

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ПФИЦ УрО РАН,

Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Плехов О.А.



05.2025 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН) на диссертационную работу Зайцева Михаила Геннадьевича «Обоснование и разработка метода контроля строения и состояния приконтурного массива горных пород на основе совместных акустических и оптических измерений в скважинах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

Актуальность темы выполненной работы и ее связь с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства

Современная горнодобывающая промышленность сталкивается с ростом глубин обустройства месторождений и увеличением геодинамической активности, что предъявляет всё более строгие требования к оперативности и точности инструментального контроля состояния приконтурного массива пород. Традиционные методы геофизического мониторинга, несмотря на их доказанную эффективность, часто оказываются недостаточно информативными при локализации отдельных трещин и оценке их пространственной ориентации, особенно в сложных геотехнических условиях. Одновременно расширение спектра применяемых приборов и алгоритмов обработки данных стало ключевым направлением повышения безопасности и экономической эффективности подземных работ. В этой связи привлекателен комплексный подход, который сочетает достоинства оптического каротажа — высокую разрешающую способность при визуализации поверхности скважины — с возможностями ультразвукового зондирования, способного выявлять механические свойства породы и параметры трещиноватости на глубине. Именно интеграция двух методов позволяет преодолеть ограничение каждого из них в отдельности и формирует достоверную картину

геомеханического состояния массива. Предложенная в диссертации методика комплексного оптико-акустического каротажа отвечает вызовам, с которыми сталкиваются горные предприятия: она ориентирована на повышение оперативности обследований и снижение затрат на буровые работы, а также на создание отечественных инструментальных решений.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертационной работе получены оригинальные научные результаты, позволяющие говорить о существенном продвижении в области инструментального контроля состояния горных пород. Научная новизна исследования заключается в следующем:

- обосновании оптимальных параметров оптического сканирования для определения наличия и геометрических параметров трещин, пересекающих измерительную скважину;

- обосновании оптимальных технических и информативных параметров оптического определения степени шероховатости горной породы;

- установлении влияния шероховатости поверхности породы на параметры ультразвуковых сигналов, а также обосновании способов его снижения;

- установлении влияния наклона плоскости расположения трещины, пересекающей измерительную скважину, на амплитудные характеристики поперечных волн с переменным вектором поляризации;

- обосновании принципов совместного использования оптических и акустических методов с целью повышения надежности и оперативности оценки структуры и состояния приконтурного массива пород.

Таким образом, результаты работы обладают высокой степенью оригинальности и открывают новые перспективы для развития методов каротажной диагностики.

Значимость для науки и производства, полученных автором диссертации результатов, сопоставление полученных результатов с уровнем современной науки

Научная значимость диссертации состоит в развитии междисциплинарного подхода к оценке состояния горных пород, в объединении в одном методе оптических и акустических диагностических подходов, что ранее не применялось в комплексе для скважинных исследований. Установленные закономерности и методические решения

создают основу для дальнейших исследований в области геомеханического моделирования и геофизического мониторинга.

Практическая значимость подтверждается возможностью широкого применения предложенного метода на объектах подземной инфраструктуры, включая шахты, штольни, подземные хранилища и другие горные выработки. Разработанная методика позволяет:

- оперативно выявлять изменение геометрии трещиноватости вблизи контура выработки;
- оценивать степень дезинтеграции массива и прогнозировать зоны потенциальной потери устойчивости;
- оптимизировать проектные решения по системам крепления и стабилизации массива;
- повысить точность геомеханических расчётов при инженерном сопровождении подземных работ.

В перспективе, разработанный подход может быть интегрирован в существующие автоматизированные системы мониторинга, как модуль оценки состояния массива по скважинным данным.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Результаты, представленные в диссертации, обладают высоким прикладным потенциалом. Методика оптико-акустической диагностики может быть рекомендована к внедрению на предприятиях горнодобывающей отрасли, в учреждениях, занимающихся геоинженерными изысканиями и эксплуатацией подземных объектов.

Особую практическую ценность представляют:

- алгоритм аппроксимации и реконструкции ориентации трещин на основе анализа сигнала от направленных оптических датчиков;
- подход к определению угла наклона трещины через анализ динамических характеристик ультразвуковых сигналов;
- принцип интеграции данных оптического и акустического характера в единую пространственно согласованную модель массива;
- экспериментально подтверждённая возможность эксплуатации комплекса в условиях сухих скважин без использования буровых жидкостей.

Всё это делает разработку Зайцева М.Г. востребованной как в научной, так и в прикладной сфере.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе много внимания уделяется оценке шероховатости поверхности скважины оптическим методом с целью интерпретации акустических каротажных диаграмм. Однако четкие алгоритмы и процедуры по данному вопросу не представлены.

2. По результатам, представленным в главе 3, делается вывод о возможности оценки угла между трещиной (слоистостью) и осью скважины по диаграмме $A_S(\varphi)/A_{Smin}(\varphi)$. Однако эксперименты проводились на поверхности призматических образцов горных пород. Если в таком случае под осью скважины понимать линию, на которой размещены преобразователи – источник и приемник, то в проведенных экспериментах угол между трещиной (слоистостью) и данной линией оставался неизменным (около 90°). Вариации подвергался только угол между вектором поляризации сдвиговых волн и плоскостью трещины. Случаи, когда угол между трещиной и линией "источник-приемник" отличается от 90° не рассмотрены, также не ясно какой при этом будет вид диаграмм $A_S(\varphi)/A_{Smin}(\varphi)$. В связи с этим не понятно, на каком основании делается вывод о возможности оценки угла между трещиной (слоистостью) и осью скважины по диаграмме $A_S(\varphi)/A_{Smin}(\varphi)$.

3. Как показали результаты каротажа на физической модели скважины, представленные в главе 4, применение УЗ-каротажа в текущей конфигурации для контроля трещин, особенно открытых, весьма ограничено. Оценки о границах применимости разработанной методики УЗ-каротажа в работе не даются.

4. В работе не уделяется внимание влиянию пыли и наличию мелких частиц в скважинах при сухом бурении на результаты оптических измерений. При бурении с промывкой увлажнение поверхности скважины может повлиять не только на оптические свойства пород, но и на результаты УЗ-прозвучивания, что также не рассмотрено.

Публикационная активность

Основные положения и результаты диссертационного исследования опубликованы в 6-ти научных статьях, включая 4-е — в изданиях, входящих в перечень ВАК и индексируемых в международных базах данных Scopus. Публикации охватывают все ключевые разделы исследования, что свидетельствует о высокой научной продуктивности автора и значительном вкладе в развитие соответствующей научной области.

Тема, содержание и основные научные положения диссертационной работы соответствует требованиям паспорта научной специальности

2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр», пункты 9, 15 и 17. Автореферат соответствует структуре и содержанию диссертации.

Диссертационная работа Зайцева М.Г. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена проблема разработки метода контроля строения и состояния приконтурного массива горных пород на основе совместных акустических и оптических измерений в скважинах, что имеет важное значение для развития горной геофизики и обеспечения безопасности ведения подземных горных работ и эксплуатации подземных сооружений. Работа соответствует п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней НИТУ МИСИС, в том числе условиям пункта 2.6. Автор Зайцев Михаил Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Настоящая работа обсуждалась на заседании Ученого совета «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» - филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (протокол № 6 от 13.05.2025 г.).

Научный руководитель «ГИ УрО РАН»,
академик РАН, д.т.н.

Барях А.А.

Ст. науч. сотр., к.т.н.

Бельтюков Н.Л.

Подпись А.А. Баряха завершено.

16.05.2025

Главный секретарь



А.Т. Ветшикова.