

Для достижения указанной цели и создания системы управления процессами угольных шахт на кафедрах ИГДиГ проводятся комплексные исследования по схеме: выявление по результатам экспериментов закономерностей сложного взаимодействия геомеханических, газодинамических, термодинамических и организационных процессов с учетом природных условий геомассива, в том числе его сейсмичности → математическое моделирование и прогноз оптимальных параметров шахт с реализацией проектной документации на действующих предприятиях → непрерывный автоматизированный мониторинг технологических процессов, оборудования и состояния геомассива → математическое моделирование и корректировка проектной документации.

Реализация указанной схемы осуществляется по разработанным на кафедре геотехнологии

СибГИУ технологии непрерывного производственного эксперимента и экспериментально-численного метода прогноза параметров шахт с участием вуза, создателей средств автоматизированного мониторинга, проектной и экспертной организаций, угледобывающего предприятия.

Эффективность предложенной технологической схемы проведения производственного эксперимента доказана в условиях шахты «Алардинская» в Кузбассе при отработке опасного по горным ударам угольного пласта. Работа оценена на Международной выставке-ярмарке «Уголь России и Майнинг» в 2015 г. золотой медалью.

© 2015 г. В.Н. Фрянов
Поступила 19 июня 2015 г.

УДК 622.232

И.В. Машуков, В.В. Чаплыгин

Сибирский государственный индустриальный университет

РАСЧЕТ СЕЙСМОБЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ С УЧЕТОМ СХЕМ ВЗРЫВАНИЯ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ

Буровзрывной способ разрушения горных пород является наиболее эффективным и единственно возможным для разрушения крепких руд и пород. Эффективность взрывной подготовки полезного ископаемого и вмещающих пород к выемке определяет технико-экономические показатели буровзрывного комплекса, производительность и безопасность последующих процессов горного производства и в целом всего предприятия. Основным способом взрывоподготовки горной массы к выемке является производство массовых взрывов скважинных зарядов. Общая масса взрывчатых веществ (ВВ) на взрыв составляет 50 – 300 т, а в отдельных случаях достигает 700 т. Такой масштаб взрывных работ относится как к открытому способу отработки, так и к подземному [1, 2]. В последнее время при подземной разработке стали широко применяться концентрированные заряды в восстающих выработках с массой ВВ 20 – 30 т и в пучковых скважинных зарядах по 2 – 3 т в заряде [3, 4].

Сейсмические колебания являются одним из вредных проявлений массового взрыва. Во многих случаях поселки с жилыми домами и зданиями социального назначения находятся в непосредственной близости от горнодобывающих предприятий. В этом случае постоянно проводимые массовые взрывы оказывают многократное сейсмическое воздействие на охраняемые объекты. Это может привести к образованию трещин в элементах строительных конструкций и потере их несущей способности. Поэтому кроме расчета безопасных расстояний по сейсмическому воздействию в большинстве случаев требуется проведение инструментальных наблюдений за уровнем сейсмических колебаний [5 – 7], которые не должны превышать предельно допустимых значений.

Сейсмическая безопасность производства массовых взрывов на горнодобывающих предприятиях обеспечивается требованиями Единых правил безопасности при взрывных работах [8], в проектной документации безопасные

расстояния по сейсмическому воздействию массовых взрывов рассчитывают по формулам главы VIII. В расчетах учитывают параметры заряжаемого блока, свойства грунтов в основании охраняемых объектов (зданий, сооружений и др.), состояние и значимость этих объектов.

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

$$r_c = \frac{k_r k_c \alpha}{N^{1/4}} Q^{1/3}, \quad (1)$$

где r_c – безопасное расстояние от места взрыва до охраняемого здания, м; k_r – коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого здания; k_c – коэффициент, зависящий от типа здания (сооружения) и характера застройки; α – коэффициент, зависящий от условий взрывания; Q – масса заряда ВВ, кг.

При определении значений N и Q можно не учитывать заряды, масса которых меньше массы максимального заряда взрывающей группы в три раза и более.

Исследованиями сейсмического эффекта при ведении взрывных работ установлены параметры, влияющие на интенсивность сейсмических колебаний, к которым относят общую массу заряда ВВ во взрывающем блоке; количество ступеней замедления; массу ВВ, взрывающего в одной ступени замедления; величину линии наименьшего сопротивления; глубину заложения зарядов; конструкцию заряда; количество и площадь свободных поверхностей вокруг одиночного скважинного заряда; схему короткозамедленного взрывания (КЗВ); ориентацию взрывающего блока и рядов зарядов по отношению к охраняемому объекту; тип ВВ.

Применение короткозамедленного взрывания существенно снижает сейсмический эффект взрыва. Большое влияние на формирование и распространение сейсмозврывных волн оказывает наличие выработанного пространства или нарушенных зон между взрывающим блоком и охраняемыми объектами. Выработанное пространство (выемка карьера, разрезная траншея и др.) оказывает экранирующее действие на сейсмозврывные волны. Интенсивность их колебаний в два – три раза уменьшается по сравнению с прохождением волн через ненарушенный массив. Применение КЗВ позволяет внедрить в практику взрывных работ различные схемы инициирования: диагональные, порядные продольные, порядные поперечные, клиновые, волновые и др. Сни-

жение сейсмического воздействия на охраняемые объекты обеспечивается очередностью взрывания зарядов со стороны объекта.

В настоящее время на угольных разрезах применяется неэлектрическая система инициирования с использованием в скважинах устройств ИСКРА-С с замедлением 450 или 500 мс и в поверхностной взрывной сети устройств ИСКРА-П с замедлением 42 и 67 мс. Наиболее распространенной схемой монтажа взрывной сети на поверхности является выполнение магистральной линии из ИСКРА-П-42 вдоль блока по первому ряду от уступа и подсоединения к ней участков линий из ИСКРА-П-67, проложенных по поперечным рядам. Такая схема монтажа является наиболее простой в выполнении и обеспечивает взрывание зарядов с замедлением взрывания каждого заряда по диагональным рядам. Во многих типовых проектах производства буровзрывных работ такая схема называется «диагональная схема взрывания с поскважинным замедлением» из предположения, что каждая скважина взрывается со своим временем замедления за счет установки поверхностных устройств с замедлением у каждой скважины.

Из предположения «поскважинного» замедления взрывания при расчете безопасных расстояний по сейсмическому воздействию в проектах массовых взрывов с «диагональной схемой взрывания с поскважинным замедлением» в формуле количество одновременно взрывающихся зарядов принимается равным количеству скважинных зарядов.

В качестве примера приведем расчет безопасного расстояния из проекта массового взрыва блока 131, проведенного 18.05.2010 г. на ООО «Разрез «Бунгурский-Северный». Общая масса ВВ на взрыв составила 41077 кг. Фактический удельный расход ВВ на отбойку по блоку составил 1,14 кг/м³. Скважины диам. 203 мм, глубиной 15 – 17 м расположены по сетке 5×6 м. Общее количество скважин в блоке 110 штук, общий объем бурения составляет 1671 м. В скважины устанавливали промежуточные детонаторы, изготовленные из шашек ПТ-П500 и ИСКРА-С-450. Скважины расположены в 15 рядов от одной до 10 скважин в ряду. В магистральной линии использовали ИСКРА-П-42, в участковых линиях – ИСКРА-П-67. Схема расположения и взрывания скважинных зарядов приведена на рисунке.

В расчете безопасного расстояния в проекте массового взрыва приняты следующие величины: количество одновременно взрывающихся зарядов принимается равным количеству

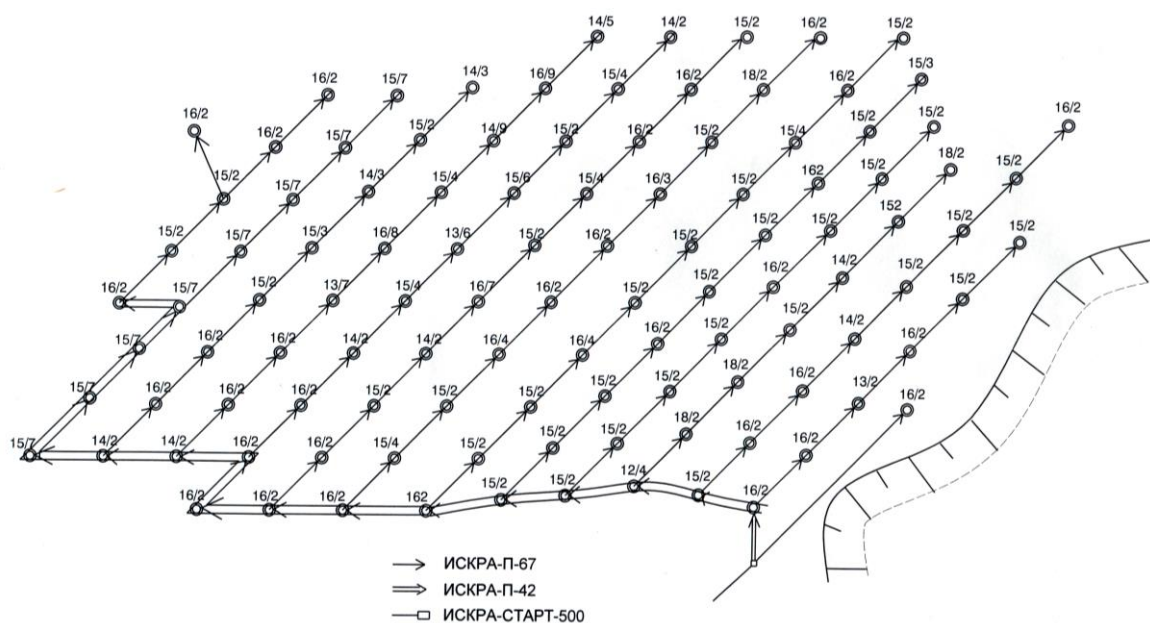


Схема монтажа взрывной сети блока 131 на ООО «Разрез «Бунгурский-Северный»

скважинных зарядов, $N = 110$; $Q = 41077$ кг; $\alpha = 1$; $k_c = 2$; $k_r = 15$; $k_1 = 2$; $k_2 = 2$. Рассчитанное безопасное расстояние по сейсмическому воздействию составило 1234 м.

В Единых правилах безопасности при ведении взрывных работ [8] одновременно взрывающимися зарядами считаются заряды или группы зарядов, время замедления между взрыванием которых составляет более 20 мс. Фактический интервал времени замедления между скважинными зарядами может составлять ноль (одновременное взрывание), 1, 2, 7, 8, 9, 16, 17, 25 и 42 мс, то есть в интервале 20 мс могут взрываться несколько скважинных зарядов.

Время замедления между взрыванием зарядов каждой скважины зависит от количества рядов и количества скважин в рядах, времени замедления в поверхностных средствах инициирования, их количества и схемы монтажа взрывной сети. Время замедления взрывания каждой скважины определяется суммой времени замедления на каждом устройстве ИСКРА-П при прохождении импульса по сети от начала инициирования схемы до каждой скважины.

Определить время подхода инициирующего импульса к скважине можно по табл. 1, в которой ячейки в столбцах соответствуют скважинам, соединенным в участковые линии, а ячейки верхней строки соответствуют скважинам магистральной линии (приведено фактическое время замедления взрывания скважинных зарядов – замедления подхода инициирующего импульса к скважине по поверхностной сети, которое определяется количеством поверх-

ностных устройств ИСКРА-П и временем замедления в устройстве; количество заполненных ячеек соответствует количеству скважинных зарядов).

Интервалы замедления между взрыванием зарядов составляют 0, 1, 7, 8, 9, 16, 17, 25 и 42 мс и определяются по табл. 2 (где приведено время замедления взрывания скважины по возрастанию). Количество скважинных зарядов, взрывающихся в группе, составляет от 1 до 5. Количество одновременно взрывающихся зарядов составляет 40. Так как при определении значений N и Q можно не учитывать заряды, масса которых в три раза и более меньше массы максимального заряда взрывающейся группы, то можно исключить первые три скважинных заряда, взрывающихся с замедлением 0, 42 и 84 мс, имеющих массу ВВ соответственно 401, 401 и 370,5 кг, что составляет 1172,5 кг. К расчету принимаются 37 групп, взрывающихся одновременно. На основе проведенного анализа при расчете (по параметрам $Q = 39904,5$ кг; $N = 37$; $\alpha = 1$; $k_c = 2$; $k_r = 15$; $k_1 = 2$; $k_2 = 2$) безопасное расстояние по сейсмическому воздействию составит 1654 м, что на 420 м (34 %) больше приведенных результатов расчета в проекте массового взрыва.

Приведенный анализ показывает, что при использовании неэлектрической системы инициирования в схеме монтажа взрывной сети при «поскважинном» замедлении, когда перед каждой скважиной устанавливается поверхностное устройство инициирования, необходимо производить расчет фактического времени подхода инициирующего импульса. В противном случае использование в расчете без-

Таблица 1

Время замедления взрывания скважин в поверхностной сети

		Время замедления, мс, по рядам скважинных зарядов														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Скважинные заряды в ряду	1	0	42	84	126	168	210	252	294	336	378	462	504	546		
	2		109	151	193	235	277	319	361	403	420	529	571	588		
	3		176	218	260	302	344	386	428	470	487	596	638	630	714	
	4		243	285	327	369	411	453	495	537	554	663	705	672	781	
	5		310	352	394	436	478	520	562	604	621	730	772	739	848	915
	6		377	419	461	503	545	587	629	671	688	797	839	806	915	
	7			486	528	570	612	654	696	738	755	864	906	873	982	
	8			553		637	679	721	763	805	822	931	973	940		
	9						746	788	830	872	889	998				
	10							855	897	939	956					

Таблица 2

Количество скважин, время замедления взрывания и количество групп

Очередность взрывания	Время замедления, мс	Интервал времени замедления, мс	Номер группы замедления	Очередность взрывания	Время замедления, мс	Интервал времени замедления, мс	Номер группы замедления	Очередность взрывания	Время замедления, мс	Интервал времени замедления, мс	Номер группы замедления	Очередность взрывания	Время замедления, мс	Интервал времени замедления, мс	Номер группы замедления
1	0	0	1	29	378	1	13	57	570	8	24	85	772	9	31
2	42	42	2	30	386	8	17	58	571	1		86	781	9	32
3	84	42	3	31	394	8		59	587	16		87	788	7	
4	109	25	4	32	403	9		60	588	1		88	797	9	
5	126	17		33	411	8	18	61	596	8	25	89	805	8	33
6	151	25		34	419	8		62	604	8		90	806	1	
7	168	17		35	420	1		63	612	8		91	822	16	
8	176	8	5	36	428	8	19	64	621	9	26	92	830	8	34
9	193	17		37	436	8		65	629	8		93	839	9	
10	210	17		38	453	17	20	66	630	1		94	848	9	
11	218	8		39	461	8		67	637	7	27	95	855	7	35
12	235	17	7	40	462	1		68	638	1		96	864	9	
13	243	8		41	470	8	21	69	654	16		97	872	8	
14	252	9		42	478	8		70	663	9	28	98	873	1	36
15	260	8		43	486	8	22	71	671	8		99	889	16	
16	277	17	8	44	487	1		72	672	1	29	100	897	8	
17	285	8		45	495	8	23	73	679	7		101	906	9	37
18	294	9		46	503	8		74	688	9		102	915	9	
19	302	8		47	504	1		75	696	8	30	103	915	0	
20	310	8	9	48	520	16	24	76	705	9		104	931	16	38
21	319	9		49	528	8		77	714	9		105	939	8	
22	327	8		50	529	1		78	721	7	31	106	940	1	
23	336	9		51	537	8	25	79	730	9		107	956	16	
24	344	8	10	52	545	8		80	738	8		108	973	17	39
25	352	8		53	546	1		81	739	1		109	982	9	
26	361	9		54	553	7		82	746	7	32	110	998	16	
27	369	8		55	554	1	26	83	755	9					40
28	377	8	11	56	562	8		84	763	8					

опасного расстояния по сейсмическому воздействию количества неодновременно взрывающихся зарядов, равного количеству скважинных зарядов, приведет к значительной ошибке, величина которой зависит от схемы взрывания и выбранных интервалов замедления и может составлять 35 %. В результате такого расчета охраняемые здания и сооружения могут попасть в зону, опасную по сейсмическому воздействию.

Для исключения подобных случаев необходимо производить расчет фактического времени замедления в поверхностной сети по каждой скважине с учетом схемы монтажа взрывной сети и определять количество неодновременно взрывающихся групп зарядов. Исходя из практики расчета, количество неодновременно взрывающихся групп зарядов в 1,5 – 3,0 раза меньше количества скважин в блоке.

Выводы. При проектировании массовых взрывов необходимо учитывать время замедления взрывания каждой скважины при расчете безопасного расстояния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еременко А.А., Филиппов П.А., Гайдин А.П., Машуков И.В. и др. Опыт проведения мощного массового взрыва в условиях высокого горного давления на Шерегешевском месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 1. С. 92 – 94.
2. Еременко А.А., Филиппов В.Н., Куликов В.И., Машуков И.В. и др. Сейсмическое действие технологических взрывов на удароопасных месторождениях // Вестник РАЕН. Западно-Сибирское отделение. 2005. Вып. 7. С. 148 – 158.
3. Пат. РФ 2134402. Способ взрывной отбойки массива горных пород / Машуков И.В., Покровский Б.В., Карапетян Ю.М. // Бюл. 2000. № 15.
4. Викторов С.Д., Еременко А.А., Закалинский В.М., Машуков И.В. Технология крупномасштабной взрывной отбойки на удароопасных рудных месторождениях Сибири. – Новосибирск: Наука, 2005. – 212 с.
5. Доманов В.П., Машуков И.В. Мониторинг сейсмического воздействия на охраняемые объекты при производстве массовых взрывов, проводимых на разрезах Кузбасса // Вестник научного центра по безопасности в угольной промышленности ВостНИИ. 2013. № 1-1. С. 60 – 64.
6. Машуков И.В., Доманов В.П., Серг А.Г., Егоров Д.А. Расчет безопасных расстояний по сейсмическому воздействию массовых взрывов на здания и сооружения с учетом схемы взрывания скважинных зарядов // Вестник научного центра по безопасности в угольной промышленности ВостНИИ. 2013. № 1-2. С. 16 – 21.
7. Машуков И.В. Регистрация сейсмических колебаний от подземных массовых взрывов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 4. С. 216 – 221.
8. Единые правила безопасности при взрывных работах (ПБ 13-407-01): утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 30.01.01 г. № 3.

© 2015 г. И.В. Машуков, В.В. Чаплыгин
Поступила 8 апреля 2015 г.