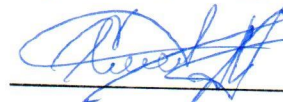


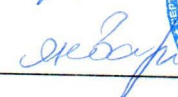
УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного учреждения науки Института горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, канд. техн. наук



А.И. Хмелинин

« 29 »



2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного учреждения науки Института горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук на диссертацию **Набатова Владимира Вячеславовича** на тему «Обоснование и разработка комплексного геофизического метода обнаружения полостей в заобделочном пространстве при строительстве и эксплуатации подземных сооружений», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

Актуальность темы диссертационной работы

Контроль структуры и текущего состояния заобделочного пространства подземных сооружений в последние годы приобретает особую значимость и требует развития комплексных геофизических подходов. Это обусловлено, прежде всего, увеличением сроков эксплуатации подземных выработок и инженерных сооружений, в течение которых происходят существенные изменения как в конструктивных элементах обделки, так и во вмещающем породном массиве. В процессе длительной эксплуатации наблюдаются деформации и нарушения сплошности обделок, перераспределение напряжённо-деформированного состояния пород, а также эволюция физическо-механических свойств, прилегающих геологических сред.

Дополнительным фактором, усиливающим актуальность задачи мониторинга, является возрастающая сложность формирования подземного пространства современных мегаполисов. Эксплуатация ранее построенных подземных сооружений всё чаще осуществляется в условиях активного строительства новых подземных и наземных объектов, что приводит к наложению техногенных воздействий, изменению напряжённому состоянию массива и формированию локальных зон разуплотнения и деструкции в заобделочном пространстве.

Одним из наиболее опасных и трудно контролируемых последствий указанных процессов является образование полостей и зон ослабленного контакта между обделкой и породным массивом. Выявление таких

нарушений традиционно осуществляется с применением геофизических методов, в частности георадиолокации, по результатам которой принимаются решения о проведении инъекционного или тампонажного крепления.

Актуальность диссертационной работы Набатова Владимира Вячеславовича связана с необходимостью развития методов контроля, которое способно повысить достоверность выявляемых неоднородностей заобделочного пространства.

Одним из наиболее перспективных подходов является использование нескольких информативных параметров (признаков), снятых различными геофизическими методами, с последующим объединением их в комплексы. Стоит отметить, что это направление слабо разработано в контексте решаемой проблемы. В работе предложен метод, подразумевающий разработку критериев подготовки и отбора информативных параметров в комплексы, а также критериев принятия решения, способных повысить качество выявления неоднородностей в заобделочном пространстве.

Это позволяет сказать, что тематика диссертационной работы В.В. Набатова безусловно актуальна, поскольку направлена на решение важной проблемы с использованием слабо развитых в этой области подходов.

Защищаемые **научные положения, выводы и рекомендации обоснованы**, поскольку опираются на использование современных, общепринятых, хорошо себя зарекомендовавших методов и программ обработки экспериментальных данных и компьютерного моделирования; использование средств измерения с высокими метрологическими характеристиками; удовлетворительную сходимость результатов теоретических исследований, компьютерного моделирования и натурных экспериментов; достаточный объем экспериментальных исследований.

Анализ структуры и содержания диссертации, ее завершенность

Диссертация состоит из пяти глав, представляющих собой логически выстроенный материал. Работа обладает целостностью, направлена на решение конкретной задачи, изложена последовательно и продуманно. Диссертационная работа полностью отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС» к научно-квалификационной работе на соискание ученой степени доктора технических наук. В целом работа показывает высокую степень разработанности поставленной автором научной проблемы.

Диссертация изложена на 302 страницах печатного текста и состоит из введения, пяти глав и заключения. Материал содержит 103 рисунка, 17 таблиц, 1 приложение и список литературы из 329 источников.

В первой главе автор приводит подробный анализ научной литературы по темам особенностей грунтового массива, способным вызывать проблемы при подземном строительстве, делает анализ причин и последствий возникновения полостей в заобделочном пространстве. Также в первой главе изложены основные возможные направления решения проблемы выявления полостей. Материал этой главы является основой для последующих теоретических, экспериментальных и методических решений.

Вторая глава посвящена развитию метода сейсмоакустического контроля заобделочного пространства. Автор на основе анализа зарегистрированных в процессе натурных измерений сигналов, а также с помощью анализа результатов конечно-элементного моделирования, выявляет особенности спектра откликов обделки на ударное воздействие. В конечном счёте, эти особенности позволяют выявить тип заполнителя полости по коэффициенту корреляции между модельными и натурными спектрами. Также на основании исследования моделей и особенностей распределения геофизических сейсмоакустических аномалий в различных точках тоннеля автор делает предположение о влиянии напряжённо-деформированного состояния на вероятность возникновения полостей. Материал главы указывает на глубокий уровень разработки проблемы, при котором не просто решаются вопросы выявления полостей, но и исследуются причины их возникновения, а также решаются такие важные вопросы как определение типа заполнителя полости.

В третьей главе автор предлагает ряд методик, связанных с развитием георадиолокационного метода контроля заобделочного пространства. Решаются различные вопросы, такие как: выделение аномальных зон на радарограммах при обследовании высокочастотными георадарами из внутреннего пространства тоннеля; снижение влияния прямой волны; выявление эффективных информативных параметров при поиске областей разуплотнённых грунтов рядом с подземными сооружениями при обследованиях низкочастотными георадарами с поверхности. Глава демонстрирует высокий уровень обоснованности применяемых методов обработки данных, предполагающий анализ чувствительности и специфичности подходов. Также стоит отметить глубину проработки проблемы, когда она решается не только на уровне обработки данных, но и предполагает подбор различного оборудования, различных условий съёмки и различных методов съёмки.

Четвёртая глава посвящена вопросам выбора и предварительной подготовки информативных параметров контроля, направленной на обеспечение максимальной их эффективности при выявлении полостей. Автор рассматривает большой объём информативных параметров, даёт рекомендации по различным особенностям их расчёта. Автором также предложена методика определения полостей в заобделочном пространстве с использованием георадиолокационных признаков с помощью кластерной классификации. Основой для этого материала послужили натурные измерения на различных объектах московского метрополитена. Раздел имеет важное практическое значение, также результаты этой стадии исследования являются основанием для финальной разработки комплексного метода, изложенного в пятой главе.

В пятой главе автор предлагает непосредственно разработанный им комплексный геофизический метод обнаружения полостей в заобделочном пространстве. В основу этого метода положено комплексирование информативных параметров, реализуемое с помощью байесовской классификации. Автор предлагает методику выбора оптимальных параметров

этой классификации. Пожалуй, одной из наиболее важных частей предлагаемого метода является разработка и обоснование критериев, позволяющих формировать состав комплексов, и учитывающих исходную неопределённость ситуации. Подход предполагает использование понятия информационной эффективности, опирающийся на основные понятия теории информации. Содержание этой финальной главы опирается на достаточно объемный эмпирический материал, методы обработки данных, теоретические исследования автора.

В целом можно сказать, что разработан новый метод, для которого предложен большой объём обоснованных параметров управления процессом классификации состояния заобделочного пространства. К ним относятся: параметры предварительной обработки данных; оценки информационной эффективности комплекса, позволяющие принимать решения о необходимом объёме информативных параметров и их составе в рамках комплекса; методы получения информации, необходимой для принятия решения о наличии либо отсутствии полости; особенности управления параметрами непосредственно самой байесовской классификации. Важной особенностью метода является возможность корректировать процесс классификации в зависимости от исходной неопределённости ситуации.

Структура диссертации логична и последовательна, выстроена от решения отдельных вопросов к решению основной проблемы, заданной в названии темы исследования и финально раскрытой в последней главе. При этом в процессе изложения в достаточно полном объёме раскрываются как теоретические, так и прикладные особенности работы.

Анализ научных положений

По результатам проведённого комплекса исследований автор сформулировал и вынес на защиту шесть научных положений. Указанные положения последовательно раскрываются и уточняются в ходе изложения материала диссертации, что в совокупности отражает логику решения поставленных в работе задач и завершённость полученных результатов. Научные положения, сформулированные в диссертационной работе, имеют высокую степень обоснованности. Они подтверждены последовательной структурой исследования, корректностью и последовательностью математических выкладок, репрезентативностью полученных данных и результатов обработки сейсмоакустических и георадиолокационных данных.

Обоснованность полученных выводов обеспечивается тем, что разработанные признаки и параметры контроля проверены на реальных участках метрополитена с различным состоянием заобделочного пространства. Автор сравнивает несколько подходов, что повышает доверие к выявленным закономерностям. Дополнительным подтверждением достоверности служит сходимость результатов разных методов и подходов: сейсмоакустического, георадиолокационного, компьютерного моделирования. Автор демонстрирует повторяемость результатов на различных объектах и в разных эксплуатационных условиях.

Основные результаты работы опубликованы в 32-х научных статьях, из которых 19 – в журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых в Scopus, работа докладывалась на ряде конференций, уровень которых не вызывает сомнения. Это подтверждает высокое качество публикаций и признание в профессиональном сообществе.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы заключается в получении совокупности новых результатов, которые вносят вклад в развитие методов обнаружения полостей и разуплотнённых зон в заобделочном пространстве тоннелей и других подземных сооружений.

В рамках выполненных исследований:

- установлены новые закономерности изменения спектральных параметров сейсмоакустического отклика обделки на ударное воздействие при различных вариантах заполнителя полости; показано, что тип заполнителя приводит к формированию устойчивых спектральных особенностей, что позволяет им работать в качестве диагностически значимых признаков;
- впервые обоснована возможность определения типа заполнителя полостей на основе анализа максимума коэффициента корреляции между спектральными составляющими модельных и натурных сигналов;
- впервые выявлен и подтверждён факт закономерного увеличения энтропии распределения амплитудных значений низкочастотного георадиолокационного сигнала при наличии в грунтовом массиве водонасыщенной разуплотнённой зоны, что даёт основание использовать энтропийные показатели как диагностический критерий;
- установлены особенности развития зон пластической деформации вблизи обделки, связанные с изменением напряжённо-деформированного состояния массива; показано, что данные зоны могут формироваться не только в традиционно ожидаемых областях, но и в других частях периметра тоннеля, что важно при прогнозировании образования полостей;
- впервые предложен метод комплексирования информативных параметров геофизических сигналов, основанный на оценке их информационной эффективности, что обеспечивает снижение вероятности пропуска полостей и позволяет более обоснованно формировать состав комплекса признаков;
- предложены подходы к получению необходимых для байесовской классификации значений априорных и апостериорных вероятностей, также выявлены закономерности выбора оптимальных параметров классификации, что позволило построить комплексный геофизический метод обнаружения полостей, использующий данные измерений методами различной физической природы и обеспечивающий повышение достоверности решения.

Практическая значимость работы

Практическая значимость диссертационного исследования определяется использованием полученных в процессе ведения

исследовательской работы рекомендаций при подготовке ряда нормативных документов: «Руководство по проектированию и технологии выполнения работ по компенсационному нагнетанию в грунты основания для обеспечения сохранности зданий и сооружений при освоении подземного пространства в городе Москве», «Руководство по строительству подземных сооружений транспортного назначения в условиях карстово-суффозионной и оползневой опасности в городе Москве», «Руководство по контролю качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве подземных объектов, включая объекты метрополитена, на территории Москвы». Также результаты работы были использованы при подготовке СТО-75-25 «Контроль качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве объектов метрополитена» (АО «Мосинжпроект»); ГОСТ Р 71733–2024 «Строительные работы и типовые технологические процессы. Контроль качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве подземных объектов» (АО «Мосинжпроект»); СП 120.13330.2022 «СНиП 32–02–2003. Метрополитены», а также внедрены в практику контроля качества тампонажа заобделочного пространства при проходке перегонных тоннелей метрополитена города Москвы (АО «Мосинжпроект»).

Ценность предложенных автором рекомендаций не вызывает сомнения и имеет важное значение для обеспечения безопасного строительства и эксплуатации подземных сооружений, в частности тоннелей метрополитенов и подземных коммуникаций. Непосредственно сама практическая значимость результатов диссертационного исследования состоит в:

- в разработке новых процедур обработки сейсмоакустических и георадиолокационных сигналов, повышающих помехоустойчивость контроля и достоверность выявления полостей;
- в обосновании параметров, позволяющих определять тип заполнителя полостей (вода, воздух, смесь грунта и воды), что расширяет возможности диагностики и выбора технологии тампонажа;
- в установлении закономерностей формирования зон пластической деформации вблизи тоннеля, которые можно использовать для прогноза мест вероятного образования полостей и оптимизации схем мониторинга;
- в разработке новых подходов к выделению разуплотнённых и водонасыщенных зон массива по результатам низкочастотных георадиолокационных измерений с применением энтропийного критерия;
- в предложении метода отбора информативных параметров и их комплексирования, позволяющего снизить вероятность пропуска и ложного обнаружения полостей при контроле.

Основная практическая значимость работы заключается в создании помехоустойчивого комплексного метода обследования заобделочного пространства, который обеспечивает повышение надёжности выявления полостей и позволяет принимать инженерные решения при строительстве и эксплуатации подземных сооружений.

Оформление диссертации и автореферата

Материал диссертации и автореферата изложен грамотным научным языком. Подача материал связная, последовательная, логичная, терминологически корректная. Иллюстративный материал в полной мере отражает содержание исследований. Выводы по главам достаточно корректно описывают материал этих глав, а заключение в полной мере отражает основное содержание диссертации.

Изложение материалов исследований в автореферате позволяет ознакомиться с работой достаточно подробно. Научные положения и их обоснование в полной мере отражены как в тексте автореферата, так и в тексте диссертации.

Содержание и тема диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Замечания и вопросы по работе

1. В диссертационной работе недостаточно детально охарактеризованы свойства и структура исследуемых породных массивов, а также параметры железобетонных крепей, что затрудняет понимание для каких типов геосред могут быть использованы предлагаемые подходы.

2. Название диссертационной работы предполагает разработку комплексного геофизического метода обнаружения полостей в заобделочном пространстве, но обзор современных источников в Главе 1 не содержит примеров комплексирования методов, используемых для решения поставленной задачи. Комплексирование методов так же, как и такое перспективное направление как использование нейросетевых алгоритмов на основе обработки данных, полученных с помощью разных геофизических методов, упоминается лишь однажды на стр. 45.

3. При сейсмоакустических измерениях прибором ИДС-1 с полосой пропускания 7 Гц – 8 кГц (п. 2.1 диссертации) не указано, какие типы шумов потенциально могли попасть в указанный диапазон и оценивалась ли вероятность ложного определения полостей в заобделочном пространстве на их фоне.

4. По тексту диссертации встречаются понятия: «грунт, перемешанный водой», или «грунт»; через ряд случаев «грунт, перемешанный с водой» к случаю «вода в полости». Целесообразнее было бы указать соотношение грунта к воде или его относительную влажность, как она изменялась.

5. На стр. 108 диссертационной работы текст: «неоднородность электромагнитных свойств обделки», не поясняет изменение диэлектрической проницаемости исследуемого бетона, также не приводятся ее значения для пересчета глубины.

6. В п. 3.6 указано, что в качестве главного информативного признака для каждой трассы сигнала выступает приведённая энтропия выровненных амплитуд, а дополнительное применение частотных характеристик не

показало требуемой точности для исследуемого породного массива, что несколько противоречит мировым тенденциям в данном направлении обработки георадиолокационных сигналов. В связи с этим было бы информативно уточнить параметры массива, для которого применение в качестве идентификатора при выявлении строения массива горных пород только амплитудных характеристик без учёта частотного спектра становится оптимальным. Так как, например, при малом изменении влажности породного массива (5–10%) энтропия амплитуд может не показать значимых изменений, такая же проблема может возникать и для горизонтально-слоистых сред.

7. На стр. 170 диссертационной работы по тексту «задаются значения α и β ; производится выравнивание амплитуд сигмоидами с коэффициентами α и β »; не совсем понятно, как определялись данные коэффициенты для достижения оптимального соотношения сигнал/шум (алгоритмически или вручную) на основе функции контрастности $Z(\alpha, \beta)$?

8. В оформлении диссертации есть недочеты: Рис. 2.7. – сигнал 2 практически не визуализируется на графике; стр. 68 и стр. 175 опечатки в номерах таблиц; на рис. 3.1, 3.3 не указан шаг армирования бетонной обделки, ее размеры; подрисуночная подпись к рис. 3.10. не содержит полной информации о вариантах обработки радарограмм (только по тексту); рис. 3.25 и 3.31 нет описания к цифрам 1 и 2 в подрисуночной надписи, что они обозначают, аналогично для рис. 3.28 и 3.33 – цифра 1; рис. 3.30. и 3.32 не содержит описания для а)-е); рис. 4.4. нет подписей по осям.

Приведенные выше замечания носят частный или рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

Заключение

Диссертация **Набатова Владимира Вячеславовича** на тему «Обоснование и разработка комплексного геофизического метода обнаружения полостей в заобделочном пространстве при строительстве и эксплуатации подземных сооружений», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр», является завершённой научно-квалификационной работой.

При выполнении диссертационного исследования решена актуальная научная и практическая задача разработки помехоустойчивого комплексного геофизического метода, способного достоверно выявлять наличие полостей в заобделочном пространстве подземных сооружений, имеющая важное значения для безопасного строительства и эксплуатации тоннелей метрополитенов и другой подземной инфраструктуры.

Рассматриваемая диссертационная работа по содержанию, объёму выполненных исследований, научной новизне и практической значимости полученных результатов соответствует критериям раздела 2 «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС», предъявляемым к

докторским диссертациям, а ее автор Набатов Владимир Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Диссертационная работа **Набатова Владимира Вячеславовича** на тему: «Обоснование и разработка комплексного геофизического метода обнаружения полостей в заобделочном пространстве при строительстве и эксплуатации подземных сооружений», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр», была рассмотрена и коллективно обсуждена на совместном заседании лабораторий Горной геофизики и Физических методов воздействия на массив горных пород ИГД СО РАН, направления научной деятельности которых соответствуют тематике диссертационной работы Набатова В.В. (протокол № 1 от 13.01.2026 года).

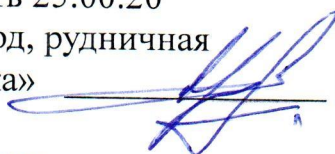
Отзыв на диссертационную работу Набатова В.В., подготовленный доктором технических наук, заведующим лабораторией физических методов воздействия на массив горных пород Сердюковым Сергеем Владимировичем и кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником, доцентом лаборатории горной геофизики Денисовой Екатериной Вячеславовной, утвержден в качестве официального отзыва ведущей организации.

Я, Сердюков Сергей Владимирович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Я, Денисова Екатерина Вячеславовна, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Зав. лабораторией физических методов
воздействия на массив горных пород ИГД СО РАН
доктор технических наук, специальность 25.00.20

«Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика»



Сердюков Сергей
Владимирович

Старший научный сотрудник лаборатории
горной геофизики ИГД СО РАН

кандидат технических наук, специальность 25.00.20

«Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика»



Денисова Екатерина
Вячеславовна

Сведения об организации

Федеральное государственное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), Почтовый адрес: 630091, г. Новосибирск, ул. Красный пр-т, д.54.

Официальный сайт в сети «Интернет»: <https://misd.ru/>

Электронная почта: mailigd@misd.ru, Телефон: +7 (383) 205-30-30, доб. 100 (приемная).

Подписи Сердюкова С.В. и Денисовой Е.В. заверяю,
ученый секретарь ИГД СО РАН,
кандидат технических наук

