

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

Азаматов Рашид Ильдарович

**ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ И БЕЗОПАСНЫХ ПАРАМЕТРОВ
СОТРЯСАТЕЛЬНОГО ВЗРЫВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНЫХ
ВЫРАБОТОК ПО ВЫБРОСООПАСНЫМ ПЛАСТАМ**

Специальность 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)
(технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Донецк – 2018

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки, г. Донецк.

Научный руководитель доктор технических наук, доцент
Лабинский Константин Николаевич

Официальные оппоненты: **Прокопов Альберт Юрьевич**
доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация), заведующий кафедрой «Инженерная геология, основания и фундаменты»

Шульгин Павел Николаевич
кандидат технических наук, доцент
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донбасский государственный технический университет» (г. Алчевск, Луганская Народная Республика), доцент кафедры «Строительные геотехнологии»

Ведущая организация: **Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ)** (г. Донецк)

Защита состоится «07» февраля 2019 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 01.008.01 при ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, 1-й учебный корпус, ауд. 203. Тел./факс: 380(62)304-30-55, E-mail: uchensovets@donntu.org

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, 2-й учебный корпус. Адрес университета: <http://donntu.org>

Автореферат разослан «_____» _____ 2018 г.

Учёный секретарь специализированного диссертационного совета Д 01.008.01
доктор технических наук, доцент



И.А. Бершадский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В Донбассе горные работы ведутся на глубинах более 1000 м и разрабатываются высоко газоносные пласты, склонные и опасные по внезапным выбросам угля и газа. Наиболее распространенным способом разрушения пород при проведении горных выработок остается буровзрывной, а по выбросоопасным пластам – только в режиме сотрясательного взрывания. Этот вид взрывных работ позволяет проводить подготовительные горные выработки сравнительно безопасно и обеспечивать воспроизведение и подготовку необходимого фронта очистных работ на выбросоопасных угольных пластах. Однако правила безопасности ограничивают длину заходки по углю на выбросоопасных пластах длиной не более 2 метров. В противном случае резко возрастает вероятность внезапного выброса угля и газа, что может привести к разрушению крепи, оборудования, интенсивным обрушениям горных пород, что в целом делает горную выработку аварийной и не пригодной для эксплуатации. На этапах подготовки и эксплуатации выемочных участков горными выработками вследствие этого происходит снижение их темпов проведения, падает добыча угля и резко возрастают затраты, связанные с ремонтом и восстановлением горных выработок и выемочных участков шахты.

Таким образом, **актуальная задача**, имеющая большое значение для горной промышленности, состоит в повышении эффективности сотрясательного взрывания за счет обоснования параметров буровзрывных работ, обеспечивающих безопасное увеличение длины заходки.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами совершенствования технологии буровзрывных работ при проведении выработок по выбросоопасным угольным пластам занимались следующие ученые: А.Т. Айруни, И.В. Бобров, С.А. Христианович, М.И. Большинский, И.М. Петухов, А.Н. Зорин, О.А. Колесов, М.П. Зборщик, В.И. Николин, В.И. Стикачев, Б.А. Лысиков и многие другие. Анализ ведения буровзрывных работ при сотрясательном взрывании показывает, что перспективным направлением повышения эффективности буровзрывной технологии является использование при проведении подготовительных горных выработок способа предварительного предотвращения газодинамических проявлений путем локальной разгрузки, дегазации пласта и вмещающих пород. При этом при сотрясательном взрывании можно задать необходимые параметры взрывных работ для разрушения горного массива, которые обеспечат необходимую зону разгрузки в горном массиве и одновременно из разрушенных взрывом горных пород позволят создать в забое перемычку, которая защитит горную выработку от возможного внезапного выброса.

Таким образом, обоснование эффективных и безопасных параметров сотрясательного взрывания, которые позволят создавать зоны разгрузки в горном массиве и обеспечивать защиту выработки от выбросов в проходческом цикле при проведении подготовительных горных выработок специальными перемычками, является актуальной научно-технической задачей, требующей решения.

Тема диссертации принадлежит к той части основных научных направлений кафедры строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики

ДонНТУ, которая касается разработки эффективных и безопасных технологических решений по разрушению горных пород взрывом, и отражена в отчетах о научно-исследовательских работах №12-32 и №13-32.

Цель и задачи исследований. Цель работы заключается в совершенствовании технологии сотрясательного взрывания при проведении подготовительных горных выработок по выбросоопасным пластам путем обоснования эффективных и безопасных параметров буровзрывных работ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- провести системный анализ технологии проведения горных выработок при сотрясательном взрывании и установить основные факторы, определяющие эффективность проходческого цикла;
- исследовать влияние основных факторов, определяющих эффективность взрывных работ, на параметры разрушения выбросоопасных горных пород;
- обосновать эффективные параметры сотрясательного взрывания для обеспечения необходимой длины заходки и объема разрушенных горных пород;
- разработать методику расчета паспорта БВР для сотрясательного взрывания, обеспечивающего в проходческом цикле создание зоны разгрузки в горном массиве и защиту выработки от выбросов специальными перемычками.

Объект исследования – процесс разрушения выбросоопасных горных пород взрывом при проведении выработок по буровзрывной технологии в режиме сотрясательного взрывания.

Предмет исследования – технология взрывания и управление энергией взрыва шпуровых зарядов ВВ для образования в забое горной выработки в процессе разрушения и выброса пород зон разгрузки горного массива и специальной перемычки для защиты горной выработки от внезапного выброса.

Научная новизна полученных результатов:

1. Впервые установлена параметрическая зависимость скорости детонации эмульсионного ВВ от его плотности патронирования и диаметра патрона, которая учитывает взаимодействие указанных факторов влияния, что позволило, получить математическую модель изменения скорости детонации ВВ от факторов, связанных не только с применением ВВ, но и с его компонентным составом.

2. Впервые установлена зависимость наведенного давления в смежных шпурах при детонации в них зарядов ВВ, которое зависит от расстояния между шпурами и интервала времени взрывания смежных шпуров и определяется удельной теплотой взрыва ВВ и акустической жесткостью горных пород.

3. Впервые обоснованы параметры взрывных работ и сотрясательного взрывания в зависимости от типа применяемых ВВ и интервалов замедления при групповом взрывании шпуровых зарядов ВВ, которые позволяют создавать зоны разгрузки в горном массиве и обеспечивать защиту выработки от выбросов в проходческом цикле специальными перемычками.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в установлении зависимостей параметров разрушения выбросоопасных горных пород от типа и свойств ВВ, интервалов замедления при взрывании групп шпуровых зарядов ВВ и расстояния между шпурами для обоснования эффективных и безопасных параметров сотрясательного взрывания, обеспечивающего в проходческом цикле создание зоны разгрузки в горном массиве и защиту выработки от выбросов специальными перемычками.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что разработана методика расчета параметров сотрясательного взрывания при проведении горных выработок по буровзрывной технологии, что позволило повысить эффективность взрывных работ.

Методология и методы исследований: для достижения поставленной в работе цели за методическую основу принят комплексный подход, который включает научно-техническое обобщение результатов теоретических и лабораторных исследований детонационных характеристик эмульсионных ВВ, теоретические исследования наведенного давления и времени его действия в смежных шпурах, исследование взаимосвязи частоты выбросов от общей энергии взрываемых зарядов и обоснование эффективной толщины породной перемычки, обеспечивающей защиту выбросоопасного пласта при сотрясательном взрывании.

Основные научные положения, которые выносятся на защиту:

1. Расстояние между шпурами, обеспечивающее устойчивость детонации шпуровых зарядов ВВ, определяется детонационной способностью и скоростью детонации ВВ, аппроксимируемой зависимостью второго порядка от плотности ВВ и диаметра патрона, и зависит от наведенного давления в шпурах, определяемого прямо пропорционально удельной теплоте взрыва ВВ, интервалу замедления между взрывами групп шпуров, и обратно пропорционально акустической жесткости горной породы. Это позволяет обосновывать параметры буровзрывных работ для получения высоких темпов проведения горных выработок при сотрясательном взрывании.

2. Размеры зоны разгрузки для безопасной выемки увеличенными заходками и объем горной породы для защитной перемычки определяются радиусом разрушения горных пород вокруг шпура и величиной заряда ВВ, который прямо пропорционально зависит от диаметра патронов ВВ, его удельной теплоты взрыва и плотности заряжания и обратно пропорционально от акустической жесткости пород. Это позволило обосновать параметры перемычки, количество шпуров, расстояние между шпурами и массу ВВ на шпур для образования зоны разгрузки при сотрясательном взрывании.

Степень достоверности и апробация результатов. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена: корректностью применения фундаментальных положений физики взрыва к исследуемым процессам; лабораторными исследованиями детонационных характеристик эмульсионных ВВ с использованием стандартного оборудования; удовлетворительной сходимостью экспериментальных и расчетных данных и

положительными результатами опытно-промышленной проверки параметров БВР при проведении выработок по буровзрывной технологии в режиме сотрясательного взрывания.

Основные положения работы и результаты ее отдельных этапов обсуждались и были одобрены на XII международной научно-технической конференции „Современные технологии ведения буровзрывных работ, их экономическая эффективность и техногенная безопасность” (г. Бургас, Болгария, 2013 г.), X международной научно-технической конференции „Разработка, использование и экологическая безопасность современных гранулированных и эмульсионных взрывчатых веществ” (г. Кошице, Словакия, 2014 г.), международной научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых „Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений” (ДонНТУ, 2015-2018 гг.), и на расширенном заседании кафедры СЗПСиГ ДонНТУ (2018 г.).

Рекомендации и методика расчета параметров сотрясательного взрывания при проходке выработок по буровзрывной технологии используются при ведении буровзрывных работ на ш/у им. А.А. Скочинского.

Научные и практические результаты работы используются в учебном процессе ДонНТУ при подготовке специалистов горного профиля.

Личный вклад автора заключается в постановке задач исследования, математическо-статистической обработке результатов экспериментальных и лабораторных исследований, в разработке нового подхода относительно расчета детонационных характеристик эмульсионных ВВ, в постановке и проведении опытно-промышленной проверки результатов диссертации на ш/у им. А.А. Скочинского.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 7 печатных работах, из которых 3 – в ведущих рецензируемых изданиях и 4 – в сборниках материалов научно-практических конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит вступление, 4 раздела и выводы, 19 рисунков, 15 таблиц, список литературных источников с 94 наименований, 4 приложения. Работа изложена на 127 страницах машинописного текста, общий объем - 164 страницы.

Автор искренне признателен научному руководителю д.т.н., доц, Лабинскому К.Н. за постоянное внимание и оказанное содействие при выполнении работы, а также выражает благодарность д.т.н., проф. Калякину С.А. за оказание научно-методической помощи на стадии завершения работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, изложена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены сведения об апробации и публикации основных положений работы.

Раздел 1. Анализ состояния буровзрывных работ (БВР) при сотрясательном взрывании показал, что спровоцированные внезапные выбросы резко сни-

жают темпы и технико-экономические показатели проходки горных выработок, особенно их скорости проведения. В результате этого резко возрастают затраты на ремонт, восстановление, а часто и на повторное проведение выработок, и от этого падает добыча угля и снижаются темпы подготовки выемочных участков шахт. Действующие рекомендации не могут в полной мере обеспечить эффективность и безопасность сотрясательного взрывания на глубоких горизонтах шахт Донбасса из-за большого расхождения горно-геологических (прочность, обводненность, выбросоопасность пород и т.д.) и горно-технических условий проведения горных выработок (сечение выработки, виды и длина шпуров, конструкция шпуровых зарядов, тип ВВ и т.д.) как в породных забоях, так и в угольных и смешанных забоях выработок, проводимых по выбросоопасным пластам. На основании анализа выделены факторы, которые определяют эффективность сотрясательного взрывания и увеличение заходки при проведении горной выработки. Сформулированы цель и задачи исследования.

Раздел 2. Для исследования влияния основных факторов, определяющих эффективность взрывных работ на параметры разрушения выбросоопасных горных пород необходимо знать основные свойства применяемых ВВ и их параметры детонации. Поэтому на первом этапе исследований были изучены свойства и параметры детонации применяемых при сотрясательном взрывании ВВ.

Внедрение в практику ведения взрывных работ эмульсионных ВВ (ЭВВ) вызывают необходимость исследования скорости детонации патронированных предохранительных ЭВВ в зависимости от диаметра патрона и начальной плотности ВВ, сенсibilизированного микросферами. Эти исследования позволят ответить на вопрос об их детонационной способности, необходимой для полноты и устойчивости детонации патронов ЭВВ в шпуровых зарядах. Для решения этой задачи были исследования скорости детонации ЭВВ в патронах различного диаметра и плотности патронирования. В качестве сенсibilизаторов эмульсий у этих ЭВВ использовались стеклянные микросферы *QCel 400*, изготовленные PQ Corp., Valley Forge PA с размером от 64 мкм до 153 мкм, и полые полистирольные гранулы различных размеров. Для изготовления эмульсионной матрицы использовали композицию, состоящую из водного раствора нитрата аммония (66,91%), нитрата кальция (14,59%), воды (12,0%), светлого минерального масла (5,0%) и эмульгатора SPAN-80 (1,5%). По составу эта эмульсионная матрица очень близка к эмульсионной матрице ЭВВ Гремикс-М, выпускаемому по ТУ У 24.6-32690803-001:2009. Приведенные на Рисунке 1 графики зависимостей скорости детонации ЭВВ, сенсibilизированных стеклянными микросферами в патронах различного диаметра и плотности ЭВВ, позволяют сделать вывод, что данные зависимости полиномиальные с характерным экстремумом. Это позволило априори выбрать полиномиальную квадратичную зависимость скорости детонации ЭВВ от диаметра патрона и плотности ЭВВ следующего вида:

$$D_n(d_n, \rho_{\text{ЭВВ}}) = b_0 + b_1 d_n + b_2 \rho_{\text{ЭВВ}} + b_{11} d_n^2 + b_{22} \rho_{\text{ЭВВ}}^2 + b_{12} d_n \rho_{\text{ЭВВ}} \quad (1)$$

где $b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ – коэффициенты, получаемые согласно реализации плановой матрицы эксперимента для различных значений переменных d_n и

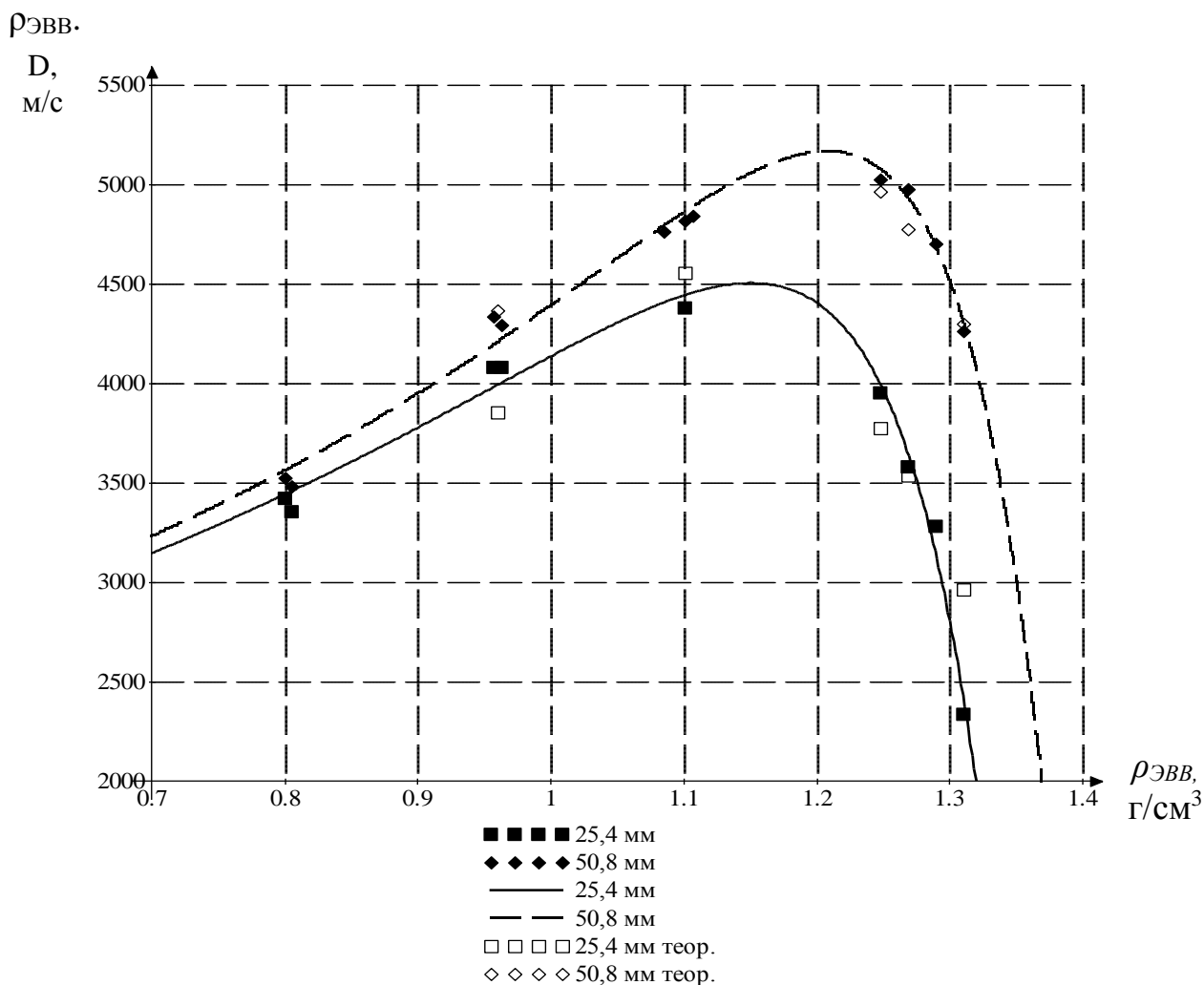


Рисунок 1 – Скорость детонации ЭВВ в зависимости от плотности патронирования

Реализация матрицы планирования экспериментов позволила установить эмпирическую модель, которая имеет следующий вид:

$$D = -39114.732 + 59.377d_n + 76264.647\rho_{ЭВВ} - 1.671d_n^2 - 35721.75\rho_{ЭВВ}^2 + 91.891d_n\rho_{ЭВВ}, \text{ м/с.} \quad (2)$$

Условия применимости данной эмпирической модели расчета скорости детонации ЭВВ определены диаметром патронов $51 \geq d_n \geq 24$ и плотности ЭВВ $1,33 \geq \rho_{ЭВВ} \geq 0,93$.

Расчет скорости детонации патронированных ЭВВ по эмпирическому уравнению (2) показал достаточно хорошую воспроизводимость экспериментальных результатов определения скорости детонации ЭВВ в патронах диаметром 24...51 мм при плотности патронирования $0,92 \dots 1,33 \text{ г/см}^3$. Ошибка расчета D не превышает 5% от экспериментального значения скорости детонации ЭВВ.

В дальнейшей работе сделано развитие полученной эмпирической модели расчета скорости детонации патронированных ЭВВ с учетом того, что может меняться состав ингредиентов эмульсионной матрицы. С учетом этого была сделана корректировка эмпирических коэффициентов в модели (2), которая

включала возможность изменения потенциальной энергии взрыва ЭВВ, его детонационной способности через критический диаметр детонации и параметров плотности патронирования в зависимости от типа, дисперсности и фактической насыпной плотности полых микросфер. В общем, новый вид эмпирической модели расчета неидеальной скорости детонации патронированных ЭВВ представляет собой следующее:

$$D = D_{1,2}(d_n; \rho_{\text{ЭВВ}}; d_n \rho_{\text{ЭВВ}}) * F(Q_v; \varepsilon) * \varphi_0(d_{\text{кр}}; C_{\text{ш}}) * \varphi_1(\rho_{\text{мс}}; r_{\text{мс}}), \text{ м/с}, (3)$$

где $F(Q_v; \varepsilon)$ – функция, учитывающая изменение удельной теплоты взрыва ЭВВ (Q_v) за счет изменения его компонентного состава и ввода ингибиторов в виде конденсированной фазы с концентрацией ε , кг/кг;

$\varphi_0(d_{\text{кр}}; C_{\text{ш}})$ – функция, учитывающая изменение неидеальной скорости детонации ЭВВ в зависимости от критического диаметра ($d_{\text{кр}}$) и концентрации в ВВ полых микросфер ($C_{\text{ш}}$);

$\varphi_1(\rho_{\text{мс}}; r_{\text{мс}})$ – функция, учитывающая изменение критического диаметра детонации ЭВВ в зависимости от размера микросфер ($r_{\text{мс}}$) и их фактической насыпной плотности ($\rho_{\text{мс}}$).

На основании проведенных исследований получена математическая модель расчета неидеальной скорости детонации ЭВВ в патронах конечного диаметра в виде системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} D = \left(-7134,5 + 10,8d_n + 13911 \rho_{\text{ЭВВ}} - 0,3d_n^2 - 6516 \rho_{\text{ЭВВ}}^2 + 16,76d_n \rho_{\text{ЭВВ}} \right) * \\ * \left(\frac{C_{\text{ш}}}{d_{\text{кр}}} \right)^\alpha * \left[1 - \left(\varepsilon + \frac{C_{\text{ш}}}{100} \right) \right]^{0,5} \left[Q_v \left(1 - \frac{C_{\text{ш}}}{100} \right) \right]^{0,5} (C_{\text{ш}} r_{\text{ш}})^\beta, \text{ м/с} \\ \rho_{\text{ЭВВ}} = \frac{\rho_{\text{м}} \rho_{\text{мс}}}{C_{\text{ш}} \left(\frac{\rho_{\text{м}} - \rho_{\text{мс}}}{100} \right) + \rho_{\text{мс}}}, \text{ г/см}^3 \\ d_{\text{кр}} = \left[\left(0,0119 - 0,00988 \frac{\rho_{\text{ЭВВ}}}{C_{\text{м}}} \right) \right]^{-0,5048}, \text{ мм}, \end{array} \right. (4)$$

где α и β – подгоночные коэффициенты модели для расчета скорости детонации патронов ЭВВ с учетом его критического диаметра детонации и типа применяемых микросфер;

$\rho_{\text{м}}$ – исходная плотность эмульсионной матрицы;

$\rho_{\text{мс}}$ – эффективная насыпная плотность микросфер;

$r_{\text{ш}}$ – размер микросфер (диаметр в мкм).

Полигонные исследования ЭВВ Гремикс МП показали, что расчетные показатели по системе уравнений (4) и фактические данные по скорости детонации отличаются в пределах относительной ошибки не более 10% что вполне достаточно для оценки детонационной способности данного ВВ. Параметры детонации ЭВВ Гремикс МП находятся на уровне аммонита ПЖВ-20.

Далее были проведены исследования по установлению устойчивости детонации ВВ в смежных шпурах при короткозамедленном взрывании. Это поз-

волило установить эмпирическую зависимость, учитывающую для горных пород – откольную прочность, а для ВВ – энергетические и детонационные показатели, зависящие от плотности заряжения ВВ в шпурах и удельной теплоты взрыва ВВ. Окончательно установленная эмпирическая зависимость имеет следующий вид:

$$P_{ш} = 506,379 \left[202,2 + 0,2237 m_{ВВ} \left(\frac{d_n}{d_{ш}} \right)^2 Q_v \rho_{ВВ} - 527,36 a_{ш} - 0,2335 a_{ш} m_{ВВ} \left(\frac{d_n}{d_{ш}} \right)^2 Q_v \rho_{ВВ} \right] (\rho_n C_n) \left(\frac{1}{\rho_n C_n} \right)^{1,774}, \text{ атм}, \quad (5)$$

где $d_n, d_{ш}$ – диаметры патрона ВВ и шпура соответственно, м;
 $\rho_{ВВ}$ – плотность ВВ в патронах, г/см³;
 Q_v – удельная теплота взрыва ВВ, кДж/кг;
 ρ_n – плотность горной породы, г/см³;
 C_n – скорость продольной волны в породе, м/с.

Проверка и анализ пригодности полученной эмпирической модели определения давления в смежных шпурах сделаны на основании известных данных по крепости пород, их ударной адиабате сжимаемости и откольной прочности с учетом экспериментальных детонационных параметров промышленных ВВ типа ПЖВ-20 (IV класс) и ЭВВ Гремикс-М. Результаты расчетов по эмпирической математической модели (5) приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные значения параметров детонации шпуровых зарядов ВВ при взрыве в смежных шпурах диаметром 42 мм

№ п/п	ВВ	d _п , мм	m _{ВВ} , кг	Свойства пород			a _ш , м	P, атм.
				Крепость, f	ρ _n , г/см ³	C _n , м/с		
1	Аммонит ПЖВ-20	36	0,9	1*	1,21	1676	0,60	118,4
				6**	2,81	4123	0,45	89,6
				9***	2,86	2928	0,30	190,85
2	Гремикс-М	32		1	1,21	1676	0,60	53,6
				6	2,81	4123	0,45	65,7
				9	2,86	2928	0,30	151,1
3	36	1		1,21	1676	0,60	110,2	
		6		2,81	4123	0,45	86,6	
		9		2,86	2928	0,30	185,8	

* – уголь пласта h₆ «Смоляниновский» ш. им. А.А. Скочинского

** – сланец ш. «Комсомолец Донбасса»

*** – песчаник ш. им. А.А. Скочинского

Установлено, что наведенное критическое давление в шпурах при детонации ЭВВ Гремикс-М в патронах диаметром 36 мм должно соответствовать критическому давлению при детонации в шпурах аммонита ПЖВ-20. Вместе с

тем, это ВВ в патронах 32 мм может иметь более низкое критическое давление, чем у аммонита ПЖВ-20: для угольных забоев – более, чем в 2,05 раза, для породных – более, чем в 1,32 раза.

Полученные результаты позволяют определить пути оптимизации свойств патронированных ЭВВ в зависимости от их устойчивости детонации под внешним давлением в шпурах. Время действия давления на заряд ВВ в шпуре при взрыве смежных шпуровых зарядов небольшое и составляет несколько десятков миллисекунд, то есть оно сопоставимо с интервалом времени замедления при короткозамедленном взрывании. График зависимости времени нарастания давления в шпуре от расстояния между смежными шпурами показан на Рисунке 2, а на Рисунке 3 показан график зависимости времени действия давления на заряд ВВ.

Так, при расстоянии между шпурами 0,3 м время действия давления на заряд ВВ в шпуре составляет примерно 22 мс, а при расстоянии 0,45 м – только 15 мс и при 0,6 м увеличивается до 20 мс. Таким образом интервал времени замедления при групповом взрывании должен быть больше 25 мс.

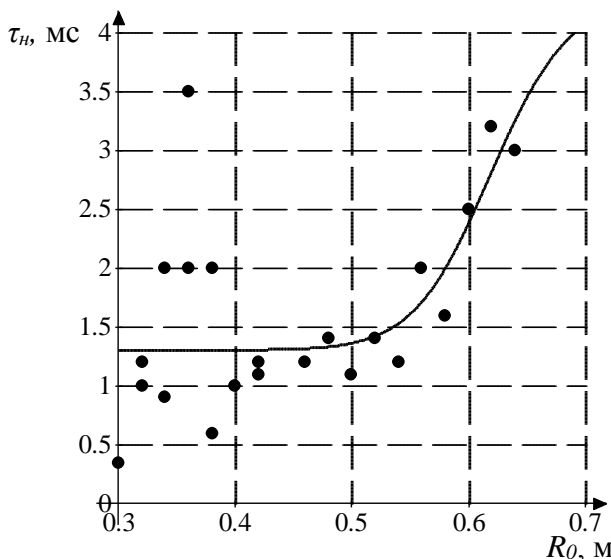


Рисунок 2 – График зависимости времени нарастания давления в шпуре от расстояния между смежными шпурами

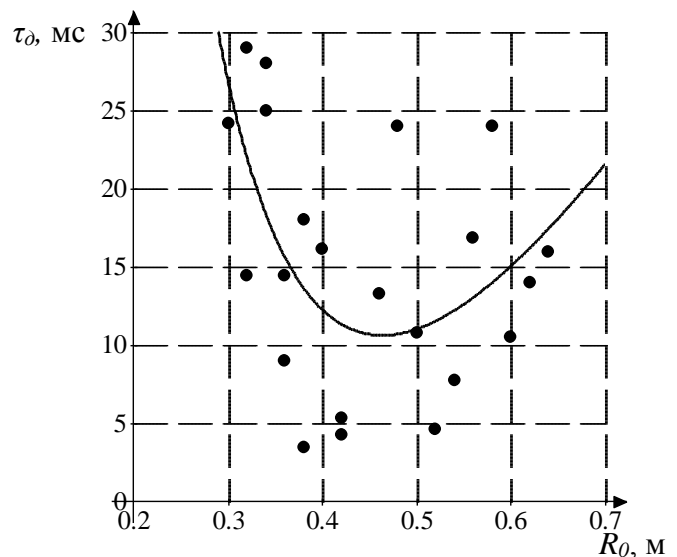


Рисунок 3 – График зависимости времени действия давления в шпуре от расстояния между смежными шпурами

Проведенные исследования позволили сформулировать первое научное положение.

Раздел 3. Безопасная длина заходки на выбросоопасных пластах, как известно, определена длиной не более 2 метров. Эта величина сдерживает темпы проведения горных выработок при сотрясательном взрывании. Поэтому необходимо разработать способ ведения взрывных работ при сотрясательном взрывании, который позволял бы увеличить безопасную зону разгрузки пород для создания эффективной заходки, и тем самым повысил бы темпы проведения выработок. Одним из новых способов сотрясательного взрывания, снижающим

интенсивность и частоту выбросов угля и газа при проведении подготовительных и очистных выработок, является передовое рыхление вмещающих пород. В породах кровли или почвы выбросоопасного пласта на расстоянии, не превышающем радиуса эффективного действия взрыва заряда ВВ, бурят дополнительные шпуры на такую глубину, что отношение линии наименьшего сопротивления (ЛНС) помещаемых в них зарядов ВВ и ЛНС зарядов для отбойки угля составляло 1,8...2,7. Затем в один прием производят короткозамедленное взрывание этих зарядов таким образом, чтобы отношение разности замедлений между взрывом заряда для отбойки угля и передового рыхления по времени затухания упругих колебаний в угольном пласте составило не менее 2,5. Выполнение указанных соотношений обеспечивает создание зоны разгрузки угольного пласта на такую глубину, когда взрывание шпуровых зарядов для отбойки угля осуществляется в безопасной зоне. Вместе с тем, установление радиуса эффективного действия взрыва заряда ВВ является важной составляющей в вопросе оценки эффективности данного способа сотрясательного взрывания.

Как известно, относительный радиус разрушения горной породы от действия ударной волны можно определить по следующей зависимости:

$$\frac{R}{r} = \frac{12.748 \rho_{BB} Q_{BB}^{0,5}}{\rho_n A}, \quad (6)$$

где R – радиус разрушения, м;

r – приведенный радиус заряда ВВ, м;

ρ_{BB} – плотность патронирования ВВ, кг/м³;

Q_{BB} – теплота взрыва ВВ, кДж/кг;

ρ_n – плотность горной породы, кг/м³;

A – скорость распространения продольной волны – первый коэффициент линейного представления ударной адиабаты породы, м/с.

Учитывая то, что, по данным Г.И. Покровского, в формировании сферической ударной волны принимает участие не весь удлиненный заряд, а только его часть $l = \frac{2}{3} R$, радиус разрушения вокруг шпурового заряда ВВ в зависимости от диаметра патронов ВВ можно определить по следующей зависимости:

$$R = \sqrt{\frac{d^2}{8} \left(\frac{12,748 \rho_{BB} Q_{BB}^{0,5}}{\rho_n A} \right)^3}, \quad (7)$$

где d – диаметр патрона, м;

Зная радиус разрушения горной породы, можно определить длину единичного заряда заданного диаметра, обеспечивающего заданное разрушение, а, следовательно, можно легко определить массу единичного заряда:

$$m_{ед} = \rho_{BB} \pi \frac{d^2}{4} \frac{2}{3} R. \quad (8)$$

Поскольку на границах линейного заряда формируется сферическая ударная волна, то и разрушение вдоль оси заряда с двух сторон будет больше длины шпурового заряда $l_{ш}$ на два радиуса разрушения горной породы от дей-

ствия единичного заряда ВВ. Это позволит определить число единичных зарядов в шпуре, задавшись минимальной длиной забойки по ПБ $l_{заб}$ и учитывая глубину заложения заряда:

$$n = \frac{l_{ш} - 2R - l_{заб}}{l_{ед}} \quad (9)$$

Следовательно, зная число единичных зарядов ВВ, можно определить массу шпурового заряда ВВ как произведение количества единичных зарядов на массу единичного заряда ВВ:

$$m_{ш} = m_{ед} * n. \quad (10)$$

Полученную массу шпурового заряда необходимо округлить до массы, кратной массе одного патрона ВВ, и пересчитать длину забойки с учетом длины шпурового заряда ВВ для проверки ее на соответствие требованиям ПБ.

Для обоснования параметров вруба была установлена корреляционная зависимость между частотой возникновения выбросов на цикл от общей энергии взрыва зарядов ВВ – $Q_{ц}$, ($Q_{ц} = m_{ш} \cdot n_{ш} \cdot Q_v$). На основании опытных данных получена следующая эмпирическая зависимость:

$$N = 5.21 \cdot 10^{-9} Q^2 - 4.79 \cdot 10^{-5} Q + 0.196 \quad (11)$$

Если продифференцировать зависимость (11) N от Q и приравнять выражение нулю, получим значение Q при котором можно наблюдать минимум выбросов на цикл (вторая производная функции $f''(N_b) > 0$):

$$\begin{aligned} \frac{dN_b}{dQ} &= -2 \cdot 5.21 \cdot 10^{-9} Q - 4.79 \cdot 10^{-5}; \\ 1.042 \cdot 10^{-8} Q - 4.79 \cdot 10^{-5} &= 0; \\ Q(N_b \rightarrow N_{\min}) &= \frac{4.79 \cdot 10^{-5}}{1.042 \cdot 10^{-8}} = 4596.93 \text{ ккал}. \end{aligned} \quad (12)$$

Определив значение $Q(N_b \rightarrow N_{\min})$, можно установить, как тип ВВ влияет на выбросоопасность сотрясательного взрывания, и как может изменяться число шпуров на цикл при сотрясательном взрывании от типа ВВ.

Анализ функции возможного распределения числа выбросов на цикл сотрясательного взрывания от произведения числа шпуров на цикл $N_{ш}$ на величину импульса взрыва ВВ, передаваемого горному массиву позволил получить следующая эмпирическая зависимость:

$$N = 2.884 \cdot 10^{-5} \exp \left[8.6782 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta I \cdot N_{ш} \right] \quad (13)$$

Из данной зависимости (13) можно получить выражение, описывающее изменение числа шпуров от числа выбросов на цикл сотрясательного взрывания:

$$N_{ш} = \frac{\ln \left(\frac{N}{2.884 \cdot 10^{-5}} \right)}{\Delta I \cdot 8.6782 \cdot 10^{-4}} \quad (14)$$

Таким образом, расчеты по уравнению (14) показали, что вруб можно взрывать мощными ПВВ IV класса, с числом шпуров 6-8 штук, а отбойные

шпуры взрывать с помощью ПВВ VI класса с числом шпуров 34-36 штук. При этом общее число шпуров на квадратный метр забоя практически не изменится для принятых на шахтах паспортов БВР, однако вероятность провоцирования выброса будет крайне мала.

Тем не менее, опасность выброса заставляет предусмотреть параметры взрывания врубовых и отбойных шпуров в такой последовательности, чтобы разрушенные породы при их отбросе формировали в забое насыпные перемычки для борьбы с выбросами, провоцируемыми при сотрясательном взрывании. При проведении выработок больших сечений безопасное число шпуров по условиям провоцирования внезапных выбросов может быть недостаточно, поэтому для этих условий создание противовыбросных перемычек тоже необходимо. Наиболее легко насыпные перемычки создаются для выбросоопасных угольных пластов при проведении смешанных забоев, когда угольный пласт находится у почвы выработки (Рисунок 4). При этом в первую очередь взрываются шпуровые заряды ВВ в верхней породной подрывке, которые разрушают породы и формируют над угольным пластом защитную противовыбросную перемычку необходимой толщины. Чрезмерный разлет и пространственное формирование разрушенной породы обеспечивают специальные экраны, подвешиваемые перед забоем выработки. После этого взрываются шпуровые заряды по углю, которые могут провоцировать внезапный выброс. Однако данный выброс будет локализован защитной перемычкой.

Установлено, что толщину перемычки, которая обеспечивает защитный участок толщиной - Δ , можно определить из уравнения:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\rho_{ном} \cdot u_{ном}^2 \cdot F_{пл.}}{2V_n K_p K_c \rho_n g}},$$

где $\rho_{ном}$ – плотность газугольного потока при выбросе, кг/м³;

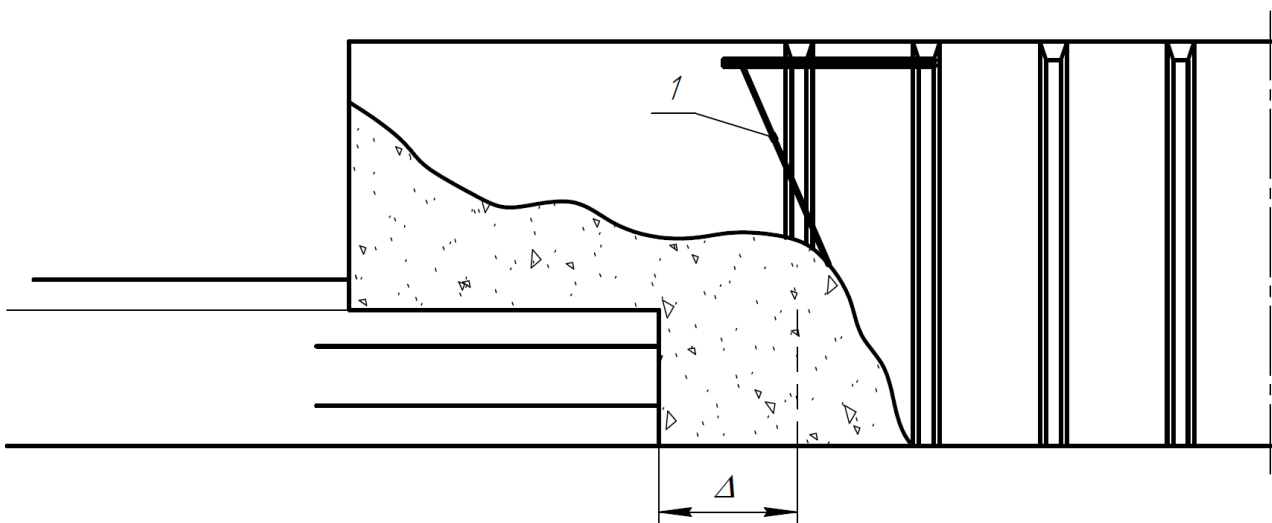


Рисунок 4 – Формирование противовыбросной перемычки
1 – подвесной экран, предотвращающий разлет породы; Δ – необходимая толщина защитной породной перемычки для предотвращения выброса

$u_{nom.}$ – скорость газугольного потока при выбросе, м/с;
 $F_{пл.}$ – площадь пласта, м²;
 V_n – объем породной подрывки, м³;
 K_p – коэффициент разрыхления породы;
 K_c – коэффициент трения-сцепления кусков разрушенной породы;
 ρ_n – плотность породы, кг/м³;
 g – ускорение свободного падения, $g=9,81$ м/с².

Необходимая величина породной перемычки позволяет обосновать параметры верхней подрывки для обеспечения необходимого объема разрушенной породы, защищающей пласт и выработку от возможного выброса.

На основании проведенных исследований было сформулировано второе научное положение.

Раздел 4. Проведенные теоретические, лабораторные и полигонные исследования позволили разработать элементы технологического регламента проведения выработок по буровзрывной технологии в режиме сотрясательного взрывания. Обоснована конструкция шпуровых зарядов ВВ, определены эффективные интервалы замедления между группами шпуров, разработана методика расчета паспорта БВР, учитывающая результаты проведенных исследований.

Опытно-промышленная проверка разработанной технологии была проведена на ш/у им. А.А. Скочинского при проведении подготовительных штреков по угольному пласту h₆ «Смоляниновский». Рекомендации и методика расчета параметров сотрясательного взрывания при проходке выработок по буровзрывной технологии используются при ведении буровзрывных работ на ш/у им. А.А. Скочинского. Примерный паспорт БВР приведен на Рисунке 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной квалификационной научно-исследовательской работой, в которой дано новое техническое решение задачи повышения эффективности проведения буровзрывным способом горных выработок на выбросоопасных пластах на основании установленных закономерностей скорости детонации ЭВВ и наведенного давления, возникающего от взрыва смежных шпуров, что позволяет установить параметры разрушения выбросоопасных горных пород в зависимости от типа и свойств ВВ, интервалов замедления при взрывании групп шпуровых зарядов ВВ, расстояния между шпурами, и рациональные параметры шпуровых зарядов, которые обеспечивают повышение темпов проведения выработок и защиту их от внезапных выбросов угля, породы и газа.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем.

1. На основании проведенных исследований установлена параметрическая зависимость скорости детонации эмульсионного ВВ от его плотности патронирования и диаметра патрона, которая учитывает взаимодействие указанных факторов влияния,

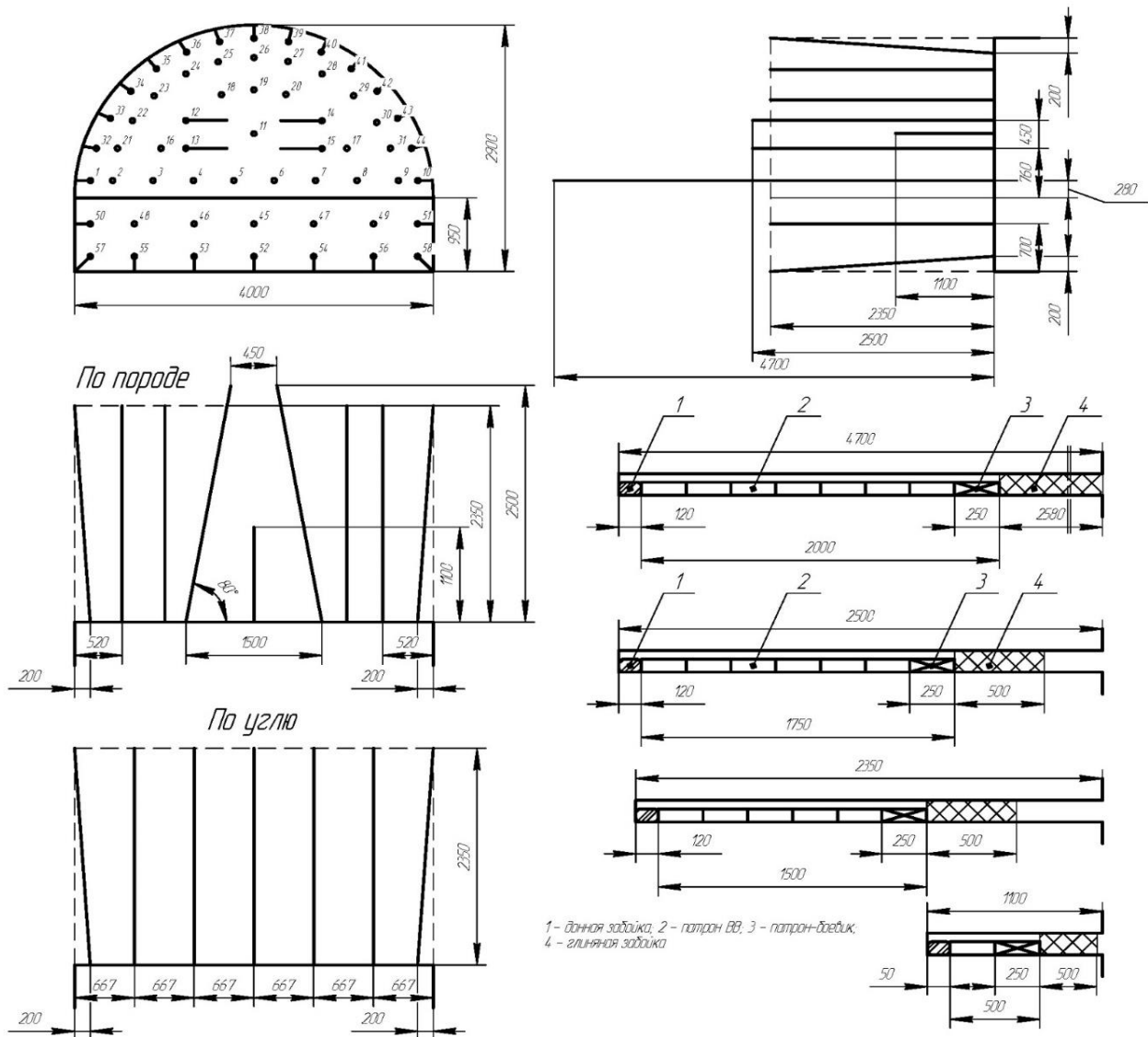


Рисунок 5 – Примерный паспорт буровзрывных работ

2. Для оценки устойчивости детонации зарядов ВВ разработана математическая модель расчета скорости детонации ВВ, которая позволяет рассчитать скорость детонации заряда от удельной теплоты взрыва ЭВВ, критического диаметра ЭВВ, концентрации в ВВ полых микросфер, размера микросфер и их фактической насыпной плотности.

3. Получена эмпирическая модель зависимости наведенного давления в смежных шпурах при детонации в них зарядов ВВ, которое зависит от расстояния между шпурами и интервала времени взрывания смежных шпуров от удельной теплоты взрыва ВВ и акустической жесткости горных пород.

4. Обоснованы размеры зоны разгрузки для безопасной выемки увеличенными заходками, которые определяются радиусом разрушения горных пород вокруг шпура и величиной заряда ВВ и зависят от диаметра патронов ВВ, удельной теплоты взрыва ВВ, плотности патронирования и акустической ударной жесткости пород.

5. Обоснованы технологические регламенты проведения выработок по

выбросоопасным пластам в режиме сотрясательного взрывания с обеспечением передовой разгрузки и созданием предохранительной породной перемычки для обеспечения требуемых темпов проходки подготовительных выработок.

6. Внедрение новых научно обоснованных параметров БВР при сотрясательном взрывании и рекомендаций по организации горнопроходческих работ позволило обеспечить повышение темпов проведения подготовительных горных выработок на угольных шахтах Донбасса, опасных или угрожаемых по внезапным выбросам угля, породы и газа.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Калякин, С.А. Действие взрыва на заряды взрывчатых веществ, находящихся в смежных шпурах / С.А. Калякин, **Р.И. Азаматов** // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький державний університет імені М. Остроградського.– Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 1/2013 (11). – С. 65-76.
2. Калякин, С.А. Математическая модель расчета скорости детонации патронированных эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibilизированных микросферами / С.А. Калякин, **Р.И. Азаматов** // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький державний університет імені М. Остроградського.– Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2/2014 (14). – С. 51-61.
3. Калякин, С.А. Локализация внезапных выбросов в забоях горных выработок при сотрясательном взрывании / С.А. Калякин, К.Н. Лабинский, **Р.И. Азаматов** // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета.- Алчевск: ДонГТУ, 2018.- Вып. №53, 2018.- С. 39-45.
4. Калякин, С.А. Взрывное воздействие на заряды взрывчатых веществ, находящиеся в смежных шпурах при сотрясательном взрывании в угольных шахтах / С.А. Калякин, **Р.И. Азаматов** // Информационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников.– Кривой Рог: УСИБ, 2013.– Вып. №4(21), 2013.– С. 2-10.
5. Калякин, С.А. Развитие и совершенствование предохранительных ВВ для сотрясательного взрывания на угольных шахтах / С.А. Калякин, **Р.И. Азаматов**, Н.А. Новикова // Информационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников.– Кривой Рог: УСИБ, 2014.– Вып. №3(24), 2014.– С. 7-11.
6. Калякин, С.А. Действие взрыва на заряды взрывчатых веществ, находящихся в смежных шпурах / С.А. Калякин, **Р.И. Азаматов** // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології ведення буровибухових робіт, їх економічна ефективність і техногенна безпека», 3-10 вересня 2013 р.- Кременчук-Бургас, 2013.- С. 54-58.
7. Калякин, С.А. Математическая модель расчета скорости детонации патронированных эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibilизированных микросферами / С.А. Калякин, **Р.И. Азаматов** // матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «розробка, використання й екологічна безпе-

ка сучасних гранульованих та емульсійних вибухових речовин», 3-8 лютого 2014 р.- Кременчук-Кошице, 2014.- С. 63-72.

Личный вклад диссертанта в публикации, написанные в соавторстве: [1, 6] – исследование распространения ударных волн в массиве горных пород и их влияние на возникновение наведенного давления в смежных шпурах; [2, 7] – разработка математической модели, планирование факторного эксперимента и установление зависимости скорости детонации эмульсионных ВВ от их состава и параметров заряда; [4] – исследование времени воздействия наведенного давления от взрыва заряда ВВ в смежных шпурах; [5] – обоснование энергетических характеристик ВВ и исследование их влияния на эффективность взрывных работ при сотрясательном взрывании; [3] – обоснование параметров защитной породной перемычки, препятствующей развитию выброса при ведении буровзрывных работ в режиме сотрясательного взрывания.

АННОТАЦИЯ

Азаматов Р.И. Обоснование эффективных и безопасных параметров сотрясательного взрывания при проведении горных выработок по выбросоопасным пластам. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки ДНР, Донецк, 2018.

В диссертационной работе дано новое техническое решение задачи повышения эффективности проведения буровзрывным способом горных выработок на выбросоопасных пластах на основании установленных закономерностей скорости детонации ЭВВ и наведенного давления, возникающего от взрыва смежных шпуров, что позволяет установить параметры разрушения выбросоопасных горных пород в зависимости от типа и свойств ВВ, интервалов замедления при взрывании групп шпуровых зарядов ВВ, расстояния между шпурами, и рациональные параметры шпуровых зарядов, которые обеспечивают повышение темпов проведения выработок и защиту их от внезапных выбросов угля, породы и газа.

Выполнен критический анализ состояния проведения горных выработок при сотрясательном взрывании на шахтах Донбасса. Сформулированы цель и задачи исследований для тех факторов, которые определяют эффективность сотрясательного взрывания и увеличение заходки при проведении горной выработки. Установлена параметрическая зависимость скорости детонации эмульсионного ВВ от его плотности патронирования и диаметра патрона. Разработана математическая модель расчета скорости детонации заряда от удельной теплоты взрыва ЭВВ, критического диаметра ЭВВ, концентрации в ВВ полых микросфер, размера микросфер и их фактической насыпной плотности.

Получена эмпирическая модель зависимости наведенного давления в смежных шпурах при детонации в них зарядов ВВ, которое зависит от расстояния между шпурами и интервала времени взрывания смежных шпуров от

удельной теплоты взрыва ВВ и акустической жесткости горных пород, что позволило обосновать эффективные параметры шпуровых зарядов при разрушении горных пород в режиме сотрясательного взрывания.

Обоснованы технологические регламенты проведения выработок по выбросоопасным пластам в режиме сотрясательного взрывания с обеспечением передовой разгрузки и созданием предохранительной породной перемычки для обеспечения требуемых темпов проходки подготовительных выработок.

Внедрение новых научно обоснованных параметров БВР при сотрясательном взрывании и рекомендаций по организации горнопроходческих работ позволило обеспечить повышение темпов проведения подготовительных горных выработок на угольных шахтах Донбасса, опасных или угрожаемых по внезапным выбросам угля, породы и газа.

Ключевые слова: сотрясательное взрывание, скорость детонации, навешенное давление, породная перемычка, длина заходки.

ABSTRACT

R.I. Substantiation of parameters and operating modes of power diesel installations of mining transport machines – the manuscript.

Thesis for a Degree of Candidate of Science (Engineering) in specialty 25.00.22 – «Geotechnology (underground, open and building)» – State Educational Institution of Higher Professional Education «Donetsk National Technical University» of the Ministry of Education and Science of DPR, Donetsk, 2018.

The researches of detonation velocity of emulsion explosives in cartridges are generalized. The empirical mathematic model of calculation of non-ideal detonation velocity which grounded on local and foreign researches was determined. This model forecasts a detonation velocity and a critical diameter of detonation, and that is decreases quantity of experimental researches. The system analysis of experimental data concerning the calculating of critical detonation pressures of blast-hole charges of explosives during the explosion of groups of charges was analyzed in the work. The empirical mathematics model for calculation of pressure in the related blast-holes during the short-delay explosion was established. Received model for calculation allows to calculate critical pressure of detonation for any type of explosives, including packaged emulsion explosives, depending on the diameter of the charge of explosives, massif properties and slabbing strength of rocks. The technological regulations were grounded for conducting workings on outburst-hazardous formations in the mode of shaking blasting with the provision of advanced unloading and the creation of a protective rock barrier to ensure the required rate of penetration of preparatory developments.

Keywords: shaking blasting, velocity of detonation, induced pressure, rock jumper, length of entry.