



О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию **Щитникова Александра Александровича** *«Передача сообщений через горные породы сейсмическими волнами»*, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика»

Актуальность темы. Актуальность не вызывает сомнений, так как обусловлена важностью повышения безопасности труда в горнодобывающей отрасли. Аварии на шахтах происходят с трагической стабильностью, при этом, даже самое технологичное оснащение предприятий не позволяет полностью свести риск к нулю. В этих условиях большое значение должно уделяться технологиям повышения эффективности горноспасательных работ и минимизации последствий чрезвычайных происшествий.

Наличие связи между шахтерами, оказавшимися заблокированными под землей, и штабом по ликвидации ЧС сложно переоценить, т.к. это позволяет достоверно определить степень разрушений, состояние персонала, оценить угрозы для горноспасателей и выработать оптимальную стратегию проведения аварийно-спасательных мероприятий.

Для создания аварийного канала связи проводные линии коммуникации, используемые в штатном режиме на горнорудных предприятиях, не подходят, так как могут быть повреждены в результате обвала или пожара. Применение сверхдлинноволновых радиоволн, получивших широкое распространение для обеспечения аварийного оповещения персонала, для передачи сигнала из шахты на дневную поверхность не реализуется из-за больших длинномерных размеров низкочастотных антенн и соответственно невозможности обеспечения их

целостности в случае пожара или обвала. Коротковолновые радиоволны не способны распространяться сквозь горную породу из-за ее высокой электропроводности.

В связи с этим решение, предлагаемое автором, заключающееся в использовании для передачи информации упругих колебаний породы (в частности сейсмических волн), представляет серьезный практический интерес, поскольку в качестве передающих антенн можно использовать малогабаритные вибраторы.

Общая характеристика работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, выводов и библиографического списка. Материал изложен на 140 страницах, включает 96 рисунков, 10 таблиц. Библиографический список содержит 72 наименования.

Первая глава содержит обзор современных систем аварийной связи в шахтах как отечественного, так и зарубежного производства. Диссертант рассмотрел наиболее распространенные способы передачи информации через горную породу при помощи низкочастотных электромагнитных волн, выделив их принципиальные ограничения.

Была предложена возможность использования для передачи информации модулированных упругих деформаций горной породы – сейсмических волн, на примере гидроакустики и наземной сейсморазведки с использованием сложных сигналов.

В разделе сформулированы задачи и направления исследования.

Во второй главе выполнен анализ распространения сейсмических волн в зависимости от строения и физических свойств горных пород. Автор приводит численный анализ сейсмического канала связи, дальность действия при ограниченной мощности излучения на различных частотах. В разделе показано, что наибольший вклад в ослабление сигнала вносят верхние слои породы, главным образом состоящие из рыхлых осадочных пород.

Расчеты, приведены для типовой, по мнению автора, модели разреза глубиной 5 км, состоящей из 3 типов пород, принципиально различающихся по физическим свойствам.

Также в этой главе приведены способы повышения уровня сигнала. Первый способ за счет использования линейной группы сейсмоприемников, образующих фазированную антенную решетку, которая способна сканировать подповерхностное пространство и принимать сигнал с лучшим соотношением сигнал/шум. Второй способ заключается в разработке помехозащищенного кодирования информации. Для решения этой задачи первоначально разработан базис информационного сообщения с учетом ограничений по физической реализуемости электромагнитного вибратора. Автор приводит описание

разработанного протокола передачи при относительной фазовой манипуляции с дальнейшей корреляционной обработкой.

В третьей главе представлены физико-технические основы и обоснование принципа действия излучателя сейсмических сигналов. Проведено сравнение получивших наиболее широкое распространение систем: индукционно-динамической; электродинамической; и электромагнитной. Приведены расчетные формулы для электродинамических и электромагнитных систем, представлены масштабные эксперименты подтверждающие их достоверность. Предложено техническое решение по применению короткоходных полиуретановых амортизаторов между якорем и индуктором электромагнита, которое до этого не встречалось в печати. Решение позволило создать электромагнитный вибратор, вобравший в себя высокую эффективность электромагнита с заданной суммарной энергетикой вибрационного сигнала.

Приведенные материалы могут быть использованы при инженерных расчетах сейсмостойких различного типа, как для систем связи, так и для решения задач инженерной сейсморазведки.

Диссертант провел обширный анализ топологий источников питания с анализом базовых схем и описанием основных достоинств и недостатков. На основании обзора обоснован выбор обратноходовой топологии импульсного преобразователя напряжения. Достаточно подробно описаны расчеты режима работы, а также приведены методы сокращения времени заряда емкостного накопителя энергии и повышения КПД преобразователя.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований. Представлен макет аппаратуры сейсмического канала связи, созданный под руководством автора. Первые испытания, проходившие на угольной шахте «Комсомолец», СУЭК-Кузбасс, дали автору информацию о частотной характеристике горной породы в угольной шахте, а также о промышленных шумах на действующем объекте. На основании этих данных была произведена корректировка технических решений.

Испытания на Минусинском геофизическом полигоне (Красноярский край) с известным геологическим строением позволили сопоставить математическую модель, разработанную в главе 2 с реальными условиями при возбуждения сейсмическим сигналом скважины с глубиной 300 м. Эти расчеты подтвердили величину затухания сигнала при различных частотах, а также влияние межслойных отражений.

Заключительные испытания на руднике в г. Абаза (республика Хакасия), были проведены с учетом полученного опыта и доработанного оборудования. Сигнал был принят с высоким отношением сигнал/шум. Таким образом,

возможность передачи сообщений сквозь горную породу сейсмическими волнами была продемонстрирована на практике.

Степень достоверности результатов исследования.

Результаты исследований, представленные в работе, являются достоверными, поскольку получены на основании анализа достаточного объема экспериментальных данных. По основным результатам работы опубликовано 11 печатных работ, из них 6 в российских рецензируемых журналах, 1 патент РФ, 3 статьи в изданиях, цитируемых Scopus.

Опытный образец системы демонстрировался на международной выставке шахтного оборудования в г. Лас Вегас (США).

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- представлено научно-техническое обоснование передачи сообщений через горную породу сейсмическими волнами;
- разработан новый тип излучателя модулированных сейсмических волн с применением полиуретановой амортизирующей пластины и электромагнита;
- создан работающий прототип опытного образца системы АСС-1, прошедший испытания на действующих рудниках и шахтах.

Замечания по диссертационной работе и автореферату:

1. Не достаточно проведен анализ переотражений сигнала между слоями горных пород, и, соответственно, влияние на применяемый сигнал с относительной фазовой манипуляцией.

2. Передача сигнала сквозь горную породу в ходе экспериментальных исследованиях было ограничена гармоническим сигналом на несущей частоте с заданным отношением сигнал/шум. Использованный сигнал характеризует частотные свойства среды, энергетические параметры системы, но малоприспособлен для передачи информации.

В целом отмеченные недостатки не являются определяющими, не снижают научной и практической ценности проведенных исследований.

Разработанные автором диссертации практические рекомендации реализованы в системе АСС-1 и в проектах систем оповещения по профилю АО «ЦКБ «Геофизика». В дальнейшем, разработанный методический аппарат, целесообразно использовать при создании систем оповещения в аварийных ситуациях.

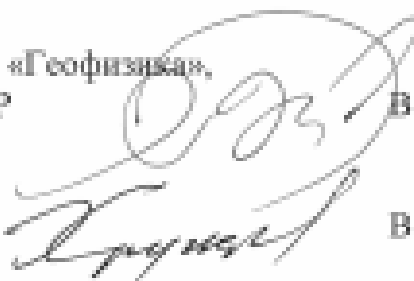
Материалы диссертации изложены логично, грамотно, содержат достаточное количество иллюстраций и графиков. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Общее содержание диссертации Щитникова А.А. «Передача сообщений через горные породы сейсмическими волнами», уровень и качество полученных результатов позволяют считать, что диссертация является завершенной научно-

квалификационной работой и отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор **Щитников Александр Александрович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Отзыв рассмотрен и одобрен на Заседании научно-технического совета АО «ЦКБ «Геофизика», Протокол от 12.09.2017 № 09/2017 г.

Зам. генерального директора АО «ЦКБ «Геофизика»,
лауреат Государственной премии СССР



В.И. Готовко

Начальник СКБ



В.М. Хрушев

Начальник научно-тематического отдела



О.В. Станковский