

Д-р техн. наук Л.М. Васильев,  
канд. техн. наук Ю.А. Жулай,  
канд. техн. наук Н.Я. Трохимец,  
инж. В.Е. Антончик (ИГТМ НАН Украины),  
инж. П.Ю. Моисеенко (шахта «Дуванная»)

## **ГИДРОИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА УГОЛЬНЫЙ МАССИВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ПРОТИВОВЫБРОСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

На підставі експериментальних досліджень обґрунтовано можливість підвищення ефективності гідророзпушування вугільного масиву шляхом дискретно-імпульсного впливу на нього, з використанням кавітаційного генератора коливань рідини.

## **HYDROIMPULSIVE EFFECT ON COAL-BED IN BLOWOUT PRODUCTION PROCESSES**

Based on experimental studies, an opportunity to increase hydroripping efficiency of coal-bed by subjecting it to discrete -impulse effects using a cavitation generator of liquid fluctuations is substantiated.

Создание безопасных условий ведения горных работ по пылевому и газовому факторам противовыбросных мероприятий путем применения различных режимов подачи жидкости в угольные пласты многократно проверено и подтверждено практикой ведения горных работ. Вместе с тем ухудшение горно-геологических условий, связанное с освоением углегазовых месторождений на больших глубинах, и необходимость увеличения нагрузки на очистные и подготовительные забои при одновременном снижении их количества, привели к значительному снижению эффективности мероприятий по предотвращению выбросов угля и породы, газодинамических явлений и пылеобразования. В первую очередь это связано с изменением свойств углепородного массива и отсутствием технических средств, которые позволяют в условиях неразгруженных очистными работами угольных пластов и повышенного горного давления осуществлять эффективное гидрорыхление угольного массива.

Одним из основных локальных способов предотвращения внезапных выбросов угольного массива является гидрорыхление призабойной части угольного пласта, которое осуществляется из очистных или подготовительных забоев путем высоконапорного статического нагнетания воды в него в соответствии с [1]. При этом гидрорыхление считается законченным при одновременном выполнении следующих условий: появление воды в плоскости забоя; снижение давления в напорном трубопроводе не менее чем на 30% от установившегося, при котором проводилось нагнетание; подача в скважину воды не менее расчетного количества. Однако, как показывает практика, выполнение одновременно всех трех условий гидрорыхления зачастую невозможно из-за образования магистральных трещин в пласте и выхода в них больших объемов воды задолго до закачки её расчетного количества. Это приводит к необходимости проведения дополнительных работ (бурению новых скважин, гер-

метизации магистральных трещин и т.д.) и, как следствие, удорожанию процесса гидрорыхления.

По совокупности технологических параметров и эффективности способа напорного нагнетания его применение не позволяет создать равномерно увлажненную и дегазированную зону вокруг скважины, предусмотренную [1]. Дополнительные проблемы возникают в условиях угольных пластов с низкими фильтрационными свойствами и вмещающими породами, склонными к размоканию. При нагнетании воды существующими насосными установками под давлением 30-32 МПа в угольном массиве процесс фильтрации практически отсутствует, а её прорыв по кровле и почве пласта приводит к увлажнению последнего. В результате снижается устойчивость горных пород и эффективность крепления горных выработок.

Поэтому поиск новых эффективных средств гидрорыхления угля в сложных горно-геологических условиях продолжает оставаться актуальной научной и практической задачей.

Качественно нового уровня эффективности гидрорыхления можно достичь путем обработки угольного пласта дискретно-импульсным нагнетанием жидкости. Как указывалось в работах [2, 3], его применение позволит равномерно нагнетать в пласт вязкие жидкости, что недостижимо статическим нагнетанием, и за счет этого реализовать новые способы предотвращения внезапных выбросов угля и газа. Указанный вид гидроимпульсной обработки позволяет увеличить в 1,5÷2 раза радиус увлажнения и снизить пылевыделение при выемке угля.

Нагнетательно-импульсная установка, описание которой приведено в работе [3], обеспечила максимальные значения пульсаций давления от 8 до 3,5% от давления питания  $P_1$  при его изменении от 5 до 32 МПа и давлении подпора  $P_2 \approx 0,1P_1$ . Одной из нерешенных задач в [3], по мнению авторов настоящей работы, является низкий уровень пульсаций по сравнению с давлением нагнетания, что не позволяет более эффективно проводить гидрорыхление.

Задачей данной работы является возможность создания способов и устройств для преобразования высоконапорного течения жидкости в дискретно-импульсное течение повышенной разрушительной способности и передачи импульсов давлений в скважину с минимальными потерями энергии.

Целью настоящей работы является определение возможности повышения эффективности гидрорыхления путем гидроимпульсного воздействия на угольный пласт с использованием кавитационного генератора колебаний давления жидкости, работающего в режиме периодически-срывной кавитации [4]. Имеющийся объем результатов исследований кавитационного течения в местных гидравлических сопротивлениях с разной формой проточного канала [5-7], позволяет выбрать его геометрические параметры таким образом, чтобы он надежно обеспечивал существование режима периодически-срывной кавитации. Использование данного типа генератора в качестве источника гидродинамических волн позволит создать импульсы давления жидкости, превышающие по величине давление нагнетания с частотой следования от 70 до 7000 Гц. Он не тре-

бует дополнительного источника энергии, не имеет подвижных частей, рабочий ресурс такого устройства составляет не менее 2000 часов.

Исходными данными для расчета геометрических параметров генератора для гидродинамического рыхления угольного пласта являются основные параметры насосной установки нагнетания воды в массив: давление подачи  $P_1$  и секундный расход жидкости  $G$ . По формуле

$$F_{кр} = \frac{G}{\mu \sqrt{2g\gamma(P_1 - P_k)}}$$

определяется площадь критического сечения генератора, при этом учитывается, что давлением в кавитационной полости  $P_k \ll P_1$  как правило пренебрегают. Входящие в формулу значения коэффициента расхода генератора  $\mu$  на основании многочисленных экспериментальных определений этого параметра, принимается равным 0,96, ускорение свободного падения  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> и удельный вес воды  $\gamma = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

По площади критического сечения определяется его диаметр  $d_{кр} = 2\sqrt{F_{кр}/\pi}$ . Длина цилиндрической части генератора выбирается в соответствии с [3] и равна  $0,6 \div 2,0 d_{кр}$ .

Трубопровод, подводящий жидкость к генератору, должен иметь проходное сечение, обеспечивающее скорость жидкости в нем не более 10 м/с. Для обеспечения безударного входа жидкости входная часть генератора выполняется с радиусом двойной кривизной.

Исследование высокочастотных ударных кавитационных автоколебаний, создаваемых генератором, проводились в ИГТМ НАН Украины на установке, схема которой представлена на рис. 1. В процессе испытаний образцовыми манометрами измерялись статические давления на входе в генератор  $P_1$  и в трубопроводе-имитаторе  $P_2$ . Индуктивными датчиками давления ДДИ-20 измерялись колебания давлений за генератором  $\Delta P_2$  и в трубопроводе-имитаторе скважины  $\Delta P_3$ , сигналы с которых через вторичный и аналогово-цифровой преобразователи поступали на вход ПЭВМ, где производилась их обработка.

Испытания проводились при различных режимах работы генератора, отличающихся степенью развития кавитации. При фиксированном давлении на входе в генератор  $P_1 \approx 10$  МПа (которое обеспечивалось насосом) давление на выходе из трубопровода-имитатора скважины  $P_2$  уменьшалось ступенчато (с помощью подпорного дросселя 5) таким образом, что соотношение давлений  $P_2/P_1$  увеличивалось в диапазоне от 0,05 до 0,9. Расход воды через систему составил примерно 35 л/мин.

В качестве примера на рис. 2 представлены копии участков осциллограмм с записью параметров кавитационных автоколебаний, реализовывавшихся в гидравлической системе за кавитационным генератором ( $\Delta P_2$  – справа) и в

трубопроводе-имитаторе скважины ( $\Delta P_3$  – слева). Характер этих колебаний подтверждает возможность преобразования стационарного потока в пульсирующий.

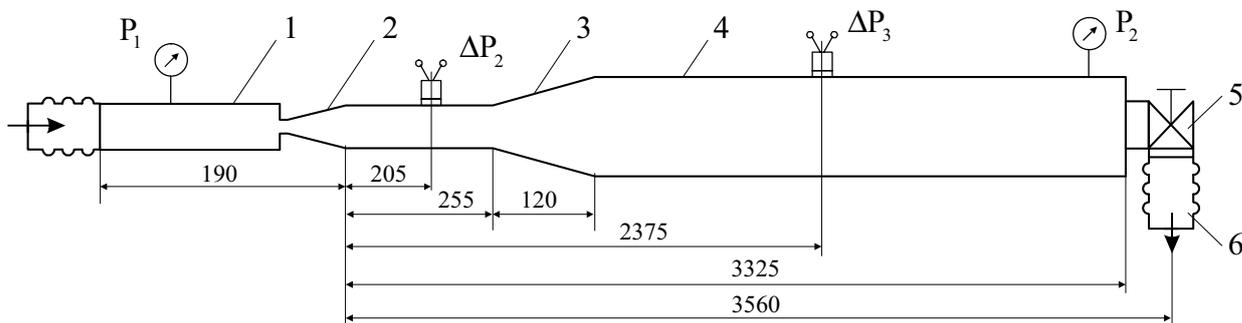


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки

1 – питающий трубопровод; 2 – кавитационный генератор; 3 – переходник;  
4 – трубопровод-имитатор скважины; 5 – подпорный дроссель; 6 – сливной трубопровод.

Экспериментальные зависимости частоты кавитационных автоколебаний  $f$  и «двойной амплитуды»  $\Delta P_2$  и  $\Delta P_3$ , полученных при стендовых испытаниях гидрорыхлителя, представлены на рис. 3. В связи с негармонической формой колебаний под «двойной амплитудой» в данном случае понимается разность максимального и минимального значений давления в импульсе, т.е.  $\Delta P = P_{max} - P_{min}$ .

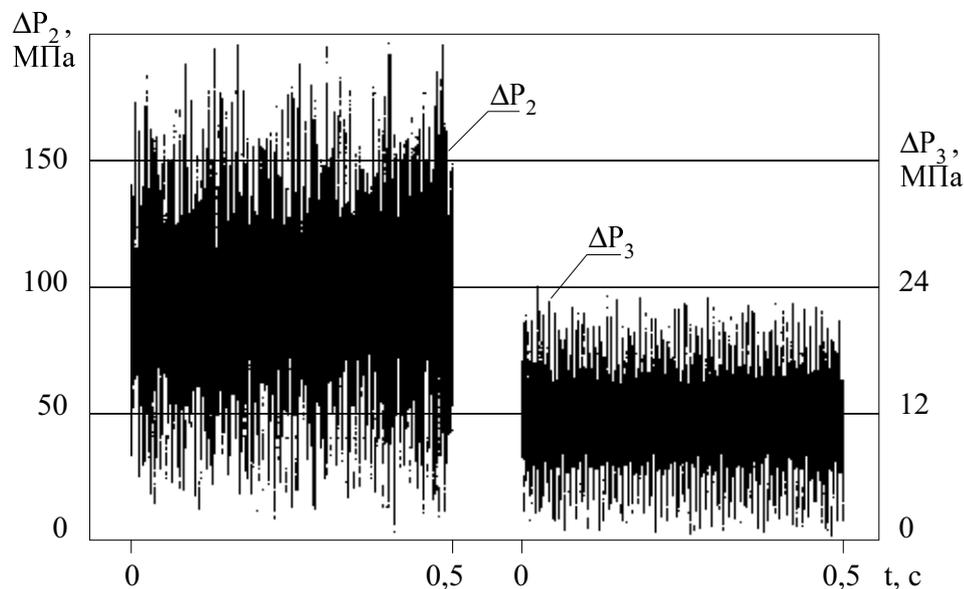


Рис. 2 – Копии участков осциллограммы с записью колебаний давления за генератором  $\Delta P_2$  и в трубопроводе-имитаторе скважины  $\Delta P_3$

Из приведенных зависимостей видно, что при уменьшении отношения  $P_2/P_1$  двойные амплитуды колебаний  $\Delta P_2$  и  $\Delta P_3$  увеличиваются, достигая своего максимального значения при  $P_2/P_1 \approx 0,08$ , а затем уменьшаются.

Максимальные значения давления в импульсе на выходе из генератора  $\Delta P_2$  в 1,8 раз превышают давление питания, а в трубопроводе-имитаторе скважины составляют  $0,2P_1$ . В диапазоне изменения отношений  $P_2/P_1 = 0,15 \div 0,5$  значения импульсов  $\Delta P_2$  и  $\Delta P_3$  практически не меняются и уменьшаются с увеличением  $P_2/P_1 > 0,5$ . Зависимость частоты кавитационных колебаний от соотношения  $P_2/P_1$  близка к линейной, с ростом соотношения наблюдается повышение частоты колебаний давления жидкости.

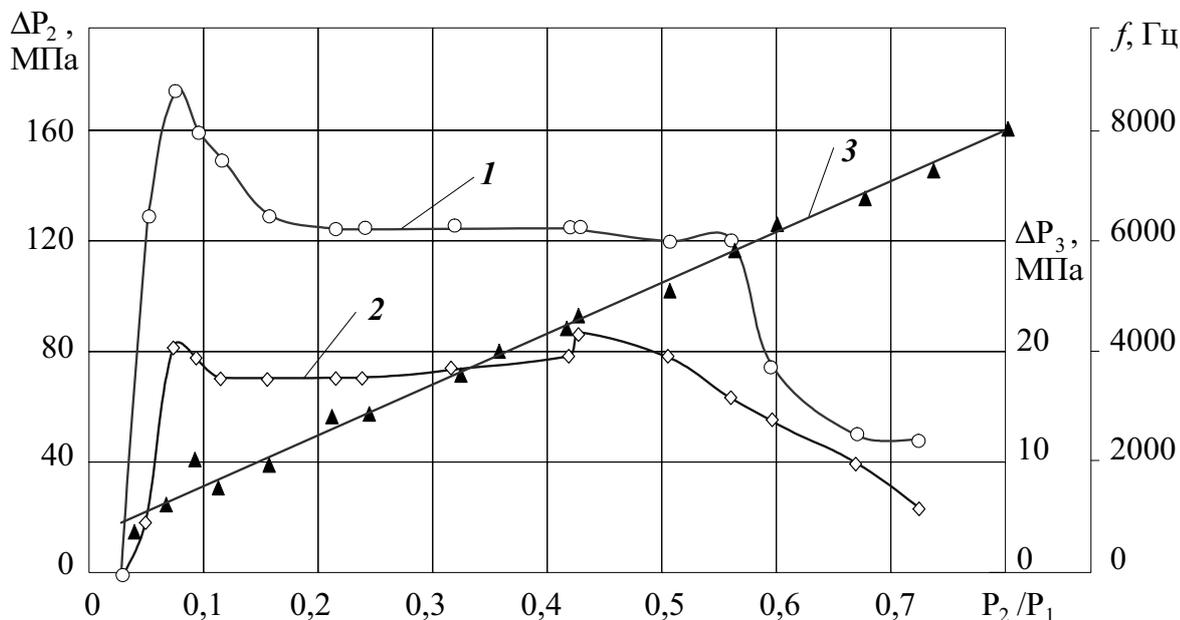


Рис. 3 – Экспериментальные зависимости кавитационных колебаний давления за генератором (1), в трубопроводе-имитаторе скважины (2) и частоты следования импульсов от соотношения  $P_2/P_1$

Предварительные испытания технологии гидрорыхления угольного массива импульсным нагнетанием в него воды (по схеме, представленной на рис. 4) при проведении пластовых подготовительных выработок в условиях шахты «Дуванная» ОАО «Краснодонуголь» показали возможность повышения эффективности гидрорыхления. Нагнетание воды в угольный массив 1 по скважине 3, с установленным в ней герметизатором 2, производилось через напорный трубопровод 4, через кавитационный генератор колебаний 5, преобразующий стационарное течение в дискретно-импульсное.

При статическом нагнетании воды насосной установкой УНГ длительность гидрорыхления составила 4 мин. и было закачано  $0,2 \text{ м}^3$  воды. В массиве образовалось две магистральные трещины с выходом воды в выработанное пространство, что вынудило прекратить процесс гидрорыхления и не позволило закачать расчетное количество воды согласно [1].

При импульсном нагнетании воды, согласно рис. 4, в течение 8 минут закачано  $0,6 \text{ м}^3$ , в процессе гидрорыхления магистральных трещин не образовалось. При этом динамика выделения метана из массива увеличилась в 12 раз по сравнению с исходной.

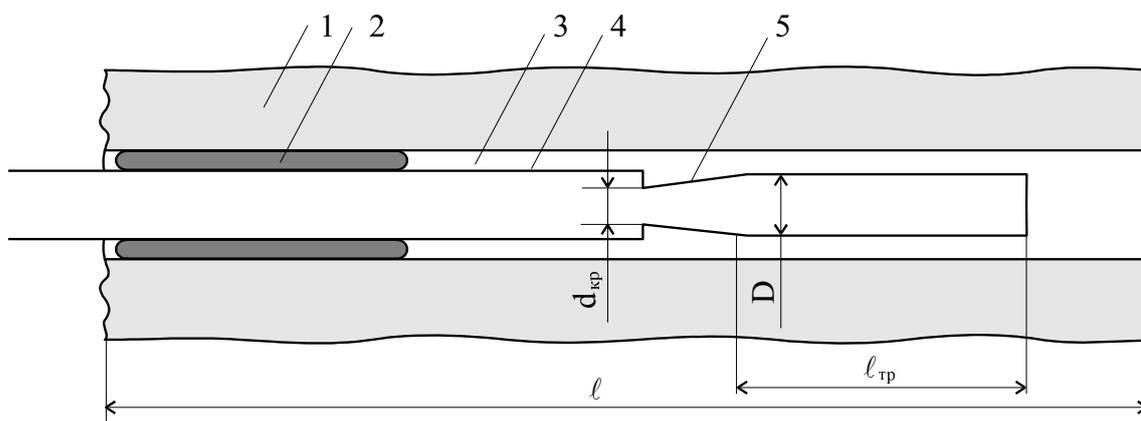


Рис. 4 – Схема гидрорыхлителя угольного массива

### Выводы.

Предложенный авторами и рассмотренный в данной статье способ гидрорыхления угольного пласта с использованием кавитационного генератора колебаний давления жидкости имеет ряд преимуществ по сравнению со статическим нагнетанием жидкости в массив. Они состоят в возможности дискретно-импульсного воздействия на угольный пласт, что приводит к повышению проницаемости угля, снижению его гидросопротивляемости и увеличению приемистости. Это позволяет увеличить темпы нагнетания и подачу суммарного объема жидкости в угольный массив. Как следствие, это способствует приросту радиуса увлажнения, обеспечивает качество гидрорыхления, повышает удельное газовыделение, снижает пылеобразование и сопротивляемость угля резанию.

Перспективы дальнейших исследований в данном направлении связаны с поиском путей повышения эффективности передачи импульсов давления с минимальными потерями от генератора в скважину на угольный массив, подвергающийся гидрорыхлению.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, склонных к внезапным выбросам угля, породы и газа. – М., «Недра», 1977. – 160 с.
2. Васильев Л.М. Развитие трещин в угольном массиве при импульсном нагнетании в него жидкости // Механика и разрушение горных пород. – Киев: Наук. думка, 1993. – С. 60-65.
3. Васильев Л.М., Демченко В.С., Родин А.В. Импульсная насосная установка. – Сб. науч. трудов «Геотехническая механика». Вып. № 2, Днепропетровск, 2001. – С. 3-8.
4. А.с. 1232296 (СССР), МКИ В 06 В 1/18. Генератор колебаний давления жидкости. / В.В. Пилипенко, В.А. Задонцев, И.К. Манько, Жулай Ю.А., Дзоз Н.А. Оpubл. 23.05.86. Бюл. № 19.
5. В.В. Пилипенко, В.А. Задонцев, И.К. Манько, Н.И. Довготько. Исследование высокочастотных кавитационных автоколебаний в гидравлической системе с трубкой Вентури. – В кн. «Кавитационные автоколебания в насосных системах», ч.2. – Киев: Наук. думка, 1976. – С. 103-113.
6. Жулай Ю.А., Манько И.К. Экспериментальное исследование кавитационного течения потока жидкости в трубопроводе за диском. – В кн.: Гидрогазодинамика технических систем. Сб. науч. трудов. – Киев: Наук. думка, 1985. – С. 64-66.
7. Манько И.К. Некоторые результаты экспериментального исследования кавитационных автоколебаний в гидравлической системе за дисковой диафрагмой. – В кн. "Кавитационные автоколебания и динамика гидравлических систем". – Киев: Наук. думка, 1977. – С. 43-47.