

УДК 542.51

Соболев В.В., д.т.н., проф., Чернай А.В., д.ф.-м.н., с.н.с., Оболонский Р.В., студ., каф. СГМ, НГУ, г. Днепрпетровск, Украина

ЭЛЕМЕНТЫ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Современный этап развития комплекса технологий добычи полезных ископаемых в течение ближайших двух-трех десятков лет не предусматривает исключение из производственных процессов использование энергии взрывчатых веществ. Взрывные работы, являющиеся одним из наиболее ответственных звеньев в общей технологической цепочке, должны не только быть чувствительными к требованиям, предъявляемым последующими и предыдущими звеньями этой цепи, но и оказывать со своей стороны существенное влияние на их развитие и повышение технико-экономической эффективности производства в целом.

В связи с этим, взрывные технологии, к которым с каждым годом предъявляются все более жесткие требования по обеспечению высокой степени безопасности и производительности работ и повышения качества конечного продукта, будут наиболее интенсивно развиваться главным образом по двум направлениям. 1. – Создание новых технологий производства компонентов для высокоэнергетических систем (с возможностью их изготовления непосредственно на местах применения), безопасных при изготовлении, обращении, хранении, транспортировании и применении. 2. – Создание производства новых безопасных технических систем с высоким физико-техническим потенциалом, обеспечивающих прецизионную по времени последовательность инициирования зарядов взрывчатых веществ (ВВ).

Применяемые в мировой практике неэлектрические системы инициирования зарядов [1-4] СИНВ (ФГУП НМЗ «Искра», Россия), NONEL (фирма «Duno Nobel», Швеция), Эдилин (завод «Муромец», Россия), EXEL (фирма «ORICA», Австралия), Primadet (фирма «Ensign-Bickford», США), Прима-ЭРА (Павлоградский химзавод, Украина), Импульс (ГосНИИХП, Украина), характеризуются значительным разбросом времени срабатывания – от 5 до 20% [5]. Наименьшим разбросом времени срабатывания характеризуется электронная система инициирования Искра-Т (ФГУП НМЗ «Искра», Россия). Некоторые системы инициирования – NONEL, СИНВ, Эдилин в скважинном капсуле-детонаторе не содержат такое первичное инициирующее взрывчатое вещество как азид свинца или гремучая ртуть, т.е. оно заменено на значительно менее чувствительные к внешним воздействиям взрывчатые вещества типа тетрила или тэна, что существенно увеличивает безопасность взрывных работ.

Проведя анализ используемых в производстве систем инициирования, особенно отечественных, следует, что присущие им некоторые преимущества нивелируются существенными недостатками: низкой безопасностью проведения работ, значительными материальными затратами, связанными с необходимостью производства различных организационных и технических мероприятий, неудовлетворительной эффективностью отбойки и разрушения горной массы.

Становится, таким образом, очевидной необходимость в создании принципиально новой системы, которая характеризовалась бы более высокой степенью безопасности, прецизионным взрыванием, отсутствием высокочувствительных первичных взрывчатых веществ, возможностью контроля взрывной сети.

В первой половине 90-х годов прошлого столетия в Горном университете разработан и изготовлен первый в мире экспериментальный образец абсолютно устойчивой к электромагнитным наводкам оптической системы инициирования зарядов взрывчатых

веществ – ОПСИН [6]. Взрывание зарядов ОПСИН осуществляется путем передачи светового импульса от оптического квантового генератора (ОКГ) к оптическим детонаторам (ОД) по световолоконной сети или через воздушную атмосферу.

Возможность построения промышленной ОПСИН является вполне реальной в том случае, если будут решены вопросы организации промышленного производства нового класса первичных инициирующих ВВ, высокочувствительных к действию лазерного моноимпульса и низкочувствительных к механическим и тепловым воздействиям, прецизионных оптических детонаторов короткозамедленного действия и других элементов системы.

Цель работы – расширение возможностей управления энергией взрыва путем увеличения точности срабатывания ОД и минимизации плотности энергии лазерного моноимпульса, необходимой для инициирования ОД.

Оценка параметров ОПСИН производится с учетом степени чувствительности ОД к лазерному моноимпульсу. Критическая энергия лазерного импульса W , соответствующая 50% вероятности подрыва, является функцией радиуса светового пучка r . При уменьшении r величина W снижается и при $r \rightarrow 0$ стремится к некоторому конечному значению. Поэтому в ОПСИН следует использовать узкие лазерные пучки, диаметр которых определяется диаметром сердцевины световода. На практике наиболее целесообразно использовать световолокно с диаметром сердцевины порядка 100 мкм.

За величину критической плотности энергии инициирования взрывчатых составов (ВС) $E_{кр}$ примем величину, соответствующую составу ВС7 и равную $5 \cdot 10^{-3}$ Дж/см². Используя связь $W(r)$ и $E_{кр}$, получаем $E_{кр} < 10$ мкДж. Эта величина будет использована в качестве верхнего предела энергии инициирования ОД. Для передачи излучения от лазера к ОД важнейшим элементом ОПСИН является световодная сеть, которая включает в себя световоды, соединенные с помощью соединителей и разветвителей. Основным требованием, предъявляемым к такой сети, является обеспечение малых потерь лазерной энергии при передаче ее на расстояние до нескольких километров.

На основании анализа недостатков существующих систем и недостатков, выявленных в процессе экспериментальных исследований работы ОПСИН, сформулированы следующие требования к оптической системе инициирования:

- абсолютная безопасность, исключение несанкционированных взрывов;
- стабильные физико-химические и технические параметры элементов системы в течении гарантийного срока, принятого для данных материалов и ВВ;
- прецизионная точность установки времени замедления между каналами ОКГ и соответственно между группами зарядов ВВ, а также между зарядами в группе;
- универсальный источник питания ОКГ в зависимости от условий эксплуатации;
- абсолютная устойчивость к любым электромагнитным наводкам;
- возможность осуществления перед взрывом контроля целостности отдельных элементов, контактов и сети в целом;
- возможность осуществления одновременного подрыва группы зарядов с временным разбросом не более 0,01 мс между отдельными зарядами в группе и между группами зарядов – с любым заданным интервалом времени с точностью $\pm 0,1$ мс;
- возможность передачи лазерного импульса к ОД по световодам или через воздушную атмосферу.

Размеры ОД соответствуют стандартным размерам КД (или ЭД). Отличие состоит в том, что ОД не содержит высокочувствительных первичных инициирующих ВВ – азида свинца или гремучей ртути. Вместо этих ВВ ОД снабжен взрывчатым составом, имеющим аномально высокую чувствительность к лазерному излучению – 2,3-5 мДж/см² (рис.1).

ОД могут быть использованы во всех случаях и, в том числе, когда требуется прецизионный расчет времени срабатывания, например при отбойке горных пород с учетом

эффекта интерференции упругих волн или с целью снижения сейсмического действия ударных волн. По экспериментальным данным, время срабатывания ОД составляет 10^{-6} – $5 \cdot 10^{-6}$ с.

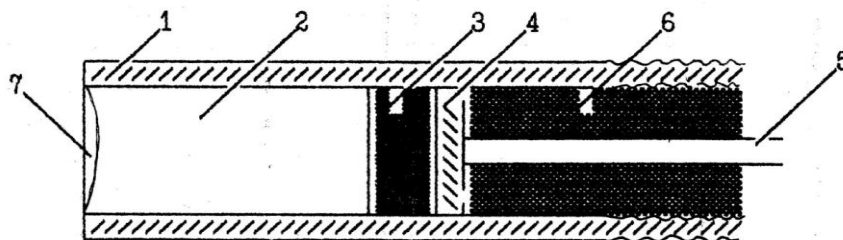


Рис. 1. Устройство ОД мгновенного действия: 1 – корпус (металлический); 2 – вторичное инициирующее ВВ; 3 – взрывчатый состав серии «ВС» (первичное инициирующее ВВ); 4 – стеклянная пластина; 5 – выводной световод; 6 – герметизирующая и закрепляющая световод пробка; 7 – кумулятивная выемка

Произведем оценку уменьшения входного сигнала при прохождении его по световоду из стекла длиной 1 км. Показатель ослабления сигнала в дБ/км определяется из выражения

$$K = (10/l) \cdot \lg(W_{\text{ВХ}}/W_{\text{ВЫХ}}),$$

где $W_{\text{ВХ}}$ и $W_{\text{ВЫХ}}$ – соответственно энергия сигнала на входе и на выходе световода; l – длина пути, км. Коэффициент ослабления будет равен

$$k = 10^{-(K \cdot l/10)}.$$

Выбрав величину $k = 3$ – 10 дБ/км, для световода из многокомпонентного стекла длиной 1 км, получим $k = 0,5$ – $0,1$. При длине волокна 0,5 км $k = 0,7$ – $0,3$.

В конструкции ОПСИН в качестве источника излучения используется твердотельный лазер на неодимовом стекле, работающий в режиме модуляции добротности резонатора, т.е. в режиме моноимпульса с длительность излучения 20–50 нс. Оптическая стойкость световодов к действию моноимпульса длительностью 40 нс находится на уровне $2 \cdot 10^5$ Дж/м².

Форма импульса излучения во времени определялась от коаксиального фотоэлемента ФК-19 на осциллографе С8-12. У всех лазеров импульсы оказались очень близки. Типичная форма импульса излучения показана на рис. 2. Одновременно контролировалось количество генерируемых импульсов излучения при одном импульсе закачки. Установлено, что у каждого из трех лазеров наблюдается только один импульс излучения при одном импульсе накачки, то есть реализуется режим моноимпульса или однопиковой генерации.

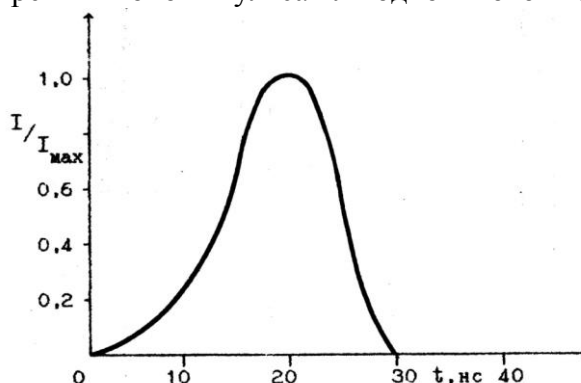


Рис. 2. Относительная интенсивность излучения в зависимости от времени

Плотность лазерной энергии на выходе оценивалась из простого выражения

$$E_s = W/S = 10^{-5} \text{ Дж} / 7,85 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 = 1,3 \cdot 10^4 \text{ Дж/м}^2,$$

где S – площадь сердцевины световода, м².

Учитывая, что световодная сеть имеет коэффициент ослабления порядка 10, на вход

световода необходимо подать энергию, на порядок превышающую указанную выше, т.е. $W \sim 100$ мкДж. Поэтому $E_s \sim 1,3 \cdot 10^4$ Дж/м², что значительно ниже прочности жгутовых световодов – $2,0 \cdot 10^5$ Дж/м².

Выводы

На основе разработок высокочувствительных к лазерному импульсу взрывчатых составов экспериментально доказана принципиальная возможность построения оптической системы инициирования зарядов ВВ.

Сформулированы основные требования, соблюдение которых необходимо для построения промышленной ОПСИН.

На основе экспериментальных исследований уточнены параметры оптических элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Густафссон Р. Шведская техника взрывных работ. – М.: Недра, 1977. – 264 с.
2. Барон В.Л. Техника и технология взрывных работ в США / В.Л. Барон, В.Х. Кантор. – М.: Недра, 1989. – 376 с.
3. Шиман Л.Н. Опыт применения неэлектрической системы инициирования «ПРИМА-ЕРА» для взрывания скважинных зарядов взрывчатых веществ на нерудных и рудных карьерах / Л.Н. Шиман, Е.Б. Устименко, Л.И. Подкаменная, И.П. Терещенко // Вестник КГПУ имени Михаила Остроградского. – 2007. – №5. С. – 87–90.
4. Закусило Р.В. Состояние разработки безопасной неэлектрической системы инициирования. Исследования по разработке рецептуры полимерной трубки волновода / Р.В.Закусило, А.А.Желтоножко // Сборник научных трудов Национального горного университета. – 2003. – №18. – С. 42–50.
5. Бибик И.П. Особенности неэлектрических систем инициирования скважинных зарядов / И.П. Бибик, Т.П. Кустиков, С.С. Коломников // Горный вестник Узбекистана. – 2003. – № 3. – С. 55–57.
6. Sobolev V. OPSIN – a new system of blast-hole change blasting in explosives / V. Sobolev, A. Chernay, N. Studinski // 5-th International symposium on mine planning and equipment + selection. San Paulo. – Brazil, 1996. – P.441–443.

УДК 622.023:539.217.5

Соболев В.В., д.т.н., проф., Халимендик А.В., студ., каф. СГМ, НГУ, г. Днепрпетровск, Украина

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НАНОСТРУКТУРЕ УГЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СЛАБОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Введение. Обеспечение промышленности Украины качественными энергоносителями главным образом связано с использованием углей и продуктов их переработки. Следовательно, перспективным является переработка углей различных марок в другие виды топлива и прочие продукты.

Актуальным являются решения, связанные с проблемой газодинамических явлений в шахтах, возникающих на стадии добычи угля.

Переработка угля в другие виды энергоносителей и способы борьбы с газодинамическими явлениями можно условно рассматривать как решение одной физико-химической задачи, имеющей два противоположных по своей сути конечных результата. В