

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.232

И.Б.Катанов

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ЗОНЫ ДРОБЛЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ЗАРЯДАМИ ВВ С ПЕНОГЕЛЕВОЙ ЗАБОЙКОЙ

Поиск рациональной конструкции скважинных зарядов для дробления горных пород определяется необходимостью повышения их эффективности применительно к многообразию горно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом.

В основе поиска лежит определенная научная концепция, в которой заложена идея изменения механизма передачи энергии взрыва окружающей среде, реализуемой на принципе увеличения давления по высоте скважины и времени воздействия взрывного источника на разрушающийся массив горных пород. Разрушающее действие взрыва от скважинного заряда характеризуется предразрушением массива ударными волнами, волнами напряжений и фугасным действием продуктов детонации. Действие ударных волн завершается в объеме около 1 % от общего объема дробления горных пород взрывом.

В основе методики управления энергией взрыва на стадии формирования в среде первичного поля напряжений лежит изменение составляющих σ и t импульса взрыва при постоянной энергии заряда. Это изменение достигается увеличением продолжительности действия давления продуктов детонации на стенки зарядной камеры в результате качественной забойки скважин, образования форм распространяющихся в среде волн сжатия и вызываемых ими первичных зон напряжения.

Известно, что забойка скважин инертным материалом способствует повышению длительности воздействия давления продуктов взрыва на стенки зарядной камеры, а следовательно, и передачи энергии ВВ в среду. Действие забойки необходимо до тех пор, пока стенкам зарядной камеры и забойке, как неподвижной преграде, будет передан весь импульс взрыва.

Полагая, что разрушение горного массива осуществляется совместным действием энергией волн напряжений и давления газообразных продуктов, следует считать, что длительность импульса взрыва определяется временем действия продуктов детонации на среду и ее разрушением [1]

$$t_p = \frac{2W}{C_p} + \frac{W}{V_{mp}} ,$$

где t_p - время разрушения массива без учета сдвига, V_{mp} - скорость образования трещин ($V_{mp} \approx 0,5 C_p$).

Для научного обоснования механизма взаимодействия волн напряжений, формирующихся при начальном давлении P_n , в массиве и забойке, представим скважинный заряд в виде колонки сферических зарядов радиусом r_0 (рис.1).

Экспериментально установлено, что при камуфлетном взрыве на горизонтальной открытой поверхности образуются концентрические трещины.

На основании этого факта предположим, что образующая трещины зарождается на границе

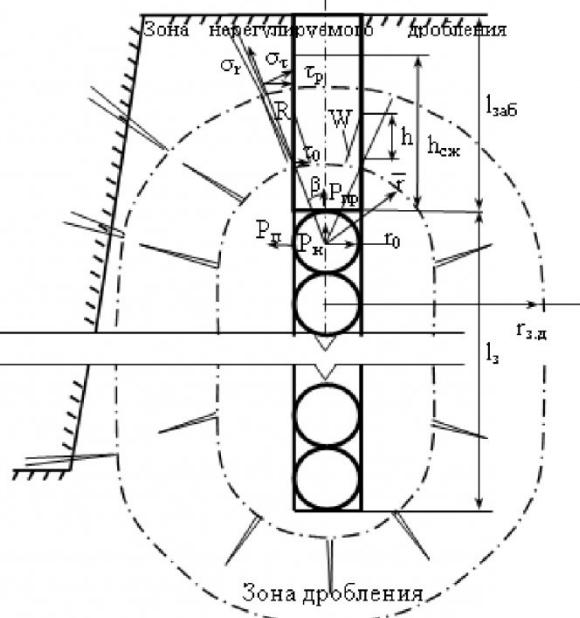


Рис. 1. Схема к обоснованию распределения энергии заряда по незаряженной части скважины: r - радиус зоны смятия; β - угол; r_0 - радиус заряда; σ_r , σ_t - радиальная и тангенциальная составляющая волны сжатия; τ_p - регулирующее напряжение, действующее на стенку скважины; R - текущий радиус действия волны; W - смещения стенки скважины; h - высота смещения; $h_{cск}$ - высота сжатия забойки; $l_{заб}$ - высота забойки; l_z - высота заряда; P_n , $P_{nп}$ - давление соответственно начальное, в породе, забойке; $r_{z,d}$ - радиус зоны регулируемого дробления

зоны смятия радиусом r и распространяется из центра сферического заряда под углом β к вертикальной оси. Развитие трещины проявляется при превышении значения тангенциальной составляющей σ_t волны сжатия пределу прочности пород на растяжение σ_p с послойным их смещением W . Процесс смещения можно рассматривать с позиций граничных задач теории упругости, когда элементарный слой ослаблен круговым отверстием (скважиной), а давление приложено к его ободу. Смещения W в каждом элементарном слое, при количестве слоев, составляющих расстояние, на котором $\sigma_t \geq \sigma_p$, формируют профиль деформированной стенки скважины.

Разрушение массива под воздействием прямой и отраженной волн напряжений без сдвига определяется временем t_p образования трещин до открытых поверхностей, через которые газообразные продукты вырываются из массива и их давление падает до атмосферного.

В отличии от горного массива низкоплотная, многокомпонентная среда под воздействием ударной волны имеет особый закон сжатия и разгрузки, учитывающий свойства компонентов и их содержание. Затухание взрывных волн в многокомпонентной среде значительно возрастает с увеличением содержания газообразного компонента α_1 , а скорость звука C в ней может быть на порядок меньше, чем в каждом из компонентов в отдельности. Так в буровой мелочи, содержащей в среднем $\alpha_1 = 0,05$ долей ед. скорость звука падает до 52 м/с, а в низкоплотной смеси на жидкой основе, содержащей α_1 от 0,08 до 0,95 долей ед., $C = 28-32$ м/с.

Практически любой материал, применяемый в качестве забойки, является многокомпонентной средой с различным содержанием отдельных компонентов, т.е. воздуха α_1 , жидкости α_2 и твердого вещества α_3 . Причем $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$. Если

предположить, что $\alpha_2 = 0$, то смесь содержит твердый скелет с включениями воздуха. При $\alpha_3 = 0$, смесь представляет собой жидкую пузырьковую среду. Плотность каждого из составляющих при атмосферном давлении известна и составляет для воздуха $0,0012 \text{ г}/\text{см}^3$, для воды $1 \text{ г}/\text{см}^3$, а твердого (типа кварца), как основного элемента осадочных пород $2,65 \text{ г}/\text{см}^3$.

Плотность многокомпонентной среды определяется соотношением плотности и объемным содержанием каждого компонента. С увеличением объемного содержания защемленного воздуха в пузырьковой среде, время ее сжатия t_{cjs} , изменяется пропорционально изменению акустической жесткости среды. За фронтом волны, прошедшей в пузырьковую среду формируется «коллективный» газовый пузырь, в котором сосредоточена энергия сжатого слоя, распределяющаяся в массив. Если на момент выброса забойки результирующее давление в скважине P_p , включающее давление газообразных продуктов взрыва P_n и газового пузыря P_{np} больше прочностной характеристики породы на разрыв σ_p , то массив будет подвергаться разрушению в зоне дробления радиусом $r_{z,d}$ на высоту, занимаемую ПД l_z и газовым пузырем h_{cjs} . Задавшись количественными значениями параметров, характерных для типовых проектов буровзрывных работ в условиях разрезов Кузбасса (табл. 1) и характеристиками эталонного ВВ (граммит 79/21 с плотностью заряжания $\rho_{av} = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, и скоростью детонации 4000 м/с), проведем качественную оценку эффективности забойки, содержащей защемленный воздух.

Алгоритм решения поставленной задачи пакетом программ Mahtcad, Excel приведен на рис. 2.

Приняв в качестве переменной величины α_1 , рассчитывается время t_{cjs} и величина слоя сжатия h_{cjs} забойки на твердой и жидкой основе, давление в скважине P_p (рис. 3), импульс взрыва

Таблица 1

Средние значения параметров БВР в породах с различными структурно-прочностными и акустическими характеристиками

Показатели	Обозначения	Категория пород по блочности		
		Мелкоблочные	Среднеблочные	Крупно и весьма крупноблочные
1. Коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову	f	3-5	6-8	8-10
2. Диаметр скважин, м	d	0,245	0,214	0,180
3. Глубина скважин, м	l_{ck}	16	16	16
4. Длина заряда, м	l_z	9,5	9,6	11
5. Длина забойки, м	l_{zab}	7,5	6,4	5
6. Линия наименьшего сопротивления, м	l_{nc}	6,6	5,6	3,8
7. Средний диаметр куска в развале, м	d_{cp}	0,3	0,4	0,5
8. Скорость звука, м/с	C_0	880	1500	1660
9. Плотность пород, кг/м ³	ρ_0	2450	2500	2550

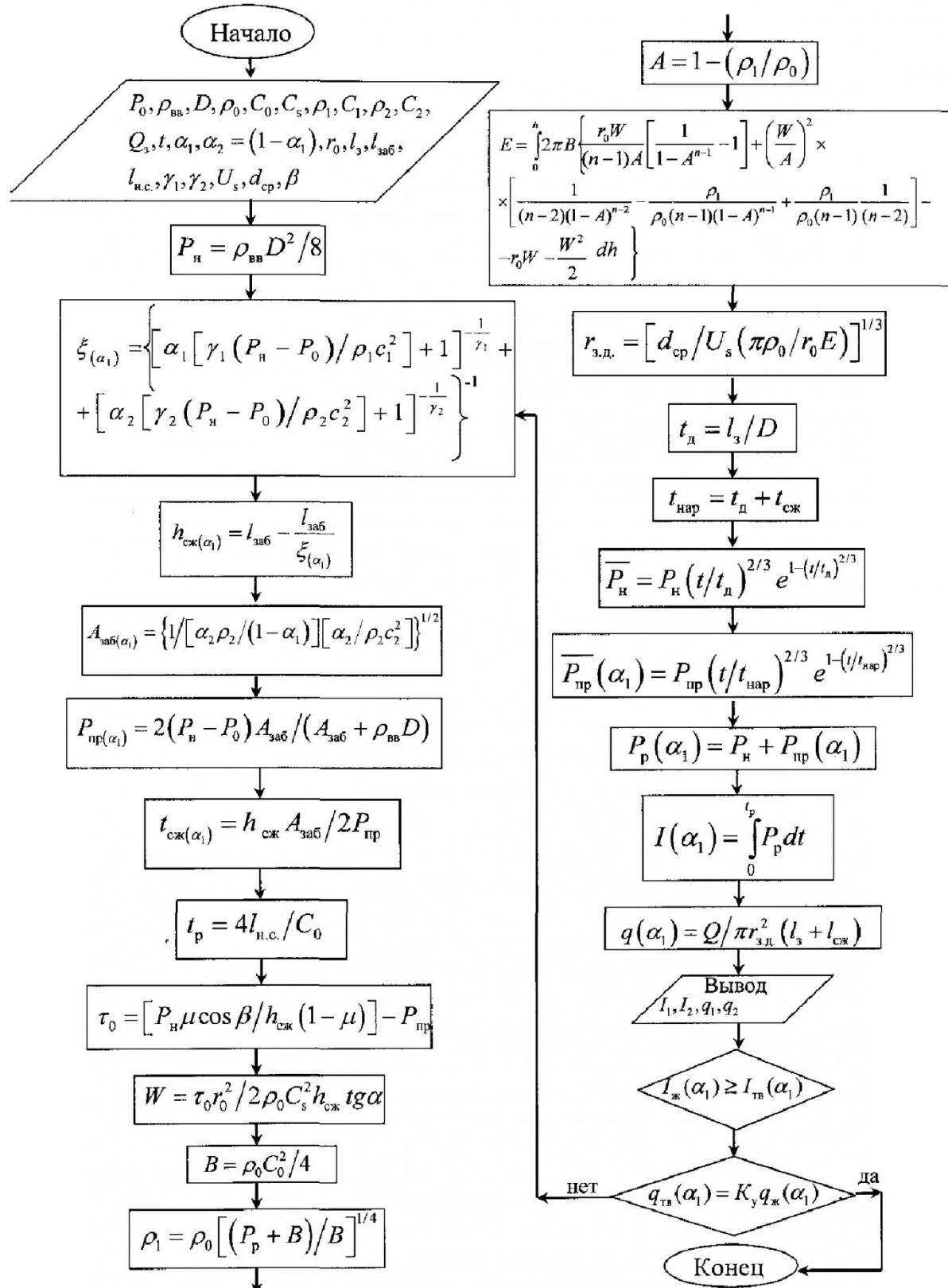


Рис. 2. Алгоритм расчета параметров зоны дробления

I в пределах времени предразрушения массива, радиус зоны дробления r_{dp} и удельный расход ВВ q на разрушение массива с заданным качеством.

Из рис. 3. видно, что давление P_p в забойке с твердым скелетом (буровая мелочь) с содержанием воздуха $\alpha_1=0,05$ долей ед. соответствует дав-

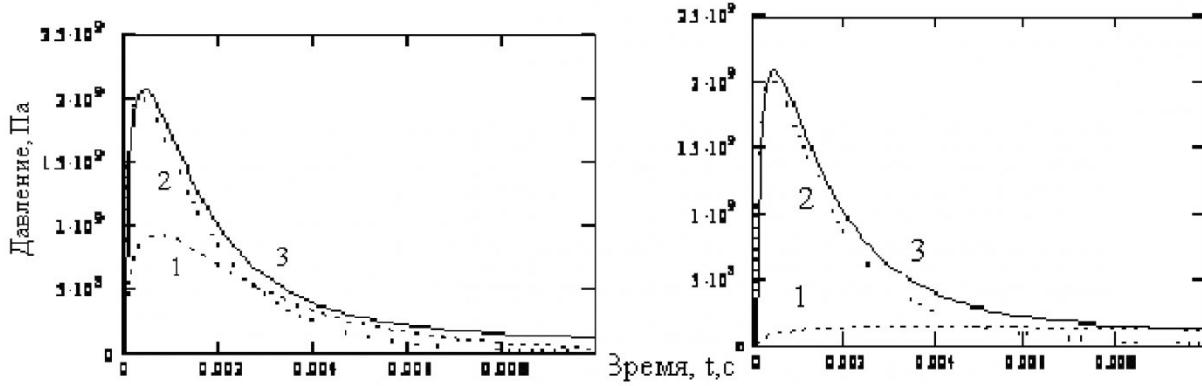


Рис. 3. Изменение давления в скважине при сжатии: а) забойки с твердым скелетом ($\alpha_1=0,05$); б) на основе жидкости ($\alpha_2=0,63$); 1,2,3 - давление соответственно «коллективного» пузыря - P_{np} ; ПД- P_{dp} ; P_p -результатирующие

лению в скважине с жидкой забойкой при $\alpha_1=0,63$. Соответственно импульс взрыва заряда ВВ с реальной твердой забойкой (буровая мелочь), содержащей в среднем $\alpha_1 = 0,05$ долей ед., соответствует импульсу аналогичного заряда ВВ с пеногелевой забойкой, содержащей $\alpha_1 \geq 0,63$ долей ед. При давлении P_p на забойку из сопоставляемых материалов энергия взрыва распределяется в массив по высоте сжатия пеногеля более чем на 4 м, а при твердой забойке всего до 0,57 м.

Радиус зоны дробления с заданным качеством при $\alpha_1=0,05$ в твердой забойке соответствует его значению при $\alpha_1=0,63$ в жидкой. Радиус r_{dp} и высота зоны дробления $l_s + h_{cjk}$ определяют расход ВВ на объем породы, раздробленной с заданным качеством в сопоставляемых вариантах, и соотношение которых характеризуется коэффициентом усиления действия заряда ВВ с пеногелевой забойкой (рис. 4).

Анализ зависимости $K_y=f(\alpha_1)$ показывает, что максимальное усиление действия заряда ВВ, а следовательно и качество дробления возможно при $\alpha_1=0,72$.

Натурная оценка структурно-прочностных характеристик вскрышных пород показала, что практически весь спектр горно- и гидрогеологических условий разрезов Кузбасса, представлен породами разреза «Краснобродский», в т.ч. легко-взрываемыми, мелкоблочными трещиноватыми (алевролиты между пластя пл. Безымянного – Безымянного I); породами ниже средней блочности (песчаники между пластя пл. Горелого – I Внутреннего) и крепкими породами средней блочности (песчаники пл. Горелого и Характерного).

Радиус зоны дробления вокруг каждого одиночного заряда из граммонита 79/21 массой 42 кг, закладываемого в скважину глубиной 7 м, диаметром 0,214 м и рассчитанного на камуфлетный взрыв, определялся методом сейсмического зондирования по изменению скорости распространения продольной упругой волны C_p в массиве.

Установлено, что при взрывании с пеногеле-

вой забойкой приведенный радиус зоны дробле-

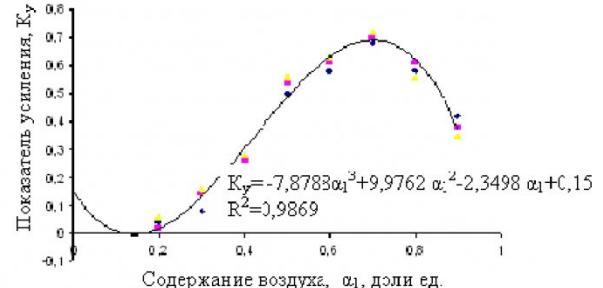


Рис. 4. Зависимость показателя усиления действия заряда ВВ с пеногелевой забойкой ($\alpha_1=0,2-0,9$); в сравнении с твердой ($\alpha_1=0,05$)

ния вокруг скважинного заряда, увеличивается по сравнению с забойкой из буровой мелочи на 7,1% в мелкоблочных породах; на 14,8% в породах средней крепости и на 21% в крепких породах.

Серия взрывов скважины глубиной 3 м, диаметром 0,150-0,214 м и длиной заряда 0,9 м проведена с целью установления зоны регулируемого дробления по высоте скважины. Вспучивание массива на высоту до 0,5 м наблюдалось при твердой забойке, а с пеногелевой забойкой формировалась воронка выброса глубиной до 0,7 м. Радиус зоны дробления определялся идентично первой серии экспериментов.

Верификация модели прогноза удельного расхода ВВ на объем разрушения с заданным качеством показали ее адекватность. Разница между расчетным и фактическим значениями с учетом показателя усиления взрыва составила 5-8%.

Таким образом, рациональное значение удельного расхода ВВ [2], скорректированное с учетом типа ВВ через коэффициент работоспособности, обводненности массива, фактического диаметра заряда и содержание воздуха в материалах забойки, определяется по формуле:

$$q_{np} = \frac{5d(Z_p-1)}{d_e} \frac{1+0.15(d_e-1)h_e H^{-1}}{-7.88\alpha_1^3 + 9.97\alpha_1^2 - 2.35\alpha_1 + 0.15},$$

где d - диаметр заряда, м; d_e -диаметр естественной отдельности, м; Z_p -национальная степень дробления; h_e -высота столба воды в скважине, м; H -высота уступа, м; α_l -объемное содержание воздуха в забойке, доли ед.

Эффективность дробления верхней части массива в зоне влияния горизонтальной открытой поверхности при использовании низкоплотных многокомпонентных смесей достигается за счет перераспределения начального давления в зарядной полости при сжатии пузырьковой среды и

увеличения времени активного воздействия продуктов взрыва на разрушаемый массив горных пород;

Таким образом, методический подход, основанный на классических теориях действия взрыва в различных средах позволил объяснить влияние воздуха, защемленного в материале забойки, на возможность управления качеством подготовки массива взрывом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Друкованый М.Ф. Управление действием взрыва скважинных зарядов на карьерах / М.Ф. Друкованый, В.С.Куц, В.И.Ильин. – М.:Недра, -1980, - 223 с.
2. Ташкинов А.С. Углесодержащие промышленные ВВ / А.С.Ташкинов, И.В.Тимошин . – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2005. - 128 с.

□ Автор статьи:

Катанов

Игорь Борисович

- канд.техн.наук, доц. каф. разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом

УДК 622.272

С.С. Кулагин

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ВСКРЫТИЯ И ПОДГОТОВКИ БАРЗАССКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Выполненное исследование связано со строительством высокорентабельного подземного угледобывающего предприятия в сложных горных, гидрогеологических условиях на запасах II шахтного поля Барзасского месторождения.

Основная задача состояла в разработке вариантов пространственной ориентации панелей и профилей выработок выемочных столбов, которые

бы в полной мере учитывали гипсометрию залегания пласта и эффективно осуществляли отток воды из подготовительных и очистных выработок, а также снижали негативное воздействие на окружающую среду, за счет эффективной технологии самоочистки шахтных вод.

При разработке схемы вскрытия и подготовки учитывалось влияние гидрогеологических факто-

Таблица 1

Вскрывающие выработки и их характеристики

Наименование выработки	Длина выработки, м	Угол наклона, град.	Сечение в свету, м ²	Материал крепления	Назначение
Главные вскрывающие выработки					
Конвейерный уклон	476	9 - 18	12,8	А – 13 – 22 ж/б затяжка	Выдача горной массы на поверхность; выдача исходящей струи; запасной выход при аварии
Путевой уклон	476	9 -18	12,8	А – 13 – 22 ж/б затяжка	Подача свежей струи воздуха при отработке запасов II очереди; спуск, подъем материалов, оборудования, людей; запасной выход при аварии
Фланговые вскрывающие выработки					
Конвейерный уклон	935	15	12,8	А – 13 – 22 ж/б затяжка	Выдача горной массы на поверхность исходящей струи; запасной выход при аварии
Путевой уклон	935	15	12,8	А – 13 – 22 ж/б затяжка	Подача свежей струи при отработке запасов I очереди; спуск, подъем материалов, оборудования, людей