



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПКОН РАН
академик РАН

В.Н. Захаров
2023г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук на диссертационную работу Иванова Павла Николаевича на тему: «Разработка метода генерации широкополосных лазерно-ультразвуковых импульсов сдвиговых волн для исследования акустических и упругих свойств образцов горных пород», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

1. Актуальность темы диссертации

На сегодняшний день в связи с существенными изменениями условий ведения подземных горных работ на предприятиях горной промышленности мероприятия по мониторингу и прогнозу протекания опасных геомеханических процессов являются приоритетным в системах обеспечения промышленной безопасности. В связи с этим возрастает и актуальность задачи повышения надежности методов оценки деформационно-прочностных параметров, характеризующих состояние массива горных пород.

В последние годы наиболее активно для изучения деформационных свойств горных пород применяются различные вариации ультразвуковых методов, которые позволяют рассчитать динамические модули упругости, сдвига и коэффициента Пуассона по измеренным значениям скоростей распространения акустических волн. По полученным таким образом значениям динамических параметров с использованием тарировочных зависимостей возможно оценить статические модули упругости.

При этом существенным недостатком современных ультразвуковых методов является невозможность прецизионного расчёта скорости распространения сдвиговой волны ввиду затухания ультразвука в горных породах. Кроме этого, данные методы не позволяют учесть дисперсию фазовых скоростей, что также влияет на погрешность при определении скоростей распространения волн данного типа.

Поэтому разработка акустического метода, позволяющего повысить точность регистрации и измерения скорости сдвиговой волны, для

последующего расчёта динамических модулей упругости и коэффициента Пуассона является актуальной задачей.

2. Структура и основное содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы, содержащего 124 источника, и 1 приложения.

Первая глава содержит анализ современного состояния исследований в области методов генерации ультразвуковых волн для определения упругих свойств образцов горных пород. Обосновывается актуальность исследования; дается обзор исследований, направленных на повышение эффективности генерации сдвиговых волн; на основе выявленных недостатков существующих методов формулируются задачи исследования.

Вторая глава посвящена теоретическому анализу возможности прямой генерации сдвиговой упругой волны в широкополосном ультразвуковом диапазоне в исследуемую среду с помощью лазерного импульса, за счет полной трансформации энергии продольной упругой волны на границе раздела «изотропное твердое тело – воздух». На основе численных расчётов и компьютерного моделирования были получены технические решения для проектирования лазерно-ультразвукового преобразователя сдвиговых волн.

Третья глава описывает процесс разработки лазерно-ультразвукового преобразователя сдвиговых волн, измерение их параметров в изотропных материалах и сравнение полученных значений скоростей распространения со значениями, определенными с использованием стандартного оптико-акустического преобразователя продольных волн. В процессе сравнения показаны недостатки классической методики идентификации импульса сдвиговой волны, заключающиеся в ограничениях по минимальной толщине исследуемых образцов, которые решает разработанный преобразователь. Также в данной главе показаны результаты по определению частотного диапазона работы разработанного преобразователя, при котором значения фазовых и групповых скоростей совпадают.

В четвертой главе представлены результаты измерений скоростей распространения сдвиговых волн в образцах горных пород различного генотипа, проведенные с помощью разработанного преобразователя. В процессе исследований временных форм сигналов было отмечено, что с разработанный преобразователь позволяет увеличить диапазон толщин образцов горных пород, по сравнению с классической методикой регистрации сдвиговой волны. Также показано, что при использовании разработанного преобразователя уменьшаются параметры математической обработки, характеризующие степень разброса получаемых значений скоростей (стандартное отклонение, коэффициенты вариации и осцилляции), по сравнению с классической методикой. По измеренным скоростям

проведен расчет динамических модулей упругости и коэффициента Пуассона. Также были определены частотные диапазоны при исследовании образцов различной толщины, при которых значения фазовых и групповых скоростей различаются менее чем на 1 %. В заключение данной главы предложены конструктивные решения по повышению эргономичности разработанного преобразователя сдвиговых волн.

3. Новизна исследований и значимость полученных результатов, выводов и рекомендаций

Новизна проведенного автором исследования заключается в:

- установлении условий для достижения максимальной трансформации энергии широкополосного импульса продольной волны в сдвиговую и изготовлении на их основе лазерно-ультразвукового преобразователя сдвиговых волн;
- обосновании режимов работы изготовленного преобразователя при которых значения групповой и фазовых скоростей будут совпадать при исследовании изотропных материалов;
- обосновании возможности прецизионного измерения скоростей сдвиговых волн для расчета динамических модулей упругости и коэффициента Пуассона образцов горных пород на основе выбора частотного диапазона, при которых значения групповой и фазовых скоростей будут отличаться менее чем на 1 %;
- проведении модернизации разработанного преобразователя с целью повышения его эргономичности.

4. Практическая значимость результатов работы

Практическая значимость работы заключается в разработке широкополосного лазерно-ультразвукового преобразователя сдвиговых упругих волн для прецизионного расчета скоростей распространения данного типа волн и динамических модулей упругости горных пород. На основе проведенного исследования создана методика работы с изготовленным преобразователем, позволяющая по результатам измерений более точно рассчитывать динамические прочностные характеристики горных пород для определения свойств и состояния горных пород.

5. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Проведенное автором теоретическое и экспериментальное обоснование возможности прямой генерации сдвиговой упругой волны в исследуемую среду базируется на использовании при проведении исследования апробированных, хорошо зарекомендованных себя методов лазерно-ультразвуковой диагностики и сертифицированных программных пакетов.

Работа изготовленного преобразователя апробирована на модельных образцах изотропных материалов. При исследовании образцов горных пород различного генотипа была получена удовлетворительная сходимость результатов измерения сдвиговых упругих волн, полученных с помощью разработанного преобразователя и классической методики лазерно-ультразвуковой диагностики.

6. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что по актуальности, научной новизне и практической ценности диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., ред. от 22.09.2022 г.), также отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС».

7. Публикации и апробация результатов работы.

Основные положения, результаты и выводы диссертации были представлены на всероссийских и международных конференциях («Неделя Горняка» 2020- 2023, «Актуальные проблемы недропользования» 2019, 2021, 2022, «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых», 2019, 2021 и прочих).

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 6 научных работах, из них 2 в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, 3 – в изданиях, индексируемых наукометрической базой Scopus.

8. Замечания по диссертации

По диссертационной работе есть несколько замечаний:

1. Формулировки цели и задач диссертационного исследования, а также защищаемых научных положений и выводов соответствуют паспорту специальности 2.8.3 (в частности, пункту 15), однако расстановка акцентов в рецензируемой работе смещена в сторону исследований, традиционно относящихся к области прикладной радиофизики. Данное обстоятельство не принижает достоинства работы, а наоборот, показывает высокую инженерную квалификацию автора, но, по мнению рецензентов, в рамках специальности 2.8.3 не меньший интерес представляет описание грамотного применения разработанного метода в нестандартных условиях, дающего информацию, существенную для оценки состояния конкретного массива горных пород, и дополняющего данные, полученные другими методами контроля. Поэтому более подробная иллюстрация достоинств разработанного

метода на примере реальной геотехнической ситуации могла бы дополнительно подчеркнуть практическую значимость работы.

2. В разделе 2.1 автором приведено теоретическое описание возможности полной трансформации продольной упругой волны в сдвиговую на границе раздела «твердое изотропное тело – воздух», в котором были введены обозначения падающих и отраженных продольных и сдвиговых волн. На наш взгляд данные обозначения выбраны не совсем удачно, поскольку, в дальнейшем, искомая сдвиговая волна, прошедшая в исследуемый образец и, регистрируемая приемником, обозначается как $L_{2\leftarrow 1}^{\Pi}$. Символ « L » в оптоакустических задачах применяется для обозначения продольной, а не сдвиговой волны. Поэтому, для более наглядного описания всех процессов отражения и трансформации рассматриваемых упругих волн, нагляднее было бы использовать обозначения, в соответствии с количественной сейсмологией или классической теорией упругих волн.

3. На странице 61 автор акцентирует внимание на том, что «коэффициент прохождения через границу раздела двух твердых тел зависит от множества факторов, начиная от типа акустического контакта и заканчивая шероховатостью поверхности. При этом энергия, амплитуда и фаза прошедшей в образец сдвиговой волны напрямую будут зависеть от качества обработки контактирующих поверхностей призмы и образца и силы их прижима». Остается не ясным, как в экспериментальных исследованиях на модельных образцах и горных породах достигалась равномерная сила прижима образцов к рабочей грани призмы, достижение которой является важной для обеспечения прохождения сдвиговой волны в исследуемую среду образцов и корректную регистрацию времени ее распространения.

4. При исследовании образцов горных пород различного генотипа автором были использованы плоскопараллельные образцы толщиной от 1,5 до 8,5 мм. При этом не указаны рекомендации по максимальной толщине образцов, которые можно исследовать с помощью разработанного преобразователя сдвиговых волн.

5. В разделе 4.7 приведено описание процесса модернизации разработанного преобразователя, в котором недостаточно отчетливо пояснено, как автором контролировалась точка ввода лазерного излучения, в каком месте модернизированного преобразователя она была расположена.

Приведенные замечания имеют рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

9. Заключение

Представленная работа по своей актуальности, научной и практической значимости, обоснованности и достоверности основных результатов полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. В ней на основе проведенных автором исследований решена актуальная научная задача разработки акустического метода генерации широкополосных лазерно-ультразвуковых импульсов сдвиговых волн, позволяющих повысить точность определения динамических модулей упругости и коэффициента Пуассона, что имеет важное значение для уточнения свойств и состояния горных пород при обеспечении эффективности и безопасности ведения горных работ.

Соискатель Иванов Павел Николаевич заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Отзыв ведущей организации по диссертационной работе Иванова Павла Николаевича заслушан и обсужден на Ученом совете ИПКОН РАН, протокол № 05/23 от «06» июля 2023 года.

Главный научный сотрудник ИПКОН РАН,
д-р техн. наук.



/О.Н. Малинникова

Старший научный сотрудник ИПКОН РАН,
канд. техн. наук.



/Д.И. Блохин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук

Адрес: 111020, Москва, Крюковский тупик, д.4

Подписи Малинниковой Ольги Николаевны и Блохина Дмитрия Ивановича удостоверяю,

Ученый секретарь ИПКОН РАН,
д-р техн. наук, проф.

«6» 07 2023 года.



С.С. Кубрин