

На правах рукописи



Щитников Александр Александрович

**ПЕРЕДАЧА СООБЩЕНИЙ ЧЕРЕЗ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ
СЕЙСМИЧЕСКИМИ ВОЛНАМИ**

Специальность 01.04.03 – Радиофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Красноярск

2017

Работа выполнена в научно-образовательном центре «Иридий»
Военно-инженерного института
Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: Заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор,
Шайдуров Георгий Яковлевич

Официальные оппоненты: Спектор Александр Аншелевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Теоретических основ радиотехники, Новосибирского государственного технического университета

Завьялова Ксения Владимировна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории «Методы, системы и технологии безопасности» НИ ТГУ «Сибирский физико-технический институт им. акад. В.Д. Кузнецова»

Ведущая организация: Акционерное общество Центральное конструкторское бюро «Геофизика», г. Красноярск

Защита состоится 4 октября 2017 г. в 17 часов на заседании диссертационного совета Д212.268.04 на базе Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ауд. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТУСУРа по адресу: 634045, г. Томск, ул. Красноармейская, 146 и на официальном сайте организации: <https://tusur.ru/urls/ztyfc7v8>

Автореферат разослан _____ 2017 г.

Учёный секретарь диссертационного совета
Д 212.268.04



д.т.н., профессор Акулиничев Ю. П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Аварии на рудных и угольных шахтах происходят с давних времен. С момента начала промышленных масштабов разработки и добычи полезных ископаемых частота возникновения обвалов и количество жертв приняли катастрофический характер. Обвалы и взрывы в шахтах по всему миру происходят по статистике едва ли не еженедельно, выливаясь зачастую в социальные протесты.

В 2013 году были приняты изменения в «Правила безопасности в угольных шахтах», утвержденные постановлением Госгортехнадзора России, гласящие о том, что «Для спасения людей в шахтах оборудуются пункты коллективного спасения персонала (ПКСП)».

Одним из ключевых требований, предъявляемых к спасательным сооружениям, является пункт о том, что ПКСП должен быть оборудован средствами связи с диспетчером шахты, так как связь с укрытым в ПКСП персоналом во время аварийно-спасательных работ необходима. В первую очередь, для определения местонахождения людей, принятия оперативных решений по управлению поисково-спасательной операцией, а также для передачи информации о количестве находящихся в укрытии горняков и состоянии их здоровья.

Организация двухстороннего беспроводного канала связи «диспетчер-ПКСП-диспетчер» является задачей сложной и требующей комплексного подхода для ее решения, вследствие сильного затухания электромагнитных волн в горных породах из-за их высокой проводимости. При этом, если канал передачи информации в направлении «диспетчер-ПКСП» может быть организован в радиодиапазоне путем классического подхода к построению аппаратуры канала связи с выбором оптимального диапазона частот и увеличением мощности передатчика, то канал «ПКСП-диспетчер», напротив, требует нетривиального решения с высоким уровнем научной и инновационной составляющих.

Особенно остро проблема стоит в передаче сообщений с глубоких забоев в момент аварии, когда пространство пребывания людей ограничено и развертывание больших антенн для электромагнитных систем связи невозможно.

Проблема сейсмического канала передачи сообщений в горных выработках является комплексной и для ее решения необходимы знания таких областей науки и техники как радиофизика, сейсморазведка, гидроакустика, электродинамика, силовая электроника, цифровая обработка сигналов.

Задачам повышения эффективности возбуждения сейсмических волн, посвящены труды научно-исследовательской лаборатории (НИЛ-6) "Виэмтех" при Тольяттинском государственном университете, под руководством д.т.н., профессора Ивашина В.В.

Вопросы распространения и регистрации сложных сейсмических волн в своих работах изучали д.т.н. Шнеерсон М.Б., д.т.н. Кострыгин Ю.П., Бондарев В.И. и др. Известными исследователями из числа зарубежных ученых являются Milton B. Dobrin, J. Wong, M. Vecquey, L.A. Martin и др.

В 2010-2012 г. в Сибирском Федеральном Университете совместно с индустриальным партнером ОАО "Енисейгеофизика" под научным руководством д.т.н., профессора Шайдурова Г.Я., и к.т.н. Деткова В.А. был проведен комплекс работ по повышению эффективности импульсной невзрывной сейсморазведки согласно постановлению Правительства Российской Федерации №218, где был получен большой опыт излучения мощных сейсмических волн и математической обработки сигналов для целей сейсморазведки. Это позволило достаточно быстро провести проверку идеи использования невзрывной технологии сейсморазведки для целей связи через горную породу.

Идея передачи информации при помощи модулированных упругих волн не нова и активно используется в гидроакустических телекоммуникационных системах. Хочется отметить как отечественных исследователей - к.т.н. Бурдинский И.Н., так и зарубежных - James C. Squire. В их работах большое внимание уделяется радиотехническим методам, позволяющим на практике реализовывать оптимальные методы передачи информации.

На сегодняшний день можно констатировать, что в России и за рубежом отсутствуют автономные беспроводные средства связи для передачи информации через горные породы, особенно в направлении «горная выработка-поверхность» на случай аварийных и чрезвычайных ситуаций, когда в силу замкнутости пространства излучаемого пространства невозможно развернуть длинномерные электромагнитные антенны.

Цель работы

Целью исследования является научное обоснование и разработка сейсмического канала передачи сообщений в горных породах для обеспечения двухсторонней аварийной связи с подземными объектами, с минимизацией приемо-передающего оборудования. Достижение вышеуказанной цели исследования предусматривает решение следующих задач:

- разработать управляемый электромагнитный генератор сейсмических волн;
- разработать систему питания и управления электромагнитного генератора;
- исследовать распространение модулированных сейсмических волн в горной породе;
- разработать алгоритм модуляции и демодуляции сообщений;
- провести экспериментальные исследования, направленные на изучение зависимости, передачи информации от параметров генератора сейсмических волн и качественного состава горной породы;
- реализовать аппаратно-программный комплекс связи.

Методы исследования

Предлагаемое исследование опирается на труды отечественных и зарубежных ученых по проблемам оптимизации каналов связи, теории возбуждения и распространения сейсмических волн. В соответствии с теоретико-эмпирическими методами, была создана модель, позволяющая использовать классические радиотехнические приемы передачи информации применительно к сейсмическим волнам. Реализация данного подхода основана на линейности передаточной характеристике горной породы.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Выявлена целесообразность внедрения средств передачи сообщений через горные породы из рудников и шахт, использующих сейсмические волны в качестве носителей информации, излучение которых возможно вибратором с размерами не более 1 м³.
2. Приведенные энергетические соотношения для сейсмического канала с учетом неоднородности передающей среды дают основание на передачу сообщений через горные породы на дистанцию 1000 м и с достаточной достоверностью. Результаты экспериментов, проводившихся на рудниках и шахтах, подтвердили правомерность основных теоретических предположений.
3. Обоснован выбор фазовой модуляции сейсмических волн, подходящий для передачи сообщений, с учетом особенностей конструкции излучателя, среды распространения сигнала и помеховой обстановки на действующих рудниках и шахтах.
4. Определены требования к конструкции излучателя сейсмических волн, системы питания и управления с возможностью изготовления серийной аппаратуры, сертифицируемой для использования в рудниках и шахтах опасных по пыли и газу.
5. Демонстрация опытного образца системы АСС-1 в среде экспертов в области разработки и создания систем комплексной безопасности подземных рудников и шахт подтвердила приоритет в создании первого в мире действующего сейсмического канала передачи сообщений через горную породу.

Научная новизна

1. Впервые дано научно-техническое обоснование канала передачи сообщений через горную породу на сейсмических волнах, включающее оценку энергетических соотношений для сигналов и помех с учетом реальных напряженно-деформированных параметров среды распространения.
2. Дано теоретическое обоснование и разработан принцип работы электромагнитного вибратора с двухфазным излучением за счет использования демпфирующих пластин специальной формы.

3. Впервые создан аппаратно-программный комплекс аварийной передачи телеграфных сообщений с помощью модулированных сейсмических волн с адаптивной перестройкой несущих частот под окружающую помеховую обстановку и успешно испытан на действующих рудниках и шахтах.
4. Получено положительное решение о выдаче патента на изобретение Устройство сейсмической связи, заявка №2015117621/28 от 08.05.2015.

Практическая и научная значимость результатов

Опытный образец системы АСС-1 передан в опытную эксплуатацию НВИЦ «Радиус» г. Красноярск. Создано средство передачи сообщений из аварийных рудников и шахт, существенно повышающее безопасностью работы персонала и горноспасателей.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических семинарах кафедры "Радиоэлектронные системы" Сибирского федерального университета; на научном семинаре кафедры "Приборостроения" Инженерной школы Дальневосточного Федерального Университета (г. Владивосток, 2015); на научно-технической конференции "Современные проблемы радиотехники"(г. Красноярск, 2012); III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Электронные приборы, системы и технологии"(г. Томск, 2013), на международных конференциях SIBCON (г. Омск, 2015, г. Москва, 2016), международная выставка Mine Expo 2016 (г. Лас-Вегас, США, 2016).

Степень достоверности результатов работы

Достоверность результатов и выводов исследования подтверждается применением комплекса методов теоретического и эмпирического исследований, адекватных целям и задачам, а также результатами практической апробации разработанного сейсмического канала. Апробация результатов проводилась как с отдельными частями канала, на моделях в лаборатории, так и с комплексом в реальных условиях.

Публикации

По результатам выполненных исследований было опубликовано 11 печатных работ. Из них 6 работ опубликованы в научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК, включая 1 патент на изобретение, 3 статьи в изданиях, цитируемых Scopus.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 140 листов, 96 рисунков, 10 таблиц. Список литературы включает 72 наименования.

Основное содержание работы

Во введении выполнено обоснование актуальности темы работы, сформулирована цель и поставлены задачи работы, показаны основная научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе выполнен обзор современных систем аварийной связи в шахтах. Рассмотрены наиболее распространенные способы передачи информации через горную породу при помощи низкочастотных электромагнитных волн. Приведены их принципиальные ограничения. Показана возможность использования для передачи информации модулированных упругих деформаций горной породы - сейсмических волн, на примере гидроакустики и опыта наземной сейсморазведки с использованием сложных сигналов.

Определены проблемы и задачи исследования:

1. Исследовать физические свойства канала распространения сейсмических волн.
2. Проанализировать теоретические зависимости для оценки энергетических и информационных свойств канала.
3. Разработать и экспериментально проверить физические основы и коммуникационные характеристики сейсмического канала связи.

Во второй главе выполнены энергетические расчеты сейсмического канала связи. Дана оценка технических параметров приемо-передающей аппаратуры.

Описан протокол передачи сообщений, начиная от способа модуляции и заканчивая корреляционной обработкой принятого кодового сообщения.

Теория распространения упругих (сейсмических) волн базируется на теории упругости, так как геологические среды в первом приближении можно считать упругими.

Источником упругих волн может являться любое устройство, позволяющее в заданный момент времени осуществить механическое воздействие на незамкнутую или замкнутую поверхность упругой среды. Источник упругих волн в общем случае состоит из трех элементов: накопителя энергии (механической, химической, электрической, тепловой), устройства, позволяющего в заданный момент времени преобразовать накопленную энергию в механическое воздействие на упругое тело и рабочего органа, с помощью которого осуществляют механическое воздействие (рис. 1).

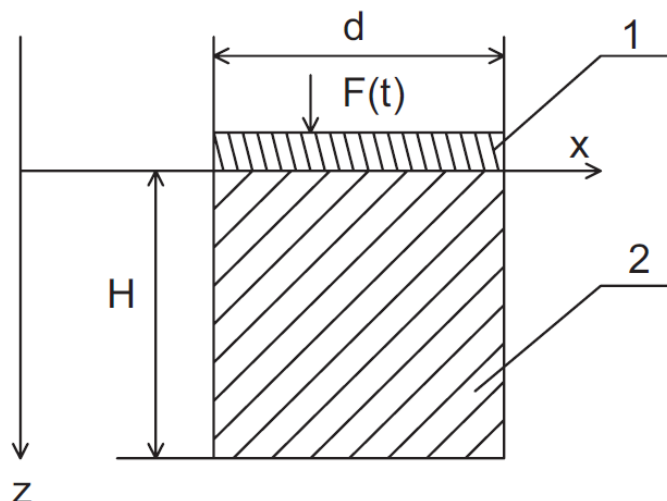


Рис. 1: Расчетная модель генерации сейсмического сигнала. 1 - плита излучения; 2 - присоединенный грунт; $F(t)$ - ударное воздействие; d - диаметр опорной плиты.

При прохождении через горную породу амплитуда сейсмического сигнала затухает, это обусловлено ослаблением амплитуды смещения пород в зависимости от расстояния и свойств среды. Во многих задачах сейсморазведки используются сейсмические волны со сферической формой волновых фронтов. Амплитуда смещения в этом случае убывает обратно пропорционально

расстоянию, а энергия, приходящаяся на единицу поверхности фронта, обратно пропорционально квадрату расстояния.

На динамику сейсмических волн в реальных средах большое влияние оказывает степень поглощения сейсмической энергии. Поглощение вызывается потерями упругой энергии за счет необратимых процессов в среде вследствие ее не идеальной упругости.

Амплитудный коэффициент поглощения, различен для разных пород. Он возрастает с ростом пористости, трещиноватости пород, с уменьшением глубины их залегания и водонасыщенности. В среднем у изверженных, метафорических и сцементированных осадочных пород $\alpha = 10^{-6}-10^{-3}(1/м)$, у рыхлых осадочных пород $\alpha = 10^{-3}-0.5 (1/м)$. Кроме того, он зависит от частоты сигнала и возрастает с увеличением частоты, приблизительно с квадратичной зависимостью.

Распространение сейсмической волны в среде определяет волновое число $k(\omega)$, которое является частотно зависимой функцией. Скорость распространения продольной волны в среде изменяется для различных типов пород. Скорость волны в плотной кристаллической породе $v_{p1} = 6000$ м/с, в осадочных породах средней плотности (угольные пласты, крепкие известняки) $v_{p2}=4500$ м/с, в пористой и вязкой породе поверхностных слоёв Земли (глина, песок, почвенный слой) $v_{p3} = 1500$ м/с. Применяя законы ослабления к начальному смещению частиц породы, можно получить уравнение, отражающее характер затухания смещения пород в среде:

$$A(\omega) = \frac{A_0}{k(\omega) \cdot r} e^{-\alpha_p(\omega)r} \quad (1)$$

где A_0 – начальное смещение породы, м; r – расстояние от излучателя до приемника, м; $\alpha_p(\omega)$ - амплитудный коэффициент поглощения, 1/м; $k(\omega) = (\omega/ v_p)$ - волновое число.

Для преобразования смещения пород в ЭДС используется сейсмоприёмник. Его основным свойством, как электромеханического преобразователя, является чувствительность $G = 0.03 \div 0.08$ В/мм. Применяя чувствительность сейсмоприёмника к формуле (1), можно получить зависимость уровня напряжения на выходе сейсмоприёмника от смещения пород на его входе:

$$U_c(\omega) = G \cdot \frac{A_0}{k(\omega) \cdot r} e^{-\alpha_p(\omega)r} \quad (2)$$

Зависимость сигнала на выходе сейсмоприемника от частоты и расстояния для твердых кристаллических пород приведена на рис. 2, для мягких осадочных пород на рис. 3.

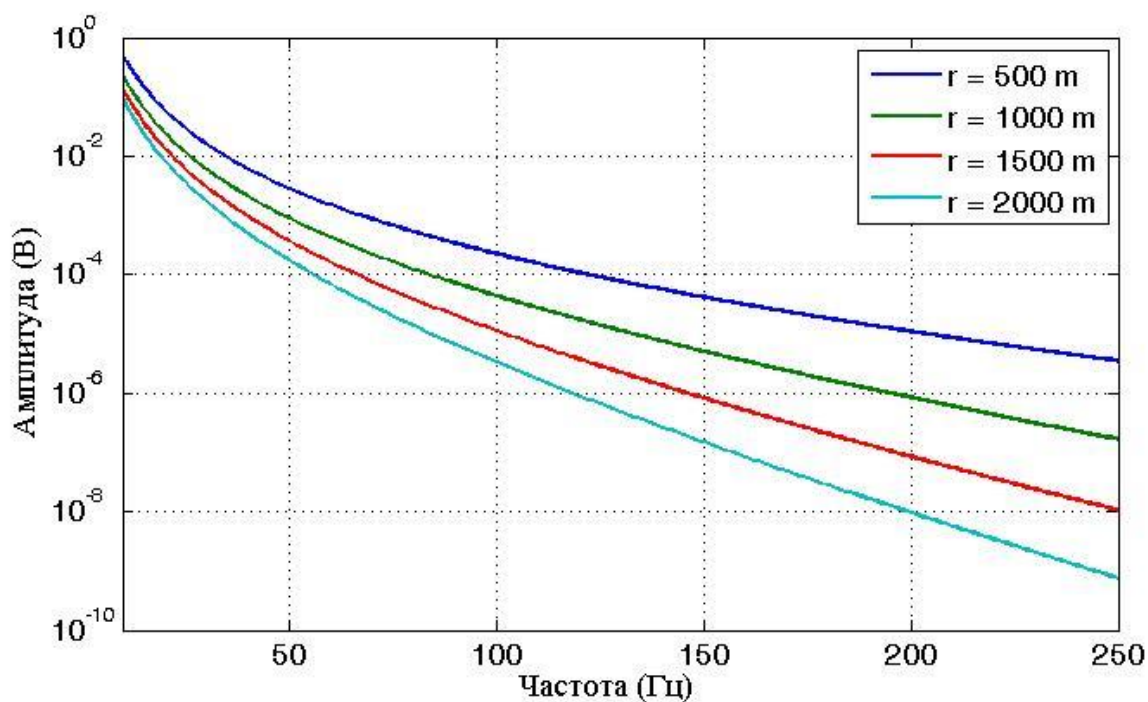


Рис. 2 Зависимость амплитуды сигнала от частоты для кристаллических пород.

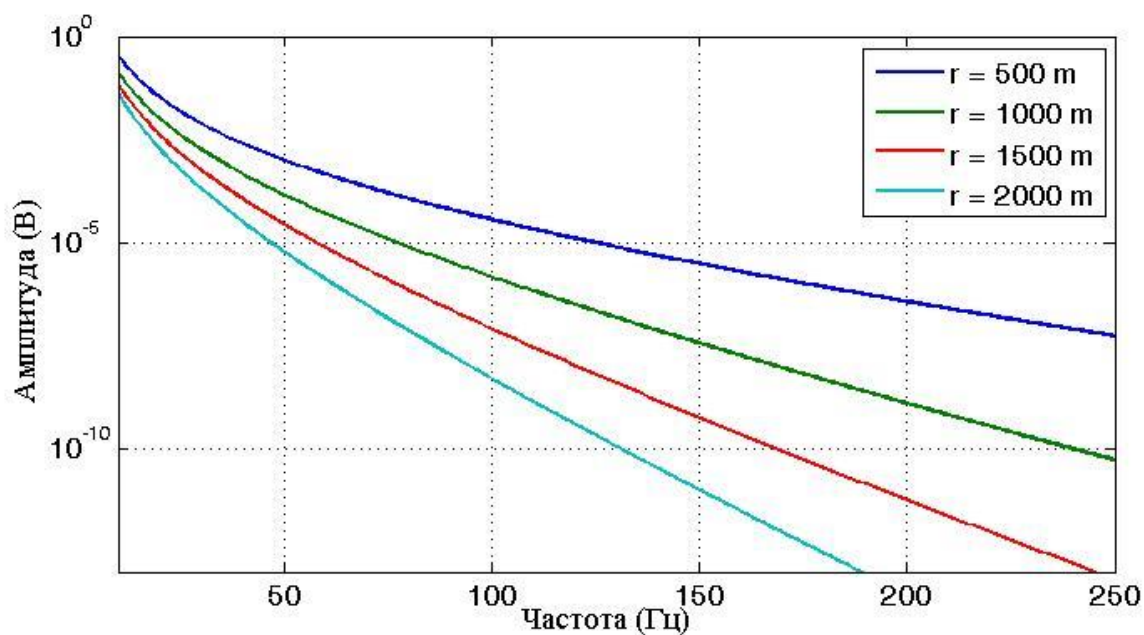


Рис. 3 Зависимость амплитуды сигнала от частоты для осадочных пород.

Для более детального исследования ослабления сигнала необходимо разделить поглощающие среды на последовательные слои горных пород с соответствующей толщиной и глубиной залегания. При расчёте используется типовая модель среза горных пород для максимальной глубины. На рис.4 приведены размеры и параметры каждой поглощающей среды для типовой модели, источник удалён от приёмного комплекса на 5 км. Данная типовая модель предполагает расчёт ослабления сигнала на наихудший случай, так как большинство шахт имеют глубину менее пяти километров.

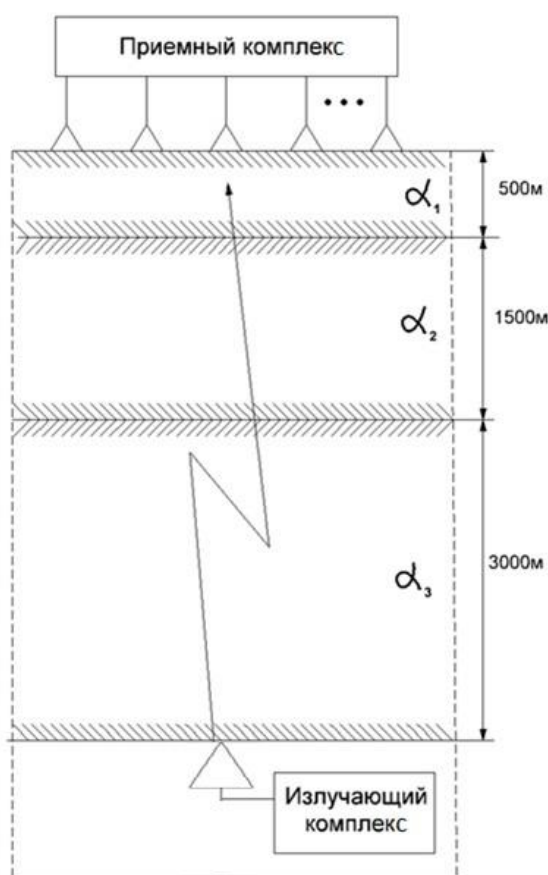


Рис.4 Типовая модель среза горных пород

Предположительно, два верхних слоя могут сильно ослабить смещение пород при передаче сигнала, так как они обладают высоким коэффициентом поглощения. Для слоистых сред существенный вклад в энергетику распространения волн может внести отражение от границ раздела.

В изотропных средах, где направления волновых векторов совпадают с направлениями акустических лучей, законы отражения и преломления принимают привычную форму закона Снеллиуса.

При достаточно малых углах падения все отраженные и преломленные волны представляют собой плоские волны, уносящие энергию падающего излучения от границ раздела. Отражение плоской волны количественно характеризуется амплитудными коэффициентами отражения, представляющими собой отношения амплитуд отраженных волн (A_r), к амплитуде падающих (A_i): $R_a = A_r/A_i$. Амплитудный коэффициент отражения в общем случае комплексен: их модули определяют отношения абсолютных значений амплитуд, а фазы задают фазовые сдвиги отраженных волн. Аналогично определяются и амплитудные коэффициенты прохождения $T_\beta = A_t/A_i$, где A_t – амплитуда прошедших волн.

$$R_a = \frac{I_r \cos(\theta_r)}{I_i \cos(\theta_i)} = \frac{V_r \cos(\theta_r)}{V_i \cos(\theta_r)} \left| \frac{A_r}{A_i} \right|^2 \quad (3)$$

$$T_\beta = \frac{I_r \cos(\theta_r)}{I_i \cos(\theta_i)} = \frac{\rho_2 V_r \cos(\theta_r)}{\rho_i V_i \cos(\theta_r)} \left| \frac{A_t}{A_i} \right|^2 \quad (4)$$

где ρ_1, ρ_2 – плотности соприкасающихся сред, V – скорость распространения волны.

При нормальном угле падения волны (т.е. перпендикулярно границе раздела сред) коэффициенты отражения и прохождения монотипных волн вычисляются:

$$R_{21} = \frac{V_2 \rho_2 - V_1 \rho_1}{V_2 \rho_2 + V_1 \rho_1} \quad (5)$$

$$T_{21} = \frac{2V_1 \rho_1}{V_2 \rho_2 + V_1 \rho_1} = 1 - R_{21} \quad (6)$$

После последовательного ослабления смещения пород, при прохождении через все поглощающие среды, сигнал улавливается сейсмоприёмником, который преобразует смещение среды в ЭДС. Зависимость напряжения от частоты и смещения оценивается по формуле:

$$U(\omega) = T_{21} \cdot T_{23} \cdot G \cdot \frac{A_0}{k_1(\omega) \cdot r_1 + k_2(\omega) \cdot r_2 + k_3(\omega) \cdot r_3} e^{-(\alpha_1(\omega)r_1 + \alpha_2(\omega)r_2 + \alpha_3(\omega)r_3)} \quad (7)$$

Зависимости напряжения сигнала на выходе сейсмоприемника от частоты колебаний для типовой модели приведены на рис. 5.

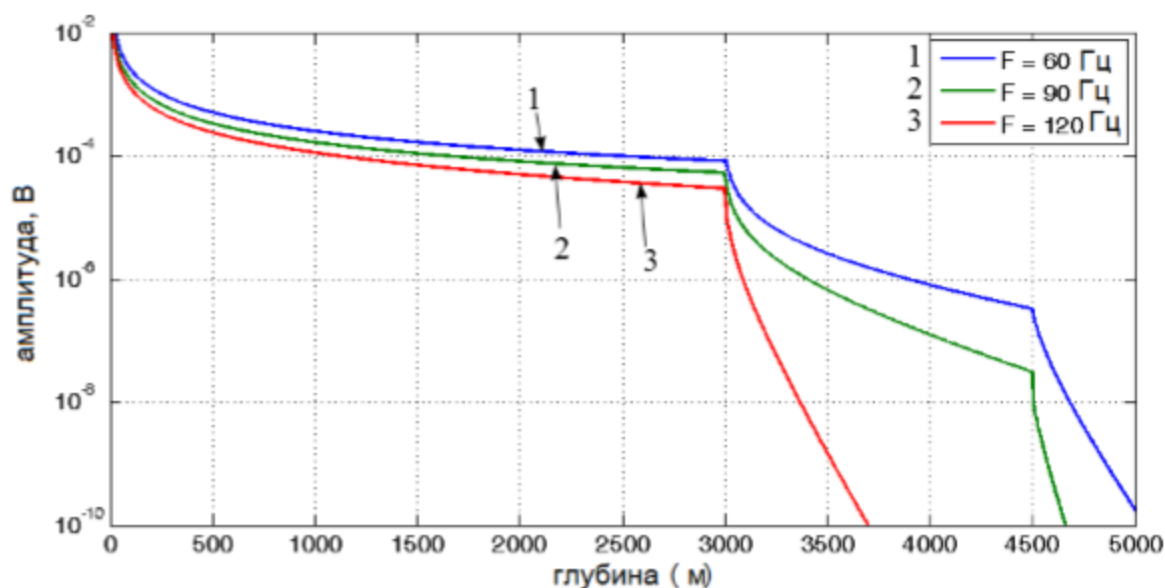


Рис. 5 Зависимость амплитуды сигнала от глубины, на разных частотах при переходе через слой горных пород.

При разработке протокола передачи информации был рассмотрен вариант, схематично показанный на рис.6, с использованием псевдослучайных кодовых последовательностей, каждая из которых отвечает за заранее определенное сообщение. В данном способе генератор сейсмических волн излучает одиночные импульсы, а информационная составляющая состоит в изменяющейся между ними задержке. Очевидно, что чем больше база последовательности, тем лучше соотношение сигнал/шум можно получить после корреляционной обработки на выходе приемника. С другой стороны, снижается скорость передачи информации и расходуется большее количество энергии на передачу одного сообщения.

Для изучения возможности реализации корреляционного метода передачи информации и определения максимального расстояния, на котором можно корреляционной обработкой детектировать одиночный импульс, были проведены исследования на руднике глубиной 800 метров. Результат оказался неубедительным, поскольку среда имеет переходную характеристику полосового фильтра, а одиночный импульс возбуждения имеет широкий спектр, следовательно, опорный сигнал, снятый в непосредственной близости от источника сильно отличался от принятого по составу спектральной плотности, а естественные шумы шахты, в полосе сигнала лишь усугубляли ситуацию.

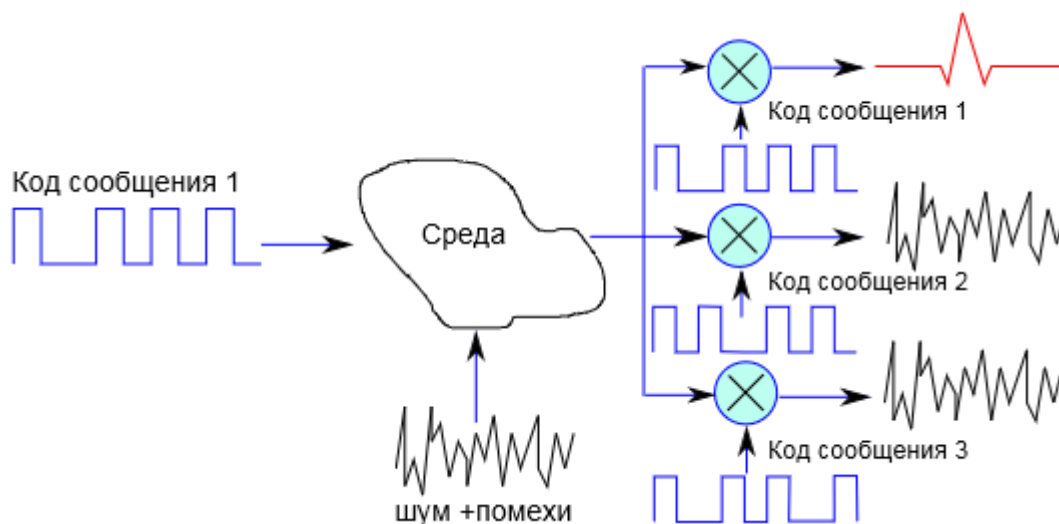


Рис. 6: Алгоритм корреляционной обработки сообщений

Для снижения зависимости качества передачи от формы частной характеристики канала было принято решение использовать узкополосный сигнал, с относительной фазовой манипуляцией (ОФМ), как частный случай амплитудной модуляции с подавленной несущей.

В третьей главе дано обоснование конструктивной схемы узлов передатчика и приемника. Большое внимание уделено выбору электромеханического привода передатчика и способу его расчета. Выполнен анализ распределения энергии в зависимости от коммутирующей цепи. Обоснован выбор схемы импульсного преобразователя напряжения для заряда емкостного накопителя энергии, проанализированы особенности его работы и приведены основные энергетические расчеты.

Источник сейсмических колебаний, для передачи сигналов, разработанных в предыдущей главе, должен обладать следующими свойствами:

- максимальное усилие не менее 1000 Н;
- возможность излучать гармонические сигналы на частотах 40-150 Гц;
- максимальная идентичность положительной и отрицательной полуволны;
- потребляемая мощность не более 2 кВт.

Для получения мощного механического импульса применяются различные по своей природе способы: взрывчатые вещества, гидropневматические системы,

инерционные и электрические. Электрические системы выделяются относительной простотой конструкции и управления. Они в свою очередь делятся на электромагнитные, электродинамические и индукционно-динамические. Общей чертой перечисленных систем является наличие хотя бы одной катушки индуктивности для создания магнитного поля.

Для проведения экспериментальных исследований был использован модифицированный электропривод сейсмоисточника "Енисей ЭМ-1.6" производства ООО "Енисейгеофизика" г. Минусинск, самый маломощный в линейки выпускаемой продукции. Ключевым недостатком сейсмоисточника "Енисей ЭМ-1.6" является его работа в режиме одиночных импульсов, в момент удара индуктора об якорь электромагнита, излучаются помехи в широком диапазоне частот, но главное, что в режиме один удар в 5-6 секунд, плотность энергии сигнала крайне низкая.

Для предотвращения удара индуктора об якорь и реализации режима серийных импульсов, в конструкцию электромагнита были внедрены амортизирующие пластины-демпферы, выполняющие роль пружин. Основные требования, предъявляемые к материалу амортизаторов, являлись механическая прочность, высокая добротность колебательных процессов и упругость. Так как усилие электромагнита имеет обратно-квадратичную зависимость от зазора (8), то деформация пружины должна быть минимальной.

$$F = \frac{\mu_0 N^2 I^2 S}{2\Delta^2} \quad (8)$$

где N - количество витков катушки намагничивания; I – ток, А; S – площадь магнитопровода, м²; Δ – немагнитный зазор, м.

На рисунке 7, приведено схематичное изображение поясняющее работу электромагнита, для создания периодических колебаний. Полиуретановые пластины расположены с двух сторон от индуктора: между индуктором и излучающей плитой, а также между индуктором и якорем.

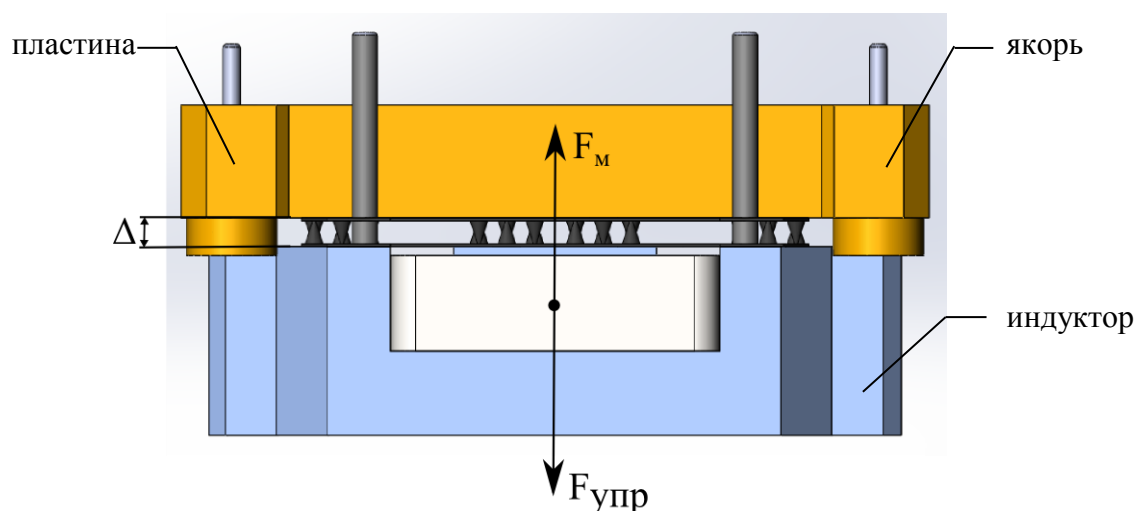


Рис. 7 Схема электропривода с амортизирующими пластинами

Высота пластин выбрана равной 6 мм, исходя из оптимального магнитного зазора, с точки зрения максимального усилия. Опытным путем была подобрана жесткость тела, обеспечивающая под действием усилия в 1000 Н деформацию не менее 1 мм. Из справочных данных известно, что для сохранения механических свойств материала, линейные растяжения полиуретана не должны превышать 150%. Под действием силы тяжести инертной массы, пластины сдавлены на 2 мм каждая, а во время действия магнитных сил зазор между якорем и индуктором сокращается до 4 мм. Когда ток, проходящий, через индуктор ослабевает, и сила упругости вместе с силой тяжести преобладает, и индуктор, вместе с присоединенной инертной массой начинает двигаться вниз, сжимая нижнюю пластину. Получается вынужденное колебательное движение инертной массы.

Приемник сейсмических сигналов состоит из сейсмоприемника - геофона, усилителя, АЦП и персонального компьютера. В ходе работ использовалось два разных усилителя, первый обладал относительно равномерной частотной характеристикой в диапазоне от 1 до 1000 Гц, в то время как второй - имел избирательную направленность, с тремя переключаемыми диапазонами. Широкополосный усилитель дает возможность оценить фоновую шумовую обстановку, выбрать оптимальный частотный диапазон для имеющейся среды распространения сейсмических волн. Дальнейшее выделение сигнала из шума происходит при помощи цифрового узкополосного фильтра.



Рис. 8 Приемник сейсмических колебаний

В четвертой главе приведены данные экспериментальных исследований, дополняющие и иллюстрирующие описание сейсмического канала передачи сообщений через горные породы. Дано описание методик, условий и особенностей экспериментальных исследований. Наличием устойчивого сигнала подтверждена работоспособность и перспективность канала связи при помощи модулированных сейсмических волн. Определены направления совершенствования технологии.

Экспериментальные исследования проводились в 2015-2016 годах, на угольных шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий, Кемеровская область, на руднике «Абаканский рудник» г. Абаза, республика Хакасия, Минусинском учебно-испытательном геофизическом полигоне (МнУИГП), филиал ООО «Эвенкиягеофизика», г. Минусинск, Красноярский край.

По результатам экспериментальных работ можно сделать следующие выводы:

1) По результатам работ на угольных шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс», были сформулированы предварительные технические требования к сейсмоисточнику и каналу связи, а также выработаны рекомендации по

изменениям в конструкции излучателя и направлению дальнейших экспериментальных работ.

2) При исследовании процессов распространения сейсмического сигнала на 300-метровой скважине особенного внимания заслуживает тот факт, что при переходе с 100-метровой отметки на отметку 200 м, амплитуда сигнала падает на величину порядка 14 дБ. При переходе с 200 м на 300 м амплитуда сигнала снижается на 3 дБ. Это объясняется наличием границы раздела сред: на глубине 110 м песчаник сменяется аргиллитом. Экспериментальные значения амплитуды сигнала вместе с расчетными значениями приведены на рис. 9.

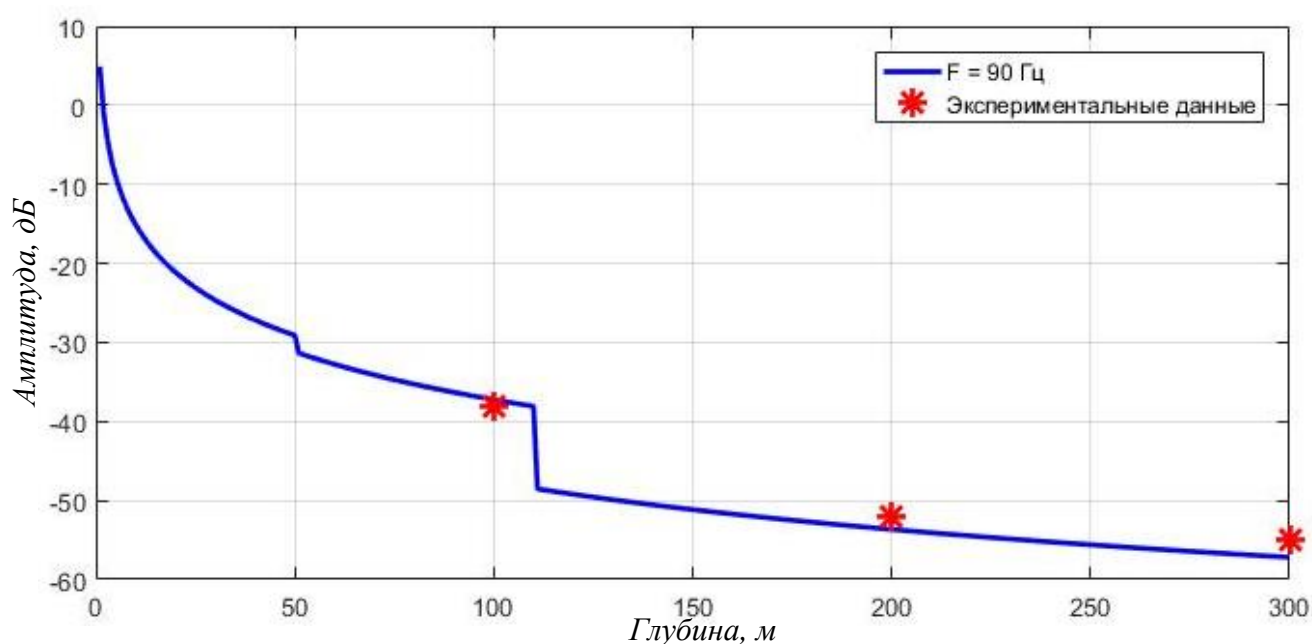


Рис. 9 Зависимость амплитуды сигнала от глубины.

3) Из испытаний на «Абаканском руднике» была записана помеховая обстановка в шахте, характерная для действующей шахты, в которой ведется добыча (взрывные работы, непрерывная работа рельсового транспорта, периодическое включение вибрационных питателей).

Измерена амплитудно-частотная характеристика сейсмических волн, установлено, что на частотах, близких к 100 Гц для данной магнетитовой породы, волны имеют максимальный коэффициент распространения.

Было принято решение о передаче информационного сообщения на частотах в диапазоне 90-98 Гц.

В заключении подводятся итоги диссертационного исследования, излагаются его основные выводы и обобщающие результаты.

Работа выполнена в научно-образовательном центре "Иридий" Военно-инженерного института Сибирского федерального университета при финансовой поддержки грантов РФФИ: 15-07-04859 "Разработка физических основ передачи информации через горную породу для обеспечения аварийной связи в шахтах 15-45-04445, "Исследование метода возбуждения фазоманипулированных сейсмических колебаний для повышения эффективности сейсморазведки в сложных геолого-геофизических условиях Восточной Сибири" и программы "Старт" Фонда содействия инновациям.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Для обеспечения безопасности работы в горных выработках при ограниченном пространстве пребывания персонала поставлена задача создания канала передачи аварийных сообщений на сейсмических волнах.

В результате проведенной серии теоретических и экспериментальных работ были получены необходимые данные:

1. По характеристикам фонового шума в рудной и угольной шахтах. Наличие мощных импульсных, а также периодических помех, сосредоточенных в определенном частотном диапазоне, с одной стороны и окон прозрачности с другой, обуславливает использование передатчика в узкополосном режиме с перестройкой частоты.

2. Теоретически и экспериментально обоснована возможность создания канала сейсмической аварийной шахтной связи на дальность 1000 метров при существующей энергетике системы. Однако задача организации канала связи не имеет однозначного решения для всех типов шахт. Поэтому система связи должна быть адаптивной, чтобы обеспечивать возможность настройки аппаратуры в зависимости от условий эксплуатации.

3. Предложено использование короткоходного полиуретанового амортизатора для возбуждения электромагнитным приводом, гармонических

колебаний. Данное решение может быть использовано при проектировании наземных электромагнитных сейсмоисточников для задач геофизики в области поиска углеводородов и других систем с электромагнитным линейным приводом.

4. По результатам проведенных исследований можно заключить, что данная технология имеет под собой серьезную научно-техническую основу и обладает существенными перспективами, чтобы занять рыночную нишу в области создания беспроводного обратного канала аварийной сигнализации и связи в шахтах.

5. На основе результатов исследований и испытаний создан опытный образец системы с перспективой его сертификации для угольных шахт. Разработано ТЗ на серийный образец. Фотография созданного образца представлена на рис.11.

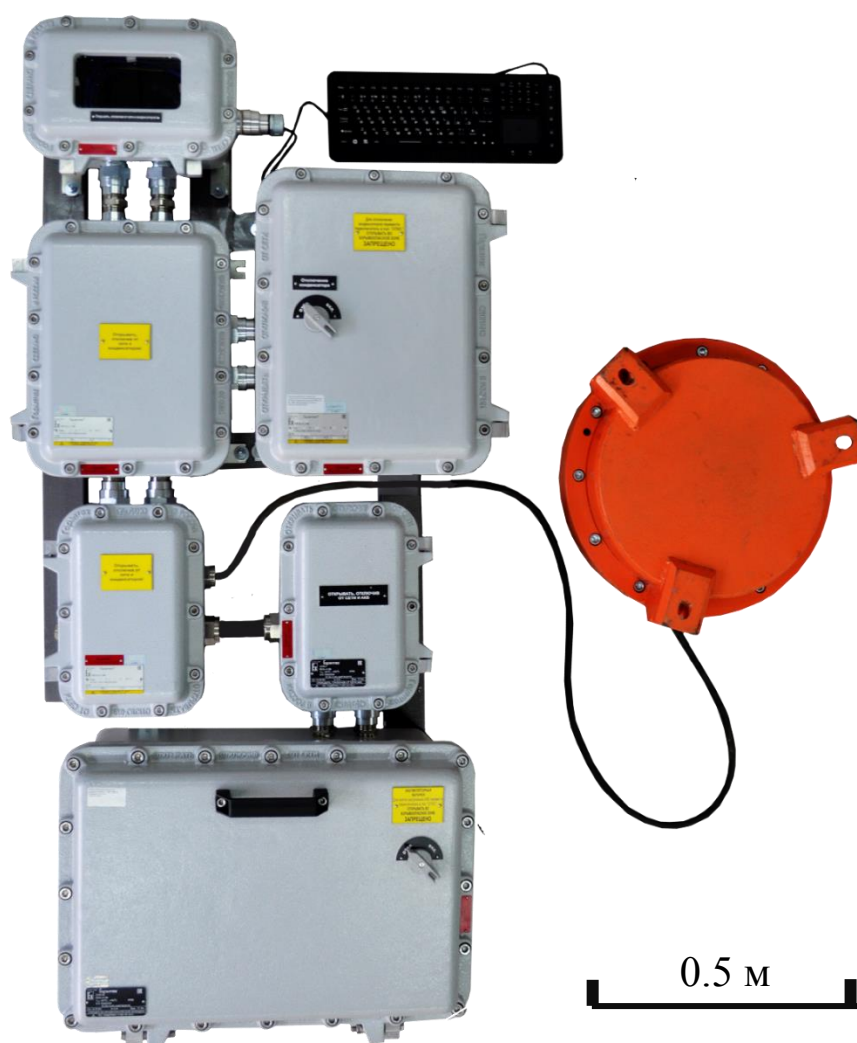


Рис. 10 Фотография Стойки управления системы сейсмической связи АСС1
с вибрационным модулем.

Публикации по теме диссертации

1. Шайдуров Г.Я., Воронцов Ю.С., Кудинов Д.С. Копылов М.А. Щитников А.А. К обоснованию создания кодоимпульсного источника сейсмических волн // Приборы и системы разведочной геофизики. г. Саратов. 2013. Т. 45. №3. С. 97-101.
2. Шайдуров Г.Я., Воронцов Ю.С., Кудинов Д.С. Щитников А.А., Радиолокационный метод обнаружения миноподобных объектов с использованием сейсмических ударов. Часть I. // Специальная техника. г. Москва. 2013. №6. С. 15-19.
3. Шайдуров Г.Я., Воронцов Ю.С., Кудинов Д.С. Щитников А.А., Радиолокационный метод обнаружения миноподобных объектов с использованием сейсмических ударов. Часть II. Первые экспериментальные результаты // Специальная техника. г. Москва. 2014. №1. С. 15-19.
4. Shchitnikov A.A. Estimation of mechanical force between two planar inductors in problems of creating electrodynamic source of seismic waves. // «Журнал СФУ. Математика и физика» г.Красноярск, 2014. №7 (3) С. 389-397.
5. Shaidurov G.Y., Kudinov D.S., Shchitnikov A.A. Pulsed Non-Explosive Seismic Sources With An Electromagnetic Drive. // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 10, Number 15 (2015) pp 35907-35913.
6. Кудинов Д.С., Щитников А.А. Сейсмический канал связи. // Сборник материалов Международной военно-научной конференции «Проблемы создания и перспективы развития Единой (Объединенной) системы противовоздушной и противоракетной обороны ОДКБ» секция №8 ВА ВКО, г. Тверь. 2015. С. 318.
7. Шайдуров Г.Я., Романова Г.Н., Кудинов Д.С., Щитников А.А., Кохонькова Е.А. Перспективность применения сейсмических сигналов в аварийной шахтной связи // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, 2015. №5. С. 36 – 42.

8. Шайдуров Г.Я., Кудинов Д.С., Щитников А.А., Кохонькова Е.А. Through-the-earth communication in underground mines by electromagnetic waves. // Сборник научных трудов International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON, Москва 2016.
9. Щитников А.А., Кудинов Д.С. The possibility of transmitting information through a structure with high electrical conductivity. // Сборник научных трудов International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON, Омск. 2015.
10. Щитников А.А., Кудинов Д.С., Артемьев К.А., Королькова Е.Б. Сейсмическая шахтная связь как альтернатива радиосвязи. // Сборник тезисов, Системы связи и радионавигации, Красноярск. 2016. С. 410-413.
11. Щитников А. А. Методика выбора шумоподобных опорных сигналов для кодоимпульсной сейсморазведки. // Современные проблемы радиоэлектроники сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 118-й годовщине Дня радио. Красноярск. 2013. С. 261-264.

Щитников Александр Александрович

ПЕРЕДАЧА СООБЩЕНИЙ ЧЕРЕЗ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ СЕЙСМИЧЕСКИМИ
ВОЛНАМИ

Специальность 01.04.03 – Радиофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать

Формат бумаги 60 × 90 1/16

Отпечатано в

,

Заказ №

Объём 1,1 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз.