

УДК 691.32.058.8.004.63

В.П. Плотников

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА
В ЛАБОРАТОРИИ ОТРЫВОМ ИМПУЛЬСАМИ
ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ**

В лабораторных условиях на гидравлической импульсной установке с поршневым пневмоаккумулятором проведено исследование разрушения отрывом импульсами давления воды бетонных блоков с основаниями 200×200 высотой 50, 100, 150, 250 и 500 мм и с основаниями 500×500 мм высотой 100, 150 мм. Все блоки имели в центре оснований отверстия диаметром 26 мм и разрушались на импульсной гидравлической установке. Импульсы давления воды от установки к разрушаемому образцу передавались по стальной трубе длиной 1 м с внутренним диаметром 12 мм, наружным – 22 мм, или по трубе и гибкому резиновому высоконапорному шлангу с внутренним диаметром 16 мм и длиной 0.55 или 2.2 м.

Методикой исследований предусмотрено разрушение бетонных блоков с использованием шлейфового осциллографа, тензоусилителя, отметчика времени и датчика скорости при постепенном повышении амплитуды импульсов давления воды путём увеличения давления воздуха в пневмоаккумуляторе перед сжатием с целью определения минимальной энергоёмкости разрушения. В каждом опыте изготовлялось и разрушалось десять блоков одного размера. Бетонные блоки имели прочность при сжатии в среднем 22.9 МПа с коэффициентом вариации 17.6%, прочность этих блоков при растяжении – 1.98 МПа.

Средние арифметические значения результатов исследования приведены в табл. 1

При каждом разрушении блока изменялись качество уплотнения его на трубе, давление воздуха в пневмоаккумуляторе в начале и в конце сжатия, амплитуда и длительность импульса давления воды, скорость перемещения плунжера установки. Измеренные параметры позволили рассчитать степень повышения давления воздуха в пневмоаккумуляторе, коэффициент импульсного давления, подачу воды импульсной установкой в момент импульса, мощность разрушающего импульса давления воды, энергию импульса давления воды и энергию сжатого воздуха, израсходованную на образование этого импульса.

Названные выше результаты позволили рассчитать объёмную и поверхностную энергоёмкости разрушения по энергии воздуха и по энергии импульса давления воды.

В результате проведённого исследования установлено, что при разрушении отрывом импульсами давления воды происходит полное разрушение бетонных блоков всех исследованных размеров одним импульсом давления. Разрушенные импульсами давления воды бетонные блоки показаны на рисунке.



Бетонные блоки с основаниями 200×200 и 500×500 мм, разорванные внутренним импульсным давлением воды

Результаты исследования обработаны методами математической статистики по книге [1]. Корреляционные уравнения зависимостей параметров импульсного давления воды при разрушении бетонных блоков отрывом приведены в табл. 2.

Давление воды, разрывающее блоки, относительно невелико. Для блоков с основаниями 200×200 мм разрушающее давление воды изменяется от 8.4 до 12.5 МПа; для блоков с основаниями 500×500 мм – от 22.0 до 21.2 МПа.

Увеличение разрывающего давления с возрастанием размеров основания блоков объясняется, по мнению автора, увеличением прочности толстостенного цилиндра при увеличении его наружного размера, предсказанным Н.М. Беляевым и А.К. Синицким [2].

Длительность разрушения бетонных блоков с основаниями 200×200 мм изменялась от 10 до 21 мс при увеличении

их высоты от 50 до 500 мм. Длительность разрушения блоков с основаниями 500×500 мм примерно равна длительности разрушения блоков с основаниями 200×200 мм при одинаковой их высоте. Это объясняется тем, что разрушение блоков с основаниями 500×500 мм происходит при более высоком давлении воды.

Экспериментально установлено, что при изменении высоты разрушаемых блоков с основаниями 200×200 мм от 50 до 500 мм необходимо повысить давление воздуха в пневмоаккумуляторе перед сжатием от 0.007 до 0.1 МПа, а давление воздуха в конце сжатия – от 0.38 до 0.99 МПа.

Давление воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия при разрушении блоков с основаниями 500×500 мм и высотой 100 и 150 мм равно соответственно 0.68 и 0.77 МПа, это примерно равно подобному давлению для блоков с основаниями 200×200 такой же высоты (0.57 и 0.79 МПа).

Отношение давлений воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия и до сжатия изменилось от 4.5 до 6.6.

Скорость плунжера импульсной установки во время разрушающего импульса, определяющая подачу воды, с увеличением высоты блоков с

основаниями 200×200 мм от 50 до 500 мм возрастает от 1.9 до 6.9 м/с.

Скорость плунжера импульсной установки при разрушении блоков с основаниями 500×500 мм высотой 100 и 150 мм равна 5.5 и 4.9 м/с соответственно. Подача воды импульсной установкой в момент импульса при разрушении блоков с основаниями 200×200 мм с увеличением их высоты от 50 до 500 мм изменяется от 1.2 до 4.6 дм³/с.

Подача воды при разрушении блоков с основаниями 500×500 мм высотой 100 и 150 мм равна 3.3 и 3.6 дм³/с соответственно.

Увеличение расхода воды при возрастании высоты и размеров основания разрушаемых блоков объясняется снижением гидравлического сопротивления трещин при увеличении их длины в момент разрушения.

Необходимо отметить, что расход воды, необходимый для разрушения блоков отрывом импульсами давления, в несколько раз превосходит расход воды, подаваемой в шпур при нагнетании воды в массив угля с целью снижения запылённости и энергоёмкости отбойки угля комбайнами [3].

Увеличение этой мощности при увеличении высоты разрушаемых блоков объясняется увеличением расхода воды при увеличении длин трещин во время разрушения.

Увеличение мощности импульса в момент разрушения при увеличении размеров основания блоков объясняется увеличением давления воды, разрывающего блоки, а также увеличением длин разрушающих трещин, обуславливающих увеличение расхода воды при разрыве блоков.

Отношение энергии разрушающего импульса давления воды к энергии сжатого воздуха на образование этого импульса изменяется от 0.13 до 0.62 при увеличении высоты блоков с основаниями 200×200 мм от 50 до 500 мм. Это же отношение для блоков с основаниями 500×500 мм высотой 100 и 150 мм равно соответственно 0.40 и 0.47.

Полученные значения отношения энергии импульсов давления воды к энергии сжатого воздуха показывают, что КПД этого процесса максимально может быть равен 0.62.

Расход воды через уплотнение трубы в отверстиях блоков до их разрушения изменялся в небольших пределах от 8.3 до 30 см³/сек при давлении 0.08 МПа.

Экспериментально установлено, что скорость развития трещин на поверхностях блоков с основаниями 200×200 мм составляет около 10 м/с, скорость развития трещин на поверхности блоков с основаниями 500×500 мм составляет 25 м/с, т.е. в 2.5 раза больше. Это можно объяснить значительно большим, в 2.1÷2.2 раза, разрушающим давлением воды.

Мощность разрушающих импульсов давления воды, созданных на гидравлической импульсной установке с металлической импульсопроводящей трубой, разрушающих бетонные блоки, превышает мощность электродвигателя насоса установки 2.8 кВт от 3.5 до 18.8 раз.

При увеличении стороны квадрата основания блоков в 2.5 раза энергия сжатого воздуха, необходимая для раз-

рушения блоков, увеличивается незначительно, в $1.08 \div 1.26$ раза. Это объясняется более полным превращением энергии сжатого воздуха в энергию импульса давления воды при разрушении блоков с основаниями 500×500 мм.

Сравнение поверхностной энергоёмкости, определённой по энергии воздуха, при разрушении блоков с разными основаниями показывает, что при увеличении стороны квадратного основания блока в 2.5 раза поверхностная энергоёмкость разрушения, определённая по энергии воздуха, снижается в $2.3 \div 2.4$ раза.

Объёмная энергоёмкость разрушения отрывом импульсами давления воды, определённая по энергии разрушающего импульса, для блоков $500 \times 500 \times 100$ мм и $500 \times 500 \times 150$ мм равна $12 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$ с коэффициентом вариации 40% и $10.5 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$ с коэффициентом вариации 27.0 % соответственно. Сравнение этой энергоёмкости при разрушении блоков с разными основаниями показывает, что с увеличением стороны их квадратного основания в 2.5 раза объёмная энергоёмкость разрушения, определённая по энергии импульса давления воды, снижается в $2.65 \div 3.4$ раза. Это снижение объясняется более полным превращением энергии сжатого воздуха в энергию импульса давления воды, а также значительным увеличением (в 6.25 раза) объёма оторванных без рыхления кусков блоков при увеличении стороны их квадратного основания.

Объёмная энергоёмкость разрушения, определённая по энергии сжатого воздуха, израсходованной на образование разрушающего импульса давления воды, рассчитывалась по формуле адиабатического расширения воздуха [4].

При изменении высоты блоков от 50 до 500 мм объёмная энергоёмкость разрушения, определённая по энергии воздуха, снижается с 195 до $45 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$, т.е.

примерно в 4 раза. Это можно объяснить более полным преобразованием энергии сжатого воздуха в энергию импульса давления воды с увеличением высоты разрушаемых блоков.

Объёмная энергоёмкость разрушения, определённая по энергии сжатого воздуха, для блоков $500 \times 500 \times 100$ мм и $500 \times 500 \times 150$ мм составляет $29 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$ с коэффициентом вариации 24.4 % и $22 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$ с коэффициентом вариации 16.3 % соответственно.

При увеличении стороны квадратного основания блоков в 2.5 раза объёмная энергоёмкость разрушения снижается в $5.0 \div 5.7$ раза. Это объясняется более полным превращением энергии сжатого воздуха в импульс давления воды при разрушении блоков с большим основанием, а также увеличением размеров кусков блоков после разрушения.

С целью определения параметров импульсов давления воды проведено исследование разрушения бетонных блоков отрывом импульсами, передаваемыми по резиновому высоконапорному шлангу.

Резиновый шланг с внутренним диаметром 16 мм находился между переходным конусом камеры высокого давления установки и металлической трубой. Стальная труба, которая при ранее выполненных исследованиях ввёртывалась непосредственно в переходный конус импульсной установки, в данном исследовании имела прежние размеры и предназначалась для закрепления блока в уплотнительном устройстве. Исследования проводились при длине резинового шланга 550 и 2200 мм.

В результате проведённого исследования установлено, что импульсы давления воды после передачи их по резиновому высоконапорному шлангу могут разрушать бетонные блоки с размерами $200 \times 200 \times 50$ мм.

Экспериментально установлено, что параметры разрушающих импульсов значительно изменились по сравнению с результатами разрушения бетонных блоков отрывом импульсами давления воды, передаваемыми по стальной трубе.

При неизменном качестве уплотнения трубы в блоке давление воздуха в пневмоаккумуляторе перед сжатием при передаче импульса по резиновому шлангу для разрушения блока необходимо повысить до 0.225 МПа при длине шланга 550 мм и до 0.265 МПа – при длине шланга 2200 мм

Из данных табл. 1 видно, что при разрушении бетонных блоков подобных размеров отрывом импульсами давления воды, передаваемыми по стальной трубе, абсолютное давление воздуха в пневмоаккумуляторе перед сжатием равно 0.107 МПа, т.е. значительно, в 2÷2.5 раза меньше. Давление воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия при разрушении блоков на установке с резиновыми шлангами длиной 550 и 2200 мм равно 1.525 и 1.80 МПа соответственно, что значительно, в 4.0÷4.7 раза, больше давления при разрушении подобных блоков отрывом импульсами давления воды, передаваемыми по стальной трубе.

Импульсы давления воды, передаваемые через шланг, имеют небольшую длительность, от 0.2 до 1.0 мс, это в среднем в 18 раз меньше длительности импульса, переданного по металлической трубе, а амплитуда импульсов давления воды равна 24.9 МПа, т.е. больше в 3 раза амплитуды импульса при разрушении подобных блоков на установке при передаче импульсов по трубе без шлангов.

Коэффициент импульсного давления при разрушении блоков на установке с резиновым шлангом равен 0.24, что на 0.14 меньше значения этого коэффициен-

та при разрушении таких блоков на установке без шланга.

Уменьшение коэффициента импульсного давления при разрушении на установке с резиновым шлангом объясняется деформацией шланга в момент импульса, на которую расходуется энергия сжатого воздуха.

Скорость плунжера импульсной установки при разрушении импульсами давления воды, передаваемыми по резиновому шлангу длиной 2200 мм, равна 13.3 м/с, а подача воды импульсной установкой 8.2 дм³/с, что в 7.0 раз больше соответствующих параметров импульсов, полученных при разрушении блоков импульсами, передаваемыми по стальной трубе.

Энергия сжатого воздуха, затраченная на образование импульса, при разрушении на установке с резиновым шлангом длиной 550 мм и 2200 мм равна соответственно 2715 и 3244 Дж, что в 3.9 и в 4.6 раза больше энергии сжатого воздуха, затраченной на разрушение импульсами, передаваемыми по стальной трубе.

Энергия импульса давления воды при разрушении на установке с резиновым шлангом длиной 2200 мм равна 9.8 кГм, а при разрушении на установке без шланга равна 101 Дж, т.е. изменяется незначительно.

Поэтому можно сделать вывод, что при изменении амплитуды и длительности импульса энергия импульса давления воды при разрушении блоков практически не изменяется.

Отношение энергии импульса давления воды и энергии сжатого воздуха, затраченной на образование этого импульса, при разрушении блоков на установке с резиновыми шлангами равно 3.3 %, т.е. значительно, в 4.0 раза меньше, чем при разрушении подобных блоков на установке с металлической трубой. Это объясняется тем, что значительная

часть энергии сжатого воздуха теряется при растяжении резинового шланга в момент импульса давления воды.

Поверхностная энергоёмкость разрушения, определённая по энергии воздуха, равна 2.3.3 и 27 Дж/см² при длине шлангов 550 и 2200 мм соответственно, что в 3.4 и 3.9 раза больше соответствующей энергоёмкости при разрушении подобных блоков импульсами, передаваемыми через стальную трубу.

Поверхностная энергоёмкость, определённая по энергии импульса давления воды, при разрушении на установке со шлангом длиной 2200 мм равна 0.79 Дж/см², а при разрушении подобных блоков на установке без шланга равна 1.0 Дж/см², т.е. изменилась незначительно.

Объёмная энергоёмкость разрушения, определённая по энергии сжатого воздуха, при разрушении на установке с резиновым шлангом длиной 550 и 2200 мм равна соответственно 0.77 и 0.92 кВт·ч/м³, что в 3.4 и 4.7 раза больше этой же энергоёмкости при разрушении импульсами, переданными по металлической трубе.

Объёмная энергоёмкость разрушения, определённая по энергии импульса давления воды, при разрушении блоков

на установке с резиновым шлангом длиной 2200 мм равна объёмной энергоёмкости, определённой по энергии импульса, при разрушении

подобных блоков импульсами давления воды, передаваемыми по стальной трубе.

Результаты этого исследования показали, что разрушение бетонных блоков отрывом импульсами давления воды, передаваемыми по резиновому высоконапорному шлангу длиной до 2200 мм, происходит с небольшой энергоёмкостью, определённой по энергии импульса давления воды. Однако повышенное в несколько раз давление сжатого воздуха в пневмоаккумуляторе, а также невысокая прочность и надёжность резиновых высоконапорных шлангов позволяют сделать вывод о бесперспективности передачи импульсов давления воды от импульсной установки в шпур при отрыве угля в забое шахты.

Поэтому в буротривающих гидроимпульсных комбайнах, предложенных автором для безопасной высокопроизводительной добычи крупного угля [5, 6] при передаче импульсов давления воды от установки в шпур целесообразно применять стальные трубы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжов П.А. Математическая статистика в горном деле / П.А. Рыжов. – М.: МИР-ГЭМ, 1965. – 183 с.
2. 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. Синицкий. – М.: 1938.
3. Кузнецов Ю.В. Предварительное увлажнение угля в целлюлозе как фактор повышения производительности труда: Журнал "Уголь", 1960, №4 / Ю.В. Кузнецов. – М.: 1960.
4. Хаджиков Р.Н. Сборник примеров и задач по горной механике / Р.Н. Хаджиков, С.А. Бутаков. – М.: Недра, 1989. – 188 с.
5. 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.
6. Плотников В.П. Буроскальвающий исполнительный орган проходческого комбайна: Авторское свидетельство СССР на изобретение №1229334, Кл. E21, с. 27/12 /В.П. Плотников. - М.: Бюллетень №17,17.05.1986.

Коротко об авторах

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

