействия, чем гарантируется выполнение СН РФ. Полученные прогнозные уровни также свидетельствуют о том, что и в этом случае виброзащитные мероприятия на объекте не требуются. Это объясняется как значительными расстояниями от объекта до источников вибрации, так и особенностями рельефа площадки застройки.

Промзона 3-й Хорошевский проезд. Третьим характерным примером застройки старой промышленной зоны является проектирование Жилого комплекса по адресу: г. Москва, 3-й Хорошевский проезд, вл. 3А. (1-я и 2-я очереди строительства).

Проектируемые здания предполагается расположить на территории бывшего «Хорошевского завода железобетонных изделий», который был основан в 1954 году, а далее в 1961 году вошел в состав «Первого ДСК». Основной специализацией данного предприятия изначально был выпуск сантехнических кабин, а также иных железобетонных изделий, используемых при строительстве сборных зданий. Впоследствии номенклатура выпускаемой продукции была значительно расширена. Предприятие наладило выпуск конструкций жилых домов стандарт- и комфорт-класса с применением самых современных технологий.

Схема расположения объектов нового строительства на бывшей промышленной площадке с нанесенными источниками вибрационного воздействия, приводится на следующих Рисунки 13 и 14:



Рис. 13. Первая очередь жилой застройки по адресу: Хорошевский проезд, вл. 3А

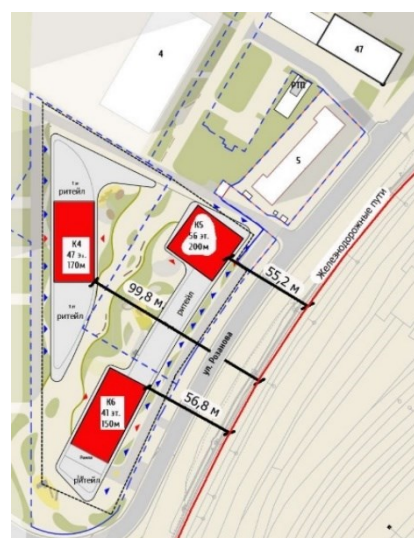


Рис. 14. Вторая очередь проектируемой жилой застройки по адресу: Хорошевский проезд, вл. 3А

С целью оценки необходимости устройства виброзащитных систем для данного объекта также был выполнен прогноз средних уровней вибрации в помещениях каждой из многоэтажных башен проектируемого объекта. Ожидаемые средние максимальные и эквивалентные уровни вибрации для наиболее близкорасположенной к линии метрополитена зданий (с наиболее неблагоприятной вибрационной обстановкой) приводятся на нижеследующих графиках.

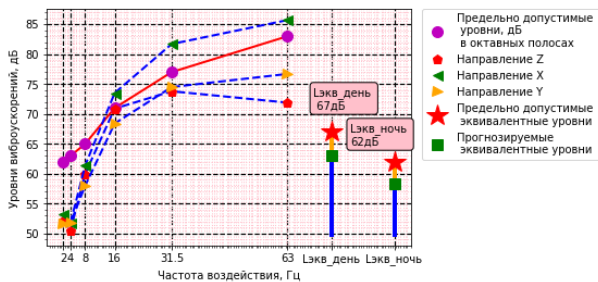


Рис. 15 Прогнозируемые уровни виброускорений в проектируемых помещениях Жилого комплекса (Башня К3) для первой очереди строительства на территории Хорошевского завода железобетонных изделий

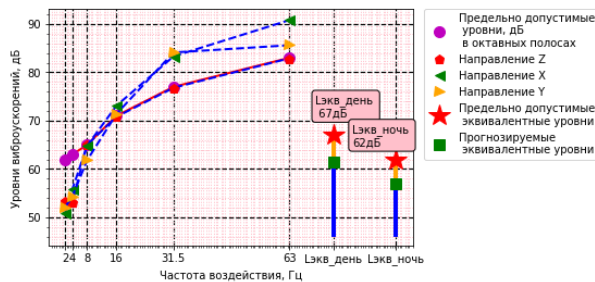


Рис. 16 Прогнозируемые уровни виброускорений в проектируемых помещениях Жилого комплекса (Башня К6) для второй очереди строительства на территории Хорошевского завода железобетонных изделий

Аналогичные прогнозируемые уровни вибрации ожидаются также в жилых помещениях Башни К5 второй очереди строительства. Видно, что вертикальная составляющая уровней вибрации не превышает предельно допустимые значения, в то время как горизонтальные составляющие уровней вибрации могут превышать предельно допустимые по СанПин уровни вплоть до 2,1 дБ в октавной полосе 16 Гц и вплоть до 7,1 дБ в октавной полосе 31,5 Гц, а также вплоть до 7,8 дБ в октавной полосе 63 Гц. Для остальных октавных полос превышений уровней вибрации не прогнозируется.

С учетом преобладания только горизонтальной составляющей вибрационного воздействия для обеспечения выполнения требований СанПиН в построенных зданиях, возможно применение виброзащитных систем, основанных на использовании отечественных резиновых и резинометаллических виброизоляторов, устанавливаемых на боковую поверхность стен подземных участков здания, а также резинометаллических преднапрягаемых виброизоляторов, устанавливаемых в плоскостях междуэтажных перекрытий подземных ярусов проектируемого объекта.

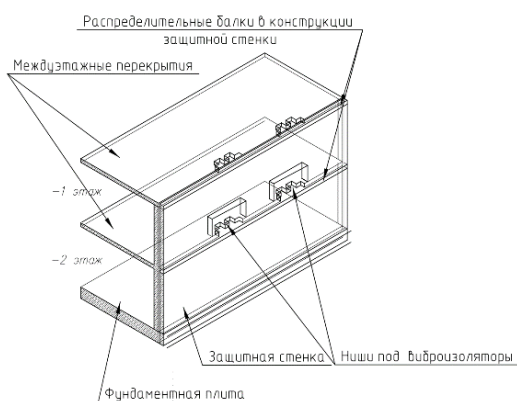


Рис. 17. Система виброизоляции боковой поверхности подземного участка стены здания с использованием преднапрягаемых резинометаллических виброизоляторов

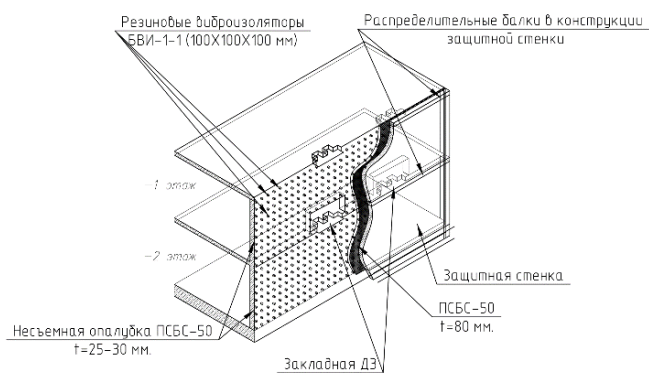


Рис. 18. Система виброизоляции боковой поверхности подземного участка стены здания с использованием преднапрягаемых резинометаллических виброизоляторов и резиновых виброизоляторов, устанавливаемых по всей поверхности боковой стены здания

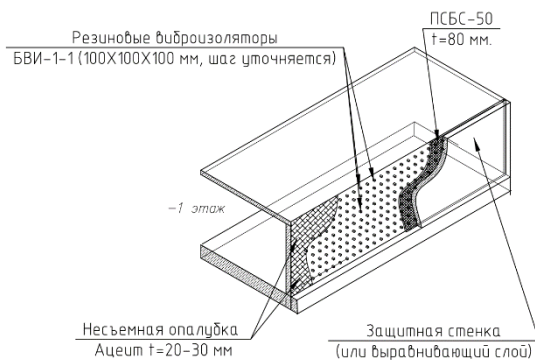


Рис. 19. Система виброизоляции боковой поверхности подземного участка стены здания при небольшом заглублении



Рис. 20. Монтаж резиновых виброизоляторов на боковой стене здания в процессе строительства

Такая схема установки виброизоляторов позволяет минимизировать вносимые в конструктивную схему здания изменения по сравнению с невиброизолированным вариантом, однако её применение может быть рекомендовано только при поверхностном расположении источника вибрации (линии железной дороги). На следующих Рисунках 21 и 22 приводится размещение виброзащитной системы со стороны части комплекса зданий, наиболее близкорасположенной к действующему участку линии.

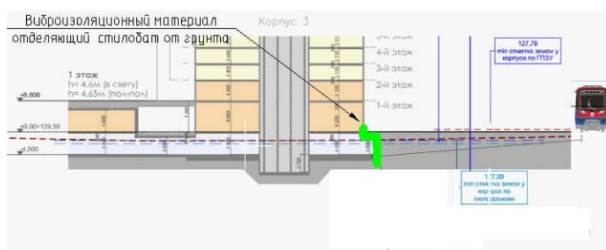


Рис. 21. Схема расположения системы виброизоляции, расположенной на боковой поверхности подземного участка стены здания

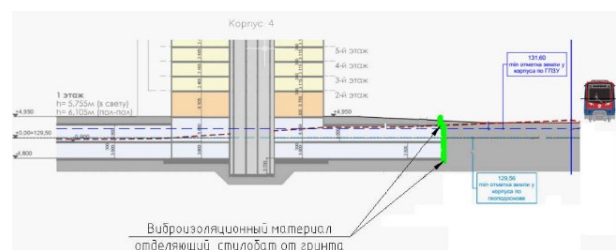


Рис. 22. Схема расположения системы виброизоляции на боковой поверхности подземного участка стены стилобата

Выводы. Особенностью площадок строительства, располагаемых на территориях старых промышленных зон является близость линий железнодорожного транспорта, что требует выполнения прогнозов уровней вибрации и структурного шума в проектируемых помещениях. Однако особенностью движения поездов вблизи рассматриваемых участков строительства является малая скорость движения подвижного состава, так как большинство из рассмотренных промышленных зон располагаются в черте города вблизи станций, либо вокзалов, где скорость движения поездов ограничена. Также следует отметить, что в связи с тотальным выносом производственных площадок за городскую черту интенсивность движения грузового железнодорожного транспорта в пределах города значительно снизилась, что также способствует уменьшению вибрационного воздействия, так как именно груженные товарные поезда, обладающие значительной массой и протяженностью могли бы стать источниками повышенного вибрационного воздействия на жилую застройку, даже несмотря на несколько меньшие скорости движения по сравнению с рядом пассажирских поездов. То сам факт тотального исчезновения с городских территорий промышленных предприятий

становится фактором, способствующим улучшению вибрационной обстановки в тех районах города, которые граничат с линиями железных дорог.

Таким образом, в большинстве из рассмотренных в статье случаев прогнозных оценок уровней вибрационного воздействия в проектируемых помещениях объектов дополнительные виброзащитные мероприятия не требуются, так как прогнозируемые уровни вибрации находятся в пределах предъявляемых СанПиН значений. В тех редких случаях (в рамках статьи это застройка промышленной зоны вблизи улицы Розанова в Хорошевском районе), где прогнозируются некоторые превышения уровней вибрации, но в связи с поверхностным расположением источника вибрационного воздействия, а также наличия на пути распространения волн особенностей рельефа, которые характерны для данного объекта, предлагаемая система виброизоляции не требует полной тотальной изоляции фундамента от подстилающего основания. Достаточным является устройство защитной стенки, устраиваемой со стороны расположения линий железнодорожного транспорта.

Литература

1. Виброзащита зданий / М.А. Дашевский, В.В. Мондрус, В.В. Моторин, Д.К. Сизов. Москва: Из-во ООО «Сам Полиграфист», 2021. 252 с.
2. Дашевский М.А., Ковальчук О.А., Мондрус В.Л. Влияние поездного состава метрополитена на поведение крупнопанельных зданий повышенной этажности. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений (ССБС), Москва, 2004, №3
3. М.А. Дашевский. Инженерный метод нелинейного расчета резинометаллических виброизоляторов для зданий. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений (ССБС). Москва. №3. 2006 г.
4. М.А. Дашевский. В.В. Моторин. Е.М. Миронов. Виброзащита многоэтажных крупнопанельных зданий. — Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений (ССБС). Москва. №4. 2001 г.
5. М.А. Дашевский. В.В. Моторин. Е.М. Миронов. Ю.П. Либасов. Виброизолированный крупнопанельный жилой дом. — Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений (ССБС). Москва. №6. 2001 г.
6. Дашевский М.А., Миронов Е.М., Моторин В.В. Виброзащита зданий — теория и реализация. — Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений (ССБС). Москва. 2002. №5. 37-46.
7. Иванов Н.И. Инженерная акустика Теория и практика борьбы с шумом, М.: Университетская книга, Логос, 2008. — 424 с.
8. Рекомендации по виброзащите несущих конструкций производственных зданий. гл. 10. Москва. ЦНИИСК. 1988 г.
9. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
10. СП 441.1325800.2019 «Защита зданий от вибраций, создаваемой железнодорожным транспортом»
11. СП 465.1325800.2019 «Здания и сооружения. Защита от вибрации метрополитена»
12. Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий. Под ред. Заборова. — К.: Будивэльнык. 1989. 160 с.

МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ПЛИТОПОДОБНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Смирнов И. Д.

НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ „Строительство“», г. Москва, smirnov.ya-igor1999@yandex.ru

Применение геофизических методов для исследования геотехнических конструкций обозначают термином «техническая геофизика» [5, 7]. При диагностике состояния фундаментных плит и других плитоподобных конструкций геофизика применяется для решения двух взаимосвязанных задач: оценки состояния материала (толщина, армирование, сплошность и т.д.) и оценки качества контакта с грунтовым основанием/вмещающими грунтами [4, 10].

Метод анализа отклика (виброакустический метод) получил распространение за рубежом, однако сравнительно мало применяется в Российской Федерации [3]. Модификация данной методики, основанная на анализе параметров нормированного отклика, активно разрабатывается отечественными специалистами для оценки качества контакта конструкций с грунтовым основанием [9].

В рамках развития метода актуальны следующие направления — выработка новых информативных параметров, определение критериев для выделения акустических аномалий, связанных с нарушениями контактных условий. Применение параметра «индекс пустот» / «void index» при обработке данных и выделение аномального отклика при бимодальном характере распределения атрибутов в качестве возможного критерия предлагается обсудить в материале. Применение методов машинного обучения для совместного анализа атрибутов сигнала.

В качестве примера изучения плитоподобной конструкции методом анализа с целью локализации зон нарушения контакта «покрытие-грунт засыпки» рассмотрим результаты обследования монолитного покрытия мощностью 150 мм в основании подземного паркинга. В ходе проведения исследований выполнено 1140 точек акустического обследования. В результате обработки данных были рассчитаны атрибуты энергии нормированного сигнала и индекса пустот [8].

После расчета атрибутов для интерпретации результатов и определения информативного критерия разделения сигналов, соответствующих нормальному и ослабленному/нарушенному контакту был проведен разведочный анализ данных при помощи построения гистограмм распределений. Разведочный анализ применяется для получения первичного представления о структуре и характеристике набора данных, для выявления аномалий и выбросов, а также для подготовки данных для дальнейших этапов анализа [2].

Для рассматриваемых выборок атрибутов, рассчитанных по 1140 точкам наблюдений, значения атрибута для случаев стабильного отклика (нормального контакта) и нестабильного отклика (ослабленного или нарушенного контакта) распределены различным образом. Для рассчитанных атрибутов построены гистограммы распределения (рис. 1, а, с). Распределение обоих параметров имеет ассиметричный характер и не является нормальным, поэтому для более точного и наглядного выбора порогового значения было применено логарифмическое преобразование. После применения операции натурального логарифма к данным форма гистограмм стала более симметричной (рис. 1, b, d).

В [8] представлены карты распределения атрибутов с цветовой шкалой, соответствующей пороговым значениями, определенным при визуальном анализе гистограмм.

Карты энергий и индекса пустот согласуются между собой. Визуальный анализ сигналов для выделенных дополнительных областей показал, что карта «индекса пустот» с более точно описывает границы зон аномального отклика.

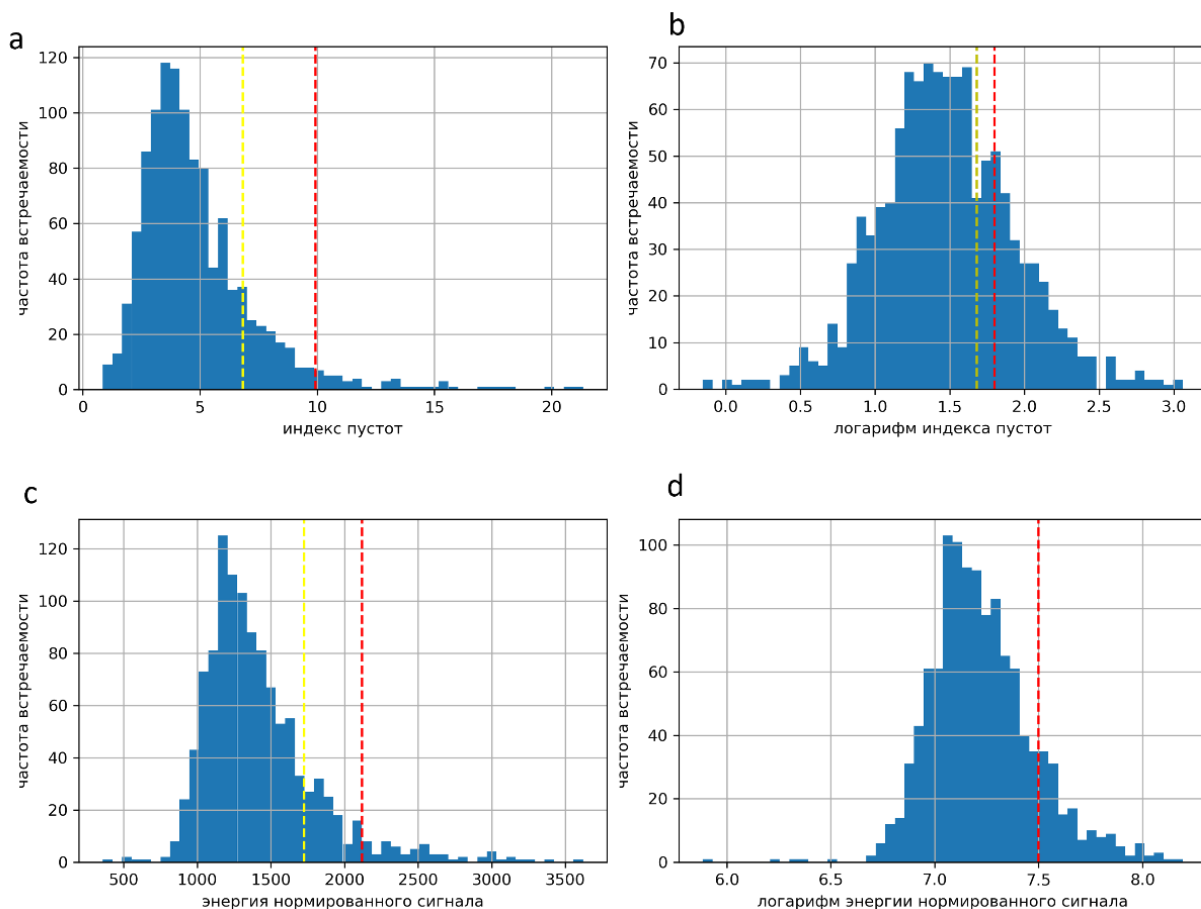


Рисунок 1. Гистограмма распределения индекса пустот (а), гистограмма распределения логарифма индекса пустот (b), гистограмма распределения энергии нормированного сигнала (с), гистограмма распределения логарифма энергии нормированного сигнала (d) [8].

На исходных гистограммах желтая и красная пунктирные линии соответствуют критерию трех сигма. На преобразованных гистограммах желтая линия — точка пересечения распределений, красная линия — пик второй моды

Необходимо отметить, что карты атрибутов отклика и выделенные на них аномальные области — это все еще результат обследования конструкции косвенным геофизическим методом. Только после применения прямых способов верификации и оценки согласованности акустических аномалий с действительными дефектами полученные карты атрибутов становятся инструментом планирования мероприятий по устранению зон с ослабленным или нарушенным контактом «плита—грунт».

В качестве дополнительного метода анализа данных, которые позволяют получить еще один вариант интерпретации результатов, могут выступать алгоритмы машинного обучения для автоматического выделения аномальных областей, например, алгоритм кластеризации [1, 6]. Иерархическая кластеризация позволяет в случае использования различных информативных атрибутов оценить количество групп, внутри которых объекты обладают похожими свойствами.

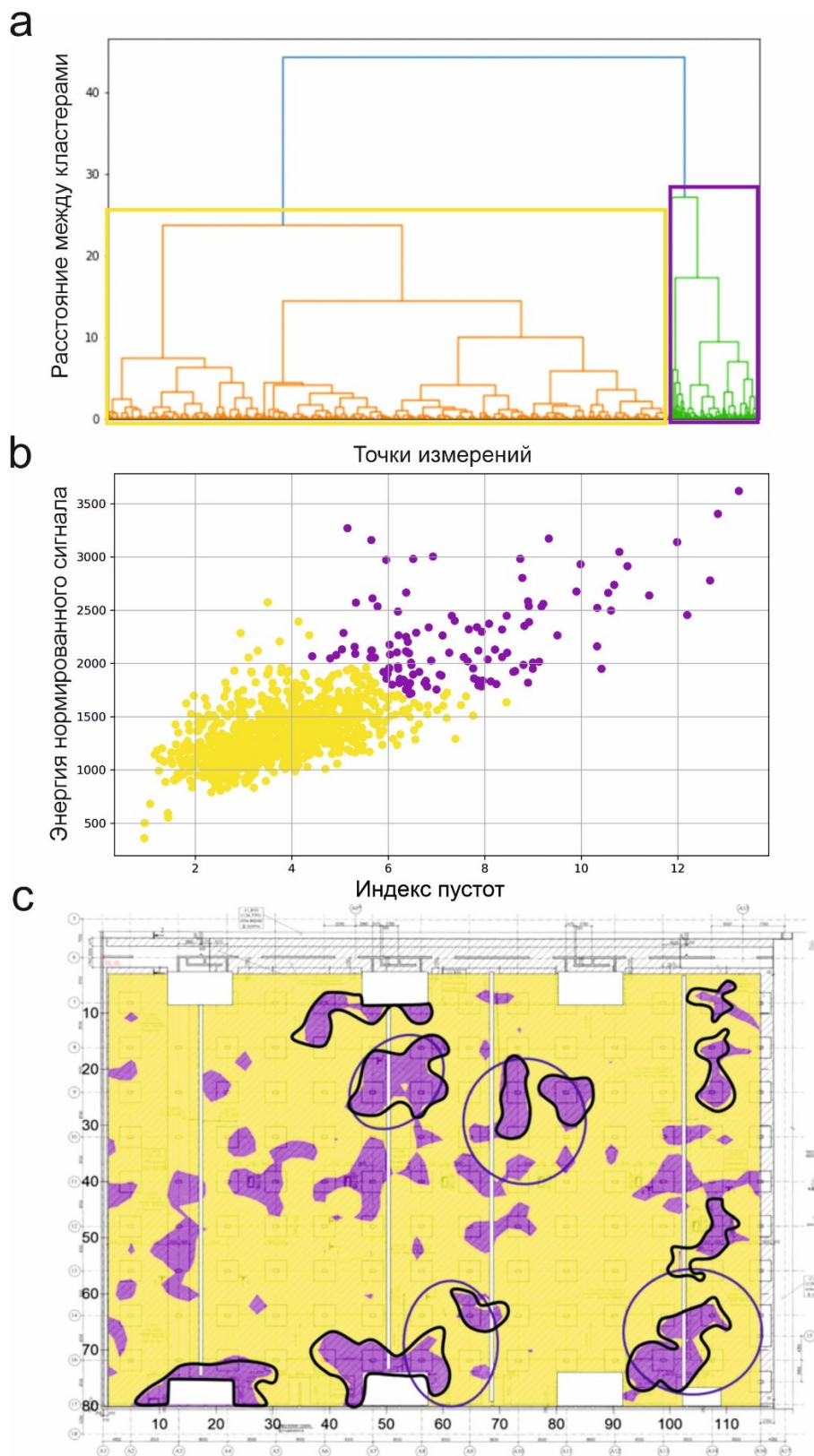


Рисунок 2. Результат кластеризации: а — дендрограмма близости точек и кластеров (желтым прямоугольником выделена часть с хорошим контактом, фиолетовым — с плохим); б — кроссплот «индекса пустот» и энергии нормированного сигнала; с — карта с наложенными зонами аномального отклика согласно критерию анализа гистограмм распределения. Желтым цветом показаны точки с хорошим контактом, фиолетовым — с плохим, синими овалами обозначены области, выделенные ранее по критерию «трех сигм» на основе данных атрибута энергии нормированного сигнала

Для проведения кластерного анализа с совместным использованием атрибутов E_n и «индекса пустот» данные были приведены в единый масштаб при помощи минимаксной нормализации. Затем для разведочного анализа была построена дендрограмма на множестве точек наблюдения (рис. 2, а). Из нее видно, что наиболее хорошо на данных выделяются два кластера, соответствующих плохому и хорошему контакту между системой «плита-грунт». На основе этой дендрограммы была выполнена иерархическая кластеризация данных с заранее заданным количеством кластеров, равным двум. На рис 2, b изображен кросс-плот использовавшихся трансформированных атрибутов с выделенными кластерами. Видно, что граница между кластерами имеет довольно сложную форму, отличную от простой прямой отсечки. На рис. 2, с представлена итоговая карта кластеризации с наложенными контурами зон аномального отклика согласно критерию анализа гистограмм распределения. Видно, что контуры хорошо совпадают с результатами кластеризации.

Предложенные дополнения к стандартной методике анализа нормированного акустического отклика требуют дальнейшей оптимизации и проверки на эмпирических данных для возможности включения их в стандартный граф работы с данными методов технической геофизики.

Литература.

1. Применение методов кластеризации для выделения типов сейсмических волновых картин / Н. Д. Архипов, Я. Е. Терехина, А. А. Пенкин, С. В. Горбачев // Инженерная и рудная геофизика 2021 : Материалы 17-й научно-практической конференции и выставки, Геленджик, 26—30 апреля 2021 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «ЕАГЕ ГЕОМОДЕЛЬ», 2021. — С. 158.
2. П. Брюс, Э. Брюс. 1. Разведочный анализ данных // Практическая статистика для специалистов Data Science. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — С. 19-58. — 304 с
3. Володин Г.В., Капустин В.В. Анализ колебаний фундаментных плит для оценки контакта с грунтами // Геотехника. — 2021. — Т. 13. — № 4. — С. 64-79.
4. Опыт использования геофизических методов для оценки фактических конструктивных параметров железобетонных фундаментных плит / Д.И. Блохин, А.С. Вознесенский, И.И. Кудинов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2011. — № 2. — С. 283-289.
5. Капустин В.В., Владов М.Л. Техническая геофизика. Методы и задачи // Геотехника. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 72-85.
6. Муртазин Д.Г., Пищулева А.В., Губаев А.Р. Применение кластеризации амплитудных спектров в условиях сложно прогнозируемого геологического разреза по данным сейморазведки 3D // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2018;(1):28-32.
7. Чуркин А.А., Капустин В.В., Конюхов Д.С., Владов М.Л. Последние изменения в российской практике нормативного регулирования «технической» геофизики // Геотехника. 2021. № 2. С. 56-70.
8. Чуркин А. А., Смирнов И. Д. Развитие методике анализа нормированного акустического отклика для оценки контакта конструкция—грунт // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2023. — № 3. — С. 32-47.
9. Чуркин А.А., Хмельницкий А.Ю., Капустин В.В. Оценка условий контакта конструкций с грунтовым массивом по атрибутам нормированного акустического отклика // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2022. — № 5. — С. 17-21.

10. Sadowski L. Multi-Scale Evaluation of the Interphase Zone between the Overlay and Concrete Substrate: Methods and Descriptors. Applied Sciences, 2017, vol. 9, no. 7, article no. 893. DOI: 10.3390/app7090893.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РАМКАХ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ МОДЕЛИ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ

Стрельцов А. В.

Ассоциация СРО «Центризыскания», г. Москва, info@sro-ciz.ru

Ключевые слова: Саморегулируемая организация, физическое лицо, юридическое лицо, специалист по организации работ, дополнительное профессиональное образование, независимая оценка квалификации

Аннотация: В период формирования системы саморегулирования в строительной отрасли обсуждались две модели законодательной базы. Одна из них была основана на регулировании предпринимательской деятельности юридических лиц, другая — на регулировании профессиональной деятельности физических лиц. Применение на практике реализованной в законодательстве модели регулирования предпринимательской деятельности включало в себя элементы профессионального регулирования. По мере дальнейшего развития системы этих элементов становилось больше. На современном этапе повышение эффективности функционирования системы саморегулирования во многом зависит от интеграции лучших практик регулирования профессионального регулирования в действующую систему.

Key words: Self-regulatory organization, physical person, legal entities, work organization specialist, further education, independent assessment of qualifications

Abstract: During the period of formation of a system of self-regulation in the construction industry, two models for the formation of the legislative framework were discussed. One of them was based on the regulation of the entrepreneurial activities of legal entities, second — on the regulation of the professional activities of physical entities. Practical application of the model for regulating entrepreneurial activities, implemented in legislation, included elements of professional regulation. As the system further developed, these elements became more numerous. At the present stage, increasing the efficiency of the self-regulation system largely depends on the integration of the best practices of professional regulation into the current system.

С момента формирования законодательных основ системы саморегулирования в строительной отрасли организационные принципы её функционирования постоянно вызывали много споров. При этом, пожалуй, больше всего копий было сломано по вопросу о правильности выбора в пользу регулирования предпринимательской деятельности юридических лиц и целесообразности перехода к модели регулированию профессиональной деятельности физических лиц (специалистов), которая соответствует лучшим мировым практикам.

При этом по мере того, как развивалась система, происходил процесс постепенной интеграции элементов саморегулирования профессиональной деятельности физических лиц в изначально принятую за основу модель саморегулирования предпринимательской деятельности юридических лиц на примере инженерных изысканий. Проследим, проанализируем, как развивался этот процесс с момента принятия законодательства о саморегулировании до настоящего момента.

Разработка законодательства о саморегулировании

Сам термин «саморегулирование» впервые появился в Указе Президента Российской Федерации от 23 июля 2003 г. № 824 «О мерах по проведению административной реформы в 2003-2004 годах» [14], где среди приоритетных направлений работы было упомянуто развитие системы саморегулируемых организаций в области экономики.

Через два года распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 октября 2005 г. № 1789-р была утверждена «Концепция административной реформы в Российской Федерации в 2006-2010 годах» [13], где содержался перечень конкретных направлений работы на каждый год. В частности, в 2006 г. была предусмотрена «разработка и принятие нормативных правовых актов, упраздняющих избыточные и дублирующие функции, осуществляемые органами исполнительной власти, позволяющих передавать ряд государственных функций саморегулируемым организациям (далее СРО) и создавать механизмы, предотвращающие появление новых избыточных функций у органов исполнительной власти, а также закрепляющих процедуры раскрытия информации о деятельности государственных органов».

Именно в тот период началась работа над созданием базового федерального закона «О саморегулируемых организациях» [17] и поправок в Градостроительный кодекс Российской Федерации, которые были призваны запустить процесс формирования системы саморегулирования применительно к строительной отрасли [18].

Изначально систему саморегулирования предполагалось ввести в тех сферах деятельности, которые выполняют функцию инфраструктуры, обеспечивающей функционирование рыночной системы отношений. Это — оценочная деятельность, арбитражное управление, аудит, актуарная деятельность, кадастровое дело, деятельность операторов электронных площадок по ведению торгов в делах о банкротстве и др. Включение в это движение строительной отрасли призвано было придать институту саморегулирования дополнительную весомость. Новый для нашей страны общественный институт должен был уже на самом начальном этапе своего развития охватить важную с точки зрения социально-экономического развития страны производственную сферу, где к результатам деятельности предъявляются требования, связанные с обеспечением безопасности и здоровья людей, сохранностью имущества.

Именно эта исключительно отраслевая специфика в конечном итоге послужила обоснованием для разработки для строительной сферы особой модели саморегулирования, которая была описана Федеральным законом от 22.02.2008 № 148-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [18] и несколько отличалась от того, что было описано в базовом законе.

Чтобы реализовать эту модель потребовалось внести небольшое, но достаточно существенное изменение в Федеральный закон от 01.12.2007 г. № 315-ФЗ «О саморегулируемых организациях» [17]. Вместо слов «...в специальных законах могут быть

только дополнительные требования...» появилась формулировка «...могут быть иные требования...». Это изменение вступило в силу именно с принятием 148-ФЗ и позволило прописать в рамках новой Главы 6.1 Градостроительного кодекса Российской Федерации ту структуру системы саморегулирования, которая, на взгляд её авторов, лучше соответствовала перспективным задачам развития строительной отрасли.

Отметим, что провозглашенный в отраслевом законе принцип регулирования предпринимательской деятельности юридических лиц в основе своей не противоречил базовому федеральному закону № 315-ФЗ. В Статье 2 закона «О саморегулируемых организациях» говорится, что «под саморегулированием понимается самостоятельная и инициативная деятельность, которая осуществляется субъектами предпринимательской или профессиональной деятельности и содержанием которой являются разработка и установление стандартов и правил указанной деятельности, а также контроль за соблюдением требований указанных стандартов и правил» [17]. Таким образом, настоящий федеральный закон допускает реализацию каждого из двух возможных подходов, связанных с регулированием юридических и физических лиц. Также данная формулировка не предполагает запрета саморегулируемой организации осуществлять регулирование предпринимательской и профессиональной деятельности одновременно.

Сторонники модели, основанной на регулировании профессиональной деятельности физических лиц, в качестве аргумента в пользу своего подхода, в частности, указывали, что юридическое лицо не может быть главным субъектом регулирования, поскольку оно в отличие от специалистов не является носителем профессиональных знаний и умений — специалисты могут сменить место работы, а разрешительный документ у организации останется. Позиция государственного регулятора состояла в том, что юридическая система России не воспринимает физическое лицо в качестве ответственного за результат производственной деятельности. Особенно в тех случаях, когда речь идет о миллиардах рублей инвестиций. Кроме того, ответственность юридического лица, от имени которого подписываются контракты, гарантирует более высокий уровень обеспечения обязательств по сравнению с ответственностью физических лиц. Поэтому регулировать в новом на тот момент формате решили деятельность юридических лиц. Эту позицию озвучил в ходе одного из совещаний в 2008 году заместитель председателя Правительства Российской Федерации Д. Н. Козак [3].

Элементы регулирования профессиональной деятельности

Реализованная профессиональным сообществом строителей модель регулирования предпринимательской деятельности юридических лиц изначально содержала в себе элементы регулирования профессиональной деятельности. Впрочем, это регулирование не было прямым. Требования устанавливались в связи с регулированием в отношении субъектов предпринимательской деятельности — членов СРО.

Актами Министерства регионального развития Российской Федерации и Правительства Российской Федерации был установлен перечень видов таких работ [11], а также минимальные требования к членам СРО, которые их выполняют. В частности, это Постановление Правительства РФ № 48 от 3 февраля 2010 года «О минимально необходимых требованиях к выдаче саморегулируемыми организациями свидетельств о допуске к работам на особо опасных, технически сложных и уникальных объектах капитального строительства, оказывающим влияние на безопасность указанных объектов» [9]. В дальнейшем ему на смену пришло Постановление Правительства № 207 от 24 марта 2011 года «О минимально необходимых требованиях к выдаче саморегулируемыми организациями свидетельств о

допуске к работам на особо опасных и технически сложных объектах капитального строительства, оказывающим влияние на безопасность указанных объектов» [10]. В этих документах были установлены требования к наличию в штате членов СРО специалистов по конкретным видам работ. Наиболее жесткие требования устанавливались к организациям, выполняющим работы на объектах атомной энергетики. Вплоть 1 июля до 2017 года СРО выдавали своим членам свидетельства о допуске к определенным видам работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства. При этом они должны были вести учет наличия у члена таких специалистов и отслеживать прохождение повышения квалификации специалистами как минимум один раз в пять лет.

В соответствии с пунктом 6 части 1 статьи 6 федерального закона «О саморегулируемых организациях» [17], СРО обязаны организовывать профессиональное обучение, аттестацию работников своих членов. В строительной сфере данное положение базового законодательства о саморегулировании оказалось крайне актуальным. В период организационного становления системы некоторые СРО создали свои центры дополнительного профессионального образования, другие установили партнерские отношения с образовательными организациями. В области инженерных изысканий известность получила практика Ассоциации «Инженерные изыскания в строительстве», которая на протяжении многих лет регулярно в течение всего года проводит тематические конференции, где участникам выдаются сертификаты.

По мере того, как законодательство о саморегулировании в строительной сфере стало развиваться в направлении всё более подробной регламентации деятельности СРО, разрабатывались и внутренние стандарты этих организаций, описывающие в том числе цели и порядок проведения мероприятий, связанных с повышением квалификации работников членов СРО, а также профессиональной аттестации.

К примеру, на официальном сайте Саморегулируемой организации Ассоциация «КубаньСтройИзыскания» размещено утвержденное в 2022 году «Положение об организации профессионального обучения работников членов Саморегулируемой организации Ассоциация „КубаньСтройИзыскания“» [7]. В нем, в частности, говорится, что дополнительное профессиональное образование (ДПО) должно проводиться только в образовательных организациях, имеющих лицензию на право осуществления образовательной деятельности. Ассоциация правомочна взаимодействовать с образовательными организациями в части разработки программ ДПО и их преподавания; разрабатывать отдельные модули Программы (с маленькой) ДПО с выпуском отдельных учебных пособий по каждому из них; разрабатывать блоки контрольных вопросов и ответов по темам отдельных модулей Программы для оценки их усвоения обучающимися, а также включать указанные блоки в общий контент дистанционного ДПО и т.д.

В период организационного становления системы саморегулирования наиболее крупное национальное объединение строительной сферы НОСТРОЙ стало проводить Национальный конкурс профессионального мастерства «Строймастер». В актуальной редакции Положения о проведении конкурса говорится, что его задачами являются — выявление лучших представителей рабочих профессий, а также учет результатов Конкурса для выявления проблемных вопросов подготовки специалистов в сфере строительства для последующего учета в совершенствовании программ их подготовки [6]. И та, и другая задача, по сути, относятся именно к области профессионального регулирования.

Таким образом, уже в период реализации модели саморегулирования предпринимательской деятельности, описанной в Градостроительном кодексе Российской Федерации в редакции 148-ФЗ [18], а также на этапах её совершенствования наиболее

активные участники этой деятельности старались внедрить в практику деятельности саморегулируемых организаций и их национальных объединений элементы регулирования профессиональной деятельности специалистов (физических лиц).

Данное обстоятельство свидетельствует об открытости созданной системы и необходимости развития. Уточним при этом, что недостатки сформированной в строительной отрасли системы саморегулирования могут быть во всех подробностях рассмотрены в рамках отдельного исследования. В данном случае нам важно зафиксировать, что руководители, работавшие внутри системы, уже на первых этапах осознавали необходимость и важность движения в сторону регулирования профессиональной деятельности специалистов отрасли. Хотя и не говорили о смене модели, как это делали их оппоненты.

Критики института саморегулирования тем временем попробовали продемонстрировать преимущества саморегулирования физических лиц собственным примером. В 2012 году по инициативе руководства СРО Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве» было создано Некоммерческое партнерство «Союз изыскателей», основанная на добровольном членстве физических лиц, выполняющих инженерные изыскания. В качестве основных целей деятельности союза были названы содействие его членам в осуществлении профессиональной деятельности, повышение качества инженерных изысканий в России, разработка рекомендаций и предложений для органов власти, участие в разработке и рассмотрении нормативных правовых актов и нормативных технических документов, формирование в обществе нетерпимости к коррупционному поведению [16].

В октябре 2015 года Общим собранием членов Некоммерческого партнерства «Союз изыскателей» было принято «Положение о повышении квалификации членов Союза изыскателей, общественной аккредитации образовательных учреждений» [5]. В нём, в частности, говорится, что целью повышения квалификации является усовершенствование теоретических и практических знаний членов Союза изыскателей. Повышение квалификации может осуществляться в форме учебы в аспирантуре; учебы в докторантуре; обучение на курсах повышения квалификации, в том числе удаленное обучение с помощью средств Интернета; обучения в форме участия в стажировках, конференциях, семинарах, круглых столах, не сопровождающееся итоговой аттестацией и выдачей документов об образовании и (или) квалификации; стажировки в российских и зарубежных организациях, имеющих общественную аккредитацию Союза изыскателей; участия в деятельности рабочих групп по техническим нормативным документам Союза изыскателей; публикации статей по научно-производственной тематике в средствах массовой информации, имеющих общественную аккредитацию Союза изыскателей; публикации монографий по вопросам инженерных изысканий.

Руководство Союза изыскателей проводило достаточно активную кампанию по привлечению в ряды новой организации специалистов. Однако максимальное количество членов НП составляло 2800 человек. В настоящее время, по информации на сайте партнерства, их общая численность составляет 2318. На протяжении всех лет своего существования организация выполняла роль альтернативного действующей системе саморегулирования проекта, инициированного руководством Ассоциации СРО «АИИС». Никакими самостоятельными действиями, исследованиями или полезными для отрасли инициативами она не запомнилась. Описанная в её Уставе организационная структура до сих пор так и не построена. Последний протокол заседания Правления НП датирован 17 июля 2020 года.

Все это является свидетельством невозможности формирования сопоставимых по функционалу и работоспособности параллельных структур, основанных на членстве

физических лиц, которые действовали бы одновременно с действующими структурами саморегулирования, сформированными в рамках модели саморегулирования предпринимательской деятельности с обязательным членством, прописанным в действующем федеральном законодательстве.

В качестве причины можно предположить несопоставимость материальной базы. В одном случае обязательное членство обеспечивает непрерывный приток денежных средств в виде членских взносов. В другом — добровольное объединение единомышленников, не связанных юридически значимыми обязательствами, которые готовы реализовать несколько разовых проектов, но вряд ли готовы к регулярной работе, требующей больших временных и интеллектуальных затрат. При том, что основная общественная активность реализуется на площадках «официального» саморегулирования.

Появление требований к наличию специалистов по организации работ

К началу второй половины 2010-х гг. сложилась ситуация, которая благоприятствовала полномасштабному переходу строительной отрасли на принципы регулирования профессиональной деятельности физических лиц. Это создавало благоприятный климат для активизации сторонников альтернативной регулированию юридических лиц модели.

Фактором, который благоприятствовал корректировке формата саморегулирования, было активное развитие в середине 2010-х годов законодательства о независимой оценке квалификации. Для структур саморегулирования это означало необходимость активизации работы как раз в области регулирования деятельности физических лиц и формирования новых организационных структур.

Уже в июле 2014 года был создан Совет по профессиональным квалификациям в строительстве, который взял на себя функции по формированию общеотраслевой рамки профессиональных квалификаций, разработку профессиональных стандартов и создание всей нормативной и организационной экосистемы, связанной с проведением профессиональных экзаменов. В сентябре 2019 г. из этого Совета выделился отраслевой Совет по профессиональным квалификациям в области инженерных изысканий, градостроительства и архитектурно-строительного проектирования.

В 2016 году все эти тренды материализовались в виде самого масштабного за весь период существования строительного саморегулирования пакета поправок в законодательство, который был принят в виде Федерального закона от 03.07.2016 г. № 372-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [10]. Систему саморегулирования в строительной отрасли он изменил достаточно сильно. При этом её базовые законодательные основы и организационная структура были сохранены.

Одна из ключевых новаций закона состояла в появлении в Градостроительном кодексе Российской Федерации понятия специалиста по организации работ. Согласно Статье 55.5-1 Градостроительного кодекса РФ (ГрК РФ), это физическое лицо, которое имеет право осуществлять по трудовому договору, заключенному с индивидуальным предпринимателем или юридическим лицом, трудовые функции по организации выполнения работ по инженерным изысканиям в должности главного инженера проекта. Сведения о таком лице должны быть включены в Национальный реестр специалистов. Были подробно прописаны базовые трудовые обязанности такого специалиста и минимальные требования к его квалификации — высшее образование по профессии; стаж; наличие повышения квалификации по направлению подготовки в области строительства не реже одного раза в пять лет.

Появились такие важные термины, как профессиональный стандарт и квалификационный стандарт. Квалификационные стандарты были описаны, как исключительно внутренние документы СРО. Содержащиеся в них требования СРО должна использовать в целях проверки уровня квалификации сотрудников организаций — своих членов в ходе аттестаций. Появление профессиональных стандартов стало предвестником очень существенного расширения сферы деятельности системы. Символично, что в тот же самый день 3 июля 2016 года Президент России В. В. Путин подписал еще один закон, который, как выяснилось в дальнейшем, имел самое непосредственное отношение к специалистам по организации работ строительной сферы и в том числе к изыскателям. Это был Федеральный закон от 3 июля 2016 года № 238-ФЗ «О независимой оценке квалификации» [21].

В результате на законодательном уровне возникли предпосылки для появления целой системы взаимоотношений и взаимодействий между саморегулируемыми организациями, входящими в них предприятиями, сотрудниками этих предприятий, отраслевыми Советами по профессиональным квалификациям, высшими учебными заведениями, организациями, осуществляющими дополнительное профессиональное образование и центрами оценки квалификаций. Предполагается, что СПК формирует отраслевую рамку квалификаций, организует разработку профессиональных стандартов, взаимодействует с вузами в целях приведения программ высшего образования в соответствие с требованиями стандартов, формируется система центров оценки квалификаций, где проводятся экзамены на соответствие работников требованиям профессиональных стандартов.

Естественно, всё это элементы регулирования профессиональной деятельности специалистов через управление требованиями к их профессиональным навыкам и знаниям. Однако всё это делается с целью установления и дальнейшей проверки исполнения требований к членам СРО.

Таким образом, радикальной трансформации системы на институциональном уровне не произошло. Созданная в 2008-2009 гг. система была перестроена и приросла дополнительными функциями, ориентированными непосредственно на работу со специалистами. Это сделало её более функциональной, с точки зрения реализации задач, поставленных перед ней в законодательстве. Насколько эффективно структурные элементы системы реализуют появившиеся инструменты говорить пока рано. Очевидно только, что саморегулирование стало еще более затратным с точки зрения субъектов предпринимательской деятельности и тех специалистов, которые вступают с ними в трудовые отношения. Потому что требование о прохождении профессионального экзамена специалистами по организации работ один раз в пять лет также является обязательным. Без этого организация, в которой они работают, лишится членства в СРО.

В целом, процесс переформатирования системы саморегулирования в строительной отрасли потребовал огромных организационных усилий, интеллектуальных, временных и финансовых затрат от всех участников отрасли. После его завершения сложилось впечатление, что в отрасли возникла усталость от постоянных организационных преобразований. Многие активные участники саморегулирования поняли, что постоянные трансформации, во-первых, приводят к дополнительным расходам, а во-вторых, далеко не всегда в полной мере позволяют добиваться целей саморегулирования.

Поэтому, обращение генерального директора Ассоциации «Инженерные изыскания в строительстве» Михаила Богданова к Президенту России Владимиру Путину на съезде Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП) в декабре 2021 года с

предложением в формате эксперимента вернуть государственное лицензирование субъектов предпринимательской деятельности и перейти на добровольное саморегулирование для специалистов было, скорее, последним и завершающим актом многолетней драмы, связанной с поиском более рациональной модели саморегулирования, нежели каким-то пассионарным импульсом, который способен стать началом нового этапа реформирования системы.

Если говорить в плоскости саморегулирования, то результатом его выступления на съезде РСПП, стала, как раз наоборот, демонстрация устойчивости существующей системы и её поддержки со стороны власти.

Достижением действующей системы саморегулирования предпринимательской деятельности является налаженная устойчивая система финансирования мероприятий по развитию отрасли за счет средств членских взносов. Многие оппоненты считают это недостатком, говоря об избыточной нагрузке на бизнес. Вместе с тем, необходимо понимать, что ни в период, предшествовавший формированию системы саморегулирования в строительной отрасли, ни в случае её ликвидации (что маловероятно) ни одна негосударственная структура никогда не могла и не сможет аккумулировать такое огромное количество денежных средств, которые, если правильно ими распорядиться, могут принести огромную пользу отрасли. Данное обстоятельство налагает огромную ответственность на руководителей СРО и национальных объединений строительной отрасли.

В такой ситуации разумным решением со стороны Национального объединения изыскателей и проектировщиков и саморегулируемых организаций может стать интеграция в практику своей деятельности в рамках существующей законодательной базы лучших практик организаций, осуществляющих регулирование профессиональной деятельности. Очень важно при этом учитывать растущие требования производства, потребности в обновлении инженерных изысканий за счет цифровых технологий. Для саморегулируемых организаций, а также их Национальных объединений, это может стать хорошим импульсом для развития и повышения эффективности работы по реализации уставных задач, повышению качества градостроительной деятельности в целом.

Список литературы:

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ
2. Квалификационные стандарты Ассоциации Саморегулируемой организации «Центральное объединение организаций по инженерным изысканиям для строительства „Центризыскания“». Москва, 2017 г.
3. Новый шанс для саморегулирования. «Вестник инженерных изысканий», 3 июня 2022 г.
4. Пленарное заседание съезда РСПП. Сайт Президент России, 17.12.2021 г.
5. Положение о повышении квалификации членов Союза изыскателей, общественной аккредитации образовательных учреждений. НП «Союз изыскателей», Москва, 2015 г.
6. Положение о национальном конкурсе профессионального мастерства «Строймастер». Москва. НОСТРОЙ, 2022 г.
7. Положение об организации профессионального обучения работников членов Саморегулируемой организации Ассоциация «КубаньСтройИзыскания». Краснодар, 2022 г.
8. Поручение Президента России В. В. Путина от 30 декабря 2021 года
9. Постановление Правительства РФ № 48 от 3 февраля 2010 года «О минимально необходимых требованиях к выдаче саморегулируемыми организациями свидетельств

о допуске к работам на особо опасных, технически сложных и уникальных объектах капитального строительства, оказывающим влияние на безопасность указанных объектов»

10. Постановление Правительства № 207 от 24 марта 2011 года «О минимально необходимых требованиях к выдаче саморегулируемыми организациями свидетельств о допуске к работам на особо опасных и технически сложных объектах капитального строительства, оказывающим влияние на безопасность указанных объектов»

11. Приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 624 «Об утверждении перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, строительству, реконструкции, капитальному объектам капитального строительства, которые оказывает влияние на безопасность объектов капитального строительства»

12. Программа прохождения должностной аттестации специалистами членов Саморегулируемой организации Ассоциация «КубаньСтройИзыскания» по видам работ. Краснодар, 2015 г.

13. Профстандарт 10.017 «Специалист по организации инженерных изысканий»

14. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.10.2005 г. № 1789-р

15. Указ Президента Российской Федерации от 23.07.2003 г. № 824 «О мерах по проведению административной реформы в 2003-2004 годах»

16. Устав Союза изыскателей. Москва, 2012 г

17. Федеральный закон от 01.12.2007 г. № 315-ФЗ «О саморегулируемых организациях»

18. Федеральный закон от 22.02.2008 г. № 148-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации»

19. Федеральный закон от 24.11.2014 г. № 359-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и статью 1 Федерального закона „О саморегулируемых организациях“»

20. Федеральный закон от 03.07.2016 г. № 372-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации»

21. Федеральный закон от 03.07.2016 г. № 238-ФЗ «О независимой оценке квалификации»

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОГЕННЫХ ВИБРАЦИЙ КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ СТРОЕНИЯ И СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА

Строчков Ю. А.

ФГБУ «Росгеолфонд», г. Москва, idw83@mail.ru

Вибрационное поле современного мегаполиса формируется действием огромного числа разнородных источников и представляет собой суперпозицию волн с различными амплитудными и спектральными характеристиками. На практике, измерение параметров волнового поля возможно только в отдельных точках, чаще всего на поверхности земли. Значения зарегистрированных амплитуд и частот вибраций в соседних точках наблюдения

могут существенно отличаться друг от друга. Однако существуют закономерности распространения волн в верхней части разреза, позволяющие аппроксимировать результаты, полученные в отдельных точках, особенно по сетке наблюдения, на некоторую площадь.

В городских условиях наиболее распространенными источниками техногенного вибрационного поля являются движение транспорта и работа механизмов. Различные виды транспорта создают вибрации, отличающиеся своей продолжительностью, амплитудой и частотным составом. К импульсным повторяющимся источникам можно отнести движение поездов железной дороги и составов метрополитена. Такие источники создают вибрации в диапазоне 30-60Гц. Частоты вибраций, возникающих от движения рельсового транспорта, зависят от скорости прохождения и массы состава. Методология оценки интенсивности вибраций от рельсового транспорта приведены в [1-2]. К долговременным источникам относятся автомобильные дороги и заводское оборудование. На рис. 1 приведена типичная запись вибраций от скоростной автомобильной дороги. На записях вертикальных и горизонтальных компонент видно, что фоновый уровень вибраций, как и пиковые значения виброскорости, практически не зависят от времени. В спектре выделяются колебания в диапазоне 10-80 и 90-130Гц, что говорит о практически непрерывном спектре.

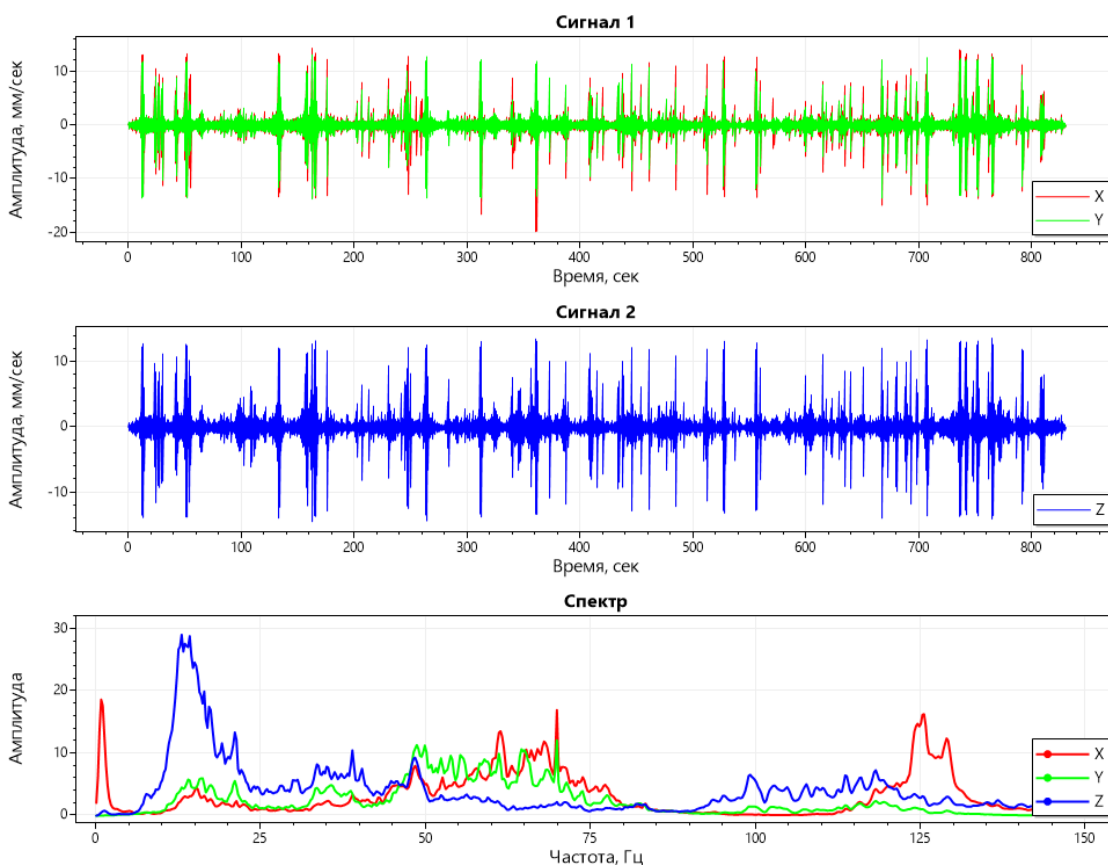


Рис. 1. Типичная запись вибраций от скоростной автодороги. x , y — горизонтальные компоненты виброскорости, z — вертикальная компонента виброскорости. На нижнем графике изображены спектры трех компонент

Регистрация параметров вибрационного поля на поверхности земли осуществляется с помощью сейсмостанции и комплекта датчиков. В полевых условиях чаще всего используются велосиметры для записи виброскорости и акселерометры, для записи виброускорения. Основные требования к сейсмостанции — возможность в непрерывном

режиме регистрировать данные с датчиков, высокая частота дискретизации сигнала (не менее 500Гц) и пылевлагозащитное исполнение. Датчики должны осуществлять прием, как минимум в полосе частот от 1 до 100Гц и принимать без искажения сигналы амплитудой десятки миллиметров на секунду при регистрации виброскорости или сотни миллиметров на секунду в квадрате при регистрации виброускорения. Используя отработанную методику полевых измерений [3], можно практически полностью избавиться от влияния на результат аппаратного фактора и свести к минимуму влияние внешних помех, таких как ветер, осадки и электрические наводки.

Частоты техногенных вибраций, зарегистрированные на грунте, отличаются от частот, возникающих непосредственно на источнике колебаний. Грунтовый массив выступает в роли фильтра, поглощающего или рассеивающего частоты определенного диапазона и пропускающего остальные частоты спектра. В связи с тем, что высокие частоты в грунтах с расстоянием затухают быстрее низких, по изменению частотного состава спектра можно косвенно судить о расстоянии до источника колебаний. В ближней зоне источника, кроме присутствия в спектре высоких частот также наблюдается преобладание амплитуд горизонтальных компонент над амплитудой вертикальной компоненты. Оценка размеров ближней зоны источника на примере забивки свай приведена в [4].

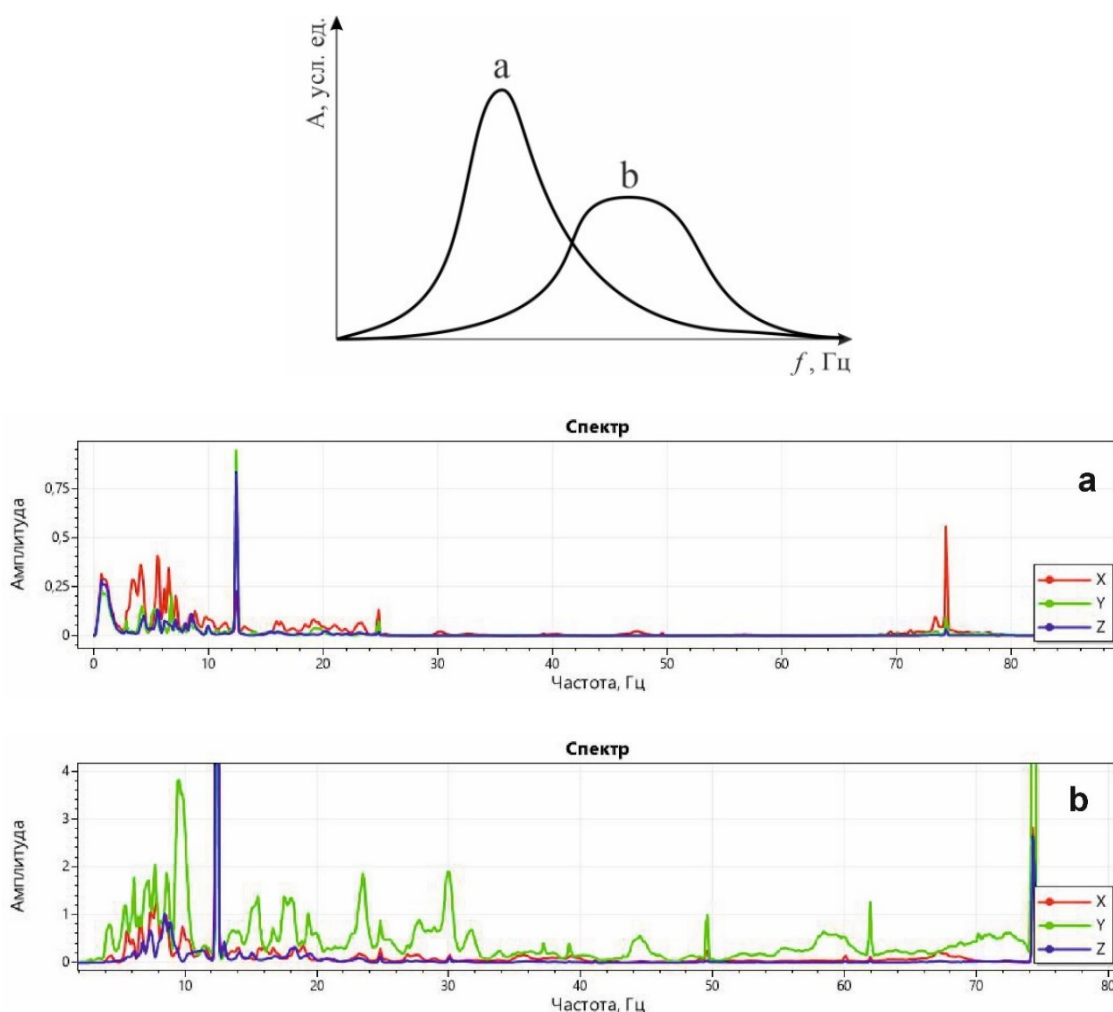
При наличии в грунтовом массиве слоя рыхлых отложений, залегающего на прочном основании, в слое возникают резонансные явления. Обязательным условием возникновения резонанса является контраст акустической жесткости на границе раздела слоев. В спектре резонанс проявляется в виде узких максимумов, резонансных пиков. Зная скорость поперечных волн в верхнем слое, по формуле (1) можно оценить глубину залегания границы, на которой возникает резонанс.

$$F_{\text{пика}} = Vs/4H \quad (1)$$

где $F_{\text{пика}}$ — частота максимума в спектре, Vs — скорость поперечных волн в слое, H — мощность слоя.

Таким образом, можно оперативно, хотя и приблизительно, оценить мощность рыхлых отложений. Наличие нескольких резонансных пиков может свидетельствовать о наличии в строении грунтового массива нескольких отражающих границ. Одним из способов исследования строения грунтового массива является метод Horizontal to Vertical Spectrum Ratio (HVSР). Метод основывается на том факте, что максимум функции спектрального отношения обусловлен резонансом на поперечной волне в слое рыхлых осадков, лежащих на скальном основании. Впервые данная теория разработана Накамура в конце прошлого века [7], Опыт успешного применения метода Накамуры приведен [6], а его использование в комплексе с другими геофизическими методами в [5].

Состояние грунтового массива, его прочностные характеристики, также влияют на спектр зарегистрированных на его поверхности техногенных вибраций. На рыхло сложенном грунтовом массиве наблюдается возрастание амплитуд сигнала и спектра вертикальной компоненты колебаний. В целом, спектр колебаний на рыхлом грунте более узкий, низкочастотный и высокоамплитудный, а на плотном — более широкий, высокочастотный и низкоамплитудный. Теоретические спектры и спектры натуральных наблюдений для рыхлого и плотного грунтов приведены на рис. 2. Кроме того, на рыхлом грунте в спектре могут возникать кратные частоты.



*Рис. 2. Теоретическое изменение спектра сигнала в зависимости от состояния грунта: *a* — рыхлый грунт, *b* — плотный грунт. Спектры натуральных наблюдений, *a* — на рыхлом грунте, *b* — на плотном.*

Анализ параметров вибраций, возникающих от техногенных вибраций, позволяет получить общую информацию о строении и состоянии грунтового массива, без проведения сложных и затратных работ с использованием активных источников. Наилучшие результаты могут быть получены при комплексировании его с другими геофизическими методами или при использовании для выбора площадки будущих буровых работ.

Список литературы:

1. Канев Н.Г. Методологические проблемы измерения вибрации рельсового транспорта и пути их решения. Труды Всероссийской акустической конференции. Санкт-Петербург. 21-25 сентября 2020 г., 415-422 (2020).
2. Канев Н.Г., Прокофьева П.Е., Московец М. Е. Оценка неопределенности измерений вибрации железнодорожного транспорта по результатам суточного мониторинга. *Noise Theory and Practice*, 2021.
3. Капустин В.В., Владов М.Л., Волков В.А., Вознесенский Е.А. Методические вопросы измерения вибраций для оценки их воздействия на массивы грунтов. *Грунтоведение*, 2021 г. №1. С.65-77.

4. Колесников А.О., Костюк Т.Н., Попов В.Н. Об оценке динамических воздействий на грунт при забивке свай. Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020, №1 (52), С.75-84

5. Строчков Ю.А., Кувалдин А.В., Чуркин А.А., Капустин В.В.. Опыт исследования полигонов твердых коммунальных отходов с применением геофизических методов. Инженерные изыскания, 2022, том 16, №2, с.54-62.

6. Тарасов С.А., Гоев А.Г. и др. Уточнение скоростного разреза осадочной толщи методом Накамуры на новых сейсмических станциях ИДГ РАН. Российский сейсмологический журнал. 2020, Т.2, №4, С.43-50.

7. Nakamura Yu. A method for Dynamic Characteristics Estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, Vol.30, №1, 1989.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕГАПРОЕКТОВ

¹Суздалева А. Л., ²Безносов В. Н., ³Мамина Д. Х., ³Смирнов И. Н.

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, SuzdalevaAL@yandex.ru

²ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва

Актуальность проблемы

Мегапроект — это комплекс проектов, осуществляемых по единой программе и имеющих общую цель, что не исключает существование частных задач, выполнение которых достигается в ходе реализации его отдельных частей [1-3]. Затраты, необходимые для реализации мегапроектов, обычно составляют не менее миллиарда долларов, а риски инвестиций в них нередко весьма высоки. Несмотря на это, количество разрабатываемых мегапроектов неуклонно возрастает [3, 4]. В Российской Федерации в 2023-2024 годах их планируется реализовать не менее десяти [5].

Увеличивается не только общее количество мегапроектов и их доля в инвестиционных портфелях частных и государственных фондов, одновременно наблюдаются определенные тенденции в изменении их структуры и целей. В предшествующий период большинство мегапроектов осуществлялось в рамках развития отдельного региона — основой их структуры являлся какой-то крупномасштабный объект, для обслуживания которого была необходима реализация на той же территории ряда дополнительных проектов. Подобные *мегапроекты* можно обозначить как *объектовые*. Их примером служат программы строительства в курортных зонах комплексов элитной застройки и связанной с ней инфраструктуры [6, 7].

В настоящее время приоритетное значение постепенно переходит к мегапроектам, которые можно обозначить как *системные*. Они подразумевают возведение большого количества функционально связанных объектов, сравнимых по своей значимости и уровню финансовых затрат. Примером могут служить проекты развития межрегиональных транспортных сетей, крупных газопроводов или систем, предназначенных для перераспределения речного стока [8-10]. Многие из системных мегапроектов носят трансграничный характер и осуществляются на основе межгосударственных соглашений. Их

основной целью все чаще становится не столько получение финансовой выгоды, сколько получение контроля над финансово-экономических потоками и расширение геополитического влияния. В экономике даже появилось понятие «плохой мегапроект» (poor megaproject), затраты на реализацию которого в обозримом будущем не окупятся [11]. В качестве одного из примеров рассматривается прокладка тоннеля под Ламаншем [12]. Но следует подчеркнуть, что в данном случае имеется ввиду окупаемость затрат и в кратко- или среднесрочной перспективе. С точки зрения некоторых современных экономистов к подобным «плохим» мегапроектам следовало бы в свое время отнести строительство Панамского и Суэцкого каналов [13]. Таким образом, «плохие мегапроекты» могут принести в дальнейшем весьма значительные дивиденды косвенным путем. Это является причиной так называемого «парадокса мегапроектов» (megaproject paradox), когда их финансирование продолжается государством при перерасходе первоначального объема инвестиций и возникновения высокого риска не окупаемости вкладываемых средств [2, 14].

В отличие от экономики, где выработке нового подхода к оценке инвестиционных рисков мегапроектов уже давно уделяется значительное внимание, аналогичные проблемы в сфере экологии игнорируются. Вместе с тем, их решение также весьма важно. Изменение масштабов и форм человеческой деятельности обуславливает принципиально иной характер воздействия на окружающую среду. Но одновременно с этим, благодаря упорядоченности действий, осуществляемых системно в рамках единого мегапроекта, появляются и новые возможности управления техногенными факторами. Для решения этих проблем необходимо внесение соответствующих корректив в организацию инженерно-экологических изысканий.

Правовая основа инженерно-экологических изысканий

В Российской Федерации инженерно-экологические изыскания проводятся в соответствии с требованиями свода правил СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства Общие правила производства работ». Методической основой для решения рассматриваемой проблемы является анализ требований этого нормативного документа и разработка предложений по актуализации его положений в отношении мегапроектов.

Согласно СП 502.1325800.2021 основной целью инженерно-экологических изысканий является прогноз возможных изменений окружающей среды и разработка мер по снижению ее негативных изменений при реализации проекта. Любая деятельность неизбежно вызывает изменение природных условий. По этой причине полностью не допустить негативных техногенных воздействий невозможно. Единственным реальным путем является выбор варианта проекта, при котором негативное воздействие на окружающую среду будет минимальным.

Важной частью инженерно-экологических изысканий является анализ воздействия намечаемой деятельности на условия жизнедеятельности населения, поэтому одним из требований СП 502.1325800.2021 является недопущение снижения качества жизни людей по критериям безопасности, здоровья, благосостояния, и, наконец, продолжительности самой жизни. Оценка возможного изменения этих показателей строится на основе прогноза изменения социально-экономической ситуации. На практике выполнение данного требования заключается в представлении материалов, свидетельствующих о том, что реализация проекта будет сопровождаться появлением новых рабочих мест, улучшением медицинского обслуживания населения и развитием инфраструктуры региона. Кроме того, в задачи

инженерно-экологических изысканий входит оценка воздействия осуществления проекта на объекты культурно-исторического наследия.

Отдельное внимание в инженерно-экологических изысканиях должно уделяться выявлению в районе намечаемой деятельности потенциальных зон чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия, а также участков проявления опасных природных и природно-антропогенных процессов.

Неполнота оценок экологических и социальных последствий мегапроектов

Как показывает анализ материалов, во многих случаях результаты инженерно-экологических изысканий по мегапроектам дают неполное, а иногда и неадекватное представление о возможном воздействии их реализации на состояние окружающей среды. Оценка влияния на окружающую среду и условия жизнедеятельности населения представляет собой совокупность разрозненных материалов, касающихся множества частных проблем. Такая информация не может дать представление об экологических и социальных последствиях реализации мегапроекта в целом. Это значительно затрудняет разработку системных действий по минимизации негативных явлений, сопутствующих намечаемой деятельности, планированию мероприятий по улучшению условий жизни населения, а также обеспечению его безопасности при возникновении чрезвычайных ситуаций различного характера. Подобная ситуация возникает по нескольким причинам:

1. Реализация большинства мегапроектов осуществляется в форме последовательно выполняемых этапов (очередей). По каждой из них проводятся отдельные инженерно-экологические изыскания. Их результаты обычно дают представление только об определенной части намечаемой деятельности. В проектной документации (ОВОС, ПМООС) лишь упоминается, что оцениваемая деятельность является частью какой-то программы. Совокупное воздействие на окружающую среду не анализируется даже при разработке заключительных очередей мегапроектов. В них, как правило, содержатся указания о том, что проектная документация по предшествующим этапам уже получила положительное заключение государственной экологической экспертизы. Это дает возможность рассматривать обстановку, сформировавшуюся после их завершения, как некую данность, не требующую анализа предшествующих этапов в качестве частей мегапроекта. Инженерно-экологические изыскания следующей очереди организуются как работы по уже другому проекту. В этом отношении весьма показателен опыт строительства новых городов в Китае в конце XX — начале XXI века [15]. Крупномасштабная градостроительная деятельность продолжалась и после того, как первый этап осуществления этих мегапроектов показал их бесперспективность. В данном случае возникла ситуация «парадокса мегапроектов», которая привела к огромным финансовым потерям. Во многом это было обусловлено именно недостатками в организации инженерно-экологических изысканий. Строительство новых городов рассматривалось как последовательность отдельных этапов намечаемой деятельности, а не единая программа действий, преследующая конечный результат. А он заключался не в возведении жилой застройки, а в решении проблемы перенаселения крупных китайских городов. Но это не учитывалось при организации инженерно-экологических изысканий. На их первых этапах не изучался вопрос о готовности населения к изменению характера окружающей среды, которое должно было произойти на заключительном этапе реализации мегапроекта при переселении в новую застройку [16]. В результате начавшие разрушаться безлюдные массивы многоэтажных жилых зданий пришлось снести.

2. Фрагментация инженерно-экологических изысканий по административно-территориальному принципу. Подавляющее большинство системных мегапроектов, предусматривают проведение работ в нескольких регионах. Поэтому, несмотря на то что, согласно положениям Концепции технологического развития РФ на период до 2030 года [5], механизм реализации мегапроектов включает определение головного исполнителя, в обязанности которого входит организация инженерно-экологических изысканий, на практике для их проведения привлекается значительное количество региональных субподрядчиков. Так, реализация мегапроекта «Ледяной шелковый путь», предусматривающий модернизацию Северного морского пути, выполняется силами восьми различных субъектов РФ, каждый из которых имеет свою собственную стратегию развития [17]. Кроме того, как показывает практика, участие региональных организаций в инженерно-экологических изысканиях часто сводится к представлению материалов, которые были получены ранее в ходе разработки различных проектов, имевших иные цели и ориентированных на решение задач местного характера. Нередко излишнее внимание к частным аспектам обусловлено желанием региональных организаций получить от заказчика дополнительные средства. Весьма распространен случай, когда при проведении инженерно-экологических изысканий неожиданно появляются «уникальные» природные и культурно-исторические объекты, требующие глубокого изучения. Кроме того, методологический подход к сбору и анализу данных, а также техническая оснащенность и компетентность специалистов в организациях, выполняющих отдельные части инженерно-экологических изысканий, могут существенно различаться. Результатом становится комплекс отчетов, в которых содержится оценка возможного влияния намечаемой деятельности на отдельных участках реализации системного мегапроекта. Их подборка, формируемая головным исполнителем, не может дать целостного представления о намечаемой деятельности.

3. Отсутствие целостного подхода к организации инженерно-экологических изысканий по мегапроектам не позволяет реализовать соответствующие их масштабам меры по улучшению состояния окружающей среды и жизни населения. Например, не уделяется внимание таким вопросам как использование возможностей мегапроектов в качестве **экологических регуляторов природно-технических систем** регионального и межрегионального масштаба, т.е. техногенных объектов, способных обеспечивать благоприятные экологические условия при различных негативных воздействиях, в частности, чрезвычайных ситуациях природного характера. Это требует определенной корректировки инженерно-конструкторских решений на основе данных инженерно-экологических изысканий. Например, при проектировании каскадов гидроэлектростанций, уже сейчас учитывается возможность координация режима их работы для предотвращения катастрофических последствий аномальных засух и наводнений, частота и опасность которых в условиях глобального изменения климата неуклонно возрастают. Использование каскадов ГЭС в качестве экологических регуляторов позволяет контролировать санитарно-эпидемиологическую ситуацию на значительных территориях. Регулирование стока также дает возможность контролировать распространение опасных загрязнителей при возникновении чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Таким образом, каскады ГЭС, выполняющие функцию экологического регулятора, способны реально обеспечить устойчивое развитие обширных регионов [18].

Еще большие возможности открываются при придании функции экологического регулятора гидротехническим системам, предназначенным для межбассейнового перераспределения водных ресурсов [19, 20]. К настоящему времени в мире уже

осуществляется более 70 подобных мегапроектов [8]. Во многом это объясняется тем, что участие страны в формирующемся международном рынке водных ресурсов дает не только экономическую выгоду, но и позволяет упрочить свои геополитические позиции [21]. Не вызывает сомнений, что осуществление мегапроектов по межбассейновому перераспределению речного стока может осуществляться только в том случае, если страна располагает избытком вод, продажа которых не будет иметь нежелательных экологических последствий. Например, это паводковые воды, способные вызвать разрушительные наводнения. Вместе с тем, целесообразность их отвода в другие регионы требует организации системных инженерно-экологических изысканий.

Необходимые действия для решения проблемы

1. Инженерно-экологические изыскания по мегапроектам должны *планироваться в форме единой программы действий*. Уже на начальном этапе должны быть определены их приоритетные задачи и общая стратегия их решения. Отдельные этапы их реализации не должны рассматриваться в качестве самостоятельных проектов. В состав документации по каждому из них, представляемой на государственную экологическую экспертизу, должен быть включен раздел, содержащий оценку воздействия окончательной реализации мегапроекта на экологические и социальные условия.

2. *Главной заказчик* должен обладать полномочиями, позволяющими *осуществлять реальное руководство* инженерно-экологическими изысканиями, проводимыми региональными организациями, осуществлять оперативный контроль работ, оценивать полноту и методологическую обоснованность представляемых материалов. При решении проблем в области охраны природы, условий жизнедеятельности населения и сохранения объектов культурно-исторического наследия необходимо руководствоваться общегосударственными интересами, отраженными в действующем Законодательстве РФ.

3. В число приоритетных задач инженерно-экологических изысканий по мегапроектам следует включить *оценку возможности использования* проектируемых объектов и инженерно-технических систем *в качестве экологических регуляторов природно-технических систем* регионального и межрегионального масштабов, обеспечивающих устойчивое развитие территорий и защиту их населения от воздействий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Кроме того, подобный концептуально-методологический подход к организации инженерно-экологических изысканий снижает риск возникновения ситуации «парадокса мегапроекта», а в случае трансграничного характера намечаемой деятельности может создать основу для укрепления геополитических позиций Российской Федерации.

Литература

1. Добряхина О.П. Проблемы и риски реализации мегапроектов в России // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 6. С. 1-11.
2. McLeod S. Rethinking public infrastructure megaproject performance: Theorizing alternative benefits, and the need for open science in project research // Project Leadership and Society. 2023. Vol. 4. 100080. P. 1-12.
3. Ullberg S.B., Körling G., Strava C. Making Megaprojects: The Practices and Politics of Scale-Making // Ethnos. 2023. Vol. 88. N 4. P. 1-11.
4. Ding J., Zhang G., Sun M. Megaproject Governance Research in China: A Review and Visual Analysis from the Whole Life Cycle Perspective // Buildings 2023. Vol. 13. 1443. P. 1-23.

5. Концепция технологического развития на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р 52 с.
6. Barthel P.-A. Casablanca-Marina: A New Urban Model of Mega-Projects in Morocco // *Autrepart*. 2010. Vol. 55. N 3. P. 71-88
7. Koelemaij J. The world's number 1 real estate development exporter? Assessing announced transnational projects from the United Arab Emirates between 2003-2014 // *Environment and Planning A: Economy and Space*. 2022. Vol. 54. N 2. P. 226-246.
8. Shumilova O., Tockner K., Thieme M., Koska A., Zarfl C. Global Water Transfer Megaprojects: A Potential Solution for the Water-Food-Energy Nexus? // *Frontiers in Environmental Science*. 2018. N 12. P. 1-11.
9. Тулохонов А.К., Гармаев Е.Ж., Сочэн Д., Батомункуев Б.С., Михеева А.С., Бардаханова Т.Б., Болданов Т.А. Российские транспортные мегапроекты в новых геополитических ситуациях // *Вестник БНЦ СО РАН*. 2018. № 2. С. 37-45.
10. Цыганов В.В. Инфраструктурная политика мегапроекта «Единая Евразия: ТЕПР — ИЕТС» // *Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2019. № 2. С. 58-62.
11. Балацкий Е.В., Екимова Н.А. Феномен мегапроектов в модели многоконтурной экономики // *Вопросы регулирования экономики*. 2022. Т. 12. № 4. С. 25-39.
12. Anguera R. (2006). The Channel Tunnel — an ex post economic evaluation // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Vol. 40. N 4. P. 291-315.
13. Rothengatter W. (2019). Megaprojects in transportation networks // *Transport Policy*. Vol. 75. P. A1-A15.
14. Flyvbjerg B., Bruzelius N., Rothengatter W. *Megaprojects and Risk: an Anatomy of Ambition*. Cambridge: Cambridge University Press. 2003. 201 p.
15. Mingye L. Evolution of Chinese Ghost Cities. Opportunity for a Paradigm Shift? The Case of Changzhou // *China perspectives*. 2017. N 1. P. 69-78.
16. Suzdaleva A. Frustration and deprivation in ecology and in people's life // *ERSME-2023. E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 376. Article 05043.
17. Песцов С.К. Российская Арктика: мегапроект без срока завершения // *Россия и АТР*. 2021. № 1(111). С. 69-85.
18. Федоров М.П., Суздалева А.Л. Гидротехническое строительство как основа устойчивого развития // *Гидротехническое строительство*. 2014. № 11. С. 27-30.
19. Суздалева А.Л. Гидротехническое строительство при организации рынка ресурсов пресной воды // *Гидротехническое строительство*. 2015. № 9. С. 48-54.
20. Суздалева А.Л. Водноресурсная логистика: международные аспекты // *Мировая экономика и международные отношения*. 2017. Т. 61. № 11. С. 5-12.
21. Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Экологические основы формирования международного рынка ресурсов пресной воды // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия экология и безопасность жизнедеятельности*. 2014. № 4. С. 85-98.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ (СВАЙ) МЕТОДОМ АЗИМУТАЛЬНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ В ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГРАНИТОИДНОЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

¹Тарасова М. А., ²Пайшанбиев С. А., ³Бершов А. В.

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, mariya.tarasova@petromodeling.com

²ГК «ПЕТРОМОДЕЛИНГ», sino.paishanbiev@petromodeling.com

³ГК «ПЕТРОМОДЕЛИНГ», alexey.bershov@petromodeling.com

Введение

При решении геотехнических задач по укреплению фундаментов сооружений применяется специальная технология устройства грунтоцементных конструкций (ГЦК) с использованием струйной цементации — jet grouting [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Данная технология подразумевает формирование некоторого объема грунта с определенными прочностными характеристиками и геометрией. Оценка качества ГЦК является актуальной задачей. Под качеством ГЦК понимается сплошность грунтоцементного элемента в геологическом пространстве на заданную проектную глубину и однородность его структурно-текстурных особенностей и свойств. Качество зависит от множества факторов, которые можно условно разделить на две группы: геологические и технологические. К геологическим факторам относятся свойства вмещающих грунтов и их инженерно-геологические особенности, сложный рельеф (например, наличие склона). К технологическим — все, что связано с методикой проведения цементации.

В отечественной нормативно-технической базе методологические вопросы по оценке качества подземных конструкций освещены недостаточно. Основные документы, регламентирующие выполнение работ по оценке качества таких конструкций представлены в СП 291.1325800.2017 [2], также имеются упоминания в СП 45.13330.2017 [3]. В данных нормах содержатся требования к проведению прямых методов исследования, к ним относятся бурение и лабораторные испытания на образцах.

Прямые методы позволяют оценить свойства и состояния грунтоцемента. Их основное преимущество состоит в большей точности получаемых статических и динамических модулей упругости. Однако в условиях активного строительства выполнение прямых методов практически невозможно в связи с временными и финансовыми ограничениями.

Более эффективными в условиях строительства считаются неинвазивные геофизические методы исследования. Для определения длины грунтоцементной сваи получил распространение поверхностный сейсмоакустический метод. Однако решение задач этим и другими методами, описанными в СП, определены в основном для простых геологических сред, поэтому при изучении сложных грунтовых массивов применение данных методик не позволяет получить удовлетворительных результатов.

В данной работе рассматривается возможность применения метода вертикального сейсмического профилирования для оценки качества цементации ГЦК и определения отклонения конструкции от вертикальной оси в сложных инженерно-геологических условиях на примере одной выбранной скважины.

Объект исследования

Задача по обустройству ГЦК и дальнейшей оценки качества была определена для сложного грунтового массива — зоны коры выветривания по гранитоидам, которая имеет ряд характерных отличий от других кор выветривания, расположенных в стабильных тектонических условиях. В условиях активной континентальной окраины эти отличия усиливаются. Также стоит отметить, что особенности строения гранитоидной коры выветривания сильно зависят от геоморфологических условий территории (наличие склона).

В связи с этим была предложена схема коры выветривания гранитоидов в условиях активных тектонических движений и сложных геоморфологических условий. Для данной схемы выделяются 4 зоны (рис.1): Зона А — зона бесструктурного элювия; Зона Б — зона структурного элювия, состоящая из двух подзон, различающимися разным количеством сохранившихся текстурно-структурных особенностей материнской породы; Зона В — зона дробления и рухляка; Зона Г — зона коренных пород.

Приведенная схема имеет ряд отличий от общепринятой схемы:

1. В дисперсной части гранитоидной коры выветривания выделяются крупные глыбы;
2. В условиях склона могут возникать делювиальные шлейфы крупнообломочных и супесчаных грунтов в общей массе суглинистых грунтов;
3. Для дисперсной зоны не наблюдается закономерное увеличение с глубиной крупных обломков;
4. Для зоны сапролита характерно наличие крупных глыб, в подзоне БI встречаются редкие реликты коренных пород и по гранулометрическому составу данная зона представлена дресвой или песком дресвяным. В подзоне БII наблюдается повсеместное включение реликтовых структур;
5. В зоне тектонического разлома прослеживается увеличение с глубиной щебенистых грунтов;
6. В зоне рухляка исходные скальные грунты подверглись сильному химическому преобразованию.

Учитывая специфику и особенности строения коры выветривания по гранитоидам, их изучение является весьма сложной задачей, особенно сложность возрастает при изучении кор выветривания, расположенных в зонах активных тектонических движений. Отсюда следует важность определения пространственных закономерностей линейной коры выветривания.

ГЦК были обустроены вокруг ранее пробуренных инженерно-геологических скважин, был реализован участок опытных исследований (рис.2). Обустройство ГЦК выполнялось путем струйной цементации по технологии jet grouting по схеме на проектную глубину 24 метра.

Методы исследования

Комплекс исследований по изучению качества цементации состоял из инженерно-геологических и инженерно-геофизических методов, которые проводились в инженерно-геологических скважинах, пробуренных в центре каждой ГЦК.

Из инженерно-геологических методов использовались прессиометрические испытания грунтов, описание керна и лабораторные испытания проб (прочность, деформируемость, скорости).

Далее в скважинах был проведен метод вертикального сейсмического профилирования (ВСП). Наблюдения проводились с шагом 0.5 м от забоя до устья скважины. На каждой точке наблюдения последовательно производилось возбуждение двух типов сейсмических волн

(продольные и поперечные) по четырем азимутам, отвечающим сторонам света (азимутальное ВСП) непосредственно у устья скважины.

Возможность использования данного метода для решения поставленных задач обусловлена:

- наличием контраста упругих свойств на границе дисперсный грунт-грунтоцемент;
- более высокой разрешающей способностью в грунтоцементе по сравнению с дисперсными грунтами;
- более точным определении каверн в грунтоцементе за счет использования прижимного зонда;
- чувствительностью динамических параметров упругой волны (амплитуда и частота) при переходе из зоны грунтоцемента в зону дисперсного грунта.

По данным ВСП определялись пластовые скорости продольных и поперечных волн.

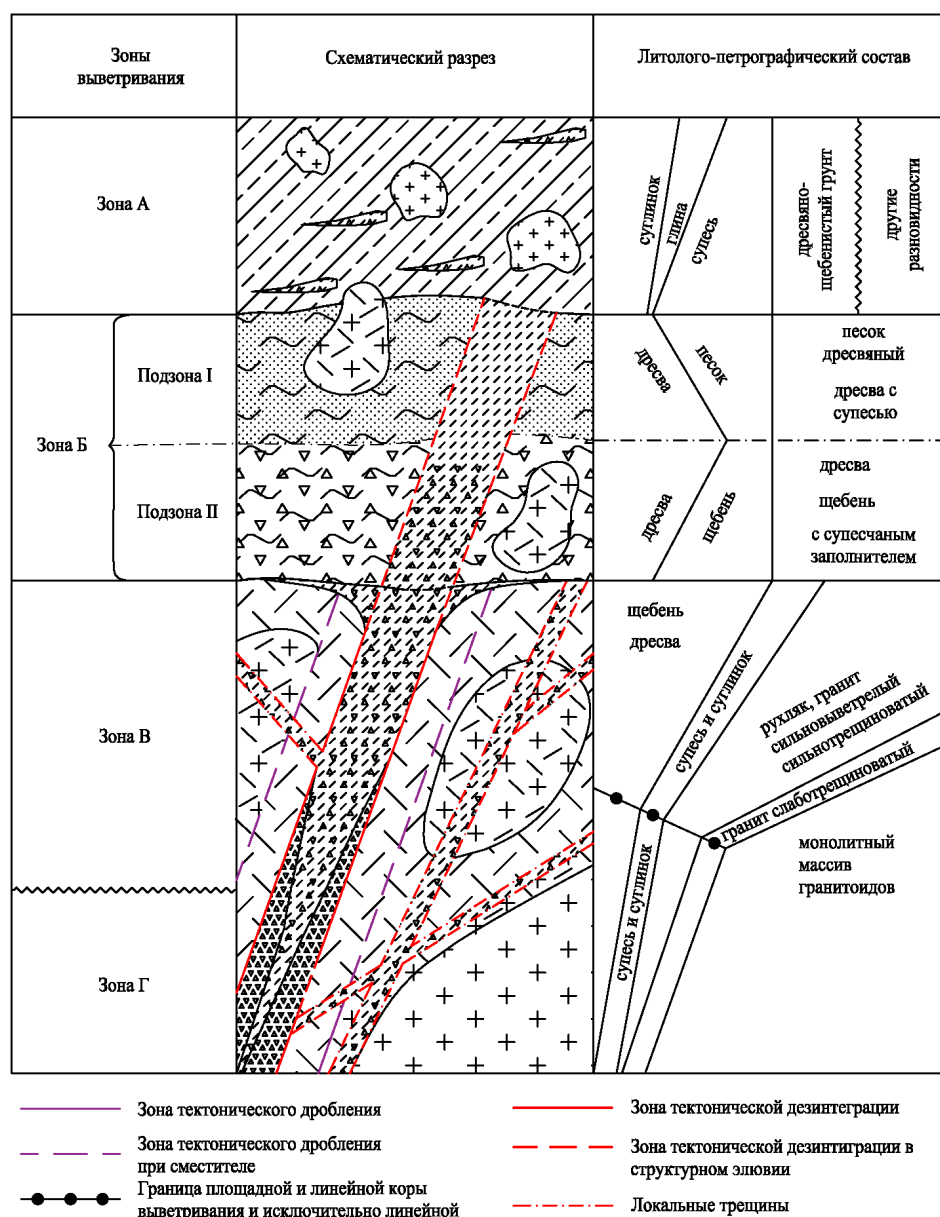


Рисунок 20. Принципиальная схема инженерно-геологического расчленения коры выветривания по гранитоидам для активной континентальной окраины на Дальнем Востоке (по А. В. Бершову и С. А. Пайшанбиеву, 2023)

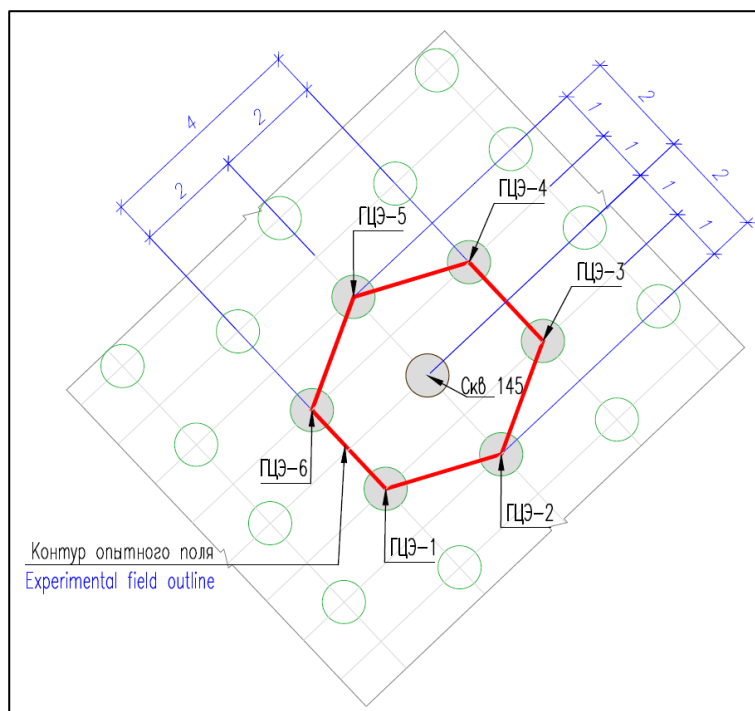


Рисунок 21. Схема расположения ГЦЭ внутри опытного поля

Результаты

Первый результат по оценке качества ГЦК связан с проведением буровых работ и описанием керна, в ходе которых было установлено, что грунтоцемент с глубины больше 11-12 м отсутствует (рис. 3). На этих же глубинах, на полевых сейсмограммах ВСП качественно была определена смена волновой картины и выделены два годографа проходящей волны с разными наклонами (рис. 4).

Исходя из комплексного анализа результатов качественной интерпретации данных ВСП и прямых инженерно-геологических исследований пришли к первому предположению, что волна, наблюдаемая в первом вступлении, соответствуют грунтоцементной части скважины (условно названа «волна в ГЦ»), а волна, наблюдаемая на более поздних временах прихода, соответствует зоне дисперсного грунта (условно названа «волна в грунте»), где грунтоцемент отсутствует.

Однако, в первом вступлении еще присутствует высокочастотная компонента волны малой амплитуды, годограф которой по наклону совпадает с волной в ГЦ. Это может косвенно говорить о присутствии грунтоцемента в стороне от скважины. В результате было выдвинуто второе предположение об отклонении тела ГЦК от вертикальной оси, основанное на инженерных расчетах, согласно которым при диаметре ГЦК в 1 м и отклонении от вертикали бурового снаряда в 1 градус происходит выход колонка из зоны ГЦК на 10-12 м.

С наблюдаемых годографов были сняты времена прихода и рассчитаны пластовые скорости. Для оценки сплошности и однородности ГЦК были сопоставлены скорости поперечных волн в скважине до и после цементации (рис. 5).

На графике видно, что скорости поперечных волн в грунте до цементации имели среднее значение 400 м/с, а после цементации среднее значение увеличилось до 600 м/с, что говорит об успешном укреплении данного интервала. Стоит также отметить, что условно выделенная волна после цементации «в грунте», наблюдаемая с 7-8 м, имеет близкие значения к скоростям грунта до цементации, что подкрепляет наше первое предположение об отсутствии грунтоцемента.

Однако, выше было сказано о наличии высокочастотной компоненты сигнала первого вступления на глубинах больше 11 м. Для того, чтобы определить возможность отклонения грунтоцемента и его предполагаемое направление было принято решение произвести динамический анализ сигнала первого вступления по каждому азимуту.

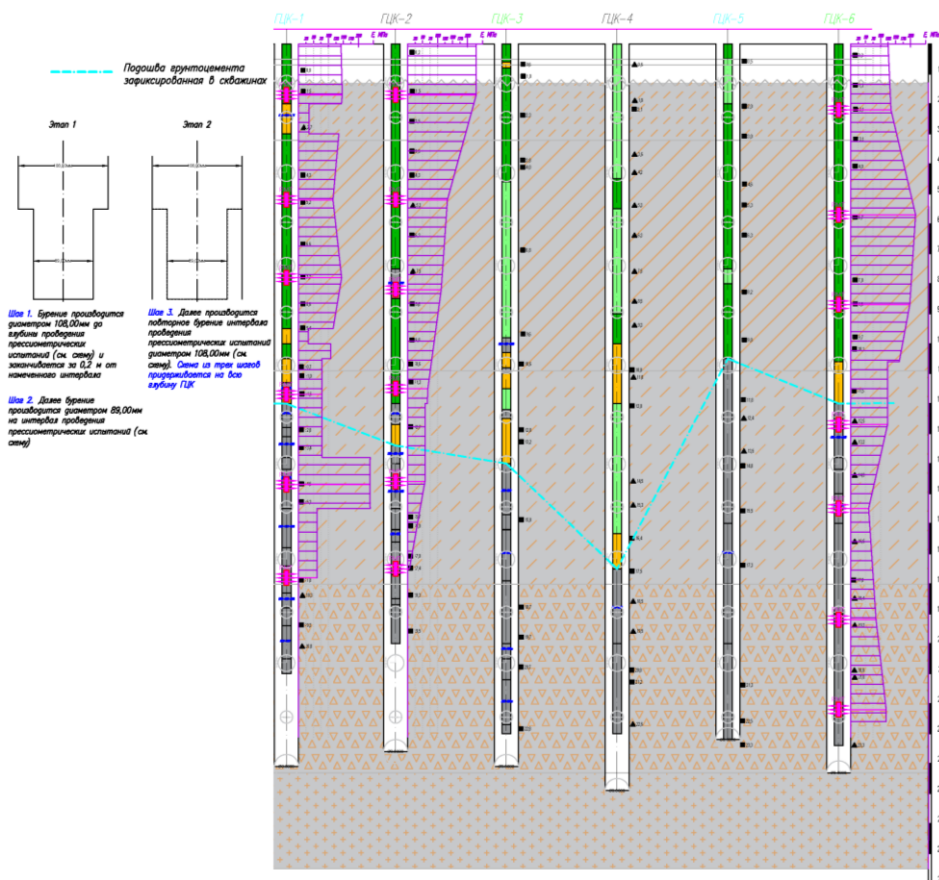


Рисунок 22. Данные бурения во всех скважинах ГЦК с указанием подошвы грунтоцемента, зафиксированной в скважинах

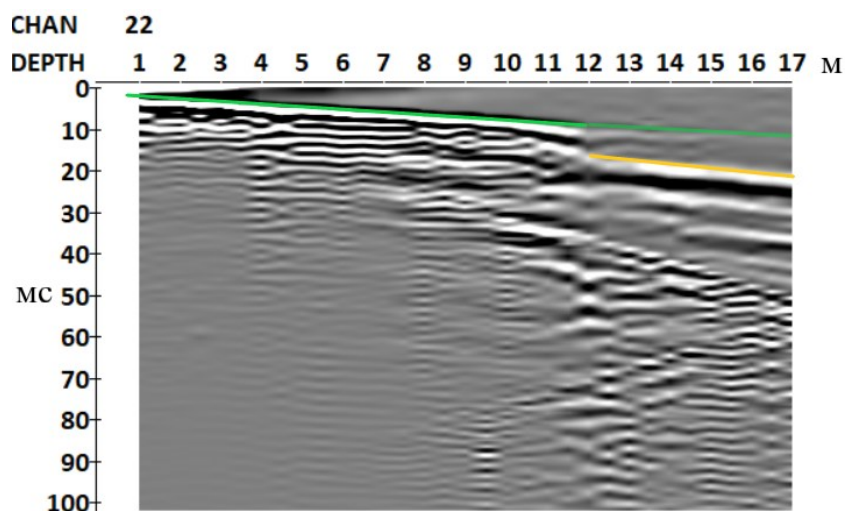


Рисунок 23. Пример качественной интерпретации волнового поля продольных волн. Зеленым выделена волна в первом вступлении («волна в ГЦК»), темно-зеленым выделена ее высокочастотная компонента. Оранжевым выделена волна на поздних временах прихода («волна в грунте»)

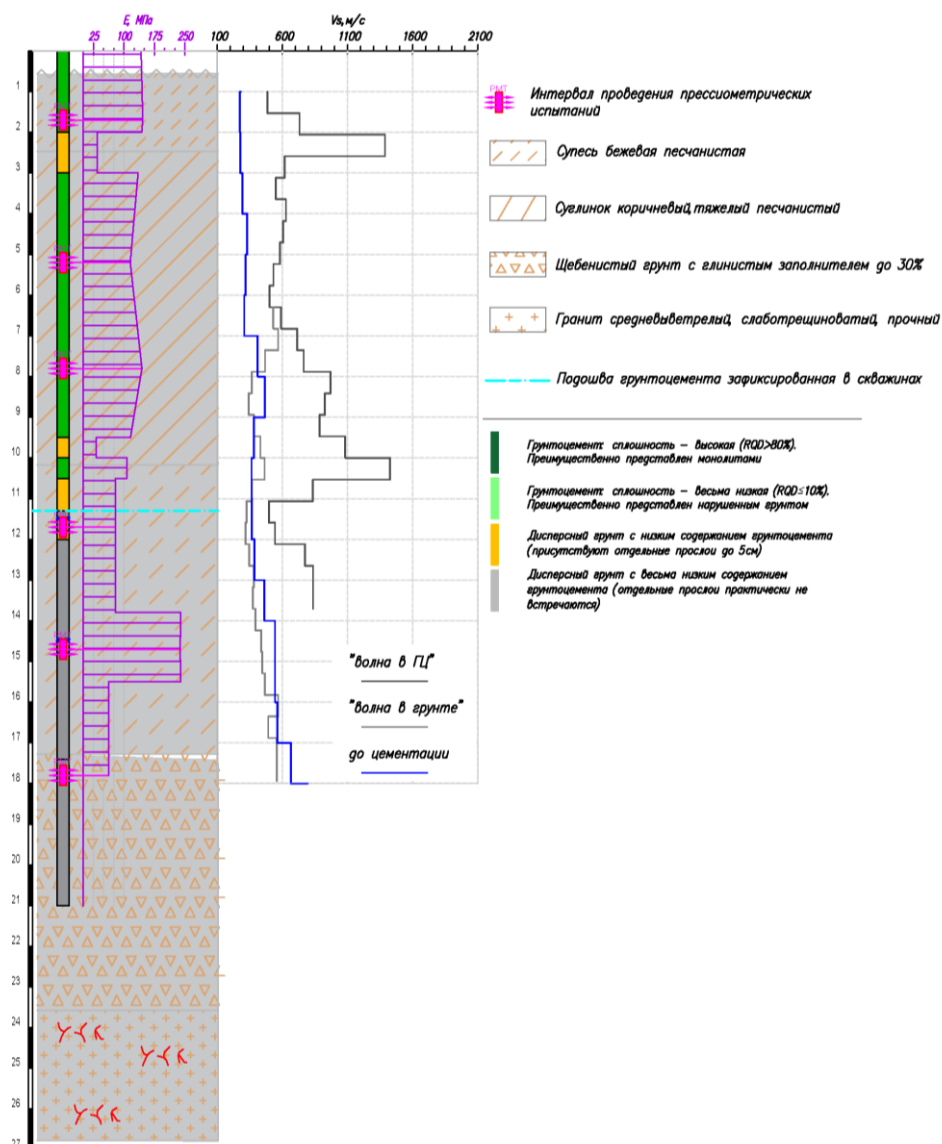


Рисунок 24. Геологический разрез скважины с нанесенными схемой ГЦК, графиком модуля общей деформации и графиками скоростей поперечных волн до и после цементации

В результате были построены карты двумерного амплитудного спектра и рассчитаны графики атрибутов S_n — площади нормированного спектра и F_s — средневзвешенной частоты. Атрибуты S_n и F_s были предложены в работе [Ошибка! Источник ссылки не найден.] для изучения поглощающих свойств системы свая-грунт (рис.6).

Как видно по карте, амплитуды продольной «волн в ГЦ» имеют наибольшие значения и прослеживаемость до забоя скважины на северном азимуте (больше встречается белых областей), на остальных азимутах — амплитуды близки к нулю. В результате можно сделать предположение о возможном отклонении сваи в северном направлении на 1 градус.

Выводы

В ходе комплексного анализа инженерно-геологических и геофизических методов в настоящей работе пришли к выводу, что в условиях распространения коры выветривания по гранитоидам:

1. Устройство ГЦК возможно до определенной глубины, что связано с особенностями грунтового массива (зоной бесструктурного элювия). Далее все усложняется зоной

структурного элювия. В зоне структурного элювия устройство ГЦК многократно усложняется в связи со спецификой коры выветривания, а именно зоны Б (сапролит). Учет специфики данной зоны посредством коррекции технологии цементации практически невозможно

2. Прямые инженерно-геологические методы не позволяют оценить качество напрямую, так как возможны отклонения тела ГЦ от вертикальной оси;

3. Метод вертикального сейсмического профилирования позволил оценить качество цементации в области грунтоцемента, была определена зона перехода от грунтоцемента к дисперсному грунту. Вопрос о возможности оценки отклонения ГЦК от вертикальной оси по данным ВСП остается открытым.

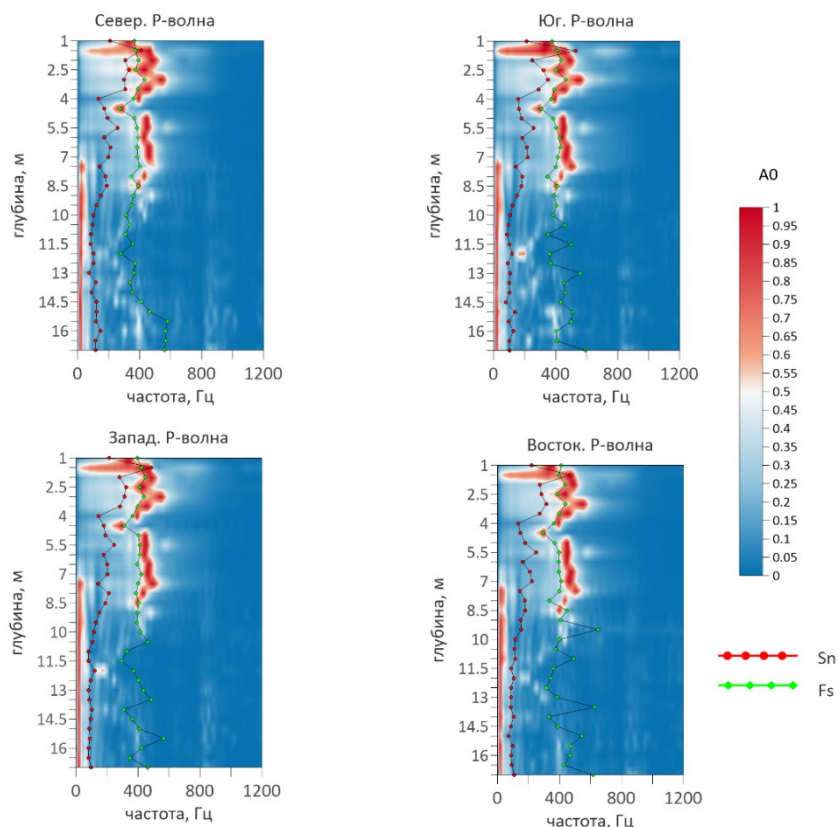


Рисунок 25. Карты двумерного амплитудного спектра для продольной волны по четырем азимутам

Список литературы

1. Инструментальный контроль качества грунтоцементных свай и массивов сейсмоакустическими методами / В. В. Капустин, А. А. Чуркин, М. Л. Владов и др. // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2021. — № 6. — С. 19-26.

2. СП 291.1325800.2017 Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования

3. СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87

4. Исследование влияния параметров системы свая—грунт на динамические атрибуты акустического сигнала с использованием численного моделирования / А. А. Чуркин, В. В. Капустин, И. Н. Лозовский, Р. А. Жостков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2021. — Т. 332, № 1. — С. 129-140.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ НИКИТСКОГО МОНАСТЫРЯ В КАШИРЕ ПОСЛЕ НЕДАВНЕЙ РЕКОНСТРУКЦИИ

¹Тощева Ю. О., ²Вязкова О. Е.

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ)

¹elsukova-01@mail.ru, ²vyazkova@mgri.ru

Никитский женский монастырь находится в городе Кашира, который располагается в 120 км от г. Москвы.

С конца XVII в. на окраине Каширы находилась деревянная кладбищенская церковь во имя святого великомученика Никиты.

В 1815 г. небогатый местный купец Федор Иеремиевич Руднев решил построить каменную церковь, при которой поселились несколько бедных старушек.

После Великой Отечественной войны на большей части территории обители расположился Ногинский филиал чулочно-носочной фабрики «АЖУР», после банкротства которого в 2008 г., Никитский храм пытались продать с аукциона как производственное помещение. Усилиями протоиерея Виталия Коценко и жителей города храм был возвращен Русской Православной Церкви.

В июле 2015 года Благотворительный Фонд взял под опеку Никитский храм. Проведены необходимые архитектурно-исследовательские работы.

В 2016 году начался первый этап реставрации — снос советских пристроек, которые, находясь в аварийном состоянии, разрушали и здание храма.

К июню 2018 года работы были практически завершены.

Цель и задачи исследования

Целью инженерно-геологического обследования монастыря является установления причин деформаций инфраструктуры на территории Никитского женского монастыря.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить, следующие задачи:

- Выявить закономерности распространения трещин;
- Собрать сведения о климатических условиях, которые влияют на развития процессов;
- Оценить структуры рельефа территории, прилегающей к монастырю;
- Проанализировать закономерности строения речной сети;
- Изучить геологическое строения участка расположения монастыря;
- Оценить влияние гидрогеологических условий на развития деформаций в инфраструктуре монастыря;
- Установить проявления экзогенно-геологических процессов.

Оценка состояния элементов исторической ПТС

Автором было выполнено обследование территории монастыря, в ходе которого были выявлены многочисленные трещины. Основные дефекты проявляются в ограде и в тротуарной плитке, которой вымощен внутренний двор монастыря и пешеходные дорожки вокруг него.

Ограда — кирпичная, на, предположительно, монолитном железобетонном фундаменте, построена, ориентировочно, в 2018 году. Примеры трещин в ограде приведены на рисунках 1-3.

На рисунке 1 представлена южная часть ограды Никитского женского монастыря. Данная деформация отмечена на внешней стороне ограждения, в третьей секции от главного входа на территорию монастыря. Эта же трещина видна и со двора монастыря (рис. 2).



Рисунок 1. Южная часть Никитского монастыря, 3-я секция от главного входа (внешняя сторона)

Условные обозначения:

— расположение трещины



Рисунок 2. Южная часть забора Никитского монастыря, 3-я секция от главного входа (внутренняя сторона)

Условные обозначения:

— расположение трещины


Так же трещины продолжают в плитке, которой вымощен двор монастыря. Плитка лежит на насыпном грунте и геотекстиле и, предположительно, на сухой смеси, которой заделывались и швы между её элементами. На некоторых участках с течением времени они поросли мхом в то время, как некоторые оказались лишёнными заполнителя вообще.

На рисунке 3 видна зона во дворе монастыря, в которой не только размыты швы между плитками, но и сформированы трещины в самих плитках. Эта зона деформации имеет ширину около 1 м и длину около 12 м.



Рисунок 3. Внутренний двор Никитского монастыря

Условные обозначения:

 — границы деформированной зоны

В ходе обследования территории Никитского монастыря было замечено, что трещины распространены закономерно и есть основания полагать, что реконструкция была произведена без учёта инженерно-геологических условий.

На рисунке 4 показаны все обнаруженные зоны деформаций ограды и покрытия двора.

Инженерно-геологические условия территории Никитского женского монастыря

Рассмотрим основные компоненты инженерно-геологических условий территории, на которой располагается Никитский женский монастырь.

Монастырь располагается в 450 м к югу от уреза правого берега Оки. Абсолютная отметка — 120-130 м.

Город Кашира расположен в области умеренно-континентального климата со среднегодовым количеством осадков 600 мм. Большая часть их выпадает в июле — 56 мм [5,6].

Рельеф территории представлен пологой наклонной поверхностью, ограниченной с запада крутым склоном оврага, а с севера склоном борта долины реки Оки.



Овражно-балочная сеть имеет характерные спрямленные участки, повторяющихся ориентировок.

В геологическом строении изучаемой территории принимают участие каменноугольные отложения каширского горизонта. Они представлены известняками и доломитами с прослоями пестроцветных глин, доломитовыми мергелями и песками, общей мощностью около 80 м. Каменноугольные отложения перекрыты маломощным чехлом моренных отложений днепровского горизонта и покровными лессовидными суглинками. Предполагаемая мощность около 3 м.

Ниже по склону, чуть северо-западнее монастыря, находится каптированный родник, в котором разгружаются воды каменноугольных отложений.



Рисунок 4. Общая схема распространения линейных зон деформаций на территории монастыря

- Условные обозначения:
-  — существующие
 -  — предполагаемые

Закономерности развития трещиноватости в каменноугольных отложениях под Никитским монастырем

Проблемами изучения формирования планерной трещиноватости занимались многие ученые мира. Одной из первых статей доступных для изучения является статья Р. Зондера (1938 год) [4]. В результате можно сказать, что одними из самых распространённых систем являются ориентировки 20°, 45° 70°, 110°, 135°, 160° (170°) приведенные в статье Р. Зондера, как формирующие основные границы континентов.

В каждом регионе могут быть вариации этих значений, сам Р. Зондер эти системы называл вариативными. В каждом регионе они могут на несколько градусов отклоняться от приведенных.

Автор проводит анализ закономерностей тектонической трещиноватости по рисунку речных долин. Это правомочно, потому что реки являются одним из вариантов линеаментов. Анализ прямолинейных участков позволяет косвенно анализировать наиболее крупные системы трещин, развитые в конкретном регионе или на участке расположения какого-то объекта. Проанализировав азимуты простирающихся линеаризованных участков речных долин, автором были построены две гистограммы по правому и левому берегам р. Оки (рис. 5-6). На рисунке 7 приведены самые распространённые градусы, а именно - 10° , 20° , 30° , 70° , 90° , 120° , 130° и 160° .

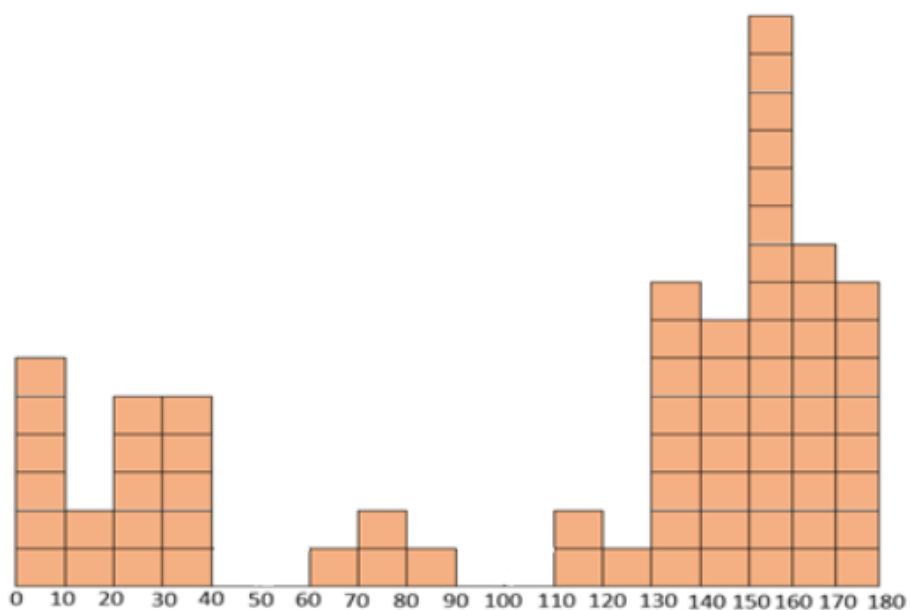


Рисунок 5. Гистограмма азимутов простирающихся участков речных и овражных долин на левом берегу р. Оки

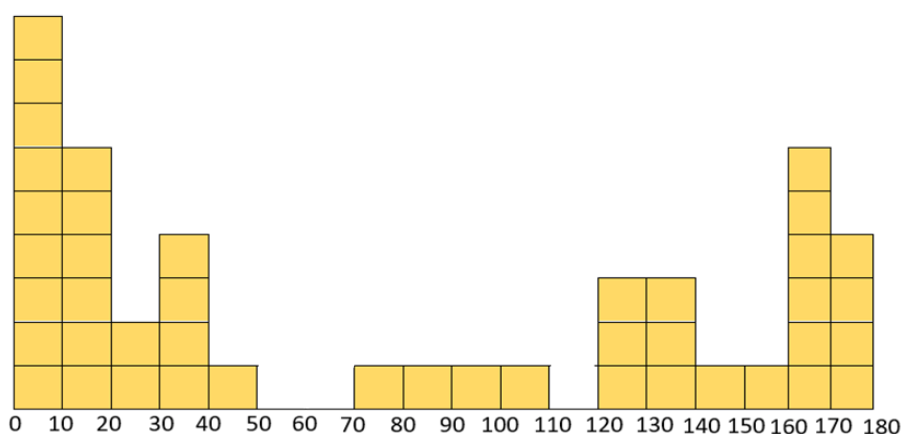


Рисунок 6. Гистограмма азимутов простирающихся участков речных и овражных долин на правом берегу р. Оки

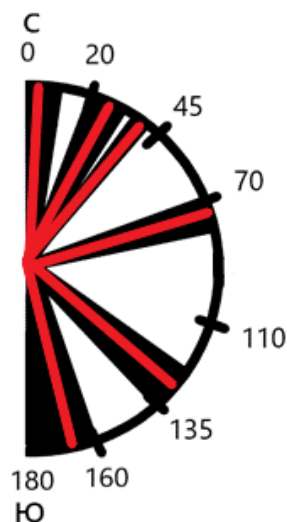




Рисунок 7. Круговая диаграмма распространенных азимутов простирания по обе стороны р. Оки
Условные обозначения:

-  — наиболее распространенные ориентировки линейаризованных участков речных и овражных долин
- 110 — направление планетарной трещиноватости, выделенных Р. Зонедором
-  — ориентировки линейных деформаций на территории Никитского монастыря

Анализ ориентировок спрямленных участков долин рек и оврагов, позволяет нам перейти к обсуждению возможности развития на территории монастыря парагенезиса экзогенных геологических процессов.

Наличие карбонатных пород в зоне активного водообмена позволяет предполагать продолжающийся процесс карстообразования в толще трещиноватых доломитов и известняков каширского горизонта.

С оврагом, находящимся к западу от территории монастыря, связан процесс овражной эрозии.

Для участков дневной поверхности, не имеющей покрытия асфальтом или плиткой характерен плоскостной смыв.

Для моренных и покровных отложений, которые разуплотнены над зонами трещиноватости закарстованных известняках и доломитах., характерен суффозионный процесс, локализованный в виде линейных структур, которые мы и фиксируем, как зоны деформаций ограды и плиточного покрытия на территории монастыря.

Вывод

В настоящее время, мы являемся свидетелями начальной фазы деформаций. По счастливой случайности, они пока не проявляются в храмовых сооружениях. Все эти проблемы в эксплуатации монастыря и сохранение его элементов, вызваны тем, что перед его реконструкции не была выполнена оценки инженерно-геологических условий.

Список литературы

Опубликованная

1. Вязкова О.Е., Еремина А.А. Влияние тектонической трещиноватости меловых пород на пространственные решения пещерных храмов (комплексов) юга Воронежской области // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации.

Материалы Семнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций. М.: ООО «Геомаркетинг». 2022. С. 472–477.

2. Клеблеев Р.А., Вязкова О.Е. Анализ влияния трещиноватости на устойчивость бортов карьера «Задонский» в Елецком районе Липецкой области //В сборнике: Новые идеи в науках о Земле. Материалы XV Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах. Москва, 2021. С. 237-240.

3. Пашкин Е.М., Букреев Д.С. Характер проявления линеаментной активности в центральной части г. Москвы //Сергеевские чтения. Вып. 4, Материалы годичной сессии Научного Совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии — М.: ГЕОС. 2002. С. 250-254.

4. Sonder R. A. Die Lineamenttektonik und ihre Probleme. — Ed Geol., Helv., 1938, vol. 31, № 1, S. 199-238

Фонодовая

5. Иосифова (Розанова) Ю.И., Яковлев Б.А., Головкин В.А. Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200 000, серия Московская, лист N-37-IX — Изд. Недра, Москва, 1964.

Интернет-ресурсы

6. Климат, погода по месяцам, средняя температура в Кашира (Россия) - Weather Spark

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ

Труфанов А. Н.

НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ „Строительство“», niiosp@niiosp.ru

Введение

Достоверное определение характеристик грунтов является необходимым условием безопасного и вместе с тем, экономичного строительства. В настоящее время в области испытаний грунтов существует ряд актуальных вопросов, которые требуют своего решения и отражения в нормативной базе, среди них:

- определение характеристик грунтов геофизическими методами;
- определение механических характеристик скальных грунтов;
- определение характеристик крупнообломочных грунтов;
- определение коэффициента бокового давления в состоянии покоя;
- определение качества монолитов грунтов, включение в нормы классификации качества монолитов грунтов, а также категории технических средств пробоотбора;
- восстановление фазового состава при компрессионных испытаниях;
- определение коэффициента деформационной анизотропии грунтов;
- определение уровня подземных вод.

Рассмотрим их подробнее.

Одним из направлений определения характеристик грунтов являются геофизические методы.

Данные методы относятся к косвенным методам, требующим сопоставления с результатами прямых определений. Однако у них имеется неоспоримое преимущество —

получение интегрированной информации о свойствах грунтов в массиве, т.е. в ненарушенном состоянии.

Несмотря на то, что геофизика прочно вошла в состав инженерно-геологических изысканий, в нормативной базе они отражены очень слабо, что приводит к неоднозначным оценкам полученных результатов. В связи с этим, необходимо разработать стандарты, в которых будет регламентировано применения геофизических методов для решения конкретных геотехнических задач и определения характеристик грунтов в нормативных документах.

Другим направлением развития нормативной базы является область скальных грунтов.

Методы определения механических характеристик скальных пород давно существуют в горном деле, однако, с присущей данной отрасли спецификой терминологии и задач.

В строительной отрасли до недавнего времени ГОСТы на скальные грунты полностью отсутствовали. Однако в последние несколько лет ситуация изменилась, в НИИОСП им. Н. М. Герсеванова были разработаны следующие стандарты:

— ГОСТ Р 70752-2020 «Грунты. Метод определения предела прочности на одноосное сжатие скальных грунтов плоскими плитами» [5];

— ГОСТ Р 70697-2023 «Грунты. Определение характеристик прочности скальных грунтов методом трехосного сжатия» [4].

В целом, в настоящее время данное направление развивается вполне успешно.

Несколько хуже обстоят дела в области определения характеристик крупнообломочных грунтов.

Долгое время вопрос определения характеристик крупнообломочных грунтов обходили стороной ввиду сложности таких определений. Тем не менее, в последнее время ситуация стала меняться — в НИИОСП был разработан первый стандарт на определение плотности скальных грунтов ГОСТ Р 70260-2022 «Грунты. Методы полевого определения плотности крупнообломочных грунтов» [3].

Кроме того, на 2024 год к разработке заявлен стандарт на определение гранулометрического состава крупнообломочных грунтов.

На стадии рассмотрения находятся вопросы разработки стандартов на определение механических характеристик крупнообломочных грунтов, содержащих фракции большого размера (свыше 60 мм).

Проблема испытаний крупнообломочных грунтов состоит в невозможности качественной подготовки поверхности грунта перед испытанием. Наличие выступающих граней крупнообломочного материала приводит к неравномерной передаче нагрузки на грунт.

В этой следует отметить выполненную в НИИОСП разработку так называемого «жидкого штампа». Суть предложенного метода заключается в использовании на контакте штампа с грунтом жидкого быстротвердеющего материала, обеспечивающего предварительное выравнивание испытываемой поверхности. Такая подготовка обеспечивает создание надежного контакта между поверхностью штампа и грунтом и позволяет равномерно распределить нагрузку под всей площадью штампа.

В настоящее время метод испытания грунтов «жидким штампом» проходит стадию апробации и внедрения.

Еще одним направлением развития нормативной базы в области испытаний грунтов является определение коэффициента бокового давления в состоянии покоя — K_0 .

Коэффициент бокового давления в состоянии покоя определяется отношением природного горизонтального напряжения к вертикальному.

$$K_0 = \frac{\sigma'_{h0}}{\sigma'_{v0}}, \quad (1)$$

где σ'_{h0} — природное горизонтальное напряжение;
 σ'_{v0} — природное вертикальное напряжение

Данный параметр необходим для определения природного напряженного состояния грунта, используемого в абсолютном большинстве геотехнических расчетов.

Известно много различных методов определения коэффициента бокового давления в состоянии покоя, представленных, в основном, в зарубежных источниках. Однако в российской нормативной базе общепризнанные методы определения K_0 отсутствуют. В связи с этим, предлагается провести экспертную оценку существующих и разработку новых методов определения коэффициента бокового давления в состоянии покоя для последующего включения в нормативную базу.

Важное место в развитии нормативной базы в области исследований грунтов занимает комплекс вопросов по качеству монолитов грунта, в него входят:

- требования к качеству монолитов грунтов для лабораторных испытаний;
- оценка качества отобранных монолитов грунтов;
- выбор способа отбора для получения монолитов грунтов необходимого качества.

Качество образцов грунтов является необходимым условием достоверного определения физико-механических характеристик грунтов, надежности геотехнических расчетов и безопасности строительства. Однако, в существующих нормах данному вопросу уделяется недостаточное внимание, в связи с этим, предлагается:

- принять единую классификацию качества грунтов и включить ее в основные нормативные документ;
- разработать таблицы рекомендуемых средств отбора монолитов грунтов необходимого класса качества;
- разработать требования к качеству монолитов грунтов в зависимости от уровня ответственности зданий и сооружений и вида испытаний грунтов.

В НИИОСП работы в данном направлении уже ведутся.

Новая, но достаточно актуальная тема связана с уникальным высотным строительством и состоит в необходимости определения модуля деформации грунтов на большой глубине. Однако, применение эталонных штамповых испытаний по глубине, ограничено

Действительно, если размер сжимаемой толщи превышает возможную глубину проведения эталонных штамповых испытаний, например, при высотном строительстве, то для определения модуля деформации приходится использовать результаты прессиометрических испытаний. При этом, для грунтов с ярко выраженными анизотропными свойствами необходимо учитывать деформационную анизотропию грунтов. Для этого, в соответствии с требованиями ГОСТ 20276.2-2020 «Грунты. Метод испытания радиальным прессиометром» [2], в формулу для определения модуля деформации вводится коэффициент анизотропии (формула 2).

$$K_a = \frac{E_{oed}}{E_{oedH}}, \quad (2)$$

где E_{oed} — одометрический модуль деформации грунта, определяемый по результатам испытания образца, вырезанного в вертикальном направлении, МПа;

E_{oedH} — одометрический модуль деформации грунта, определяемый по результатам испытания образца, вырезанного в горизонтальном направлении, МПа.

Значение данного коэффициента оказывает прямое влияние на геотехнические расчеты и выбор конструкции будущих фундаментов.

Определение коэффициента анизотропии уже предусмотрено требованиями ГОСТ 12248.4-2020 «Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия» [1] посредством проведения компрессионных испытаний образцов, вырезанных в вертикальном и горизонтальном направлениях. Вместе с тем, компрессионные испытания имеют ряд недостатков, которые связаны с отсутствием учета природных горизонтальных напряжений, измененного фазового состава грунта и влияния неровностей торцов образцов.

Учитывая важность достоверного определения данного параметра, необходимо продолжить исследования по разработке новых, более точных методов его определения с последующей апробацией и включением в нормативную базу.

При проведении современных геотехнических расчетов используются различные модели грунтов, каждая из которых требует определенного набора своих нестандартных характеристик. Однако, государственные стандарты по их определению отсутствуют, что существенно затрудняет работу изыскателей.

Временным выходом из ситуации можно считать разработанный в НИИОСП стандарт организации СТО 36554501-067-2021 «Лабораторное определение параметров моделей нелинейного механического поведения грунтов с объемным и двойным упрочнением» [6].

Данный документ наравне с государственными стандартами прошел экспертизу ТК 465 ФАУ «ФЦС» Минстроя РФ и рекомендован к применению. В дальнейшем на его основе предлагается разработать соответствующий государственный стандарт.

Заключение

В качестве актуальных направлений развития нормативной базы в области исследований грунтов можно выделить следующие:

- разработка стандартов, регламентирующих применение геофизических методов для определения характеристик грунтов в нормативных документах.
- продолжение разработки стандартов по определению характеристик скальных и крупнообломочных грунтов;
- проведение экспертизы существующих и разработка новые методов определения коэффициента бокового давления в состоянии покоя для последующего включения в нормативную базу;
- принять единую классификацию качества грунтов и включить ее в основные нормативные документ;
- разработать таблицы рекомендуемых средств отбора монолитов грунтов необходимого класса качества;
- разработать требования к качеству монолитов грунтов в зависимости от уровня ответственности зданий и сооружений и вида испытаний грунтов;
- продолжить исследования по разработке новых, более точных методов определения коэффициента анизотропии грунтов, с последующей апробацией и включением в нормативную базу;
- для определения параметров нелинейных моделей грунтов рекомендовать к использованию стандарт организации СТО 36554501-067-2021 «Лабораторное определение параметров моделей нелинейного механического поведения грунтов с объемным и двойным

упрочнением» [6], с последующей разработкой соответствующего государственного стандарта.

Список литературы

1. ГОСТ 12248.4-2020. Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия, межгосударственный стандарт, дата введения 2021-06-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС). — Изд. официальное. — Москва, Стандартинформ, 2020. — 19 с.

2. ГОСТ 20276.2-2020. Грунты. Метод испытания радиальным прессиомером, межгосударственный стандарт, дата введения 2021-01-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС). — Изд. официальное. — Москва, Стандартинформ, 2020. — 16 с.

3. ГОСТ Р 70260-2022. Грунты. Методы полевого определения плотности крупнообломочных грунтов, национальный стандарт Российской Федерации, дата введения 2022-08-05 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. официальное. — Москва, Российский институт стандартизации, 2022. — 16 с.

4. ГОСТ Р 70697-2023. Грунты. Определение характеристик прочности скальных грунтов методом трехосного сжатия, национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2023-03.23 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. официальное. — Москва, Российский институт стандартизации, 2023. — 16 с.

5. ГОСТ Р 70752-2020. Грунты. Метод определения предела прочности на одноосное сжатие скальных грунтов плоскими плитами, национальный стандарт Российской Федерации, дата введения 2023-05.22 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. официальное. — Москва, Российский институт стандартизации, 2023. — 8 с.

6. СТО 36554501-067-2021. Лабораторное определение параметров моделей нелинейного механического поведения грунтов с объемным и двойным упрочнением, стандарт организации, дата введения 2021-08-25 / Акционерное общество «Научно-исследовательский центр «Строительство». — Изд. официальное. — Москва, 2021. — 40 с.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО УНИКАЛЬНЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ — ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Труфанов А. Н.

НИИОСП им. Н.М. Герсванова АО «НИЦ „Строительство“», niiosp@niiosp.ru

Введение

В последние годы в нашей стране все больше возводится уникальных высотных зданий в самых различных инженерно-геологических условиях. Основными особенностями такого строительства являются — большая глубина расположения сжимаемой толщи, высокие природные давления, большая нагрузка от самого сооружения, а также повышенные требования к достоверности результатов изысканий. Все эти особенности усложняют процесс выполнения инженерно-геологических изысканий и ставят задачи, ответ на которые не всегда можно найти в действующих нормативных документах. Остановимся на них подробнее.

Одной из серьезных проблем при изысканиях под высотное строительство является достоверность определения деформационных характеристик грунтов на большой глубине. Поскольку наиболее достоверным методом является штамповые испытания его применение ограничено глубиной 20 м. С увеличением глубины надежность результатов резко падает в связи с нарушением забоя скважины при спуско-подъемных операциях зачистного устройства.

Для решения этой проблемы была разработана специальная конструкция штампа со встроенным зачистным устройством (рис. 1) [8].

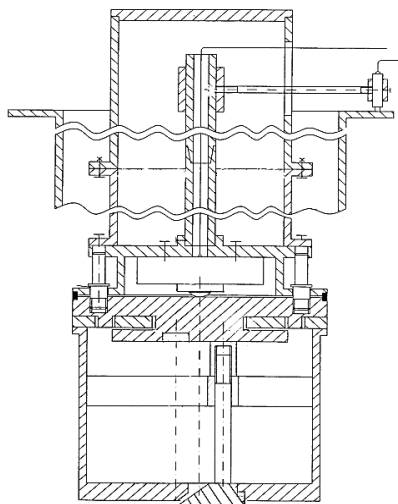


Рисунок 1. Конструкция штампа с зачистным устройством

В процессе изысканий на одном из объектов был установлен рекорд по глубине испытаний в 40 м. Однако и этой глубины недостаточно для решения задач высотного строительства, поскольку глубина сжимаемой толщи может достигать до 100 и более метров. В качестве единственной альтернативы прямым определениям модуля деформации на глубинах свыше 40 м являются pressiометрические испытания.

Однако, данный вид испытаний имеет существенный недостаток — модуль деформации определяется не в вертикальном, а в горизонтальном направлении. Для грунтов с выраженной анизотропией свойств это приводит к серьезным ошибкам в определении модуля деформации. Учитывая данное обстоятельство в расчетную формулу модуля деформации в ГОСТ 20276.2 [1] был введен коэффициент анизотропии (1).

$$E = K_a(1 + \mu)r_0 \frac{\Delta p}{\Delta r} \quad (1)$$

В настоящее время существуют различные методы определения K_a , к ним относятся — метод пенетрации [4], ультразвуковое просвечивание в лаборатории [5], полевые геофизические исследования МСП [6], компрессионные испытания (ГОСТ 12248.4) [2] и другие.

Лабораторный метод пенетрации для определения коэффициента анизотропии [4] носит неоднозначный характер, поскольку независимо от направления пенетрации деформации сдвига и уплотнения происходят одновременно во всех направлениях. В связи с этим достоверность определения K_a данным методом вызывает сомнения

Сейсмоакустическое межскважинное просвечивание — МСП [6], является косвенным методом и требует обязательного сопоставления с результатами прямых испытаний. В данный момент метод проходит апробацию.

Лабораторный метод ультразвукового просвечивания [5] также относится к косвенным методам и требует сопоставления с результатами прямых испытаний.

Единственный нормированный метод определения K_a на сегодня представлен в ГОСТ 12248.4, на компрессионные испытания грунтов. Данный метод является прямым и позволяет наиболее достоверно оценить деформационную анизотропию грунта. Однако, его достоверность напрямую зависит от качества монолитов грунтов, поставляемых в лабораторию.

К основным факторам, влияющим на состояние монолитов, можно отнести — механические повреждения в процессе пробоотбора, изменение влажности во время транспортировки и хранения — все это отражается на качестве монолитов.

На все перечисленные выше факторы мы в состоянии повлиять, совершенствуя способы и технические средства отбора, условия транспортировки и хранения монолитов. Однако существует фактор, на который мы повлиять не в состоянии — это снятия природных напряжений, и связанное с этим разуплотнение грунта. В особенности это касается грунтов, залегающих на больших глубинах. Монолиты таких грунтов испытывают максимальный перепад давлений в процессе пробоотбора. В результате, происходит неизбежное разуплотнение монолита за счет выделения из поровой жидкости газовой фазы.

По результатам выполненных в лаборатории «Методов исследований грунтов» НИИОСП им. Н. М. Герсевича исследований [9, 10] было зафиксировано существенное влияние газовой фазы на сжимаемость образцов. Испытания проводились на образцах близнецах с различным процентным содержанием газовой фазы. На рисунках 2 и 3 представлены графики консолидационных и компрессионных испытаний образцов суглинков с различным содержанием газовой фазы. Стоит отметить существенное снижение сжимаемости грунта с увеличением относительного содержания газовой фазы. Нижняя компрессионная кривая соответствуют степени влажности равной 1, верхняя — 0,85. С превышением значения степени влажности 0,85 ед. сжимаемость возрастала, а со снижением — увеличивалась.

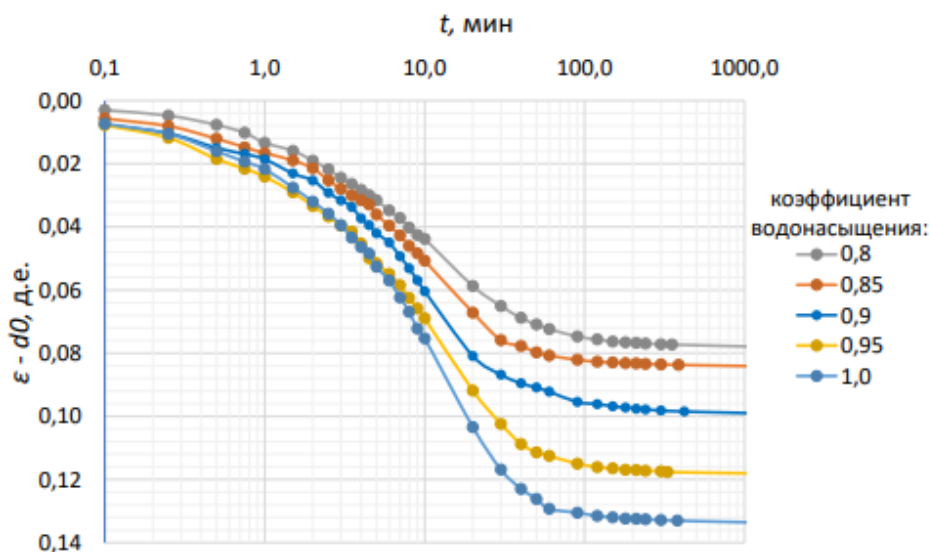


Рисунок 2. Графики консолидационных испытаний

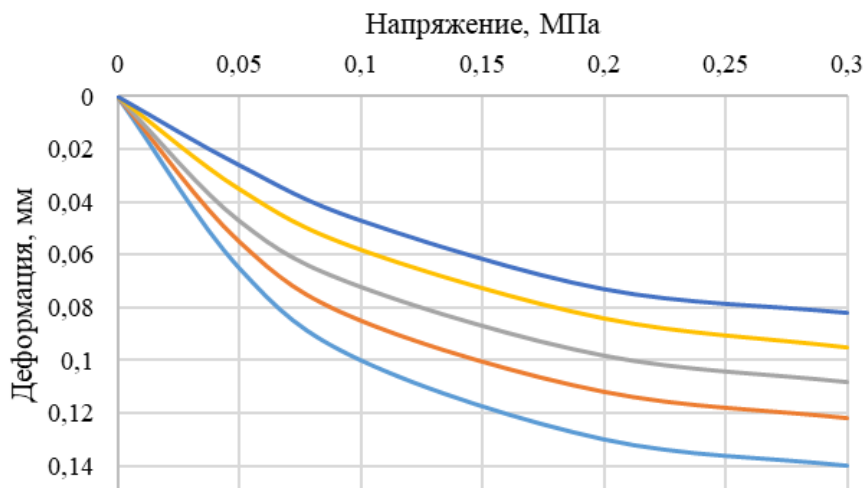


Рисунок 3. Компрессионные кривые

Для исключения влияния, выделившейся в результате пробоотбора газовой фазы, на определение механических характеристик грунтов в лаборатории «Методов исследований грунтов» НИИОСП им. Н. М. Герсевича был разработан метод восстановления фазового состава или метод «ВФС». В настоящее время метод реализован при проведении трехосных испытаниях и включен в ГОСТ 12248.3 [3].

Однако, для компрессионных и консолидационных испытаний грунтов восстановление фазового состава образца в нормативных документах не предусмотрено. Вместе с тем, результаты данных испытаний используются для определения ряда параметров, без которых выполнение современных геотехнических расчетов для уникального и высотного строительства невозможно.

В связи с этим, в лаборатории «Методов исследований грунтов» НИИОСП им. Н. М. Герсевича в настоящее время разрабатывается метод восстановления фазового состава образцов при компрессионных и консолидационных испытаниях. Метод предусматривает создание высоких значений порового давления, обеспечивающих полное растворение газовой фазы в поровой жидкости. С этой целью НПО «ГЕОТЕК» разработал камеру одометра, закрытого типа (рис. 4), обеспечивающую возможность восстановления фазового состава образца. В настоящее время идут испытания данного оборудования с отработкой методики поведения испытаний.

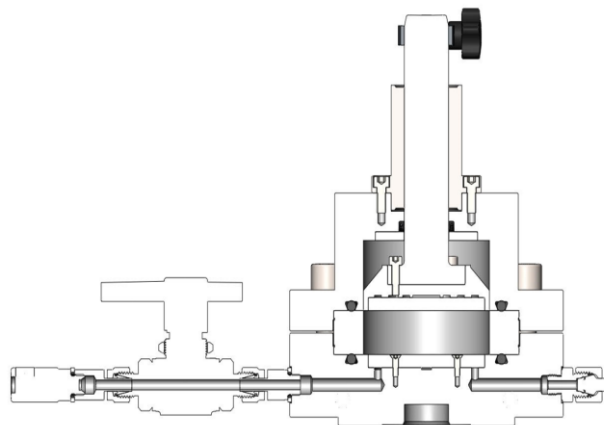


Рисунок 4. Разрез камеры одометра конструкции НПО «Геотек» с возможностью проведения испытаний с ВФС

Геотехнические расчеты оснований высотных зданий требуют использования самых современных программных продуктов, таких как — Hardening Soil (HS), Hardening Soil with small strain (HSS), Soft Soil Creep (SSC) и других. Однако, государственные стандарты на определение большинства параметров грунтов, необходимых для данных моделей в настоящее время отсутствуют.

В качестве альтернативы ГОСТу, как временное решение вопроса, может быть предложен стандарт организации СТО 36554501-067-2021 для определения параметров нелинейных моделей грунтов, разработанный в НИИОСП им. Н. М. Герсеванова [7]. Данный стандарт прошел сертификацию ТК 465 ФАУ «ФЦС» Минстроя РФ и может применяться наравне с государственными стандартами. В настоящее время он активно используется на различных объектах, включая уникальные объекты высотного строительства.

Выводы

В процессе проведения инженерно-геологических изысканий необходимо учитывать особенности высотного строительства, в связи с чем предлагается:

— для глубин изысканий до 40м рекомендовать испытания плоскими штампами со встроенным зачистным устройством;

— для глубин свыше 40м в качестве альтернативы штамповым испытаниям предлагается использовать метод прессиометрических испытаний;

— для корректировки результатов прессиометрических испытаний анизотропных грунтов использовать коэффициент анизотропии — K_a , определяемый в соответствии с требованиями ГОСТ 12248.4-2020;

— продолжить исследования по разработке методов восстановления фазового состава грунтов при проведении компрессионных и консолидационных с перспективой внесения соответствующих изменений в действующие нормативные документы;

— для определения параметров нелинейных моделей грунтов рекомендовать использование стандарта организации НИИОСП им. Н. М. Герсеванова — СТО 36554501-067-2021.

Список литературы

1. ГОСТ 20276.2-2020. Грунты. Метод испытания радиальным прессиометром. — Взамен ГОСТ 20276-2012: дата введения 2021-01-01. М.: Стандартиформ, 2020. — 16 с.

2. ГОСТ 12248.4-2020. Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия. — Взамен ГОСТ 12248 — 2010 подраздел 5.4: дата введения 2021-06-01. М.: Стандартиформ, 2020. — 19 с.

3. ГОСТ 12248.3-2020. Межгосударственный стандарт грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия. Дата введения 2021-06-01.

4. Лушников, В. В., Вулис, П. Д. Некоторые результаты исследования анизотропии грунтов методами компрессии и пенетрации / Журнал «Основания, фундаменты и механика грунтов», №3, С. 26. 1972

5. Пиоро Е.В., Ошкин А.Н. Взаимосвязи акустических характеристик и показателей физических и деформационных свойств глинистых грунтов // Вестник МГУ. Серия 4., Геология. 2011, № 6. С.71-74.

6. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. «Правила производства геофизических исследований»: дата введения 2004-07-01. М.: ПНИИИС Госстроя России, 2004. - 50 с.

7. СТО 36554501-067-2021. Лабораторное определение параметров моделей нелинейного механического поведения грунтов с объемным и двойным упрочнением: стандарт организации: дата введения 2021-08-25 / Акционерное общество «Научно-исследовательский центр «Строительство». — Изд. официальное. — Москва, 2021. — 40 с.

8. Труфанов А. Н., Александров А. Т., Климов В Я., Ханович И. И., Букин А. Г. Способ для испытания грунтов плоским штампом в скважине и устройство для него осуществления: Патент RU2611045C2 Российская Федерация, E02D1/00 (2006.01). N 2014127728.

9. Труфанов А. Н. и др., Исследование влияния фазового состава на консолидационно-фильтрационные процессы в грунтах: Научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа. Номер государственного учета: АААА-А20-120060390030-4, М., 2021.

10. Труфанов А.Н., Илларионова Ю.А., Влияние газовой фазы на консолидационно-фильтрационные процессы в грунтах Журнал «Промышленное и гражданское строительство», №4, 2022 с.с.83-88.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МОНОЛИТОВ ГРУНТА И СПОСОБЫ ЕГО ПОВЫШЕНИЯ

Труфанов А. Н., Кузьменко М. Д.

НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ „Строительство“», niosp@niosp.ru

Введение

Обеспечение качественных образцов для выполнения лабораторных испытаний является важной задачей инженерных изысканий, поскольку от этого зависит надежность определения физико-механических характеристик грунтов, достоверность геотехнических расчетов, выбор проектных решений и безопасность строительства. безопасность строительства.

Особенно остро вопрос отбора образцов высокого качества стоит при уникальном строительстве, где цена ошибки резко возрастает.

Проблемой качества образцов интересовались многие исследователи, среди них были такие ученые, как К. Терцаги [11], Т. Лунне [9], Андерсен и Колстад [4] и другие.

Основная часть

При отборе из массива монолит может существенно изменить свои характеристики прежде всего за счет снятия природных давлений и механических повреждений в результате пробоотбора. Образцы плохого качества, в свою очередь, могут существенно занижать полученные при испытаниях деформационные и прочностные характеристики грунтов.

Важной задачей в связи с этим является количественная оценка качества образца. Ниже приведена сводная таблица методов определения классов качества образцов грунта (таблица 1).

Таблица 1. Сводная таблица методов определения классов качества образцов

Год	Метод	Параметр	Превосходное качество	Очень плохое качество
1979, 1988, 1996	Относительная объемная деформация (ε_{v0}) при бытов (σ_{v0}) (Andresen and Kolstad, 1979; Lacasse and Berre, 1988) (Terzaghi et al., 1996)	ε_{v0}	<1%	>8%
1997	Относительное изменение коэффициента пористости ($\Delta e / e_0$) (Lunne et al., 1997)	$\Delta e / e_0$	<0,04(OCR 1-2) <0,03 (OCR 2-4)	>0,14(OCR 1-2) >0,10 (OCR 2-4)
2013	Отношение значений модулей деформации (Karlsrud and Hernandez-Martinez, 2013)	M_0/M_2	>2,0	<1,0
1963-2002	Отношение остаточного эффективного напряжения (σ'_s) к природному эффективному напряжению (σ'_{ps}) (Ladd and Lambe, 1963; Hight et al., 1992; Ladd and DeGroot, 2003)	σ'_s/σ'_{ps}	$\approx 0,25-0,50$ (OCR>1,5) $\approx 0,05-0,25$ (OCR<1,5)	
1996-2000	Отношение остаточного порового давления (u_r) к природному эффективному напряжению (Tanaka et al., 1996; Tanaka, 2000)	u_r/σ'_{v0}	$\approx 1/5-1/6$	
2007	Скорость сдвиговой волны (V) (Landon et al., 2007), V_{vh} измеряется в полевых условиях и V_{SCPTU} с помощью SCPTU	V_{vh}/V_{SCPTU}	$\geq 0,60$	<0,35

Первый метод оценки качества образцов был предложен Андерсенем и Колстадом [4] и заключался в измерении объемной деформации при достижении природного вертикального эффективного напряжения σ'_{v0} в трехосных испытаниях.

Класс качества определялся по полученному значению относительной объемной деформации образца по таблице 2.

Данная классификация была поддержана Терцаги [11], но широкого распространения не получила ввиду проблем с определением объемных деформаций при трехосных испытаниях и трудоемкости их проведения. Кроме того, предложенная классификация не учитывала степень переуплотнения грунта.

Таблица 2. Классы качества в зависимости от объемной деформации
(Андерсен и Колстад, 1979)

Относительная объемная деформация, %	Класс качества образца
<1	A
1-2	B
2-4	C
4-8	D
>8	E

Другой способ оценки качества образцов грунта был предложен Лунне [9]. Его классификация основывается на определении относительного изменения коэффициента пористости образца после его уплотнения природным вертикальным напряжением в условиях компрессионного сжатия. Методика Лунне [9] менее трудоемка, а предложенная классификация учитывает степень переуплотнения грунта (таблица 3).

Таблица 3. Классы качества образцов по Лунне

Коэффициент переуплотнения <i>OCR</i>	Качество образцов в зависимости от $\Delta e/e$			
	I	II	III	IV
1-2	$\Delta e/e \leq 0,04$	$0,04 < \Delta e/e \leq 0,07$	$0,07 < \Delta e/e \leq 0,14$	$\Delta e/e > 0,14$
2-4	$\Delta e/e \leq 0,03$	$0,03 < \Delta e/e \leq 0,05$	$0,05 < \Delta e/e \leq 0,10$	$\Delta e/e > 0,10$

Примечания:
1. Качество образцов: I — хорошее, II — удовлетворительное; III — плохое; IV — очень плохое

Представленная классификация на данный момент является одной из самых распространенных и широко используется в зарубежной практике, а также в некоторых отечественных нормативных документах, таких как СП 23.13330.2018 [2], СТО 36554501-067-2021 [3].

Приведенная в СП 23.13330.2018[2] таблица фактически полностью соответствует классификации Лунне [9].

В расширенном варианте, включающем грунты с коэффициентом переуплотнения выше $OCR > 4$, таблица Лунне представлена в СТО 36554501-067-2021 [3] (таблица 4).

Таблица 4. Классы качества образцов (СТО 36554501-067-2021)

Коэффициент переуплотнения <i>OCR</i>	Качество образцов в зависимости от $\Delta e/e$			
	I	II	III	IV
1-2	$\Delta e/e \leq 0,04$	$0,04 < \Delta e/e \leq 0,07$	$0,07 < \Delta e/e \leq 0,14$	$\Delta e/e > 0,14$
2-4	$\Delta e/e \leq 0,03$	$0,03 < \Delta e/e \leq 0,05$	$0,05 < \Delta e/e \leq 0,10$	$\Delta e/e > 0,10$
4-6	$\Delta e/e \leq 0,02$	$0,02 < \Delta e/e \leq 0,035$	$0,035 < \Delta e/e \leq 0,07$	$\Delta e/e > 0,07$

Примечания:
1. Качество образцов: I — хорошее, II — удовлетворительное; III — плохое; IV — очень плохое

Следует отметить, что предложенный Лунне [9] способ не лишен недостатков:

- при компрессионном сжатии не учитывается влияние на сжимаемость образца неровностей торцевых поверхностей;
- восстановление природного напряженного состояния производится только по одной вертикальной оси, без учета разуплотнения образца в горизонтальном направлении.
- не учитывается возможная потеря влажности и пористости грунта в результате его высыхания.

Рассмотрим альтернативные способы оценки качества образцов.

Карлсруд [6] предложил оценивать качество образцов по отношению максимального модуля деформации γ , в диапазоне нагрузок ниже давления предварительного уплотнения — M_0 , и минимального при давлениях выше давления предварительного уплотнения — M_L . Классификация по Карлсруду приведена в таблице 5.

Таблица 5. Классификация качества образцов (Карлсруд, 2013)

Качество образца	M_0/M_L
Очень хорошее — отличное	>2
Хорошее — удовлетворительное	1,5-2
Плохое	1-1,5
Очень плохое	<1

Еще один способ определения качества образца основан на определении остаточного эффективного напряжения, равного по величине, как следует из принципа эффективных напряжений Терцаги, отрицательному поровому давлению в образце после его извлечения на поверхность.

Данный способ в разное время предложили Ладд [7] и Танака [10].

Качество образца и в том, и в другом случае, определяется по отношению остаточного эффективного напряжения в образце к расчетной величине вертикального эффективного напряжения в условиях природного залегания.

К недостаткам данного метода следует отнести сложность измерения порового давления в разуплотненном образце грунта. Кроме того, выбор отношения среднего природного эффективного напряжения к вертикальному расчетному эффективному напряжению в качестве критерия качества образца является не вполне корректным.

Свою очередь геофизики предложили свой метод решения данной задачи. Так, Лэндон [8] предложил оценивать качество образцов по отношению скорости поперечных волн в образце и в массиве. Следует отметить, что метод является косвенным и в любом случае требует сопоставления с результатами прямых испытаний.

Лабораторией «Методов исследований грунтов» НИИОСП им. Н. М. Герсеева разработан иной подход к оценке качества образца — предлагается использовать классификацию Лунне [9], однако величину относительного изменения коэффициента пористости определять расчетным путем, используя значение степени влажности образца S_r .

В основе данного предложения лежит допущение о том, что ниже уровня подземных вод грунт находится в полностью водонасыщенном состоянии, а изменение коэффициента пористости монолита в результате пробоотбора определяется объемом выделившегося газа.

При этом, относительное изменение коэффициента пористости предлагается определять по формуле:

$$\frac{\Delta e}{e_0} = \frac{(1-S_r)}{S_r} \quad (1)$$

К достоинствам данного метода следует отнести простоту определения, не требующего дополнительных затрат времени и на проведения испытаний грунтов, к недостаткам - ограничение области применения водонасыщенными грунтами. Вместе с тем, для задач высотного строительства метод вполне применим, поскольку при большой глубине сжимаемой толщи грунты основания практически всегда залегают ниже УПВ и, как правило, находятся в полностью водонасыщенном состоянии.

К возможным причинам нарушения монолитов относятся:

- снятие действующих природных напряжений;
- трение по боковой поверхности керна во время вращения трубы;
- трение по боковой поверхности керна при поступательном движении трубы;
- затирание керна вращением коронки на месте для отделения пробы от массива;
- нарушение керна при выдавливании из кернаприемной трубы;
- изменение влажности монолита во время транспортировки и хранения.

Как следует из приведенного перечня, большинство причин нарушений монолитов связано с процессом пробоотбора, а значит от выбора способа и технических средств, используемых для отбора монолитов грунтов.

Подобный подход закреплен в ISO 22475-1:2006 [5], где класс качества образцов зависит от категории методов отбора, как показано в таблице 6.

Таблица 6. Классы качества образцов для лабораторных испытаний и применяемые категории методов отбора образцов

Свойства грунтов	Классы качества образцов				
	1	2	3	4	5
Основные свойства грунтов: <ul style="list-style-type: none"> — размер частиц — влажность — плотность, степень плотности, проницаемость — сопротивление срезу, деформативность 	*	*	*	*	
Свойства, которые могут быть определены дополнительно: <ul style="list-style-type: none"> — последовательность слоев — граница между слоями — широкая — граница между слоями — узкая — пределы Аттерберга, пористость, проницаемость — влажность — плотность, степень плотности, проницаемость — сжимаемость, сопротивление срезу 	*	*	*	*	*
Категории методов отбора образцов в соответствии с EN ISO 22475-1	A				
				B	
					C

Здесь необходимый класс качества монолита определяется набором необходимых характеристик грунта, которые должны быть получены из данного образца. Чем больше набор характеристик, тем выше должен быть класс качества.

В свою очередь, для получения монолитов грунтов необходимого класса качества, предлагается три категории методов отбора проб:

- категория А: возможно получить образцы класса качества 1-5;
- категория В: возможно получить образцы класса качества 3-5;
- категория С: возможно получить образцы класса качества 5.

К сожалению, в российской нормативно-технической документации отсутствуют общепринятые требования к определению способа отбора для получения образцов грунта необходимого класса качества.

Выводы

Качество образцов грунтов является необходимым условием достоверного определения физико-механических характеристик грунтов, надежности геотехнических расчетов и безопасности строительства. В связи с этим предлагается:

- принять единую классификацию качества грунтов и включить ее в основные нормативные документы;
- разработать таблицы рекомендуемых средств отбора монолитов необходимого класса качества;
- разработать требования к качеству монолитов грунтов в зависимости от уровня ответственности зданий и сооружений и вида испытаний грунтов.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 22475-1-2017. Геотехнические исследования и испытания. Методы отбора проб и измерения подземных вод. Часть 1. Технические принципы для регулирования : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2017-11-16 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. официальное. — Москва : Стандартинформ, 2017. — 110 с.
2. СП 23.13330.2018. Основания гидротехнических сооружений : свод правил : дата введения 2019-02-14 / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства. — Изд. официальное. — Москва : Стандартинформ, 2019. — 102 с.
3. СТО 36554501-067-2021. Лабораторное определение параметров моделей нелинейного механического поведения грунтов с объемным и двойным упрочнением : стандарт организации : дата введения 2021-08-25 / Акционерное общество «Научно-исследовательский центр «Строительство». — Изд. официальное. — Москва, 2021. — 40 с.
4. Andresen, A. and P. Kolstad (1979). The NGI 54-mm Samplers for Undisturbed Sampling of Clays and Representative Sampling of Coarser Materials. Proc. of the Int. Symp. on Soil Sampling, Singapore, 13-21
5. ISO 22475-1:2006 «Geotechnical investigation and testing — Sampling methods and groundwater measurements — Part 1: Technical principles for execution», IDT
6. Karlsrud K, Hernandez-Martinez FG (2013) Strength and deformation properties of Norwegian clays from laboratory tests on highquality block samples. Can Geotech J 50(12):1273—1293
7. Ladd, C. C. and D. J. DeGroot (2003). Recommended practice for soft ground site characterization: Arthur Casagrande Lecture. 12th PCSMGE, MIT, Cambridge, Massachusetts.

8. Landon, M., D. DeGroot and T. Sheahan (2007). Nondestructive Sample Quality Assessment of a Soft Clay Using Shear Wave Velocity. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 133(4), 424-432
9. Lunne, T., T. Berre and S. Strandvik (1997). Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay. *Proc. of the Symp. on Recent Develop. in Soil and Pavement Mech.*, Rio de Janeiro, Brazil, 81-102
10. Tanaka, H., P. Sharma, T. Tsuchida and M. Tanaka (1996). Comparative Study on Sample Quality Using Several Types of Samplers. *Soils and foundations* 36(1), 57-68
11. Terzaghi, K., R. B. Peck and G. Mesri (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Wiley.

ВЫЯВЛЕНИЕ ПОЛОСТЕЙ НА ГРАНИЦЕ ГРУНТ-ОБДЕЛКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСА ПРИЗНАКОВ ПРИ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Уткина А. В., Набатов В. В.

НИТУ «МИСИС», г. Москва, alex-av7@mail.ru

Одной из наиболее существенных проблем при строительстве и эксплуатации тоннелей метрополитенов является наличие полостей в заобделочном пространстве. Причинами их образования могут быть: некачественный первичный тампонаж; влияние геологических процессов и объектов (карст, суффозия, изменение гидрогеологической обстановки); процессы подземного строительства вблизи тоннеля; вибрационное воздействие проходящих составов.

Присутствие полости может приводить к тому, что нагрузка на обделку на одних участках отсутствует, а на других оказывается избыточной. В случае достаточной глубины заложения тоннеля, а также большой протяжённости полости, это может приводить к деформациям и растрескиванию обделки, смещению рельсового пути. Деформации в грунтовом массиве вблизи полости могут влиять на окружающую застройку.

Описываемую проблему принято решать с помощью геофизического выявления полостей в заобделочном пространстве, с последующим их тампонажом через технологические отверстия. Наиболее распространёнными решениями здесь является ряд сейсмоакустических методов, а также георадиолокация.

Сейсмоакустические методы представлены двумя подходами — Impulse Response (IR) и Impact-Echo (IE) [1, 2, 3], в основе которых регистрация и обработка отклика обделки на ударное воздействие. Отдельно также стоит упомянуть ультразвуковое обследование обделок [4], реализующееся, например, с помощью ультразвуковых томографов [5]. Проблемой этого подхода является зависимость от контактных условий и трудоёмкость полевой работы. Георадиолокационное обследование заобделочного пространства основано на излучении, и приёме сверхширокополосной электромагнитной волны со средней частотой спектра вблизи 1-2 ГГц. Достоинством метода является возможность детального исследования отдельных участков, высокая разрешающая способность метода, довольно высокая скорость полевой работы, позволяющая снимать протяжённые участки тоннеля [6, 7]. Некоторые проблемы

здесь может создавать техническая инфраструктура (кабели, оборудование), мешающая съёмке и создающая помехи. Однако в большинстве случаев в тоннеле можно найти участок поверхности, позволяющий снимать протяжённые, вытянутые вдоль оси тоннеля профили.

Более существенной проблемой георадиолокации является трудоёмкость и субъективность интерпретации получаемых данных, на настоящий момент фактически производящейся вручную. Часто возникает ситуация, когда нужно обрабатывать километровые участки тоннелей, снятые в несколько профилей, что делает сложность интерпретации данных актуальной проблемой.

Перспективный подход при решении этой проблемы подразумевает использование признаков, вычисляемых при обработке георадиолокационных трасс, а также их комплексов с целью снижения трудоёмкости. С целью реализации подобного подхода был произведен ряд георадиолокационных измерений в тоннелях московского метрополитена. Измерения производились на участках, где наличие либо отсутствие полостей в заобделочном пространстве было оценено с помощью сейсмоакустических исследований методом IR. В соответствии с принятой терминологией ниже по тексту эти участки будут обозначаться как Positive (т.е. цель, наличие полости) и Negative (т.е. отсутствие цели, отсутствие полости).

Георадиолокационные профили были получены помощью георадара «ОКО-2» со АБ-1200 (1200 МГц). Первичный анализ радарограмм показал, что основным сигналом-идентификатором, указывающими на наличие полости, является так называемый «звон». Его характерными особенностями являются: высокая амплитуда, малое затухание и гармонический характер волновой формы. Примеры этих волновых картин, а также способы предварительной обработки радарограмм описаны в [8, 9]. Подобный первичный анализ позволил выделить ряд признаков, вычисляемых при обработке георадиолокационных трасс, потенциально способных разделять ситуации Positive и Negative.

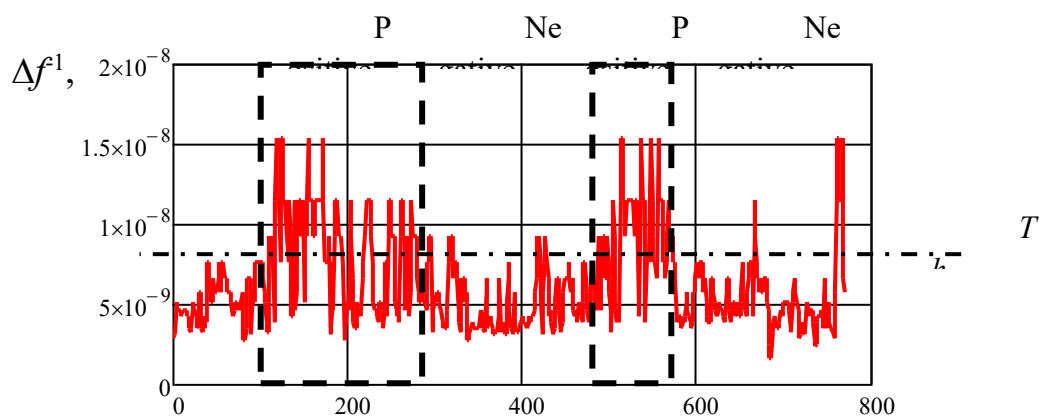


Рис. 1. Пример результатов вычисления значений признака Δf^1 , N — номер трассы, Th — один из вариантов значений порога, по которому принимается решение

Отобранные признаки были разделены на три группы [10]: спектральные, динамические и статистические. Примерами спектральной группы могут быть: Q -фактор; обратная ширина спектрального пика, Δf^1 (составляющая Q -фактора, признак включен с целью оценки необходимости включения либо Q -фактора либо его составляющих); частота спектрального максимума, f_{max} (составляющая Q -фактора); эффективная ширина спектра, F_s . Примеры динамической группы: сумма значений амплитуд огибающей, H_s ; энергия сигнала, E_s . Примеры статистической группы: среднеквадратическое отклонение, σ ; размах между

разрядами гистограммы, ΔA ; эксцесс, γ ; протяжённость корреляционных связей, τ (не является аналогом F_3 , поскольку рассчитывалась по трассе с другой предварительной обработкой).

При исследовании поведения признаков по данным, полученным в тоннелях, стало ясно, что при принятии решения по пороговому правилу практически все признаки дают как ошибки «ложное срабатывание», так и ошибки «пропуск цели». Оптимальная предварительная обработка позволяет уменьшить величину этих ошибок, но в большинстве случаев не позволяет убрать их полностью. На рис. 1 представлен типичный пример изменения вдоль по профилю одного из признаков — Δf^1 . На рисунке выделены участки профиля, соответствующие случаям Positive и Negative, а также дан один из вариантов порогового значения Th . Выходом из этой ситуации может быть использование комплексирования нескольких признаков.

В процессе проведения исследований был отобран ряд критериев, с помощью которых можно было бы принимать решение о включении признака в эффективный комплекс.

1. Интенсивность аномалии описывает различие между аномальными и внеаноамальными значениями признака:

$$\mu = \frac{\bar{A}_A - \bar{A}_\Phi}{\sigma_\Pi},$$

где \bar{A}_A — среднее значение признака для трасс снятых на участках где есть полость, \bar{A}_Φ — среднее значение признака на участках где нет полости, σ_Π — с.к.о. признака на участках где нет полости.

2. Надёжность разделения. Надёжность разделения позволяет выбирать признаки в меньшей степени подверженные ошибкам «ложное срабатывание» и «пропуск цели». В качестве характеристики, описывающей надёжность была выбрана характеристика ROC-кривой, так называемый коэффициент Джини:

$$G = 2 \cdot \text{AUCROC} - 1,$$

где AUCROC — площадь под ROC-кривой.

Таблица 1. Значения критериев информативности признаков для различных объектов и участков обследования

Признак	Коды объектов и участков			
	01 У1	01 У2	02 У1	03 У1
G				
Δf^1	0,83	0,7	0,37	0,92
ΔA	0,96	0,76	0,47	0,025
H_s	0,98	0,83	0,64	1
τ	0,32	0,28	0,64	0,071
μ				
Δf^1	3,9	2,8	0,58	6,1
ΔA	7,5	5,9	1,63	0,07
H_s	6,7	3,9	2,3	10,7
τ	0,5	0,4	2,8	0,056

Значения G изменяются в пределах от 0 (случайное угадывание) до 1 (идеальный классификатор). Причиной выбора характеристики была независимость оценки от значения порога, разделяющего случаи Positive и Negative.

3. Независимость признаков. Оценка независимости признаков необходима для того, чтобы исключить ситуации, когда два (или больше) признака одинаково реагируют на аномалию, либо на помехи. Для оценки независимости признаков использовались значения модулей коэффициентов линейной корреляции $|R|$.

Анализ графиков изменчивости различных признаков вдоль по профилю, а также оценка информативности признаков по критериям позволили сделать следующие выводы.

В рамках одного объекта обследования информативность признака варьирует слабо. Однако съёмка на другом объекте (другое время эксплуатации, другой конструктив обделки, другой характер поверхности и состояние поверхности) приводила к тому, что информативность признаков могла резко меняться. Это показывают значения оценок G и μ , представленные в таблице 1. Оценки получены для различных объектов и различных участков внутри этих объектов. Участки обозначены кодом — например, «O1 Y2» означает объект № 1, участок №2.

Можно заметить, что для объекта №1 высокую надёжность G обеспечивают признаки ΔA , H_s и Δf^1 , в то время как для объекта №2 для включения в комплекс больше подходят H_s и τ (высокие значения критериев выделены рамками). При этом в рамках одного объекта различные участки показывают одинаковое поведение признаков (столбцы «O1 Y1» и «O1 Y2»). Стоит так же отметить, что интенсивность аномалии μ ведёт себя подобным же образом (см. таблицу 1). В большинстве случаев признаки не являлись идеальными классификаторами, и практически всегда реализовали либо один из типов ошибок («ложное срабатывание» и «пропуск цели») либо оба.

По факту выявленных особенностей поведения признаков можно предположить следующий принцип разработки и использования комплекса. На конкретном объекте, на эталонных участках, где известен факт наличия либо отсутствия полости получают записи георадиолокационных трасс. На основании этих данных производится отбор информативных признаков и подбор оптимальной предварительной обработки данных, после чего настроенный комплекс используется на всём остальном участке. Подобный подход позволит существенно снизить нагрузку на интерпретатора и ускорит камеральный цикл работ.

При разработке непосредственно принципа объединения значений признаков в комплекс было опробовано несколько подходов, в частности, весовое суммирование и кластерный анализ. Наибольшую эффективность при разделении случаев Positive и Negative показал кластерный анализ, с использованием в качестве меры сходства степенного расстояния с оптимальным отношением степеней от 2 до 6.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Для автоматического распознавания георадиолокационных радарограмм с целью выявления полостей в заобделочном пространстве желательно использовать не один признак, а комплекс признаков, способных компенсировать ошибки и стабильно выделять участки, указывающие на полость.

2. Для принятия решение о наличии полости требуется составлять эффективные комплексы. При этом критериями отбора признаков в эффективный комплекс могут выступать оценки интенсивности аномалии, надёжности разделения и независимости признаков.

3. Поскольку информативность может существенно изменяться от объекта к объекту, подразумевается настройка комплекса (отбор признаков, подбор оптимальной

предварительной обработки данных, подбор параметров самого комплексования) на эталонах, где факт наличия либо отсутствия полости известен.

Список литературы

1. Hai-Xiang Tang, Shi-Guo Long, Ting Li Quantitative evaluation of tunnel lining voids by acoustic spectrum analysis // *Construction and Building Materials*. 2019, vol. 228, article 116762. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116762
2. Fei Yao, Chen Guangyu Time-frequency analysis of impact echo signals of grouting defects in tunnels // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2019, vol. 55, no. 8, pp. 581-595. DOI: 10.1134/S1061830919080102
3. Voznesenskii A.S., Nabatov V.V. Identification of filler type in cavities behind tunnel linings during a subway tunnel surveys using the impulse-response method // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2017, vol. 70, pp. 254-261. DOI: 10.1016/j.tust.2017.07.010
4. Azari H., Nazarian S., Yuan D., 2014. Assessing sensitivity of impact echo and ultrasonic surface waves methods for nondestructive evaluation of concrete structures. *Construction and Building Materials*. Vol. 71, pp. 384-391.
5. Шилин А.А., Кириленко А.М., Знайченко П.А. Комплексные обследования бетонных и железобетонных обделок транспортных тоннелей ультразвуковым и ударно-акустическим методами // *Транспортное строительство*. 2014, № 5. С. 12-14.
6. Андрианов С. В. Мониторинг состояния заобделочного пространства горных выработок методом георадиолокации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2019. — № 5. — С. 124-132. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-124-132.
7. Hai Liu, Xiongyao Xie, Motoyuki Sato Accurate thickness estimation of a backfill grouting layer behind shield tunnel lining by CMP measurement using GPR / 14th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR). 2012. DOI: 10.1109/ICGPR.2012.6254848
8. Набатов В. В., Уткина А. В. Анализ поведения добротности и ее составляющих при георадиолокационном выявлении полостей в массиве пород на границе «обделка-грунт» // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2022. — № 6. — С. 142-155. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_142
9. Набатов В. В., Вознесенский А. С. Георадиолокационное обнаружение полостей в заобделочном пространстве тоннелей метрополитенов // *Горный журнал*. — 2015. — № 2. — С. 15-20. DOI: 10.17580/gzh.2015.02.03
10. Набатов В. В., Уткина А. В. Специфика изменчивости признаков зарегистрированных сигналов при георадиолокационном выявлении полостей в массиве пород на границе «обделка-грунт» // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2023. — № 7. — С. 52-63. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_52.

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОРАДИАЦИОННЫХ И АКУСТОЭМИССИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ

¹Шейнин В. И., ²Блохин Д. И.

¹НИИОСП им. Н. М. Герсевича АО «НИЦ „Строительство“», г. Москва, niiosp@niiosp.ru

²Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова РАН, г. Москва, ipkon-dir@ipkonran.ru

При разработке современных систем неразрушающего контроля напряженно-деформируемого состояния строительных конструкций и породных массивов перспективным направлением является использование физических методов измерений. Современные высокочувствительные детекторы акустических и электромагнитных излучений позволяют с достаточной точностью измерять вариации их параметров. В настоящее время предложен ряд методик, основанных на использовании указанных физических эффектов, инициируемых механическими процессами в твердых телах и позволяющих получать информацию об этих процессах [1-4].

Однако, однозначная идентификация изменений механического состояния геоматериалов на основе таких измерений наталкивается на значительные трудности: сложность построения адекватных теоретических моделей, описывающих зависимости измеряемых физических параметров от изменений напряжений и деформаций, сложность решения «обратных» задач, а также наличие фоновых, шумовых составляющих в регистрируемых сигналах.

Для оценивания параметров и диагностики деформационных процессов в геоматериалах необходим комплексный подход, в котором рассматриваемые процессы исследуются одновременно различными методами, что дает возможность наиболее эффективного использования потенциальных возможностей каждого из них на различных стадиях процесса деформирования и при различных режимах нагружения.

В работах НИИОСП им. Н. М. Герсевича [5-7] было показано, что для идентификации «быстропротекающих» процессов изменений упругих напряжений в геоматериалах перспективным подходом является использование данных бесконтактных терморadiационных измерений. В методике [5-7] используются два известных термодинамических эффекта: изменение температуры твердого тела при адиабатическом изменении первого инварианта тензора напряжений [8] и зависимость интенсивности инфракрасного излучения с поверхности тела от температуры [9].

В ходе инициированных этими работами исследований были поставлены более общие методические задачи: использование различных эмиссионных эффектов для диагностики процессов деформирования геоматериала. В частности, рассматривалась возможность расширения диапазона использования ИК – диагностики при «неадиабатических» условиях деформирования и при значениях нагрузок, приближающихся к «предразрушающим» и разрушающим величинам [7].

Для диагностики различных стадий процессов деформирования геоматериалов наиболее распространенным подходом является использование акустоэмиссионных измерений, по параметрам которых возможно следить за накоплением числа трещин и

оценивать их размеры [10]. С другой стороны, в работе [11] было показано, что концентрация и размер трещин в образце геоматериала в значительной степени определяют также и динамику вариаций интенсивности ИК-излучения, сопровождающего изменение его напряженного состояния. Поскольку при приближении к стадии разрушения деформирование геоматериалов сопровождается процессами активного трещинообразования, а именно эти процессы в твердых телах являются основным источником интенсификации тепловыделения, то эффективность ИК-диагностики изменений механического состояния геоматериалов может быть повышена за счет комплексирования с данными синхронных измерений параметров АЭ. Далее описываются эксперименты, направленные на установление комплекса взаимодополняющих параметров акустоэмиссионных (АЭ) и терморadiационных (ИК-) сигналов, достоверно передающего информацию о протекании и стадийности процессов деформирования геоматериалов.

Измерения выполнялись на испытательной машине Instron 150LX с помощью автоматизированного комплекса, позволяющего вести синхронную регистрацию механических, акустоэмиссионных и терморadiационных параметров. Принципиальная схема экспериментального стенда представлена на рис. 1.

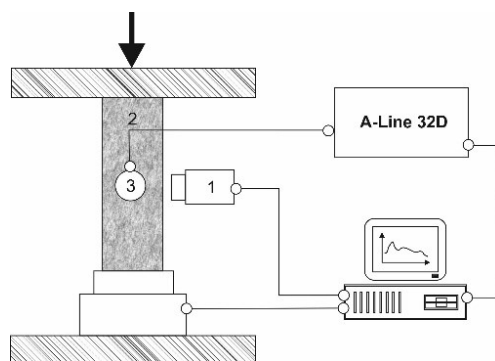


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда

Так же, как и в [12, 13], в качестве первичного приемника ИК-излучения используется детектор РТН – 31 [14], предназначенный для бесконтактного измерения изменений интенсивности оптического излучения в инфракрасном диапазоне частот. Датчик ИК – излучения (1) устанавливается примерно в середине высоты образца (2) на расстоянии 0,5 – 1 см от его поверхности. Регистрация активности акустической эмиссии dN/dt , велась пьезопреобразователем (3) посредством измерительного комплекса A-Line 32D [15] в полосе частот от 30 до 500 кГц. Преобразователь акустических сигналов размещается на свободной поверхности образца на одной высоте с датчиком ИК – излучения. Испытания проводились на образцах известняка (кубики размером 40×40×40 мм). Одноосное сжатие осуществлялось в режиме постоянной скорости продольной деформации ($d\varepsilon_1/dt = const$).

В качестве примера на рис. 2 представлены графики изменения во времени осевого напряжения $\sigma_1(t)$ (1), интенсивности ИК – излучения $V(t)$ (2) и активности АЭ $dN(t)/dt$ (3) при деформировании образца известняка в режиме одноосного нагружения при постоянной скорости изменения продольной деформации $d\varepsilon_1/dt = const$ ($d\varepsilon_1/dt = 0,02$ мм/с). На рис. 3 приведена соответствующая диаграмма « $\sigma_1 - \varepsilon_1$ », полученная в ход описываемого эксперимента.

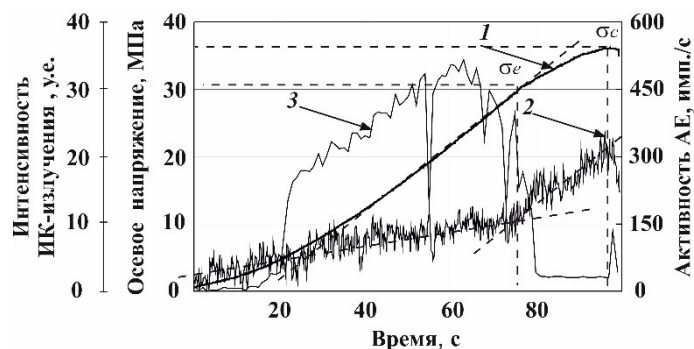


Рис. 2. Зависимости от времени осевого напряжения (1), интенсивности ИК-излучения (2) и активности акустической эмиссии (3) при испытаниях образца известняка при $d\varepsilon_1/dt = \text{const} = 0,02 \text{ мм/с}$

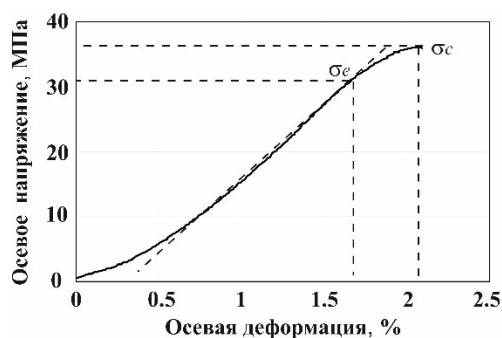


Рис. 3. Диаграмма « σ_1 - ε_1 » при $d\varepsilon_1/dt = \text{const} = 0,02 \text{ мм/с}$

Анализируя зависимость $V(t)$ (рис. 2, график (2)) можно сделать вывод, что ее возрастание становится существенно более интенсивным в достаточно явно фиксируемой точке $\sigma_1 \approx 30 \text{ МПа}$ (рис. 2, график (2)). Указанное значение σ_1 , как видно из соответствующей диаграммы « σ_1 - ε_1 » (рис. 3), соответствует пределу упругости σ_e материала образца. Предел прочности σ_c (см. рис. 3) материала испытываемого образца также достоверно фиксируется по характерным и совпадающим во времени точкам перегиба графиков $\sigma_1(t)$ и $V(t)$ (см. рис. 2).

Рассмотрим зависимость $dN(t)/dt$ (график 3, рис. 2). Значения $dN(t)/dt$ остаются незначительными до момента времени, когда напряжения σ_1 в образце становятся более 5 МПа. Далее начинается участок возрастания активности АЭ, в пределах которого $dN(t)/dt$ достигает максимальных значений в конце зоны линейного деформирования (см. рис. 2, 3). Следующее за этим участком постепенное убывание значений $dN(t)/dt$ заканчивается кратковременным «затишьем» (отмечаемое и другими авторами [2, 16]), которое предшествует «всплеску» активности АЭ после достижения осевым напряжением в образце предела прочности σ_c .

Таким образом, получаемые при соответствующей обработке записей $\sigma_1(t)$, $V(t)$ и активности АЭ $dN(t)/dt$ результаты оценки уровня нагрузки, при котором начинается нелинейное деформирование образца, согласуются между собой. Проведенные эксперименты показывают эффективность эмиссионных «неразрушающих» измерений как информационной основы комплексной диагностики процессов изменения напряженно-деформированного состояния горных пород, включая определение значений напряжений на границах различных стадий деформирования и разрушения.

Обработка синхронных записей сигналов терморационных и акустоэмиссионных датчиков позволяет отслеживать (а, в более общей постановке – прогнозировать) динамику развития в обследуемом объеме опасных деструктивных процессов, наличие или приближение

которых должно сопровождаться, как показывают выполненные исследования, аномальными изменениями значений самих измеряемых величин или характеристик скорости их изменения во времени.

Другая задача, в решении которой эффективно, как видно из полученных результатов, использовать получаемые при рассматриваемых комплексных измерениях данные, - определение, в условиях испытаний, не допускающих возможности непосредственных измерений механических параметров, «пороговых» значений характеристик горных пород и грунтов, входящих в расчеты прочности и устойчивости подземных сооружений.

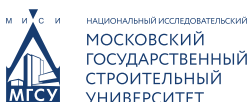
Список литературы

1. Grosse C.U., Ohtsu M. Acoustic Emission Testing — Basics for research — Applications in Civil Engineering. — Springer publ. — 2008. — 404 p.
2. Лавров А.В., Шкуратник В.Л. Акустическая эмиссия при деформировании и разрушении горных пород (обзор) // Акустический журнал. — 2005. — Т. 51. — № 5. — С. 6-18.
3. Сагайдак А.И., Елизаров С.В. Связь сигналов акустической эмиссии с процессами деформирования и разрушения строительных конструкций // Дефектоскопия. — 2004. — № 11. С. 32-39.
4. Малышков Ю.П., Фурса Т.В., Гордеев В.Ф., Шталин С.Г. Дефектоскопия и оценка напряженно-деформированного состояния бетона по параметрам электромагнитной эмиссии // Известия вузов. Строительство. — 1997. — № 12. — С. 114-117.
5. Шейнин В.И., Мотовилов Э.А., Филиппова С.В. Оценка изменения напряженного состояния грунтов и горных пород по изменению интенсивности потока инфракрасного излучения с их поверхности // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 1994. — № 3. — С. 14-22.
6. Sheinin V.I., Motovilov E.A., Morozov A.A., Favorov A.V., Levin B.V. Recognition of rapid periodic variations in rock stresses from infrared radiometry data // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. — 2001. — Vol. 37. — № 4. — P. 298-304.
7. Левин Б.В., Шейнин В.И., Блохин Д.И., Фаворов А.В. Инфракрасная диагностика отклика геоматериалов на импульсные и ударные нагрузки // Доклады Академии наук. — 2004. — Т. 395. — № 6. — С. 822-824.
8. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. Т. 2. — М.: Мир. 1969.
9. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники. — М.: Сов. радио, 1978.
10. Frolov D. I., Kil'keev R. Sh., Kuksenko V. S. Study of the dynamics of microcrack fusion by the acoustic-emission method // Mechanics of Composite Materials. — 1981. — Vol. 17. — P. 104-107.
11. Балужева М.А., Блохин Д.И., Саваторова В.Л., Талонов А.В., Шейнин В.И. Моделирование влияния микротрещин в геоматериалах на изменения их температуры при деформировании // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2009. — № 6. — С. 69-74.
12. Шейнин В.И., Блохин Д.И. Исследования особенностей проявления термомеханических эффектов при одноосном сжатии образцов каменной соли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2012. — № 1. — С. 46-54.

13. Шейнин В.И., Блохин Д.И., Максимович И.Б., Сарана Е.П. Экспериментальное исследование проявлений термомеханических эффектов на линейной и нелинейной стадиях деформирования образцов каменной соли в режиме циклического нагружения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2016. — № 6. — С. 15-22.
14. Ильин А.С. Термоэлектрические приемники оптического излучения с пленочными и проволочными термопарами для прецизионных измерений // Метрология. — 2005. — № 11. — С. 19-30.
15. Acoustic emission measuring installation A-Line 32D. Passport, Interunis, Moscow, 2008.
16. Соболев Г. А., Пономорев А.В. Физика землетрясений и предвестники. — М.: Наука. — 2003. — 270 с.



Организаторы



При поддержке



Генеральный спонсор



Официальные спонсоры



Партнеры



Информационная поддержка



www.rusufo.ru
t.me/izyskateli