

УДК 539.382.4:622.33.532.95.2

В.П. Плотников

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОГО
ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ШПУРОВОГО ОТРЫВА УГЛЯ ИМПУЛЬСАМИ
ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ**

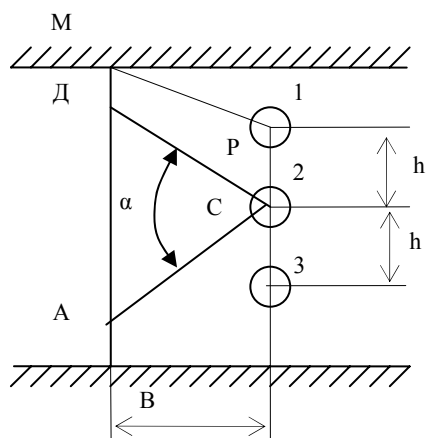
Одним из перспективных способов и средств разрушения угля в забое, позволяющих увеличить производительность комбайнов путём снижения энергоёмкости отбойки, улучшить крупность и эффективность использования угля, снизить его потери, уменьшить запылённость воздуха, исключить взрывы метана и угольной пыли, может быть шпуровой отрыв угля в забое импульсами давления воды и буроотрывающие гидроимпульсные комбайны [1]. Такой способ разрушения экспериментально исследован на бетонных блоках и при отрыве угля импульсами давления воды в шахте.

Длительность импульсов давления воды более чем в 100 раз превышает частоту собственных колебаний бетонных блоков и длительность взрыва обычных взрывчатых веществ в очистном забое. Поэтому ударных волн не возникает, и процесс отрыва можно считать статическим. Вследствие этого в данной статье рассматривается статическое равновесие разрывающей силы и прочности угольного массива.

При отрыве угля в длинном очистном забое горное давление составит незначительную часть отрывающего давления воды в шпурах, поэтому горным давлением в нашем теоретическом анализе можно пренебречь. Кроме того, для упрощения вывода формулы взаимного

влияния основных параметров шпурового отрыва угля в очистном забое разрушаемый массив предлагается считать изотропным и учитывать статистическую вариацию прочности угольного массива. К.В. Руппнейт утверждал, что анизотропия горных пород проявляется значительно слабее, чем в металлопрокате. Поэтому горные породы могут рассматриваться как изотропные и однородные [2]. Теоретические исследования результатов разрыва бетонных блоков внутренним давлением воды показали, что они хорошо объясняются предлагаемой автором гипотезой упруго – пластически хрупкого механизма отрыва, основанной на теории упруго – пластического нагружения толстостенного цилиндра внутренним давлением [3, 4]. Перенос этой гипотезы на уголь обоснован подобием физико-механических свойств бетона [5] и угля [6]. Пластичность угля и горных пород при разрушении взрывом в разной форме признавали В.Н. Мосинец [7], Б.Н. Кутузов [8], А.Н. Ханукаев [9].

При выводе формулы для расчёта основных параметров гидроимпульсного отрыва угля исследуем взаимное влияние основных параметров отрыва угля от массива давлением воды в шпурах, пробуренных параллельно длинному очистному забою: диаметра шпура d , ширины захвата одного ряда шпуров



исполнительного органа комбайна B , прочности угля при одноосном растяжении σ_p , давления воды в шпурах в момент отрыва p и площади разрыва S_p .

Исследования автора показали, что увеличение количества энергии в разрушающем импульсе давления практически не влияет на давление при разрыве, но увеличивает количество кусков бетона и угля после разрушения, т.е. площадь вновь образованной поверхности при этом возрастает пропорционально увеличению количества энергии. Поэтому при отрыве от массива элемента АДС (рис. 1) можно считать, что минимально необходимое давление внутри шпура будет неизменно при любой энергии импульса и любой степени дробления массива.

Равенство сил при отрыве по условию пластичности с учётом исследований автора можно записать в следующем виде:

$$P_{om} = \sigma_{эф} \cdot S_{om} = K_{ум.н.} \cdot \sigma_{э.с.} \cdot S_{om} = K_{ум.н.} \cdot \sigma_p \cdot S_{om} \quad (1)$$

где P_{om} – сила, отрывающая элемент угля АДС от массива; $\sigma_{э.ф.}$ – фактическое минимальное эквивалентное напряжение при полностью пластическом состоянии отрываемого элемента; $\sigma_{э.с.}$ –

Рис. 1. Схема отрыва угля импульсами давления воды в шпурах, пробуренных параллельно длинному очистному забою

среднее эквивалентное напряжение при отрыве, численно равное среднестатистической прочности угля при одноосном растяжении σ_p ; $K_{ум.н.}$ – коэффициент, учитывающий уменьшение фактического эквивалентного напряжения по сравнению со средним его значением, рассчитанным по среднестатистической прочности бетона и угля на сжатие в соответствии с рекомендациями работы [5, 6]; S_{om} – площадь отрыва.

Уменьшение фактического эквивалентного напряжения объясняется, по мнению автора, вариацией прочности бетона и угля, а также неперпендикулярностью вектора среднего эквивалентного напряжения к плоскости отрыва вследствие определения его по трём главным напряжениям. Последний фактор может изменяться в зависимости от отношения размера основания блока к диаметру отверстия в нём, т.е. от толстостенности блока. Автором установлено, что значение этого коэффициента для бетонных блоков с основаниями 200×200 мм равно 0.78, а с основаниями 500×500 мм – 0.62.

Найдём угол развала борозды отрыва (рис. 2).

Для этого запишем выражение эквивалентного напряжения в сечениях АЕ и ДК и исследуем его на максимум. Простые преобразования в данной работе не приводятся.

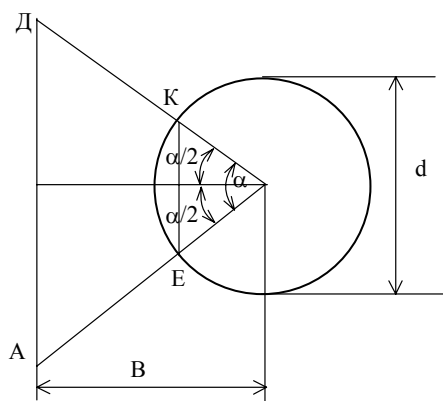


Рис. 2. Схема основных элементов борозды отрыва угля импульсами давления воды в шпуре: d - диаметр шпура; B - ширина захвата исполнительного органа комбайна (линия наименьшего сопротивления); α - угол развала борозды отрыва

$$\sigma_{\text{эф.}} = \frac{P_{\text{ом}}}{S_{\text{ом}}} = \frac{p \cdot l_{\text{ЕК}} \cdot L_{\text{шп}}}{(l_{\text{АЕ}} + l_{\text{ДК}}) \cdot L_{\text{шп}}} = \frac{p \cdot d \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{\left(\frac{2B}{\cos \frac{\alpha}{2}} - d \right)} \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{эф}}$ - эквивалентное напряжение; p - давление в шпуре; $L_{\text{шп}}$ - длина шпура, в котором происходит отрыв; $l_{\text{ЕК}}$ - длина хорды, по которой действует давление внутри шпура при отрыве на параллельную плоскость; d - диаметр шпура; B - ширина захвата исполнительного органа комбайна (линия наименьшего сопротивления); α - угол развала борозды отрыва.

Вследствие небольшой величины d относительно $2B$ (менее 7% при $B = 300$ мм и $d = 40$ мм) для упрощения дальнейшего анализа на максимум в знаменателе дроби величиной d пренебрегаем. Получим:

$$\sigma_{\text{эф}} = \frac{p \cdot d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2}}{2B} = \frac{p \cdot d \cdot \sin \alpha}{4B} \quad (3)$$

Последняя функция имеет максимум при $\alpha = 90^\circ$, т.е. наибольшее эквивалентное напряжение, а поэтому наибольшее

вероятный отрыв пройдет по сечениям АЕ и ДК с углом развала борозды отрыва $\alpha = 90^\circ$.

Поставим в уравнение (1) значение площади отрыва из равенства (2) при условии максимума эквивалентного напряжения в момент отрыва.

$$P_{\text{ом}} = K_{\text{ум.н.}} \cdot \sigma_p \cdot \left(\frac{2B}{\sqrt{2}} - d \right) \cdot L_{\text{шп}} = K_{\text{ум.н.}} \cdot \sigma_p \cdot \left(\frac{4B}{\sqrt{2}} - d \right) \cdot L_{\text{шп}} \quad (4)$$

Отрывающая сила при угле развала борозды отрыва 90° может быть выражена также в виде:

$$P_{\text{ом}} = p \cdot l_{\text{ЕК}} \cdot L_{\text{шп}} = p \cdot d \cdot \sin 45^\circ \cdot L_{\text{шп}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot p \cdot d \cdot L_{\text{шп}} \quad (5)$$

Приравняем правые части равенств 4 и 5, запишем полученное уравнение в следующем виде:

$$\frac{p}{\sigma_p} = \frac{K_{\text{ум.н.}} \cdot \left(\frac{4B}{\sqrt{2}} - d \right)}{\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot d} \quad (6)$$

После преобразования для расчёта среднеарифметических значений отношений P/σ_p получим:

$$\frac{p}{\sigma_p} = \frac{4B}{d} - \sqrt{2} \quad (7)$$

Рассчитанные по этой формуле значения отношения давления в шпуре P к прочности угля на разрыв σ_p при разных

Отношение давления в шпуре p к прочности угольного массива на растяжение σ_p при разных значениях ширины захвата шпурового буротривающего гидромпульсного исполнительного органа комбайна B и диаметров шпуров и скважин d

Ширина захвата комбайна B , мм	Диаметры шпуров и скважин d , мм							
	30	40	50	60	70	80	90	100
100	11.9	8.6	6.6	5.3	4.3	3.6	3.0	2.6
200	25.3	18.6	14.6	11.9	10.0	8.6	7.5	6.6
300	38.6	28.6	22.6	18.6	15.7	13.6	11.9	10.6
400	51.9	38.6	30.6	25.3	21.5	18.6	16.4	14.6
500	65.3	48.6	38.6	31.9	27.2	23.6	20.8	18.6
600	78.6	58.6	46.6	38.6	32.9	28.6	25.3	22.6
700	91.9	68.6	54.6	45.3	38.6	33.6	29.7	26.6

значениях ширины захвата B и диаметра шпура и скважины d приведены в таблице.

Приведённые в таблице значения p/σ_p надо считать средними статистическими, т.к. они определены по средним статистическим значениям прочности угля при одноосном растяжении.

Выполненный автором теоретический анализ упруго – пластического хрупкого гидромпульсного разрыва бетона основан на следующих статистических результатах исследования. Средняя прочность бетона при сжатии составила 22.9 МПа с коэффициентами вариации от 10 до 27.3 %, амплитуда давления, разрывающего блоки с основаниями 200×200 мм, равна в среднем 10.4 МПа, изменялась от 8.4 до 12.3 МПа, с коэффициентом вариации от 12.6 до 39.7 %, амплитуда давления, разрывающего блоки с основаниями 500×500 мм, равна в среднем 21.6 МПа, изменялась от 16.0 до 28.0 МПа, с коэффициентом вариации от 16 до 20 %.

Ввиду статистической вариации прочности бетонных блоков фактическое эквивалентное напряжение при их разрыве импульсами давления воды было меньше среднестатистической прочности бетона на разрыв 1.97 МПа, и изменялось от 1.26 до 1.84 МПа для бло-

ков с основаниями 200×200 мм и от 1.16 до 1.21 МПа для блоков с основаниями 500×500 мм. Коэффициент уменьшения фактического эквивалентного предельного напряжения $K_{умн}$ для блоков с основаниями 200×200 мм изменяется от 0.63 до 0.92, для блоков с основаниями 500×500 мм - от 0.58 до 0.65. Средние значения $K_{умн}$ в первом случае – 0.78, во втором – 0.62.

Учитывая статистический характер прочностных свойств угля для учёта наибольшей прочности его при разрыве необходимо принимать во внимание, что временное сопротивление углей растяжению имеет коэффициент вариации 20–60 %, а его значение может быть на 60 или 180 % больше или меньше среднего [10]. Поэтому для стопроцентной вероятности отрыва угля импульсами давления воды значения таблицы, рассчитанные по средним значениям результатов исследований необходимо увеличивать в большинстве случаев на три среднеквадратических отклонения от их среднего значения, т.е. в 1.6÷2.8 раза.

Приведённая выше формула получена для определения параметров отрыва угля от массива давлением в одном шпуре или в нескольких удалённых друг от друга шпурах, пробуренных парал-

тельно груди забоя. При этом поверхность забоя после отрыва будет разрушена одной или несколькими бороздами отрыва, т.е. будет неровной, что не всегда допускается. Если в момент отрыва одновременно создавать давление в шпурах 1, 2, 3 (рис. 1), причём шпуры 1 и 3 расположить в зоне пластической деформации, возникающей в момент импульса в шпуре 2, отрыв несомненно облегчится, т.к. эквивалентные растягивающие напряжения будут суммироваться, а поверхность забоя выровняется. Однако одновременную подачу импульсов в несколько шпуров в очистном забое будет трудно осуществить, т.к. длительность импульсов при отрыве невелика и составляет $0.01 \div 0.02$ с. Поэтому для получения ровной поверхности забоя каждый последующий отрывающий шпур необходимо бурить в зоне пластической

деформации от соседнего шпура, т.е. расстояние между шпурами h должно быть меньше радиуса пластической зоны (длины линии ДС, рис. 1):

$$h \leq l_{ДС}. \quad (8)$$

Выразив длину линии отрыва через ширину захвата одного ряда шпуров B найдём расстояние между шпурами как условие отрыва для получения ровной поверхности забоя:

$$h \leq \sqrt{2B} \quad (9)$$

Таким образом, для получения ровной поверхности забоя при отрыве в нескольких рядом расположенных шпурах необходимо, чтобы расстояние между шпурами не превышало ширину захвата одного ряда шпуров более чем в 1.41 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Плотников В.П.* Рабочий орган горного комбайна: Авторское свидетельство СССР на изобретение №1170136, Кл. E21, с 27/34 / В.П. Плотников. – М.: бюллетень №28, 30.07.1985
2. *Руппенейт К.В.* Механические свойства горных пород / К.В. Руппенейт. –М.: Углетехиздат, 1956. – 324 с.
3. *Беляев Н.М.* Теории пластических деформаций: Известия АН СССР (отделение технических наук) №1 / Н.М. Беляев. – М.: 1937.
4. *Беляев Н.М.* Напряжения и деформации в толстостенных цилиндрах при упруго – пластическом состоянии: Известия АН СССР (отделение технических наук) №2 / Н.М. Беляев, А.К. Сеницкий. – М.: 1938.
5. *Берг О.Я.* Физические основы теории прочности бетона и железобетона / О.Я. Берг. – М.: Госстройиздат, 1962. – 96 с.
6. *Ржевский В.В.* Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новик. – М.: Недра, 1984. – 359 с.
7. *Мосинец В.Н.* Исследование механизма разрушения горных пород взрывом и разработка инженерных методов управления энергией взрыва: Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук / В.Н. Мосинец. – Магнитогорск: 1966.
8. *Кутузов Б.Н.* Новая теория и новые технологии разрушения горных пород удлинёнными зарядами взрывчатых веществ / Кутузов Б.Н., Андриевский А.П. – Новосибирск: Наука, 2002. – 96 с.
9. *Ханукаев А.Н.* Физические процессы при отбойке горных пород взрывом / А.Н. Ханукаев. – М.: Недра, 1974. – 223 с.
10. *Барон Л.И.* Сопротивляемость горных пород отрыву /Л.И. Барон, Л.Г. Керекелица. – Киев: Наукова думка, 1974. – 192 с.

Коротко об авторах

Плотников В.П. – доцент, кандидат технических наук, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.

