

УДК 533. 9+548.0(075.8)

### ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ НА ХАРАКТЕР ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ

**Т. Ф. Козловская, В. Н. Чебенко, А. А. Юрко**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: bgd@kdu.edu.ua; tfk58@kdu.edu.ua

Рассмотрено пути возникновения и влияния собственного магнитного поля электронов и ионов взрывчатых веществ различной кристаллохимической структуры на образование низкотемпературной плазмы. Определена взаимосвязь физико-химических, физико-механических параметров взрывчатого превращения взрывчатых веществ на образование газообразных продуктов детонации. Показано, что внешнее электрическое поле, создаваемое внутри заряда взрывчатого вещества с помощью электрических зондов специальной конструкции, изменяет длительность импульса давления за счет уменьшения скорости детонации. При наименьшей скорости детонации формируется наибольшая поверхность взаимодействия взрывчатого вещества, а соответственно, и пористость, что обеспечивает образование минимального количества газообразных продуктов детонации. Установлено наличие плазменной зоны детонационного превращения взрывчатых веществ по интенсивности свечения и величине амплитуды термоЭДС, возникающей в электрическом поле при применении металлического зонда.

**Ключевые слова:** кристаллохимическая особенность, магнитное поле, взрывчатые вещества, низкотемпературная плазма, газообразные продукты детонации.

### ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА МАГНІТНОГО ПОЛІВ НА ХАРАКТЕР УТВОРЕННЯ ГАЗОПОДІБНИХ ПРОДУКТІВ ДЕТОНАЦІЇ

**Т. Ф. Козловська, В. Н. Чебенко, А. А. Юрко**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: bgd@kdu.edu.ua; tfk58@kdu.edu.ua

Розглянуто шляхи виникнення і впливу власного магнітного поля електронів та іонів вибухових речовин різної кристалохімічної структури на утворення низькотемпературної плазми. Визначено взаємозв'язок фізико-хімічних, фізико-механічних параметрів вибухового перетворення вибухових речовин на утворення газоподібних продуктів детонації. Показано, що зовнішнє електричне поле, створюване всередині заряду вибухової речовини за допомогою електричних зондів спеціальної конструкції, змінює тривалість імпульсу тиску за рахунок зменшення швидкості детонації. За найменшої швидкості детонації формується найбільша поверхня взаємодії вибухової речовини, а, відповідно, і пористість, що забезпечує утворення мінімальної кількості газоподібних продуктів детонації. Встановлено наявність плазмової зони детонаційного перетворення вибухових речовин за інтенсивністю світіння і величиною амплітуди термоЕРС, що виникає в електричному полі при застосуванні металевго зонда.

**Ключові слова:** кристалохімічна особливість, магнітне поле, вибухові речовини, низькотемпературна плазма, газоподібні продукти детонації.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Рост объемов промышленного производства приводит к увеличению объемов добычи нерудных полезных копаемых с использованием энергии взрыва. При взрывной отбойке скальных горных пород происходит загрязнение окружающей природной среды газообразными продуктами детонации взрывчатых веществ (ВВ), в основном, оксидами азота и углерода. Кроме того, технологические процессы дезинтеграции скальных пород сопровождаются существенным пылевым загрязнением, что, с одной стороны, снижает коэффициент полезного действия взрыва, а с другой – увеличивает уровень экологической опасности и степени экологического риска от последствий открытой добычи полезных ископаемых [1].

Анализ литературных данных и существующих методов интенсификации дробления пород при проведении массовых взрывов на карьерах показал, что в этом направлении существует значительный объем нерешенных задач, как в теоретическом, так и в прикладном плане. Недостаточно изучены механизмы образования газообразных продуктов при взрывных превращениях ВВ в зависимости от их химико-термодинамических, физико-химических, кристаллохимических характеристик, влияния внешнего и

внутреннего электромагнитного полей, метеоклиматических показателей окружающей среды в момент проведения взрывных работ на карьерах.

Исследования в этом направлении базируются лишь на изучении параметров физико-механических эффектов взрывчатых превращений ВВ, в частности, газодинамических характеристиках. При этом практически не учитываются термодинамические особенности превращения ВВ, параметры которых зависят от агрегатного состояния исходных компонентов и условий проведения взрыва.

Цель работы – оценка влияния электрического и магнитного полей на образование газообразных продуктов детонации в условиях образования низкотемпературной плазмы.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** На наш взгляд, течение детонации различного типа ВВ зависит от природы движения элементарных частиц в электромагнитном поле [2, 3]. Под действием ударной волны, вызванной инициатором, заряженные частицы (электроны и ионы) начинают осуществлять крутящий и колебательное движения с амплитудой, зависящей от напряженности внешнего магнитного поля [2, 3]:

– для электрона –

$$a_e = 3,4 \sqrt{W} / H, \quad (1)$$

– для іона с атомної масою  $A$  –

$$r_i = (143 \sqrt{W} / H) \sqrt{A}. \quad (2)$$

где  $W$  – енергія частиниці;  $H$  – напруженність магнітного поля.

Следует отметить, что напруженність магнітного поля определяет и частоту колебаний электронов и ионов в кристаллической решетке ВВ [2, 3]:

$$v_H = \frac{q \cdot H}{m \cdot c}, \quad (3)$$

где  $q$  – электрический заряд частиниці, Кл;  $m$  – масса частиниці;  $c$  – скорость света (в нашем случае – скорость ударной волны).

Процесс детонации сопровождается постепенным изменением прочности кристаллической решетки ВВ, устойчивости химической связи [4–6], а не скачком, как это отмечается для строго фиксированных кристаллов [7].

По мнению авторов данной статьи, наличие собственного магнітного поля в молекулах ВВ подобно магнітному полю металлов и сплавов, но отличается так называемой насыщенностью, поскольку в молекулах ВВ химические связи являются ковалентными полярными и ионными, т.е. неявно выражены. Электронные плотности заряженных частиц делокализованы («размазаны»), поэтому при детонационных процессах вследствие скачкообразного изменения температуры в зарядной полости происходит переход кристаллического состояния в аморфное через пластическое [4].

Таким образом, можно считать, что при увеличении напруженности магнітного поля частота деформационных колебаний ионов в узлах кристаллической решетки ВВ возрастает. В момент детонации в молекулах ВВ происходит перераспределение электронной плотности, что приводит к возникновению спонтанной поляризации молекул при скачкообразном изменении температуры, т.е. на гранях кристалла появляются электрические заряды. Это является причиной появления внутреннего собственного магнітного поля молекул взрывчатого вещества. Для молекул ВВ неорганической и органической природы это явление наиболее характерно вследствие отсутствия явных носителей заряда.

На первых микросекундах детонации после образования ударной волны теплообмен с окружающей средой (каналом скважинного заряда) отсутствует, что является провоцирующим фактором в образовании низкотемпературной ионно-радикальной плазмы. За счет высвобождения энергии от деформации и разрушения химических связей в кристаллической решетке ВВ зона образования плазмы расширяется, теряет свои первоначальные энергетические характеристики при рекомбинации ионов и радикальных частиц и способствует переходу ВВ в газообразное состояние в момент взрыва плазмы.

На наш взгляд, наличие пирозлектрического эффекта в кристаллах ВВ способствует возникновению и собственного электрического поля, т.к. образующиеся на гранях кристаллов электрические заряды переходят из зоны силовых линий мак-

симальной напруженности в зону силовых линий ниже напруженности, т.е. в зону скважинного заряда, особенно если это заряды с осевыми, продольными или поперечными воздушными зазорами или заряды с инертными промежутками.

Повышение степени взрывного дробления горных пород достигается на данном этапе за счет реализации различных методов управления энергией взрыва, в том числе: многорядного короткозамедленного взрывания; взрывания уступов различной высоты в зажатой среде; использования ВВ с удлиненной зоной химической реакции; рациональные конструкции скважинных зарядов, обеспечивающих дифференцированное распределение энергии взрыва по высоте уступа и максимальную продолжительность воздействия взрывных нагрузок на массив горных пород; применение способов и средств иницирования скважинных зарядов, позволяющие регулировать взрывное превращение заряда ВВ.

Сущность исследований заключается в установлении закономерностей изменения качества дробления горной породы и состава продуктов детонации взрыва в электрическом поле. При нейтрализации внутреннего электрического потенциала уменьшается напруженність поля, что способствует ускорению химических реакций [8, 9]. Электрические поля различной конфигурации, влияющие на реакционную зону детонационной волны, могут быть созданы специальными электропроводящими зондами, проложенными в зарядах ВВ. На зонды подают электродный потенциал или от внешнего источника постоянного тока, или используя свободные электроны плазменной зоны. Внешний источник тока создает фиксированную стабильную напруженність электрического поля вблизи зонда.

Сочетая электропроводный элемент (зонд) и зону за фронтом детонационной волны с реакционной зоной, в ней создают электрическое поле с помощью свободных электронов. Ведущие элементы (зонды) прокладывают вдоль оси заряда.

Для увеличения площади создаваемого электрического поля через определенные промежутки по сечению заряда ВВ размещают электропроводящие пластины или сеточки, которые соединяются с уложенным вдоль зондом. Свободные электроны попадают на зонд и создают на нем и прикрепленных пластинах электрическое поле, в том числе, и впереди фронта детонационной волны.

Созданное электрическое поле ускоряет химические реакции. Поэтому при подходе детонационной волны к пластине реакция взрывного разложения ВВ проходит более активно. Далее подводили электрический потенциал от  $-150$  до  $+150$  В от внешнего источника тока (УИП-1), однако при этом длительность импульса давления за счет уменьшения скорости детонации увеличивается, что влияет на качественные изменения состава продуктов детонации.

Следует отметить, что амплитуда и длительность импульсов тока электрода не зависят от величины напружений, подаваемых на зонд, в опытном диапазоне от  $-600$  до  $+600$  В. При отключенном источнике питания при взрыве исследуемого заряда ВВ на зондирующем электроде получен потенциал около

200 В.

При изменении потенциала зонда от  $-600$  до  $+600$  В максимальное изменение скорости детонации составил 30% (рис. 1). Характерно, что минимальная скорость детонации зарегистрирована при нулевом потенциале, т.е. при заземленном электроде.

При отрицательном значении потенциала наблюдается обратное явление: скорость разлета в начальный момент времени снижается, но по мере

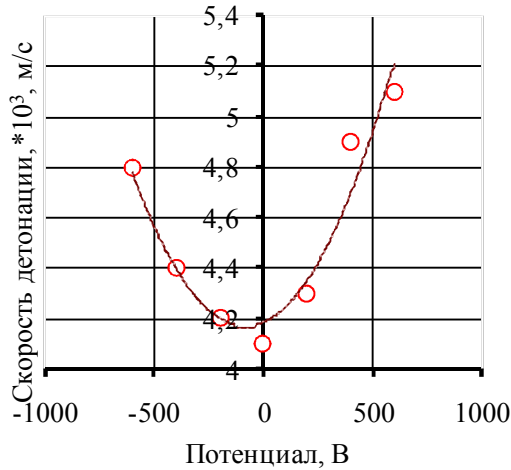


Рисунок 1 – Изменение скорости детонации в зависимости от потенциала на зонде

При нулевом потенциале на зонде площадь поверхности образованных кусков породы наибольшая, что хорошо согласуется с результатами измерения концентраций газообразных продуктов детонации – они наименьшие. По-видимому, в этот момент резко возрастает пористость породы при действии разрушающего детонационно-ударного импульса. Это способствует адсорбции продуктов вторичных химических реакций в ходе взрывчатого превращения ВВ. Кроме того, можно считать, что при нулевом потенциале более полно протекают и первичные, и вторичные химические реакции детонационного превращения ВВ, поэтому поглощение газообразных продуктов максимально.

Таким образом, внешнее электрическое поле, создаваемое внутри заряда ВВ с помощью электрических зондов специальной конструкции изменяет длительность импульса давления за счет уменьшения скорости детонации. Парциальный состав газовой смеси продуктов взрыва зависит от создаваемого потенциала внешнего электрического поля, причем в области нулевого потенциала зафиксирован минимум концентраций оксида углерода (СО) и оксидов азота (NO<sub>x</sub>). При наименьшей скорости детонации формируется наибольшая поверхность взаимодействия ВВ, а соответственно, и пористость, что обеспечивает образование минимального количества газообразных продуктов детонации. Установлено наличие плазменной зоны детонационного превращения ВВ по интенсивности свечения и величине амплитуды термоЭДС, возникающей в электрическом поле при применении металлического зонда.

развития процесса она увеличивается. Описанное поведение продуктов детонации на стадии разлета хорошо согласуется с современными представлениями о поведении образующейся низкотемпературной плазмы (ионизированных газов) в электрическом поле. В ходе экспериментов было установлено, что в процессе детонации происходит изменение площади поверхности разрушаемой горной массы (рис. 2).

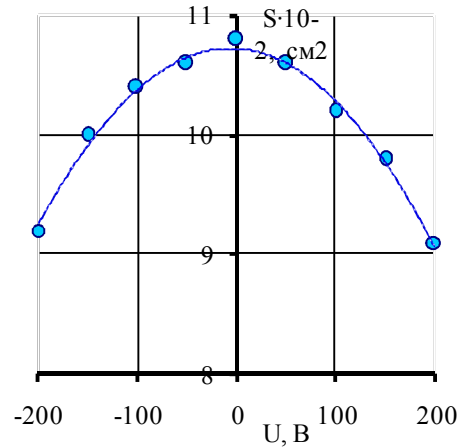


Рисунок 2 – Зависимость вновь образованной поверхности при разрушении моделей от потенциала на зонде в заряде

При движении плазмы на поверхности ВВ интенсивно возникают электростатически заряженные частицы. На этом этапе соударения поверхностные заряды взаимодействующих частиц сближаются с химическими связями вещества до расстояния порядка межатомных. Степень воздействия поверхностных зарядов (знак заряда значения не имеет) на химическую связь атомов определяется действием электростатической силы. Поэтому, чем больше плотность вещества в начальный момент детонации, тем большая вероятность того, что энергия плазмы будет передана химической связи, т.е. общим электронам, образующим ее. Вследствие этого на границы раздела «частица вещества–плазма» в качестве первичных продуктов образуются ионизированные атомы и радикальные частицы. С точки зрения автора данной работы ионизация ВВ не приводит к непрерывным постоянным энергетическим эффектам.

Характер химической связи в кристаллической структуре ВВ таков, что скорость распада вещества равна скорости его рекомбинации. При этом скорость перехода от кристаллического состояния в аморфное, а далее – в ионно-радикальное происходит за бесконечно малый промежуток времени, т.е. с одной стороны смещение атомов в результате соударения приводит к дестабилизации химических связей, а с другой – температурное воздействие при детонации влияет на скорость образования поверхностных зарядов частиц ВВ и вызывает разрушение этих связей. Кроме этого ударно-волновые процессы увеличивают амплитуду колебания атомов в узлах кристаллической решетки ВВ, что дестабилизирует

состояние соответствующих микроструктур. В этом случае разрыв химических связей более предпочтителен и протекает тем интенсивнее, чем более поляризована химическая связь взрывчатого вещества – ковалентная полярная связь. Обновление плазмы осуществляется за счет диссоциации химических связей каждого последующего атомного слоя ВВ.

По мере продвижения плазмы скорость частиц уменьшается, однако постоянный распад ВВ и его преобразование в переходные комплексы способствует возникновению дополнительного давления в плазме.

С этой точки зрения, на наш взгляд, использование квазиметаллической модели для описания условий образования и свойств плазмы является не совсем корректным.

Фактически, состояние плазмы является состоянием с фиксированным значением энергии, которое определяется удаленностью электронов от атома, т.е. стабильностью ионно-радикальной частицы.

В момент, когда делокализованные электронные состояния стабилизируются, т.е. приходят в согласованное состояние, плазма перестает существовать, поскольку происходит взаимное связывание ионизированных частиц – первичные химические реакции. Они же определяют состав конечных продуктов детонации – направление вторичных химических реакций. Моменты рекомбинации сопровождаются свечением, т.е. плазма обладает электропроводностью, а соответственно, находится в полностью радикально-ионизированном состоянии.

При этом скорость образования радикально-ионных частиц равна скорости их рекомбинации, что и определяет направление протекания первичных и вторичных химических реакций в процессе взрывчатого превращения ВВ.

При этом тепловая и кинетическая быстрых (радикальных) частиц плазменно-разрядной зоны передается менее энергетически насыщенным частицам (заряженным ионам), вследствие чего они рассеиваются по всему зарядному каналу скважины с одновременным возникновением при этом теплового и светового излучения.

Столкновение ионно-радикальных частиц между собой приводит к передаче импульса и энергии горной породе, но только при определенных углах столкновения и определенных скоростях. Поскольку плотность частиц горной породы выше плотности газообразной среды скважинного заряда, то при ее контакте с плазмой происходит сжатие плазменного потока и передача импульса и энергии плазмы горной породе.

Отсюда можно констатировать, что регулирование геометрических параметров и изменение конструкции скважинного заряда позволяет управлять взрывным импульсом при проведении взрывных работ.

Поскольку геометрические характеристики скважинного заряда заведомо известны, то представляется возможным определить напряженность собственно магнитного поля ВВ из выражения

$$H = \frac{n \cdot \Sigma q \cdot \tau}{2 \pi \cdot r}, \quad (5)$$

где  $n$  – количество заряженных частиц ВВ;  $r$  – радиус скважинного заряда, м;  $\tau$  – время существования ударно-детонационной волны (детонационно-химического превращения ВВ).

Последствием наличия магнитного поля при распаде плазмы является электромагнитное излучение, которое изменяет свойства ВВ и породы, распространяясь в виде волн с фазовой скоростью

$$\omega_{\phi} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}, \quad (6)$$

где  $c$  – скорость света (скорость ударно-детонационной волны);  $\epsilon$  и  $\mu$  – диэлектрическая и магнитная проницаемость среды соответственно.

Распространение электромагнитных волн способствует переносу энергии, плотность потока которой может быть определена как произведение напряженностей электрического и магнитного полей.

Электромагнитная волна поглощается горной породой и передает ей импульс плотностью

$$j = \sigma \cdot E, \quad (7)$$

где  $\sigma$  – электропроводность, Ом/м.

Слой горной породы площадью, равной единице, и толщиной  $dl$  в единицу времени получает импульс:

$$dK = F_{\text{ед.об.}} \cdot dl = \mu_0 j H dl, \quad (8)$$

где  $F_{\text{ед.об.}}$  – сила, действующая на  $n$  ионно-радикальных частиц в единицу объема, и направление которой совпадает с направлением распространения волны.

Тогда, общий взрывной импульс детонационного процесса будет определяться площадью контакта ВВ с породой:

$$K_{\text{общ.}} = F_{\text{ед.об.}} \cdot l \cdot S. \quad (8)$$

В этом же слое в единицу времени поглощается энергия, выделяющаяся в виде тепла:

$$dW = j E dl. \quad (9)$$

Следовательно, электромагнитная волна с энергией  $W$  передает импульс

$$K = W / c. \quad (10)$$

Можно предположить, что магнитное поле реакционной среды скважинного заряда тормозит поляризованные частицы взрывчатого вещества, вследствие чего выделяется тепло, уменьшается электрическое сопротивление газообразной среды и возникает возможность ионизации частиц ВВ в момент детонации.

В данном случае перемещение газообразной среды с пирозлектрическими свойствами в магнитном поле имеет специфические особенности, возникающие вследствие того, что при наличии внешнего и внутреннего магнитного полей в подвижной газообразной среде дополнительно возникают электрические токи, поэтому напряженность магнитного поля в среде постоянно изменяется.

Ионизация частиц ВВ будет происходить обычно там, где плотность потока электромагнитной энергии наибольшая. Поскольку в момент детонации плотность потока электромагнитной энергии возрастает,

то создаются условия для одновременного возникновения множественных каналов и образования плазмы. В этот момент изменяется плотность ВВ и характер связей в их кристаллической решетке.

Плотность ВВ связана с относительной молекулярной массой его молекулы, объемом элементарной ячейки и числом молекул в ней:

$$\rho = \frac{n \cdot M}{N_A \cdot V}, \quad (11)$$

где  $\rho$  – плотность ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – число молекул ВВ элементарной ячейке;  $M$  – молекулярная масса;  $N_A$  – число Авогадро (6,02·10<sup>23</sup> моль<sup>-1</sup>);  $V$  – объем элементарной ячейке (определяется на основании длин связей между атомами, связывающих отдельные ионы).

Следует отметить, что формула (11) отображает идеальное состояние кристалла, а в реальных условиях взрывчатого превращения ВВ кристаллохимическая структура ВВ испытывает тепловое воздействие, всестороннее сжатие и мгновенное расширение.

В момент детонации состояние кристаллохимической структуры ВВ может быть охарактеризовано:

– коэффициентом теплового расширения при постоянном давлении, который определяется приращением удельного объема кристалла при нагревании на 1°

$$\alpha_p = \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dT} \right)_p \approx \frac{\Delta V}{\Delta T}; \quad (12)$$

– коэффициентом всестороннего сжатия (коэффициент сжимаемости) при постоянной температуре, характеризующим изменение объема кристалла при изменении внешнего всестороннего давления

$$\beta_T = \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dP} \right)_T \approx \frac{\Delta V}{\Delta P}, \quad (13)$$

тогда, можно вывести взаимосвязь между коэффициентами теплового расширения и всестороннего сжатия:

$$\alpha_p = \beta_T \frac{\Delta P}{\Delta T}, \text{ или } \alpha_p = \frac{\Delta P}{\Delta T} \cdot \left( \frac{dV}{dP} \right)_T \cdot \left( \frac{dV}{dT} \right)_p,$$

что является важным при определении объемов газообразных продуктов детонации, заключенных в макро- и микротрещинах.

С точки зрения физико-механической составляющей детонационного процесса в зарядной полости в невозмущенной первоначально среде взрывчатого вещества характеристики среды могут быть выражены через давление, изменение объема и теплосодержания ВВ при заданной температуре во фронте ударной волны при неидеальных режимах детонации:

$$T \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_V \left[ \frac{dP}{dV} - \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \right] = \frac{V_0 - V}{2} \left( \frac{dP}{dV} - \frac{P - P_0}{V_0 - V} \right), \quad (14)$$

где  $T$  – температура взрывчатого превращения;  $dP/dV$  – производная вдоль детонационной адиабаты, характеризующей фронт ударной волны;  $S$  – энтропия взрывчатого вещества (теплосодержание).

Кроме того, под действием ударной волны происходит мгновенное тепловое расширение за фронтом ударной волны, что зависит от теплоемкости

типа ВВ:

$$\gamma = \frac{RT_0^2 C}{EQ} \text{ и } \lambda = \frac{RT_0}{E}, \quad (15)$$

где  $\gamma$  и  $\lambda$  – термохимические параметры взрывчатого превращения ВВ;  $E$  – энергия активации кристаллической структуры молекул ВВ (общая внутренняя энергия в невозмущенном состоянии);  $Q$  – удельное тепловыделение;  $T_0$  – начальная температура взрыва;  $C$  – теплоемкость молекул ВВ.

Таким образом, на основе всего вышеизложенного можно установить взаимосвязь между физико-механическими и физико-химическими параметрами взрывчатого превращения ВВ независимо от их органической и неорганической природы и кристаллической структуры.

#### ВИСНОВКИ.

1. Кристаллографические особенности молекул ВВ влияют на возникновение собственного (внутреннего) магнитного поля, продуцирующего электрические поля между молекулами ВВ, что, в конечном итоге, является причиной возникновения низкотемпературной ионно-радикальной плазмы. Свойства плазмы и время ее существования определяют состав газообразных продуктов детонации.

2. Электрическая и магнитная составляющие детонационных процессов ВВ независимо от их химической природы и кристаллической структуры влияют на физико-механические и физико-химические параметры ВВ.

3. Показан подход к оценке величины взрывного импульса, который является решающим в эффективности дробления горных пород энергией взрыва.

4. Регулирование геометрических параметров и изменение конструкции скважинного заряда позволяет управлять взрывным импульсом при проведении работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козловская Т.Ф. Экологический риск как мера оценки экологической опасности применения взрывчатых веществ на открытых разработках полезных ископаемых // Взрывное дело. Теория и практика взрывного дела. – М.: Недра, 2010. – № 105/62. – С. 47–52.
2. Арцимович Л.А. Элементарная физика плазмы. – М.: Госатомиздат, 1963. – 190 с.
3. Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости. – Киев: Наукова думка, 1986. – 208 с.
4. Чебенко В.Н., Козловская Т.Ф., Комир В.М. Об особенностях изменения параметров детонации при взрывчатых превращениях различных ВВ // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1/2009 (3). – С. 7–13.
5. Загирняк М.В., Козловская Т.Ф., Комир В.М., Чебенко В.Н. К вопросу о плазменном характере детонационных превращений азотсодержащих ВВ неорганической и органической природы // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник. – Кременчук: КДПУ, 2010. – Вип. 1/2010 (5). – С. 46–54.
6. Загирняк М.В., Козловская Т.Ф., Чебенко В.Н. Пирозлектрический эффект взрывчатых веществ и

параметры их электромагнитной составляющей // Взрывное дело. Теория и практика взрывного дела. – М.: Недра, 2010. – № 104/61. – С. 36–49.

7. Шаскольская М.П. Кристаллография: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1976. – 391 с.

8. Козловская Т.Ф., Родак С.Н., Чебенко В.Н. К вопросу о физико-химических особенностях детонационных процессов в промышленных взрывчатых веществах // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2004. – Вып. 4/2004

(27). – С. 153–156.

9. Чебенко Ю.М. Вплив хімічної енергії вибухового перетворення ВР на ефективність механічного дроблення гірських порід // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник. – Кременчук: КДПУ, 2010. – Вип. 1/2010 (5). – С. 32–38.

10. Райзер Ю.П. Физика газового разряда: учеб. руководство. – М.: Наука, 1987. – 592 с.

## EFFECT OF ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS ON CHARACTER FORMATION OF GASEOUS DETONATION PRODUCTS

**T. Kozlovskaya, V. Chebenko, A. Yurko**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

ul. Pervomayskaya, 20, 39600, Kremenchug, Ukraine. E-mail: bgd@kdu.edu.ua; tfk58@kdu.edu.ua

The ways of occurrence and impact of the electrons and ions magnetic field of explosives with different crystal-structure on the formation of low-temperature plasma are considered. The correlation between physical and chemical, physical and mechanical properties of explosive transformation of explosives and gaseous detonation products is defined. It is shown that the external electric field, which is generated inside the explosive charge by means of electrical probes of special design, changes the duration of pulse pressure by reducing the speed of detonation. At the lowest detonation speed the biggest surface of explosive interaction is forming, and accordingly, as the porosity, which ensures the formation of a minimum quantity of the gaseous detonation products. The presence of plasma zone of detonation transformation of explosives is proved by the light intensity and the amplitude of the thermoelectric electromotive force produced in the electric field at the application of a metallic probe.

**Key words:** crystal-chemical feature, magnetic field, explosives, low-temperature plasma, gaseous products of detonation.

### REFERENCES

1. Kozlovskaya, T.F. (2010), “Environmental risk as a measure of the environmental danger of explosives in open pit mining”, *Explosive affair. Theory and practice of blasting*, no. 105/62, pp. 47–52.

2. Artsimovich, L.A. (1963), *Elementarnaya fizika plazmy* [Elementary plasma physics], Gosatomizdat, Moscow, USSR.

3. Kryvytskyi, Ye.V. (1986), *Dinamika elektrovzryviva v zhidkosti* [Dynamics of electric explosion in a liquid], Naukova dumka, Kyev, USSR.

4. Chebenko, V.N., Kozlovskaya, T.F., Komir, V.M. (2009), “About the features change the detonation of explosive transformation at different explosives”, *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry. – Research and practice journal*, iss. 1(3), pp. 7–13.

5. Zagirnyak, M.V., Kozlovskaya, T.F., Komir, V.M., Chebenko, V.N. (2010), “On the question of the nature of the plasma detonation transformations of nitrogen-containing explosives inorganic and organic nature”, *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry, Research and practice journal*, iss. 1 (5), pp. 46–54.

6. Zagirnyak, M.V., Kozlovskaya, T.F., Chebenko, V.N. (2010), “Pyroelectric effect of explosives and their electromagnetic component parameters”, *Explosive affair. Theory and practice of blasting*, no. 104/61, pp. 36–49.

7. Shaskolskaya, M.P. (1976), *Kristallografiya: uchebnik dlya vtuzov* [Crystallography: a textbook for higher technical schools], Vyshaya shkola, Moscow, USSR.

8. Kozlovskaya, T.F., Rodak, S.N., Chebenko, V.N. (2004), “On the question of the physico-chemical

characteristics of detonation processes in industrial explosion-charge substances”, *Transaction of Kremenchuk State Politechnical University*, iss. 4 (27), pp. 153–156.

9. Chebenko, Yu.M. (2010), “Effect of conversion of chemical energy explosive efficiency mechanical crushing rocks”, *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry, Research and practice journal*, iss. 1 (5), pp. 32–38.

10. Rayzer, Yu.P. (1987), *Fizika gazovogo razryada: uchebnoe rukovodstvo* [Gas discharge physics: a training manual], Nauka, Moscow, USSR.

Стаття надійшла 27.02.2015.