



УТВЕРЖДАЮ:

Директор ПФИЦ УрО РАН,
д-р. физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН

О.А. Плехов

10 июля 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук

Диссертация на соискание степени доктора наук, тема «Теоретические основы и практика малоуглубинных скважинных сейсмических исследований при эксплуатации месторождений водорастворимых полезных ископаемых» выполнена в отделе Активной сейсмоакустики Горного института Уральского отделения Российской академии наук – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр («ГИ УрО РАН»).

Соискатель Чугаев Александр Валентинович с 2004 года по настоящее время работает в «ГИ УрО РАН». В настоящий момент он является заведующим сектором Малоуглубинных скважинных исследований отдела Активной сейсмоакустики. В 2011 гг. соискатель защитил кандидатскую диссертацию по специальности 25.00.16 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Научный консультант соискателя – директор «ГИ УрО РАН», заведующий отделом Активной сейсмоакустики «ГИ УрО РАН», д-р. техн. наук, проф. Санфиоров Игорь Александрович.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

I. Оценка выполненной соискателем работы

Диссертационная работа соискателя посвящена созданию комплекса методических и технических подходов, направленных на решение широкого круга горнотехнических задач путем проведения малоуглубинных скважинных сейсмических исследований за счет изучения отдельных составляющих волнового поля при проведении и их совместной интерпретации.

Соискателем справедливо отмечается, что существующие методические решения преимущественно направлены на параметрическое обеспечение наземной сейсморазведки

данными о скоростях упругих волн. В то же время волновое поле скважинных сейсмических исследований содержит различные классы и типы волн, несущие дополнительную полезную информацию о состоянии массива в околоскважинном пространстве.

Высокая степень повторяемости скважинных наблюдений повышает достоверность сейсморазведочного мониторинга упругих параметров различных интервалов разрабатываемого породного массива, а внедрение инновационных технологий позволяет реализовать его ведение в онлайн-режиме.

В своей диссертационной работе соискатель представил ряд оригинальных методических решений, основанных на изучении закономерностей отраженных и преломленных волн, регистрируемых при проведении скважинных сейсмических исследований и позволяющих изучать упругие и акустические свойства околоскважинного пространства.

Основной идеей диссертационной работы является построение детальной сейсмогеологической модели породного массива за счет изучения различных классов регулярных упругих волн, регистрируемых при проведении малоглубинных скважинных исследований.

II. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

При непосредственном участии автора проведена постановка задач, выполнены теоретические разработки, предложены оригинальные методики, сформированы графы и алгоритмы программного обеспечения, реализующие процесс цифровой обработки данных. Автором лично выполнены математические расчеты и получены аналитические зависимости, приведенные в работе. Все полевые исследования проведены на первых этапах при участии, а в последствии под руководством автора.

III. Степень достоверности полученных результатов

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается большим количеством экспериментальных скважинных сейсмических исследований, соответствием результатов, получаемых на основе математических решений, с численным моделированием, наземными сейсмическими исследованиями и другими априорными геолого-геофизическими данными.

IV. Новизна и практическая значимость исследования

Установлено, что при проведении межскважинного сейсмического просвечивания, в условиях наличия резкого градиента скоростей, головные и отраженные волны из нижнего

полупространства могут регистрироваться раньше первых вступлений прямой проходящей волны. Данная закономерность обосновывает выделение восходящих отраженных волн от границ, расположенных ниже забоя скважин. Получено решение прямой задачи на основе лучевой сеймики с учетом скоростной модели среды и нарушения монотонности функции времени регистрации отражений от различных горизонтов, обеспечивающее возможность миграции точек отражения.

Разработана теория головных преломленных волн, регистрируемых в скважинах, включающая аналитические зависимости кажущихся скоростей, наблюдаемых на сейсмограммах со скоростями и геометрическими особенностями межскважинного пространства и кровли солей, являющаяся основой для создания методик изучения упругих свойств породного массива. Способ суммирования головных волн в системах наблюдений межскважинного сейсмического просвечивания (МСП) и вертикального сейсмического профилирования (ВСП), основанный на неизменности хода лучей вблизи приемной скважины, с последующим выделением вторичного поля преломленно-отраженных волн и построения глубинных сейсмоакустических разрезов, в том числе для обнаружения субвертикальных акустически контрастных объектов.

Впервые предложено совместное использование межскважинного просвечивания и скважинного профилирования по методу общей глубинной точки (ОГТ) на отраженных волнах для определения сплошности и толщины ледопородного ограждения (ЛПО). Установлено, что на этапе смыкания ЛПО наблюдаются рефрагированные волны, распространяющиеся по высокоскоростному замороженному массиву, изучение которых дает представление о степени формирования ледопородного ограждения.

При проведении скважинного профилирования ОГТ, выполняемого в единственной скважине, показана возможность изучения продольных волн и гидроволн в идеологии акустического каротажа. Кратность определения скоростной характеристики на одном интервале может составлять от 20 до 40, кратность суммирования отраженных продольных волн – более 100, гидроволн – более 400.

Для распределенной оптоволоконной акустической системы регистрации получена аналитическая зависимость амплитудно-частотной характеристики кабеля со спиральным волокном от значения базы измерения, угла падения волны на кабель и угла намотки волокна в кабеле. Показано, что увеличение угла намотки повышает равномерность амплитудно-частотной характеристики продольных волн как по частотам, так и по углам падения. На основании сравнения оптоволоконной системы регистрации с базой приема 10 м и гидрофонов, для акустических сигналов в диапазоне частот 100-500 Гц получена оценка

чувствительности, составляющая (-13 ... -15) дБ для прямого волокна и (-15 ... -17) дБ для спирального волокна относительно гидрофонов.

V. Ценность научных работ соискателя

Разработана технология получения глубинного сейсмического разреза при проведении межскважинного просвечивания, в том числе в сейсмо-геологических условиях Верхнекамского месторождения солей в надсоляной и водозащитной толще.

Техника суммирования головных волн, образующихся на кровле солей при возбуждении упругих волн в скважинах обеспечивает получение глубинного сейсмического разреза в области существования преломленно-отраженных волн при межскважинном просвечивании и локализацию субвертикальных трещин в окрестностях скважин при вертикальном сейсмопрофилировании. На способ обнаружения вертикальных трещин получено патентное свидетельство.

Комплекс сейсмического контроля при возведении шахтных стволов и туннелей, включающий межскважинное просвечивание и запатентованную скважинную методику многократных перекрытий, позволяет определять сплошность и толщину сформированного ледопородного ограждения с меньшими трудозатратами в сравнении с традиционным методом межскважинного акустического просвечивания, проводимого в замораживающих колонках.

Решение практических вопросов внедрения распределенных оптоволоконных акустических датчиков в практику скважинных сейсмических исследований позволило разработать систему скважинного онлайн-мониторинга для контроля состояния верхней части разреза в зонах опасных природных или техногенно-геологических процессов. Оригинальность системы мониторинга подтверждена патентом.

Применение полученных методических результатов возможно в практике скважинной сейсморазведки не только на месторождениях водорастворимых пород, но и в других областях, связанных с поиском и добычей полезных ископаемых, а также при инженерных изысканиях.

VI. Специальность, которой соответствует диссертация

Содержание диссертационной работы в области исследования соответствует паспорту научной специальности ВАК 2.8.3 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр» по следующим пунктам:

1. Технические средства, технологии и методики производства геометрических измерений пространственно-временных характеристик состояния земной поверхности,

недр, подземного пространства городов и графического отображения информации в различных видах.

2. Методы геометризации месторождений полезных ископаемых, массивов горных пород и их свойств как основы геометрии и квалиметрии недр, оптимизации разведочных сетей, подсчета запасов, прогнозирования условий освоения недр, проектирования и строительства горных предприятий и разработки месторождений, подземных хранилищ газов и нефти, определения потерь и разубоживания полезных ископаемых, оценки параметров устойчивости горнотехнических конструкций.

9. Методы и системы обработки геологической, маркшейдерской и геофизической информации, а также методы моделирования месторождений, прогнозирования горно-геологических условий, явлений и процессов.

10. Геологическое, маркшейдерское и геофизическое обеспечение проектирования и планирования горных работ, управления запасами и контроль качества добываемых полезных ископаемых с учетом их комплексного использования, и охраны окружающей среды

13. Геолого-геофизическое обоснование технологий эксплуатации и ликвидации объектов горнодобывающей промышленности.

15. Лабораторные и полевые геофизические методы и средства исследования состава, строения, свойств и состояния горных пород и массивов. Геологический, геофизический и маркшейдерский мониторинг функционирования горнотехнических систем и геологической среды при разработке месторождений полезных ископаемых.

17. Разработка методов и технологий исследования и мониторинга горногеологических и горнотехнических условий освоения и эксплуатации месторождений полезных ископаемых и подземных хранилищ нефти и газа.

VII. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертации опубликовано 38 работ, 18 относятся к международным системам цитирования (Scopus и WoS), 14 опубликовано в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК. Зарегистрировано 3 патента.

Наиболее значимые работы, опубликованные по представленной теме:

1. Чугаев, А.В. Сейсморазведка на отраженных волнах при межскважинных исследованиях на Верхнекамском месторождении калийных солей / А. В. Чугаев, И. А. Санфиоров, М. В. Тарантин // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64, № 2. – С. 293-307.

2. Санфи́ров, И.А. Контроль формирования ледопородного ограждения шахтного ствола комплексом наземных и скважинных сейсморазведочных методов / И.А. Санфи́ров, А.Г. Ярославцев, А.В. Чугаев, А.И. Бабкин, Т.В. Байбакова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2020, №3. – С. 34-46.
3. Санфи́ров, И.А. Новые методические решения малоглубинной сейсморазведки на месторождениях водорастворимых полезных ископаемых / И.А. Санфи́ров, А.И. Бабкин, А.В. Чугаев, С.В. Ладейщиков // Горный журнал, №6. - М., 2013. – С. 17-22.
4. Санфи́ров, И.А. Горнотехнические приложения малоглубинной скважинной сейсморазведки / И.А. Санфи́ров, А.В. Чугаев, А.И. Бабкин, В.П. Лисин, В.Ю. Бобров // Геофизика. 2018. №5. С. 24-30.
5. Чугаев, А.В. Петрофизические возможности скважинного профилирования по методу общей глубинной точки / А.В. Чугаев, И.А. Санфи́ров, К.Ю. Томилов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. – №11. – С.108-117.
6. Чугаев, А.В. Анализ вторичного поля головных волн при межскважинных сейсмических исследованиях / А. В. Чугаев, И. А. Санфи́ров, М. В. Тарантин, К. Ю. Томилов // Геофизика. – 2020. – № 5. – С. 4-12.
7. Чугаев, А.В. Поиск субвертикальных зон трещиноватости с использованием головных волн в методе вертикального сейсмопрофилирования / А. В. Чугаев, И. А. Санфи́ров, А. И. Бабкин, К. Ю. Томилов // 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. 7.
8. Chugaev, A.V. The Integrated Borehole Seismic Surveys at the Verkhnekamskoye Potassium Salt Deposit / A. Chugaev, I. Sanfirov, M. Tarantin [et al.] // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 342 LNNS. – P. 255-269.
9. Чугаев, А.В. Оценка разрешающей способности преломлённых и отражённых волн при межскважинных исследованиях на основании моделирования объёма Френеля / А. В. Чугаев // Геофизические исследования. – 2023. – Т. 24, № 3. – С. 69-86.
10. Чугаев, А.В. Амплитудно-частотный отклик распределенного акустического сенсора DAS со спиральной намоткой волокна / А. В. Чугаев, М. В. Тарантин // Горные науки и технологии. – 2023. – Т. 8, № 1. – С. 13-21.
11. Чугаев, А. В. Оценка возможностей распределенной оптоволоконной системы регистрации со спиральным волокном при проведении межскважинного сейсмоакустического просвечивания / А. В. Чугаев, А. И. Кузнецов // Приборы и техника эксперимента. – 2023. – № 5. – С. 167-173.

12. Санфи́ров, И.А. Направления развития сейсморазведочного мониторинга водозащитной толщи действующих соляных рудников / И. А. Санфи́ров, А. В. Чугаев, А. Б. Трапезникова, А. Д. Тезиков // Горный журнал. – 2023. – № 11. – С. 27-31.

Патенты

1. Патент № 2706910 С1 Российская Федерация, МПК G01V 1/00, G01V 1/28, G01V 1/30. Способ контроля толщины ледопородного ограждения при строительстве шахтных стволов: № 2019109327; заявл. 29.03.2019; опубл. 21.11.2019 / И. А. Санфи́ров, А. Г. Ярославцев, А. И. Бабкин, А. В. Чугаев.
2. Патент № 2760889 С1 Российская Федерация, МПК G01V 1/40, G01V 1/28, G01V 1/30. Способ скважинной сейсмической разведки: № 2020141106; заявл. 14.12.2020; опубл. 01.12.2021 / А. В. Чугаев, И. А. Санфи́ров, А. И. Бабкин, К. Ю. Томилов.
3. Патент № 2809469 С1 Российская Федерация, МПК G01V 1/42, G01D 5/26. Способ и система сейсмоакустического контроля массива горных пород: № 2023109620; заявл. 14.04.2023; опубл. 12.12.2023 / А. В. Чугаев, И. А. Санфи́ров, А. И. Кузнецов, Р. А. Богданов.

VIII. Апробация диссертационной работы

Основные результаты исследований представлены на конференциях:

«Engineering Geophysics–2016», Анапа, 2016; «Engineering Geophysics–2017», Кисловодск, 2017; «Engineering Geophysics–2018», Almaty, 2018; «Инженерная и рудная геофизика–2019», Геленджик, 2019; «Инженерная и рудная геофизика–2020», Пермь, 2020; «Инженерная геофизика–2021», Геленджик, 2021; «Инженерная геофизика–2022», Геленджик, 2022; «ГеоСОЧИ-2022», Сочи, 2022; Научная сессия Горного института, Пермь, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019, 2022, 2023; Всероссийская конференция по волоконной оптике», Пермь, 2023; «Optical Reflectometry, Metrology & Sensing», 2023, Пермь; «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений», Москва, 2023; ГеоЕвразия-2024, Москва, 2024.

В диссертационной работе отсутствуют заимствованные материалы без ссылки на автора и (или) источник заимствования, результаты научных работ, выполненных Чугаевым А.В. в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Диссертационная работа Чугаева Александра Валентиновича «Теоретические основы и практика малоглубинных скважинных сейсмических исследований при эксплуатации месторождений водорастворимых полезных ископаемых» обсуждалась на ученом совете «ГИ УрО РАН», Объединенном ученом совете ПФИЦ УрО РАН и рекомендовалась к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по

специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Заключение принято на заседании Объединенного ученого совета Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук. Присутствовало на заседании 37 из 52 человек. Результаты голосования: «за» – 37 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол заседания Объединенного ученого совета ПФИЦ УрО РАН № 5/24 от 5 июля 2024 г.

Председатель ОУС
ПФИЦ УрО РАН, академик РАН, д.т.н.



В.П. Матвеевко

Ученый секретарь ОУС
ПФИЦ УрО РАН, к.ф.-м.н.



А.Г. Вотинова