

УДАРНЫЕ ВОЛНЫ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Самойлов М.А.

МБОУ «Степновская СОШ», 10 класс

Руководитель: Мартынова М.И., МБОУ «Степновская СОШ», учитель физики

Данная статья является реферативным изложением основной работы. Полный текст научной работы, приложения, иллюстрации и иные дополнительные материалы доступны на сайте VII Международного конкурса научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке» по ссылке: <https://school-science.ru/7/11/39702>.

Я живу в Кузбассе, в месте расположения самого крупного месторождения каменного угля. Общие геологические запасы Кузнецкого бассейна оцениваются более чем в 700 млрд. т, что составляет около 70% всех угольных запасов России. Открытая добыча угля в России составляет 2/3 общего объема. На территории Кемеровской области открываются преимущественно угольные разрезы. Добыча угля на разрезах экономически выгоднее, а также меньше случаев производственного травматизма, чем на шахтах [4].

В настоящее время на угольных разрезах остается востребованным способ разрушения коренных горных пород с использованием энергии взрыва. Преимущества такого способа подтверждены многолетней практикой проведения буровзрывных работ в горном деле. Однако непосредственно взрывным работам, сопутствует ряд негативных проявлений. Такими основными проявлениями являются ударная воздушная волна, разлет кусков породы, вредные газы взрывчатого превращения современных составов, пылеобразование, сейсмическое воздействие на окружающие объекты.

Цель данной работы: изучение влияния различных методов ведения взрывных работ на силу ударного воздействия взрыва.

Гипотеза. Новейшие методы взрывных работ, сводят к минимуму ударное воздействие при проведении открытых горных работ.

Для проверки выдвинутой гипотезы необходимо решить следующие **задачи**:

1. На основе теоретического изучения научной литературы выявить основные характеристики ударной волны.

2. Выполнить расчет сейсмически безопасного расстояния для зданий и сооружений.

3. Сравнить показатели ранее применяемого метода взрыва и новейшего метода взрывных работ.

Для этого реализуем следующий проект (приложение 1).

1. Литературный обзор

Взрыв – быстропротекающий физический или физико-химический процесс, проходящий со значительным выделением энергии в небольшом объеме за короткий промежуток времени и приводящий к ударным, вибрационным и тепловым воздействиям на окружающую среду вследствие высокоскоростного расширения продуктов взрыва. Взрыв в твердой среде вызывает разрушение и дробление [5].

Энергия, выделяющаяся при взрыве, приводит к возникновению и распространению в окружающей среде очень узкой зоны сжатия-разрежения. В пределах этой зоны, распространяющейся со сверхзвуковой скоростью, протекают физические процессы, называемые ударной волной. Существование этих процессов состоит в скачкообразном изменении всех параметров среды (давления, температуры, плотности).

Передняя граница зоны сжатия называется фронтом ударной волны. Форма фронта ударной волны в однородной среде, например в воздухе, представляет собой сферу и не зависит от формы взорвавшегося заряда. Ударная волна имеет два основных отличия от звуковой волны:

- параметры среды в ней (давление, температура, плотность) изменяются практически скачком;

- скорость ее распространения превышает скорость звука в невозмущенной среде.

Процесс образования ударной волны рассмотрим на примере взрыва заряда взрывчатого вещества [1].

При взрыве заряда взрывчатого вещества газообразные продукты взрыва, находящиеся под давлением порядка десятков и даже сотен тысяч атмосфер, расширяются, сжимая окружающую среду (воздух, воду, грунт и т.п.). Развитие процесса взрыва в среде схематически показано на рис. 1.

После прохождения детонационной волны AA_1 по заряду BB_1 (пунктиром обозначена прдетонирующая часть заряда)

начинается расширение продуктов детонации. Зона расширяющихся продуктов в данный момент времени ограничена кривой CAA_1C_1 , фронт ударной волны, возбужденной взрывом, – BA и A_1B_1 . Скорость детонации U связана со скоростями ударной волны U_1 и расширения продуктов U_2 соотношением $U > U_1 > U_2$, причем значения U_1 и U_2 и совпадают по мере удаления от фронта детонации AA_1 .

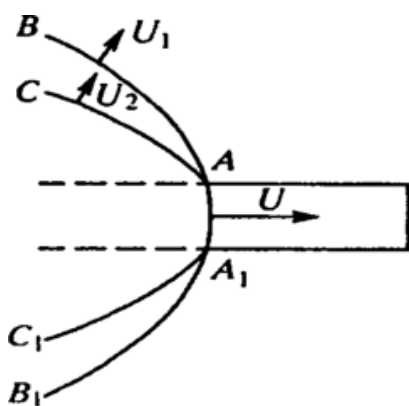


Рис. 1. Схема развития процесса взрыва в среде

Схема изменения давления во времени при прохождении ударной волны показана на рис. 2.

Время, в течение которого давление в ударной волне сохраняется выше атмосферного, называется фазой сжатия, а время,

в течение которого давление остается ниже атмосферного, – фазой разрежения.

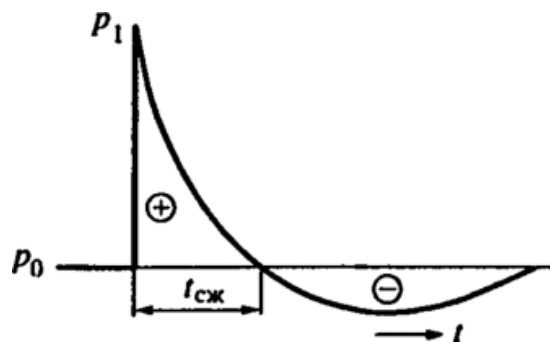


Рис. 2. Схема изменения давления во времени при прохождении ударной волны: (+) – фаза сжатия; (-) – фаза разрежения (при взрывах в плотных средах – фаза растяжения или разгрузки)

Фронт ударной волны распространяется со сверхзвуковой скоростью ($U > c_0$), а ее хвостовая часть, где $p < -p_0$, движется со скоростью, близкой к скорости звука c_0 в невозмущенной среде, поэтому по мере движения ударная волна растягивается во времени.

Давление в фронте ударной волны p_1 скорость перемещения фронта U и скорость потока среды U_1 не являются постоянными. Следовательно, ударная волна имеет как область сжатия, так и разрежения. На практике действие ударной волны определяется фазой сжатия.

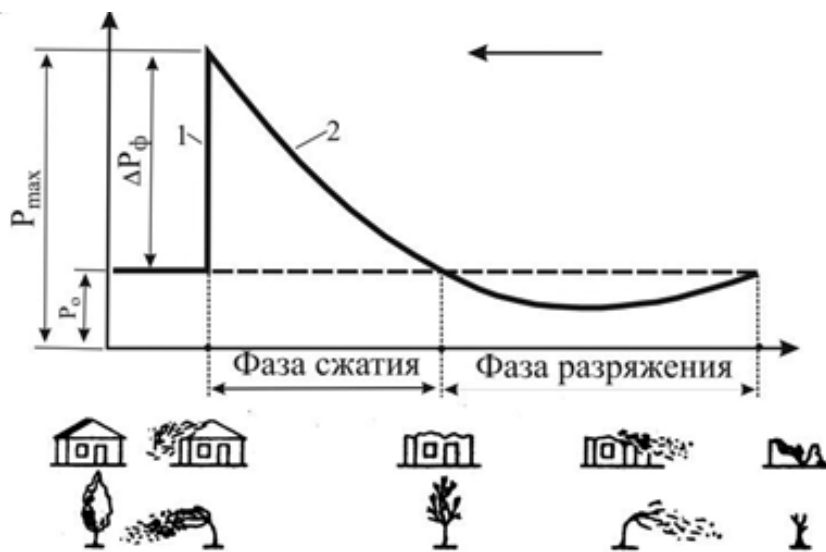


Рис. 3. Ударная волна: 1 – фронт ударной волны; 2 – кривая изменения давления

В случае возникновения ударной волны люди, здания, сооружения могут находиться под прямым или косвенным воздействием ударной волны. Прямое воздействие ударной волны на человека носит травматический характер, а при воздействии на здания, сооружения – разрушительный характер (рис. 3).

2. Практическая часть

2.1. Взрывные работы при разработке угольных месторождений открытым способом

Сегодня в нашей стране действует около 120 угольных разрезов, где добывается 2/3 российского угля. Непременный спутник открытой добычи каменного угля – взрывные работы. При традиционных взрывах в воздух поднимается огромное количество пыли и газа. Воздушная ударная волна чувствуется на большом расстоянии, а шум слышен за десятки километров [3].

Я живу в населенном пункте, который расположен рядом с разрезами и шахтами. Иногда слышны отголоски взрывов. Черная пыль хорошо видна зимой. Значит проблемы есть. Нужны технологии, которые позволят снизить шумовую нагрузку при взрыве, уменьшить сейсмическое воздействие и объемы выбрасываемых пыли и газа.

И мы решили выяснить, что можно изменить и что уже делается в этом направ-

лении. Поводом для этого послужил репортаж, показанный по ГТРК «Кузбасс» 06.03.2018г. об эксперименте, который проводили на разрезе «Талдинский» (входит в состав ОАО «Угольная компания «Кузбассразрезуголь»). Для наглядности были организованы два взрыва, один из которых проводился по устаревшим технологиям 15–20 летней давности, второй – по самым современным.

На рис. 4 хорошо видно, что при экспериментальном взрыве нет столба пыли, дыма и по свидетельству очевидцев он был «тихим» [7].

В чем же заключается суть эксперимента? Почему эти взрывы так отличаются [9]? Ведь объем взорванной массы одинаков.

Из данных, которые удалось найти в интернете [8], составили сравнительную таблицу:

По новой технологии взрывы происходят не одновременно во всех скважинах, а последовательно, что позволяет повысить эффективность взрывных работ на разрезах и свести к минимуму воздействие на окружающую среду. Это подтверждают показания сейсморегистраторов [7]. Отказ от тротилсодержащих веществ, так же помог снизить количество вредных выбросов в атмосферу. Немаловажно и то, что масса взрывчатых веществ значительно ниже, а значит нужно меньше перевозить и хранить (таблица).

а



б



Рис. 4. Экспериментальные взрывы:
а – взрыв по старой технологии; б – по новой технологии

Сравнительные показатели экспериментальных взрывов

Показатели	По устаревшим технологиям	По новым технологиям
Количество скважин	79	79
Глубина скважин	15	15
Объем горной взорванной массы, тыс. куб/м	43	43
Масса взрывчатых веществ, тонн	X	X – 6 тонн
Тип/марка взрывчатых веществ	Тротил	«Сибирит – 1200»
Детонаторы	Детонирующий шнур	Патронированные эмульсионные промежуточные детонаторы «Бластит» 55–1000
Стоимость взрывных работ	1	1: 2
Скорость колебаний, показания сейсморегистраторов – 700 м от блока – 3000 м от блока	48 мм/с 5 мм/с	1,3 мм/с -
Выбросы: единиц – оксид азота – монооксид углерода – пыль	1 1 1	1/10 ½ 1/3

Давайте разберемся, как это происходит [12].

Сначала подготавливают площадку для бурения, буровой станок бурит скважины, комиссия принимает буровой блок к заряджанию. Затем происходит зарядка скважин взрывчатыми веществами и монтаж взрывной сети.

При старом способе к детонирующему шнуру поверхностной взрывной сети

в определенной очередности закрепляется узлом детонирующий шнур, идущий к промежуточному детонатору, находящемуся в скважине. Желтые перемычки – РП (реле пиротехническое) устанавливаются вручную для замедления передачи детонации по поверхностной взрывной сети. Данный способ ведения взрывных работ сопровождается большими затратами времени и средств.

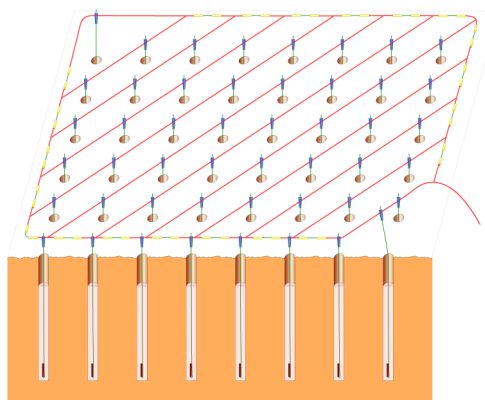


Рис. 5. Одновременный взрыв зарядов

Один из методов снижения негативного воздействия на окружающую среду – замедление взрывов. Идею предложил в СССР ученый К.А. Берлин [3]. Первый замедленный взрыв был проведен в 1934 году: помещенная в разные скважины блока взрывчатка взрывается через небольшие интервалы времени. За раз подрывается блок из нескольких скважин. Таким образом, один крупный взрыв «разбивается» во времени на несколько небольших. Интервал замедления составляет тысячные доли секунды. Однако эти мизерные промежутки дают возможность значительно снизить объем выбрасываемой пыли. Кроме того, за счет соударения кусков массива при короткозамедленном взрывании для получения того же эффекта разрушения горной породы требуется меньше взрывчатого вещества, чем при обычном взрыве. А это означает снижение сейсмического воздействия.

источником тока, подают боевой сигнал и включают ток. Сеть проверяется и происходит инициирование зарядов. При обнаружении отказов производят работы по их ликвидации.

Осмотр места взрыва производится через установленный правилами интервал времени, но не раньше полного проветривания.

2.2. Устройства инициирующие с замедлением поверхностные

Новая система «Искра-Т», отечественного, новосибирского завода, так называемая «гибридная» система инициирования [10]. Основная задача, которая была решена при разработке данной системы, заключалась в значительном повышении точности срабатывания за счёт применения электроники и современных технических решений с сохранением простоты, надёжности

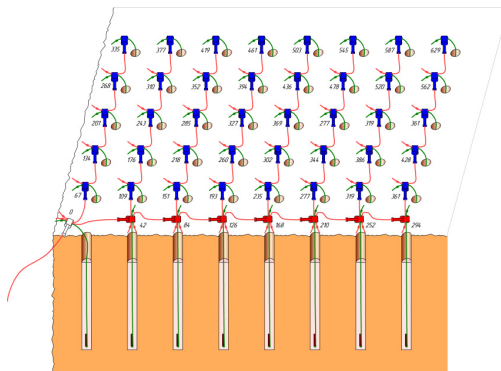


Рис. 6. Проведение взрывных работ методом скважинных зарядов

При монтаже взрывной сети концевые провода от детонаторов с помощью участковых и магистральных проводов соединяются во взрывную сеть, затем исправность взрывной сети проверяют прибором, концы магистральных проводов соединяют с

и удобства в обращении на уровне обычных неэлектрических систем инициирования. Особенности этой системы позволяют снизить сейсмическое воздействие, выброс в атмосферу многократно и работать в «тихом режиме».

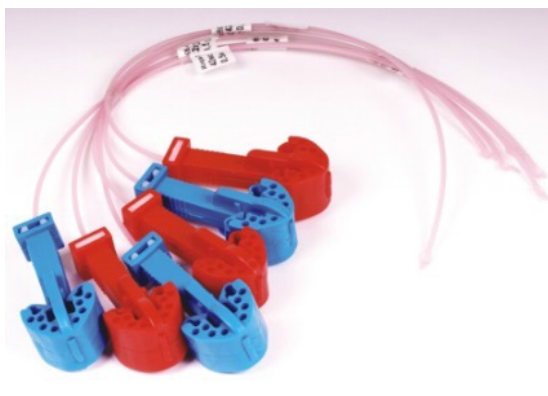


Рис. 7. Устройства инициирующие с замедлением поверхностные ИСКРА – П, ИСКРА – С

Устройства инициирующие с замедлением поверхностные предназначены для замедления передачи инициирующего импульса при взрывных работах на земной поверхности, а также в подземных рудниках и шахтах, не опасных по газу или пыли. При проведении взрывных работ методом скважинных зарядов неэлектрическая система инициирования «ИСКРА», состоящая из устройства инициирующего с замедлением скважинного, по сравнению с взрыванием при помощи детонирующего шнура имеет следующие преимущества:

- за счет широкого выбора значений времени замедления устройств достигается высокий уровень управления массовым взрывом;
- исключается подбор поверхностной взрывной сети;
- низкий сейсмический эффект, обусловленный разновременным срабатыванием скважинных зарядов;
- возможность эффективного использования «обратного» инициирования скважинных зарядов.

Применение устройств ИСКРА существенно повышает безопасность ведения ВР, так как:

- исключается возможность передачи инициирующего сигнала во взрывную сеть при несанкционированном взрыве скважинного заряда;
- устройства нечувствительны к электрическим и электромагнитным воздействиям;
- устройства обладают высокой стойкостью к механическим воздействиям.

2.3. Расчет безопасного расстояния по сейсмическому воздействию массовых взрывов

Массовые взрывы при производстве в различных отраслях, в том числе на угольных разрезах, выполняются на основании требований «Единых правил безопасности при взрывных работах». Безопасные расстояния по сейсмическому воздействию массовых взрывов рассчитывают по формулам, приведенным в проектной документации [2]. В расчетах учитываются не только параметры заряжаемого блока, но и свойства грунтов в основании близлежащих охраняемых объектов, их состояние и значимость. Расстояния, на которых колебания грунта, вызываемые однократным взрывом сосредоточенного заряда взрывчатых веществ, становятся безопасными для зданий и сооружений, определяют по формуле (1):

$$r_c = K_c K_c \alpha Q^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

$$r_c = 8 \cdot 1,5 \cdot 2 \cdot 18000^{\frac{1}{3}} = 628,977 \text{ м}$$

где r_c – безопасное расстояние от места взрыва до охраняемого здания, м (приложение 2); K_c – коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого объекта; K_c – коэффициент, зависящий от типа здания (сооружения) и характера застройки; α – коэффициент, зависящий от условий взрывания; Q – масса заряда, кг (условно примем 18 тонн).

При одновременном взрывании N зарядов взрывчатых веществ общей массой Q со временем замедления между взрывами каждого заряда не менее 20 мс безопасное расстояние определяют по формуле (2):

$$r_c = \frac{K_c K_c \alpha}{N^{\frac{1}{4}}} Q^{\frac{1}{3}}, \quad (2)$$

$$r_c = \frac{8 \cdot 1,5 \cdot 2}{79^{\frac{1}{4}}} 12000^{\frac{1}{3}} = 183,154.$$

Как видим из результатов вычислений, безопасное расстояние по сейсмическому воздействию для зданий и сооружений при использовании инициирующего устройства с замедлением передачи инициирующего импульса в 3,4 раза меньше, чем при одновременном взрыве. Значит, новые технологии действительно менее разрушительны для окружающей среды.

2.4. Перспективы развития угольной промышленности

Взрыв без шума и пыли. Такое, конечно, пока немислимо, но всё же наука стремится к тому, чтобы применяемые при добыче полезных ископаемых технологии разрушения горных пластов давали хороший результат при минимуме побочных эффектов. Так учёные Института проблем комплексного освоения недр РАН нашли алгоритмы «правильного взрыва» для освоения одного из самых больших в России угольных разрезов, и разработали свой рецепт эффективного взрывного разрушения горной породы: учёным удалось найти алгоритмы взрыва с направленным эффектом, изменяя форму заряда в сечении. Также учёные разрабатывают новый рецепт для изготовления взрывчатого вещества – секрет в особой, пористой конфигурации гранул селитры, которые можно производить без больших затрат [11].

Это дает возможность утверждать, что ведение взрывных работ должно идти сегодня с учетом вот этих современных научно-технических достижений в другом масштабе. Мне и моим сверстникам предстоит

жить и работать на разрезах и шахтах Кузбасса, и дальше внедрять в производство новые инновационные проекты и решения, которые сейчас только опробованы на отдельных предприятиях Кузбасса.

Мы сейчас стоим на пороге выбора будущей работы. Наши родители, родные трудятся в угольной отрасли. Профессия инженер-взрывотехник будет востребована здесь. Изучая основы сейчас, мы сможем в будущем ответственно провести взрыв по правилам. Думаю, что информационный буклет поможет ребятам в выборе их будущей специальности (приложение 4).

Заключение

Целью данной работы было изучение влияния различных методов ведения взрывных работ на силу ударного воздействия взрыва.

Для достижения данной цели была изучена научная литература и выявлены основные характеристики ударной волны на примере взрыва заряда взрывчатого вещества. Произведен расчет сейсмически безопасного расстояния для зданий и сооружений при проведении массовых взрывов на угольных разрезах.

Исходя из полученных результатов, сделали следующие выводы:

Отечественная система замедления инициирования «ИСКРА» и использование взрывчатых веществ нового поколения позволяют снизить сейсмическое воздействие, выброс в атмосферу и работать в «тихом режиме».

Безопасное расстояние по сейсмическому воздействию для зданий и сооружений при использовании инициирующего устройства с замедлением передачи инициирующего импульса, по результатам полученных вычислений, в 3,4 раза меньше, чем при одновременном взрыве.

Разработка и использование новых технологий позволяет повысить эффективность взрывных работ на разрезах и свести к минимуму воздействие на окружающую среду.

Гипотеза, выдвинутая в начале эксперимента, подтвердилась: новейшие методы взрывных работ, сводят к минимуму ударное воздействие при проведении открытых горных работ.

Знакомство с профессией инженера-взрывотехника поможет моим сверстникам получить профессию, которая нужна нашему Кузбассу. А значит будет больше хороших и нужных специалистов, которые смогут сделать наш край не только богаче, но и чище, «тише», красивее.

Список литературы

1. Шапров М.Н. Теория горения и взрыв: учебное пособие [Электронный ресурс] / М.Н. Шапров – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2016. – 92 с. – Режим доступа: <http://znanium.nwotu.ru:8087/spec/catalog/author/?id=7a76b347-3948-11e6-a9af-90b11c31de4c>.
2. Доманов В.П., Машуков И.В. Мониторинг сейсмического воздействия на охраняемые объекты при производстве массовых взрывов на разрезах Кузбасса [Электронный ресурс] / В.П. Доманов, И.В. Машуков Научно-технический журнал Вестник № 1.1 – 2013 – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-seismicheskogo-vozdeystviya-na-ohranyaemye-obekty-pri-proizvodstve-massovyh-vzryvov-na-razrezah-kuzbassa>.
3. Назарова Е. Взрыв по правилам [Электронный ресурс] // Промышленные страницы Сибири. Добывающая промышленность. – Режим доступа: <http://www.mining-portal.ru/>.
4. Плакиткина Л.С. Кузнецкий угольный бассейн: состояние в 2015 г. и перспективы развития добычи угля в период до 2035 г. // Уголь Кузбасса: Федеральный научно-практический журнал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uk42.ru/index.php?id=2667>.
5. Взрыв. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Взрыв>.
6. Инженер – взрывотехник. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://postupi.online/professiya/inzhener-vzryvotehnik/vuzi/>.
7. Максименко Л. А взрывы здесь тихие... [Электронный ресурс] / Л. Максименко. – Режим доступа: <http://kuzbass85.ru/2018/03/13/a-vzryvyi-zdes-tihie/>.
8. На разрезах Кузбасса начали использовать новые методы ведения взрывных работ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://prokopievsk.ru/news/obschestvo/narrezakh-kuzbassa-nachali-ispolzovat-novye-met/>.
9. На Талдинском разрезе в Новокузнецком районе испытали новейшие методы взрывных работ [Электронный ресурс] / «Вести-Кузбасс 20:45» от 06.03.18. – Режим доступа: <http://vesti42.ru/vesti2045/44576-vesti-kuzbass-20-45-ot-06.03.18/>.
10. ОАО «НМЗ «ИСКРА»: высокотехнологичные разработки в области средств инициирования [электронный ресурс]. – режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/anonsy/5219-oao-nmz-iskra-vysokotekhnologichnyerazrabotki-v-oblasti-sredstv-initsirovaniya>.
11. Российские учёные укротили энергию взрыва [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://psyont.livejournal.com/4250912.html>.
12. Угольные бассейны России. Открытый способ добычи угля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poisk-ru.ru/s64018t1.html>.

Приложение 1

Паспорт проекта

Название проекта – «Ударные волны при взрывных работах при разработке угольных месторождений открытым способом».

Вид проекта – исследовательский.

Объект исследования: ударная волна.

Предмет исследования: безопасное расстояние по сейсмическому воздействию массовых взрывов.

Цель исследования: изучение влияния различных методов ведения взрывных работ на силу ударного воздействия взрыва.

Задачи:

- на основе теоретического изучения научной литературы выявить основные характеристики ударной волны;

• выполнить расчет сейсмически безопасного расстояния для зданий и сооружений;

• сравнить показатели ранее применяемого метода взрыва и новейшего метода взрывных работ.

7. Руководитель проекта – Мартынова Марина Ивановна, учитель физики.

8. Название организации – МБОУ «Степновская СОШ».

9. Сроки реализации проекта – ноябрь 2018 г. – январь 2019 г.

10. Краткое описание проекта, его актуальность.

Я живу в Кузбассе, в месте расположения самого крупного месторождения каменного угля. Вокруг моего поселка много угольных разрезов. Непременный спутник открытой добычи каменного угля – взрывные работы. При традиционных взрывах в воздух поднимается огромное количество пыли и газа. Но 06.03.2018г. на ГТРК «Кузбасс» показали экспериментальный взрыв, он был «тихим» без газа, пыль чуть поднялась в воздух. И мы решили выяснить, можно ли уменьшить негативные воздействия взрывов на окружающую среду и что уже делается в этом направлении.

11. Проектный продукт: результаты исследования, буклет.

12. Механизм реализации проекта.

13. Формы деятельности по проекту. Изучение литературы, формулирование цели и задач проекта, оформление работы, буклета, расчет сейсмически безопасного расстояния для зданий и сооружений, анализ результатов.

14. Дальнейшее развитие проекта, распространение результатов проекта. Презентация результатов работы учащимся, учителям, родителям. Дальнейшее изучение перспективных технологий в угольной промышленности.

Приложение 2

Таблица 2

Значения коэффициента K_c

Скальные породы плотные, ненарушенные	5
Скальные породы нарушенные, неглубокий слой мягких грунтов на скальном основании	8
Необводные песчаные и глинистые грунты глубиной более 10 метров	12
Почвенные обводные грунты и грунты с высоким уровнем грунтовых вод	15
Водонасыщенные грунты	20

Таблица 1

Этап	Продолжительность	Место работы учащегося	Содержание работы	Выход этапа
I этап. Организационный	3 недели	В школе, дома	Изучение истории и теории вопроса, постановка проблемы, определение темы исследования, его объекта и предмета, формулирование цели.	Паспорт проекта
II этап. Поисковый и исследовательский	1 месяц	Библиотека, школа, дом	Поиск информации в школьной медиатеке, в сети Internet, в СМИ, консультация со специалистом, обработка информации, проведение расчетов	Список литературы, обработанная информация
III этап. Оценка результатов, выводы	2 недели	Школа	Анализ результатов Оформление буклета	Буклет
IV этап. Оформление результатов	2 недели	Школа	Оформление работы	Проектная папка

Таблица 3

Значения коэффициента K_c

Одиночные сооружения и сооружения производственного назначения с железобетонным или металлическим каркасом	1
Одиночные здания высотой не более двух-трех этажей с кирпичными и подобными стенами	1,5
Небольшие жилые поселки	2

Таблица 4

Значения коэффициента α

Камуфлетный взрыв и взрыв на рыхление	1
Взрыв на выброс	0,8
Взрыв полууглубленного заряда	0,5

Приложение 3

Таблица 5

Сравнительные показатели взрывов

	Старый способ взрывания	Новый способ взрывания	Разница
r_c , м	628,977	183,154	- 445,823
K_2	8	8	
K_c	1,5	1,5	
α	2	2	
Q , кг	18 000	12000	-6000
N	79	79	