

УДК 622.235.5

РАЗВИТИЕ КОРОТКОЗАМЕДЛЕННОГО ВЗРЫВАНИЯ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ С НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ИНИЦИИРОВАНИЯ

Кондратьев Сергей Александрович
соискатель кафедры «Открытые горные работы»
Научный руководитель: Катанов И. Б. проф. кафедры ОГР, д.т.н.
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева

Короткозамедленное взрывание (КЗВ), как идея, появилось в конце 20-х годов прошлого столетия для взрывания большого количества зарядов и уменьшения сейсмического действия взрыва на промышленные сооружения.

В 1936 г. Красноперов А. Л. и Папортский Л. А. осуществили замедленные детонации скважинных зарядов в условиях асбестового карьера.

Существуют разные подходы к короткозамедленному взрыванию. Одна точка зрения состоит в обосновании снижения времени замедления для развития взрыва, учитывающего структурно-прочностные свойства массива для повышения качества дробления породы. Другая точка зрения состоит в том, что необходимо увеличивать общую продолжительность взрыва за счет выбора больших номиналов замедлений, что способствует снижению сейсмического эффекта.

Для инициирования ВВ применяются неэлектрические системы инициирования (НСИ) с низкоэнергетическими волноводами. Неэлектрические системы инициирования состоят из устройства для трансляции инициирующего импульса по земной поверхности и устройства для трансляции импульса к скважинному заряду.

Основы количественных взаимосвязей между параметрами взрывных работ, интенсивностью сотрясения массива и расстоянием от места взрыва до охраняемого объекта рассмотрены в работах М. А. Садовского, Г. П. Покровского, В. Н. Мосинца, В. В. Адушкина, Л. В. Сафонова, А. Б. Фадеева, Я. И. Цейтлина, В. Ф. Богацкого, Б. Н. Кутузова и других. Общие вопросы базируются на том факте, что скорость смещения массива является основным показателем, характеризующим интенсивность сейсмического воздействия промышленных взрывов. При этом скорость смещения в заданной точке наблюдения пропорциональна массе одновременно взрываемого заряда. Это положение отражено в правилах безопасности ведения взрывных работ и соответствующие оценки приводятся в проектах массовых взрывов.

Теория КЗВ зачастую представлена рядом гипотез, которые доказывают их авторы в тех или иных горно-технических условиях. Если ставится задача достижения повышенного качества дробления горного массива, то интервалы

замедления между взрывами серий или отдельных зарядов выбираются без учета возможного усиления сейсмического эффекта взрыва. В этих случаях время интервалов замедления, с учетом структурно-прочностных свойств горных пород, составляет от 14 до 109 мс.

При использовании пиротехнических замедлителей, выпускаемых промышленностью с определенными значениями номиналов, выбираются из ближайших к расчетным. Однако они, как правило, не являются оптимальными и в результате либо дробление не соответствует требуемому качеству, либо происходит усиление сейсмического действия взрыва.

Федеральные нормы и правила [1] определяют возможность расчета сейсмобезопасных расстояний при одновременном взрывании зарядов с любой общей массой, при условии, что замедление между отдельными зарядами составляет не менее 20 мс. Если же время замедления между взрывами отдельных зарядов составляет менее 20 мс, то эта группа зарядов считается как один заряд. В этой связи возникает идея рационального соотношения номиналов поверхностных и скважинных замедлителей, учитывающих разброс времени срабатывания скважинных зарядов и обеспечивающих минимальное количество их одновременного воздействия на окружающую среду в 20 мс интервале.

Ограничение массы зарядов ВВ приходящегося на одну группу замедления при короткозамедленном взрывании возможно достичь, например, за счет уменьшения диаметра скважинных зарядов.

Конструкция заряда ВВ определяется в зависимости от условий проведения взрывных работ и решаемых технологических задач. В этой связи используют сплошные и рассредоточенные инертным промежутком заряды, заряды с кольцевым зазором и т. п. В прилегающей к зарядам с воздушными и низкоплотными промежутками [2–4] зоне массива создается высокая плотность энергии, под действием которой массив деформируется с большей скоростью. Сравнение скорости сейсмических колебаний, проведенных Богацким В. Ф. [5] показывает, что при взрыве рассредоточенных зарядов массиву передается бо́льшая энергия, чем при взрыве сосредоточенного заряда.

Интервал замедления поверхностной взрывной сети является важным технологическим параметром, определяющим общую очередность взрывания скважинных зарядов, направление и перемещение взорванной горной массы, качество ее дробления и интенсивность сейсмического эффекта взрыва. Интервал замедления должен выбираться таким, чтобы интерференция волн, распространяющихся от разных зарядов, способствовала снижению общего уровня колебаний.

Резкое снижение интенсивности колебаний достигается при взрывании через постоянный интервал замедления. Однако выдержать его чрезвычайно трудно, ввиду того, что пиротехнические замедлители обладают одним общим недостатком. Принцип срабатывания пиротехники характеризуется некоторым разбросом времени срабатывания относительно номинала.

В научных публикациях приводятся различные оценки характеристик устройств с пиротехническими замедлителями. По результатам измерений замедлителей системы «СИНВ», «Эдилин», «Nonel», «Primadet», «Exel» и др. установлено, что поверхностные замедлители неэлектрических систем имеют примерно одинаковый интервал разброса времени срабатывания, который не выходит за пределы технических условий, т. е. не превышает 8–9 % от номинала.

АО «НМЗ «Искра» разработал современные, так называемые «гибридные» устройства, – это скважинные капсули-детонаторы с электронным замедлением «Искра-Т», которые обеспечивают срабатывание капсулей-детонаторов короткозамедленного действия с точностью до 1 мс.

Сравнение результатов заводских испытаний устройств «Искра-П» и «Искра-С», с пиротехническим замедляющим составом и устройств с электронным замедлением «Искра-Т» показало [6], что:

– фактические отклонения времени замедления от номиналов устройств «Искра-П» и «Искра-С» находятся в диапазоне допустимых значений, предусмотренных утвержденными ТУ на изделия;

– отклонения электронных замедлителей «Искра-Т» в диапазоне 50–2000 мс не превышают 1 мс и по отношению к пиротехническим замедлителям обеспечивают повышение точности срабатывания устройств в 20–50 раз.

Таким образом, следует отметить, что рекомендации по определению оптимального интервала замедления при короткозамедленном взрывании, предлагаемые в научно-технических работах отличаются довольно широким диапазоном от 10 до 300 мс. Это объясняется тем, что перед исследователями были поставлены разные задачи. Так для получения более качественного дробления породы интервалы замедления в соответствующих горнотехнических условиях рекомендуется принимать как можно меньше. Если решается задача снижения сейсмического воздействия взрыва, то в этом случае интервал замедления между зарядами максимально увеличивают.

При подготовке горной массы к выемке на участке № 1 на разрезе Кедровский в забое экскаватора P&H-2800 № 152 был проведен эксперимент. В породном массиве, включающем песчаник крепостью $f = 9$ по шкале М. М. Протоdjяконова были пробурены скважин, диаметр которых составлял 216 мм. Глубина скважин составляла от 13 до 26 м. Сетка скважин квадратная с расстоянием между скважинами 6,5 м и расстоянием между рядами скважин 6,5 м. Количество продольных рядов скважин составляло от 4 до 7. Расчетное количество ВВ типа РПГИ-100 составило 208309 кг. Удельный расход ВВ в среднем составил 0,833 кг/м³, что в тротиловом эквиваленте составляет 0,667 кг/м³.

Блок был условно разделен на экспериментальную контрольную части, на которых схема инициирования взрывной сети монтировалась с использованием различных замедляющих устройств «Искра» (рис.).



Рис. Выкопировка из плана горных работ (блок № 147)

Монтаж сети производился по расчету ООО «КРУ Взрывпром» и применяемой на разрезе технологии. Использовались поверхностные замедлители «Искра-П-200» в магистрали, «Искра-П-109» в поперечных рядах и скважинные замедлители «Искра-С-2000» в каждой части скважинного заряда.

На экспериментальном участке блока глубина скважин составляла 20–21 м. При монтаже сети рекомендовано было использовать поверхностные замедлители «Искра-П-176» в магистрали, «Искра-П-67» в поперечных рядах и в каждой части скважинного заряда скважинные детонаторы с электронным замедлением «Искра-Т-2000».

При короткозамедленном взрывании системы скважинных зарядов с использованием поверхностных и скважинных устройств с замедляющим пиротехническим составом, момент инициирования отдельных зарядов является случайной величиной, обусловленной случайным временем отклонения от номиналов детонаторов и схемой монтажа поверхностной сети. Одним из путей, способствующих равномерности распределения моментов инициирования отдельных зарядов во времени при короткозамедленном взрывании, является специальный выбор номиналов поверхностных и скважинных замедлений, позволяющий уменьшить вероятность наложения взрывов зарядов. Нормальный закон распределения времени срабатывания поверхностных и скважинных замедлителей в совокупности с применяемыми схемами монтажа взрывной сети позволяют расчетным путем определять вероятное время взрыва любого заряда, входящего в данную сеть и тем самым устанавливать распределение общей массы ВВ по любым интервалам времени в пределах общего времени развития взрыва [7]. Фрагмент результатов расчетов сравнительных показателей устройств «Искра-Т» и «Искра-С» представлен в

Таблица 1.

Таблица 1

Фрагмент расчета критериев сравнения n_{\max} и V_m , при различных сочетаниях номиналов замедлений устройств «Искра-Т» и «Искра-С»

Время замедления, мс			Искра-Т						Искра-С					
			Количество продольных рядов, шт.											
			5		10		15		5		10		15	
τ_1	τ_2	τ_3	n_{\max}	V_m	n_{\max}	V_m	n_{\max}	V_m	n_{\max}	V_m	n_{\max}	V_m	n_{\max}	V_m
176	109	1000	2	21	3	42	5	49	3	36	5	49	6	52
	67	1000	2	15	3	41	4	42	3	35	5	49	6	48
	42	1000	2	28	3	42	4	45	3	36	5	49	7	52
	25	1000	1	0	2	35	3	33	4	41	5	49	6	51
200	176	2000	3	31	4	43	5	50	4	43	5	50	7	53
	109	2000	2	34	3	42	5	49	3	35	5	51	7	54
	67	2000	2	35	4	49	5	52	4	39	5	52	7	53
	42	2000	1	6	3	37	4	42	4	38	5	51	6	53
	25	2000	1	0	2	33	2	31	4	42	5	51	6	53

Примечания:

- 1) τ_1 – межскважинное замедление в магистрали, мс; τ_2 – межскважинное замедление в дочерних рядах, мс; τ_3 – внутрискважинное замедление, мс; n_{\max} – максимальное количество зарядов в группе, шт.; V_m – коэффициент вариации массы ВВ в группах;
- 2) расчеты справедливы при любом количестве зарядов в продольных рядах превышающем величину $M\tau_2 / \tau_1$, где M – количество зарядов в дочерних рядах.

В таблице 2 выделены синим цветом ячейки, данные которых используются в выбранных сочетаниях поверхностных замедлений при сравнении рассматриваемых типов скважинных капсулей-детонаторов. Видно, что устройство «Искра-Т» имеет преимущество перед устройством «Искра-С» как по количеству зарядов в максимальной группе, так и по равномерности распределения общей массы ВВ по группам.

При оценке результатов измерений сейсмического эффекта экспериментального взрыва скорость колебания земной поверхности на расстоянии 900 м от взрыва составила от контрольной части взрыва 1,48 мм/с, а на экспериментальной соответственно 1,31 мм/с, что свидетельствует о меньшем количестве зарядов и более равномерном распределении массы ВВ, взрывающейся в 20 мс интервале.

На основании полученных результатов эксперимента и подтверждений производителей [8] следует рекомендовать в условиях открытых горных работ при взрывании скважинных зарядов вблизи охраняемых объектов и жилых массивов использование скважинных замедлителей «Искра-Т».

Применение НСИ в последнее время принимает массовый характер. Выбор тех или иных НСИ определяется рядом факторов, одним из которых является стоимость устройств. Например, устройства «Искра» довольно

успешно реализуются до 10 млн. шт. в год не только в России, но и за ее пределами. Причем в Кузбассе устройств «Искра» используется до 3 млн. шт. в год, из них более 2 млн. шт. на предприятиях, взрывные работы на которых проводит ООО «КРУ-Взрывпром» (табл.2).

Таблица 2

Реализация продукции АО «НМЗ «Искра» в 2019 году, %

№ п/п	Наименование потребителя	Искра-П	Искра-С	Искра-Т
1	Монголия	12,5	11,9	
2	Хакасия	11,0	16,2	
3	Казахстан	10,6	13,6	
4	Узбекистан	15,0	11,8	
5	Магадан	10,6	9,8	1,3
6	Кузбасс	37,3	31,7	96,0
7	Красноярск	3,0	5,0	
8	Якутия			2,7
	Итого	100	100	100

Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». Сер. 13. Вып. 14. – Москва : ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 332 с. (с изм. от 30 ноября 2017 г. № 518).
2. Жариков, И. Ф. Рациональные конструкции зарядов при дроблении горных пород взрывом // Сб.: Взрывное дело № 89/46. – М.: Недра, 1986. – С. 121–134.
3. Жаркенов, М. И. Результаты промышленных испытаний скважинных зарядов с промежутками из гранулированного пенополистирола / М.И. Жаркенов, Е. Б. Бекетаев, Т. А. Кинеев, К. Н. Жунусов // Сб.: Взрывное дело № 78/35. – М.: Недра, 1977. – С. 102–106.
4. Катанов, И. Б. Модель расчета зоны дробления горного массива зарядами ВВ с низкоплотными смесями // Вест. КузГТУ. – 2006. – № 4. – С. 32–36.
5. Богацкий, В. Ф. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов / В. Ф. Богацкий, А. Г. Фридман // – М.; Недра. 1982. 162 с. (Безопасность буровзрывных работ).
6. Кондратьев, С.А.. Анализ результатов заводских испытаний устройств «Искра» для инициирования скважинных зарядов / Кондратьев С.А., Сы-

соев А.А., Катанов И.Б. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2019. № 6, с.72–78.

7. Сысоев, А. А. Опыт-но-промышленная проверка вероятностной модели короткозамедленного инициирования системы скважинных зарядов А. А. Сысоев, И. Б. Катанов, С. А. Кондратьев. // Взрывное дело. –2019. № 125/8. – С. 5–16.
8. Кокин, С. В. Управление параметрами массового взрыва / С. В. Кокин, Д. М. Пархоменко, А. В. Бервин // Взрывное дело. –2019. № 125/8. – С. 39–52.