

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук Сироты Дмитрия Юрьевича на диссертацию **Конуринна Антона Игоревича**, выполненную на тему «Разработка акустического метода и технического средства мониторинга траектории пневмоударной машины в массиве горных пород», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.16 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

Актуальность избранной темы

В современной практике ведения строительных работ бестраншейные (закрытые) технологии сооружения в породном массиве скважин для прокладки инженерных коммуникаций, замене или прокладке подземных трубопроводов являются весьма выгодной альтернативой традиционным открытым (траншейным) технологиям. Это обусловлено как экономически (более низкими финансовыми затратами), так и технически (переход подземного строительства на более низкие горизонты, увеличение плотности застройки и пр.)

Для прокладки скважин закрытым способом существует достаточно много способов, одним из которых является пневмопробивка. Указанный способ позволяет создавать скважины длиной до 40 – 50 метров для трубопроводов до 300 – 400 миллиметров. Одним из препятствий для применения способа пневмопробивки является то, что пневмоударная машина может отклоняться от проектной траектории на существенное расстояние; при этом с увеличением длины скважины это отклонение возрастает экспоненциально. В связи с этим представляется важным разработка методов по контролю процесса движения пневмоударной машины.

Поэтому тема диссертационной работы, направленной на разработку средств мониторинга траектории пневмоударной машины в массиве горных пород, является актуальной.

Общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 146 страницах машинописного текста; содержит список литературы из 141 наименования, 16 таблиц, 71 рисунок, 3 приложения.

Содержание диссертации изложено в логически последовательной форме. Стиль изложения соответствует научному изданию. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Содержание автореферата соответствует работе, изложенной в диссертации. В публикациях (29 наименований) отражены наиболее существенные положения и выводы диссертации.

Во введении раскрыта актуальность темы, определены объект и предмет исследования, указаны цель и идея работы, а также задачи исследования; сформулированы научные положения, указана их новизна.

В **первой главе** произведён аналитический обзор методов мониторинга движения породоразрушающих устройств в геосреде. Приведён перечень с описанием и характеристикой акустических методов диагностики. Показано, что среди рассмотренных технических решений практически отсутствуют системы, которые бы позволяли по характеристикам принятого акустического сигнала определять наличие и тип присутствующих в геосреде неоднородностей. Также показано, что в литературных источниках не-

достаточно исследованы процессы распределения акустического поля, создаваемого движением пневмоударной машины. В результате сформулированы цель работы и задачи исследования.

Во **второй главе** произведена разработка амплитудного метода многоканального акустического мониторинга траектории движения пневмоударной машины в массиве горных пород. В рамках этой разработки исследованы процессы распространения акустических волн в породном массиве; приведена аналитическая модель акустического излучателя в массиве горных пород; предложен метод мониторинга движения пневмоударной машины при сооружении скважин. Показано, что мониторинг траектории движения пневмоударной машины при проходке скважин в горизонтальной плоскости можно осуществлять по критерию максимума амплитуды акустического сигнала, зарегистрированного на контролируемом участке поверхности.

В **третьей главе** исследовано влияние физико-механических свойств породного массива на разрешающую способность акустического метода по углу отклонения пневмоударной машины. Диссертантом было произведено численное моделирование процесса взаимодействия пневмоударной машины с породным массивом, проведены экспериментальные исследования характеристик акустического сигнала с последующим сопоставлением результатов численного и натурального эксперимента. Установлено, что разрешающая способность амплитудного метода многоканального акустического мониторинга траектории движения пневмоударной машины по углу отклонения от проектной траектории движения снижается с ростом модуля упругости Юнга и увеличивается с возрастанием плотности массива.

В **четвёртой главе** исследовано влияние техногенных неоднородностей массива горных пород на кинематические и амплитудно-частотные характеристики акустических сигналов. В рамках этого исследования произведено моделирование процесса взаимодействия пневмоударной машины с породным массивом, содержащим техногенные неоднородности; проведены экспериментальные исследования параметров импульсного акустического сигнала, индуцированного пневмоударной машиной с последующим сопоставлением с результатами численного моделирования; произведён спектральный анализ акустических сигналов, создаваемых пневмоударной машиной. Показано, что при проходке скважин пневмоударной машиной под проложенным трубопроводом на дневной поверхности над забоем скважины формируется локальный минимум амплитуды акустического сигнала.

В **пятой главе** приведена разработка и реализация технических средств мониторинга движения пневмоударной машины в породном массиве. Изложен принцип работы двухканального акустического обнаружителя местоположения пневмоударной машины; приведены результаты испытаний двухканального акустического обнаружителя. Установлено, что точность мониторинга траектории движения породоразрушающего инструмента в породном массиве повышается за счёт применения операции умножения регистрируемых сигналов.

В **заключении** подведены итоги, а также сформулированы наиболее важные научные и практические результаты исследования.

Первое приложение содержит акт опытно-промышленных испытаний экспериментального образца Акустического обнаружителя от 13 июня 2013 года.

Второе приложение содержит методику мониторинга траектории скважины по параметрам акустического поля при бурении пневмоударной машиной от 7 августа 2014 года.

Третье приложение содержит выписку из протокола 223/1/4 заседания конкурсной комиссии по проведению конкурсного отбора проектов на предоставление грантов в рамках реализации мероприятий 1.1 – 1.5 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы от 14 марта 2013 года.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Диссертантом представлено на защиту четыре научных положения.

В **первом** научном положении автором утверждается, что при работе пневмоударной машины на глубинах 0,5 – 5 метров можно определять координаты её положения с погрешностью не более 100 – 270 мм.

Доказательство этого положения содержится в статьях 1, 4, 5, 15, 25, 29 из списка автореферата, а также в главах № 2 и № 3 представленной диссертации и содержит как теоретическую, так и экспериментальную составляющую. Теоретическая часть доказательства базируется на известных экспоненциальных закономерностях затухания амплитуды акустической волны, а также на статистическом анализе акустических сигналов, поступающих от работающей пневмоударной машины, при условии, что известны спектр «шума» и спектр работающей машины, изолированной от внешних акустических сигналов. Экспериментальная часть доказательства основана на натурных исследованиях амплитуд акустических сигналов, порождённых работающей машиной, которые регистрировались измерительным комплексом Bruel&Kjaer.

Во **втором** научном положении утверждается, что разрешающая способность амплитудного метода снижается с ростом модуля упругости Юнга массива горных пород и увеличивается с возрастанием его плотности.

Доказательство этого положения содержится в статьях 2, 6, 8, 19, 21, 22, 23 из списка автореферата, а также в главе 3 представленной диссертации и содержит как теоретическую, так и экспериментальную составляющую. Для теоретического обоснования выполнено численное моделирование процесса взаимодействия пневмоударной машины с породным массивом с учётом вариации его физико-механических свойств. Решена задача о нахождении волновых полей смещений, скоростей и ускорений массива при ударном воздействии на него породоразрушающего инструмента методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS 14. Экспериментальная часть доказательства заключалась в измерении акустического поля, создаваемого работающей машиной на опытном полигоне ИГД СО РАН «Зелёная горка», с помощью измерительного комплекса PULSE. Относительная погрешность результатов эксперимента по сравнению с численным моделированием составила 10,8%.

В **третьем** научном положении утверждается, что при прохождении скважин пневмоударной машиной под проложенным трубопроводом у индуцированного машиной акустического сигнала увеличивается частота основного спектрального максимума частотного спектра в 1,2 – 2,6 раза и снижаются амплитуды спектральных составляющих во всём диапазоне частот.

Обоснование этого положения содержится в статьях 7, 11, 12, 26, 27 из списка автореферата, а также в главе 4 представленной диссертации и содержит как теоретическую, так и экспериментальную составляющую. Теоретическая составляющая обоснования заключается в проведении численного моделирования процесса взаимодействия

пневмоударной машины с породным массивом, содержащим над сооружаемой скважиной техногенную неоднородность в виде металлического трубопровода или трубопровода из поливинилхлорида (ПВХ). Моделирование выполнялось в трёхмерной постановке. Экспериментальная часть доказательства заключалась в измерении акустического поля, создаваемого работающей машиной на опытном полигоне ИГД СО РАН «Зелёная горка», с помощью измерительного комплекса PULSE. Были рассмотрены следующие варианты неоднородностей: трубопровод (металл или ПВХ) расположен над сооружаемой скважиной в грунтовом массиве; трубопровод (металл или ПВХ) расположен в одной горизонтальной плоскости с сооружаемой в грунтовом массиве скважиной. Относительная погрешность результатов эксперимента по сравнению с численным моделированием составила 8,0 % для металлического трубопровода и 16,0% для поливинилхлорида.

В **четвёртом** научном положении утверждается, что разработанное технического средство позволяет повысить точность определения местоположения в 2 раза.

Обоснование этого положения содержится в статьях 3, 9, 10, 13, 14, 16, 17, 18, 20, 24, 28 из списка автореферата, а также в главе 5 представленной диссертации и содержит как описание технического средства, так и результаты натурных испытаний акустического обнаружителя. Принцип действия обнаружителя следующий: на земной поверхности симметрично по разные стороны от проектной траектории хода пневмоударной машины устанавливаются акустоэлектрических преобразователя; акустический сигнал усиливается, фильтруется и поступает на умножитель, а далее на устройство обработки информации. При движении машины по намеченной траектории амплитуда сигнала будет наибольшей; её уменьшение и знак разности между амплитудами укажет направление отклонения. Натурная проверка работоспособности предложенного технического средства проводилась так же на опытном полигоне ИГД СО РАН «Зелёная горка». Результаты испытаний показали, что амплитуда акустического сигнала после обработки в предложенном устройстве уменьшилась на 32%, а без неё – на 16% при отклонении машины от заданной траектории. То есть изменение величины после операции умножения более заметно, чем без него.

Достоверность и новизна результатов

Достоверность научных результатов, выводов, рекомендаций определяется применением современной измерительной аппаратуры с высокими метрологическими характеристиками и лицензионного программного обеспечения, достаточным объёмом исследований и сходимостью результатов проведённых аналитических расчётов, численного моделирования и натурных измерений исследуемых параметров акустического сигнала, индуцированного движением пневмоударной машины в грунтовой массиве.

Научная новизна работы заключается:

- в теоретическом обосновании метода, основанного на анализе кинематических и амплитудно-частотных характеристик излучаемых акустических сигналов при движении пневмоударной машины;
- в получении оценки влияния модуля упругости Юнга и плотности массива горных пород на разрешающую способность амплитудного метода;
- в теоретическом обосновании и экспериментальном подтверждении изменения кинематических и амплитудно-частотных характеристик полученных акустических сигналов в зависимости от наличия в массиве горных пород проложенных коммуникаций;

– в разработке и испытании технического средства для акустического мониторинга траектории движения пневмоударной машины в массиве горных пород при проходке горизонтальных скважин.

Значимость результатов для науки и практики

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и обосновании амплитудного метода многоканального акустического мониторинга траектории движения пневмоударных машин в массиве горных пород; разработке блока решения динамических задач, позволяющего с высокой точностью оценивать параметры колебаний массива при проходке скважин пневмоударными машинами.

Практическая ценность исследования состоит в разработке и реализации технического средства мониторинга траектории движения пневмоударных машин в массиве горных пород при сооружении горизонтальных скважин – двухканального обнаружителя местоположения пневмоударной машины.

Замечания по диссертационной работе

1. В расшифровках формул (например, формулы (2.3 – 2.5)) не приведены размерности используемых величин, хотя непосредственно в тексте размерности величин указываются; нет анализа размерностей используемых (известных или оригинальных) зависимостей; в некоторых формулах (например, формулы (4.1 – 4.4)) не приведён список используемых величин, также нет указаний, где эти величины упоминались ранее по тексту диссертации.

2. Не совсем ясно, в каких единицах измеряется коэффициент отражения R в формуле (4.4): судя по виду её правой части – это величина безразмерная, однако в центре формулы стоит величина r^2 , где r расстояние.

3. Обзорная глава не содержит описания различных методов численного решения систем дифференциальных уравнений; последующие главы не содержат какого-либо обоснования выбора или описания преимуществ используемых расчётных методик (метод Ньюмарка, гипотеза Рэлея, метод Ньютона-Рафсона); не дано какого-либо количественного обоснования выбора размеров расчётной области (5х5 метров) и длины рёбер конечных элементов (от 1 мм до 50 мм); не приведён какой-либо алгоритм или блок-схема решения поставленной задачи.

4. Подписи к рисункам в диссертации частично не совпадают с аналогичными подписями в автореферате; в диссертации «амплитуда ускорений узловых точек» (рисунки 3.7, 3.9 и др диссертации), а в автореферате – «амплитуда акустического сигнала» (рисунок 4 и др автореферата).

5. В диссертации не приведена информация о технических и метрологических характеристиках разработанного устройства; нет информации о проведении процедуры сертификации и поверки аппарата.

6. В диссертации нет сравнительного анализа с экспериментальными или теоретическими методиками мониторинга траектории пневмоударной машины других авторов.

7. В диссертации нет анализа чувствительности разработанного метода к погрешностям измерений; нет оценки влияния акустического фонового «шума» на точность определения характеристик акустического сигнала.

Указанные замечания не снижают ценности полученных в диссертации результатов.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертация Конурина Антона Игоревича «Разработка акустического метода и технического средства мониторинга траектории пневмоударной машины в массиве горных пород» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения задачи мониторинга процесса движения пневмоударной машины в массиве горных пород.

Представленная диссертационная работа соответствует п. 17 паспорта специальности 25.00.16 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр» и отвечает требованиям ВАК РФ и профилю диссертационного совета Д 212.102.02, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук,
доцент кафедры теоретической и
геотехнической механики
Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
Кузбасский государственный
технический университет имени
Т. Ф. Горбачёва



Сирота Дмитрий Юрьевич

«3» генваря 2014

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
Тел. 8 (3842) 39-63-36
e-mail: dmsirota@yandex.ru

