

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Щитникова Александра Александровича

«Передача сообщений через горные породы сейсмическими волнами»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика

Работа посвящена разработке технического решения по созданию беспроводного автономного канала передачи сообщений в горных породах, отвечающего одному из важнейших требований, предъявляемым к спасательным сооружениям или ПКСП (пункт коллективного спасения персонала), согласно «Правилам безопасности в угольных шахтах», утвержденным постановлением от 2013 года Госгортехнадзором России, а именно: обеспечение двусторонней связи с подземными объектами. Упор делается именно на решение проблемы обеспечения аварийной связи в направлении «горная выработка – поверхность» с минимизацией приемо-передающего модуля, как наиболее сложной задачи, требующей нетривиальных подходов с высоким уровнем научной и технической составляющих. При этом использование электромагнитных волн не представляется достаточным вследствие сильного затухания в горных породах из-за их высокой проводимости. Приведенный в тексте диссертации анализ известных разработок, научных публикаций и патентов показывает, что для решения задачи беспроводной связи «горная выработка – поверхность», при ограниченном объеме пространства для размещения аппаратного комплекса, включая антенну-излучатель, наиболее перспективно исследовать характеристики и возможности сейсмического канала связи.

### **Актуальность выбранной темы исследования**

Актуальность выбранной темы исследований Щитникова Александра Александровича не вызывает сомнений. Вопросы, связанные с созданием

качественных технических решений по спасению людей, всегда были актуальны и таковыми остаются. Оборудование и снаряжение аварийно-спасательных формирований и аварийно-спасательных служб в обязательном порядке должны быть оснащены табельными транспортными и техническими средствами, которые обеспечивают своевременное выполнение необходимых задач и функций, касающихся предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. В частности, это в первую очередь касается промышленных предприятий, осуществляющее добычу полезных ископаемых, как вид деятельности, несущий за собой высокую степень опасности обрушений, различного рода аварий и взрывов на шахтах. В данном случае, связь диспетчера шахты с рабочим персоналом внутри во время аварийно-спасательных работ жизненно необходима, в первую очередь, для определения их местонахождения, принятия оперативных решений по управлению поисково-спасательной операции, а также для передачи информации о количестве находящихся внутри горняков и состоянии их здоровья. В настоящее время системы аварийной шахтной связи активно разрабатываются и внедряются. Уже создано не мало устройств, однако все они предназначены для постоянной оперативной связи с диспетчером шахты, а не для аварийной связи, способной функционировать даже при разрушении коммуникаций как таковых. На сегодняшний день в мире отсутствуют автономные беспроводные средства связи для передачи информации через горные породы, особенно в направлении «горная выработка – поверхность» на случай аварийных и чрезвычайных ситуаций. Кроме того, аварийная шахтная связь является частной задачей глобальной проблемы поиска способов передачи информации через среды, обладающие высокой проводимостью.

### **Структура диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Материал изложен на 140 страницах, содержит 96 рисунков и 10 таблиц. Список литературы включает 72

наименования. В целом диссертация оформлена в соответствии с действующими требованиями.

*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:

*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.

*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.

*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.

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

*Автореферат* диссертации достаточно полно передаёт смысл диссертации, его содержание соответствует содержанию диссертации.

### **Наиболее существенные результаты работы**

1. Теоретически и экспериментально обоснована возможность создания канала сейсмической аварийной шахтной связи на дальность 1000 метров при существующей энергетике системы.

2. Предложено использование короткоходного полиуретанового амортизатора для возбуждения электромагнитным приводом гармонических колебаний.

3. На основе результатов исследований и натурных испытаний создан опытный образец системы с перспективой его сертификации для угольных шахт.

### **Научная новизна работы**

Впервые дано научно-техническое обоснование канала передачи сообщений через горную породу на сейсмических волнах. Разработана совершенно новая технология излучения и приёма сообщений на низкочастотном носителе сейсмических волн, при прохождении через неоднородную среду, и на его основе создан первый в мире сейсмический канал передачи сообщений. Разработан управляемый электромагнитный генератор сейсмических волн. Решена проблема передачи сообщений сейсмическим каналом связи и разработаны алгоритмы модуляции и

демодуляции сигнала. Создана модель, позволяющая использование классических радиотехнических приемов передачи информации, применительно к сейсмическим волнам.

### **Ценность работы**

Результаты диссертационной работы имеют как практическую, так и теоретическую ценности. *Теоретическая ценность* заключается в том, что результаты работы могут служить основой для дальнейшего развития способов передачи информации через неоднородные среды, разработке методов увеличения дальности действия от физических свойств горных пород, тектоники их формирования и устойчивым к уровню помех; а также повышения достоверности моделирования сигналов, отраженных от разных слоев исследуемой среды, и надежности передачи информации. *Практическая ценность* состоит в успешной реализации аппаратно-программного комплекса связи в виде опытного образца системы АСС-1. Создано первое в России средство передачи сообщений из аварийных рудников и шахт на основе сейсмических волн, существенно повышающее безопасностью работы персонала и горноспасателей.

### **Апробация**

Результаты представленной диссертации полно отражены в печатных работах автора и прошли апробацию на международных и всероссийских научных конференциях высокого уровня. Основные результаты диссертации опубликованы в 11 научных работах, из них 6 работ опубликованы в научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК, включая 1 патент на изобретение, 3 статьи в изданиях, цитируемых Scopus.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждается совпадением результатов численного моделирования (теоретических исследований) и натурных экспериментов, корректным

применением теоретико-эмпирических методов теории возбуждения и распространении сейсмических волн, а также положительными результатами апробации и внедрения, высокой оценкой опытного образца экспертами в области разработки, создания и применения систем комплексной безопасности подземных рудников и шахт.

### **Замечания в содержании и оформлении диссертационной работы**

1. Формулировка выдвинутых на защиту положений оставляет желать лучшего. Так, в частности:

1.1. Из формулировки первого положения совершенно не понятно, что именно здесь нового и что сделано: «выявлена целесообразность» (что тоже очень странно и весьма некорректно), или же здесь рассчитан определённый размер вибратора, позволяющего излучать сейсмические волны и в конечном счете осуществить передачу сообщений через горные породы с улучшенными какими-то характеристиками...?

Научное положение – это весьма самодостаточная структура, и должны формулироваться полно, четко и ясно. Это некий «рецепт» научного открытия или изобретения. Кроме того, в нем должны содержаться отличительные признаки новых научных результатов, характеризующие вклад соискателя в область науки, к которой относится тема диссертации. Они должны содержать не только краткое изложение сущности полученных результатов, но и сравнительную оценку их научной и практической значимости. Должно быть не только сформулирована сущность какой-то методики, но и указано, по каким характеристикам эта методика лучше известных.

1.2. Те же недопонимания касаются и второго положения. Что здесь ключевое? «Приведённые энергетические соотношения»? – что это за отношения, кто их приводит, как они выглядят, что они рассчитывают? «..с учетом неоднородности передающей

среды» - как это учитывается, где и каким образом? Может здесь тоже своя методика, разработанная автором, или это всё дается в некотором приближении относительно какой-то среды. «Результаты экспериментов ... подтвердили правомерность основных теоретических предположений» - опять же каких таких основных предположений? Каким образом и на основе чего вообще сравнивались результаты теоретических и экспериментальных исследований? Какова допустимая погрешность и как оценивается точность («правомерность») сравнения моделей?

- 1.3. Положение три: «обоснован выбор фазовой модуляции» - как обоснован? На основе чего? О какой именно фазовой модуляции идет речь? Возможно должно быть что-то такое: «Такая-то фазовая модуляция, учитывающая конструкцию излучателя, среду распространения сигнала и .. для сейсмических волн подходит для передачи сообщений »?..
- 1.4. Положении четыре: «определены требования к ...» какие требования? И что они позволяют получить нового или какого результат добиться?
- 1.5. Пятое положение совершенно не допустимо как научное положение, выносимое на защиту! Что здесь защищается?
2. Формулировка названия первой главы тоже весьма некорректная. «Анализ состояния .. » – состояние чего или какого состояния? Следует писать полно. В этой глав автор привел наиболее распространенные способы передачи информации через горную породу, но при этом далеко не у всех приведены их принципиальные ограничения, что в целом и далее по тексту делает обоснование выбора направления в сторону сейсмических систем связи совершенно не явным. Хотя, данный момент, на мой взгляд, один из

ключевых и основополагающих, позволяющих судить о новизне представленной работы.

3. Во второй главе, п. 2.2.1 – не совсем понятно исходя из чего задаются именно такие параметры? Откуда берутся эти параметры и почему именно такие.

4. На рисунок 2.2 отсутствует ссылка в тексте и нет никаких объяснений обоснованности его приведения. Аналогичная ситуация с рисунком 2.6.

5. Рисунки 2.3 и 2.4 не имеют никаких выводов в тексте.

6. Не пояснено, что следует из приведенных рисунков под номером 2.12.

7. Не совсем понятно обоснование выбора применения именно детектора Костаса для получения двух устойчивых полюсов в полосе захвата фазы. К этому же – на рисунке этого детектора (рис. 2.13) похоже были цветовые обозначения (таковые упоминания есть в тексте «красным цветом показано..») – наверно следовало бы распечатать картинку цветными или обозначить разными стилевыми линиями и прописать это в тексте соответствующе. Также в тексте я не заметила расшифровки «ГУН», приведённой на этом же рисунке.

8. Поясните рисунки 2.14-2.16. На них так же остывает ссылка в тексте и какой либо вывод.

9. Не явно показано преимущество использования относительно-фазовой модуляции. Следовало бы его давать в сравнении с другими видами модуляции.

10. При расчете ослабления сигнала учитывается только поглощение энергии сейсмической волны. Достаточно ли этого? Влияют ли и насколько другие эффекты при распространении сейсмической волны в среде.

11. В третьей главе, п. 3.1.1 приводятся характеристики источника сейсмических колебаний – откуда они следуют?



12. Стр. 54 – описывается стенд. О каких катушках идет речь? – плоских, дифференциальных? Может быть к этому соотносится рисунок 3.3 на который снова нет ссылки в тексте.

13. Стр. 58, рис. 3.6 – о чем говорит данный результат моделирования? И как он соотносится с результатами испытаний на лабораторном стенде – рис. 3.8?

14. Что означают или о чем говорят рисунки 3.11-3.13?

15. Пункт «Электромагнитные двигатели» на странице 63 не имеет никаких логических заключений. Сумбурным способом вписаны формулы без каких-либо существенных пояснений (например, формула 3.17) и логической связки с целым текстом данного пункта.

16. Встречаются опечатки, грамматические, стилистических и пунктуационные ошибки.

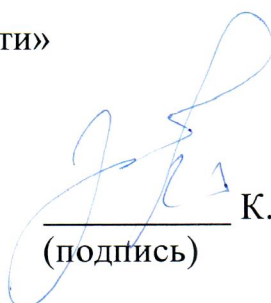
Однако, отмеченные недостатки не снижают высокой оценки диссертационной работы, по существу. Автор хорошо разбирается в физических свойствах и процессах распространения сейсмических волн, в технических аспектах разработки специальной техники.

### **Заключение**

Представленная диссертационная работа Щитникова А.А. на соискание ученой степени кандидата наук является научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне, имеющую под собой существенные научные и обширные экспериментальные исследования. Выводы по работе сформулированы четко и обоснованно, материал изложен последовательно. Научные результаты диссертационной работы обладают новизной, теоретической и практической значимостью и представляют ценность для мирового сообщества.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в Положении о присуждении ученых степеней, а ее автор Щитников Александр Александрович достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Официальный оппонент,  
Доцент кафедры радиофизики  
Радиофизический факультет  
Федеральное государственное  
автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Томский государственный университет»  
(ТГУ, НИ ТГУ),  
Кандидат физико-математических наук,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36,  
тел.: раб. (3822) 41-25-83,  
e-mail: zkv@mail.tsu.ru,  
Научный сотрудник лаборатории  
«Методы, системы и технологии безопасности»  
научно-исследовательского структурного  
подразделения НИ ТГУ  
«Сибирский физико-технический институт  
им. акад. В.Д. Кузнецова» (СФТИ ТГУ)

  
К.В. Завьялова  
(подпись)

18.09.2017

  
Зам. Начальника Управления делами  
М.Б. Удалова