

Л.М. Васильев, Ю.А. Жулай,
Н.Я. Трохимец, В.В. Зберовский,
П.Ю. Моисеенко

ГЕНЕРАТОР И ГЕРМЕТИЗАТОР ШПУРА ДЛЯ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ МАССИВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ПРОТИВОВЫБРОСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

На підставі експериментальних досліджень обґрунтована можливість підвищення ефективності гідророзпушування вугільного масиву шляхом дискретно-імпульсного впливу на нього, з використанням кавітаційного генератора імпульсів тиску рідини та герметизатора шпура на базі сталльної труби з конічним резиновим щільником.

THE GENERATOR AND BLOWHOLE PLUGGING FOR HYDROIMPULSIVE INFLUENCE 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 the cavitations generator of liquid pressure pulses based on steel pipe with end ribbon compressor are substantiated.

Создание безопасных условий ведения горных работ по пылевому и газовому факторам 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 газодинамических явлений и пылеобразования. В первую очередь это связано с изменением свойств угленосного массива и отсутствием технических средств, которые позволяют в условиях неразгруженных очистными работами углегазовых пластов и повышенного горного давления осуществлять эффективное гидрорыхление угольного массива.

Одним из основных способов предотвращения внезапных выбросов угольного массива является гидрорыхление призабойной части угольного пласта, которое осуществляется из очистных или подготовительных забоев путем высоконапорного статического нагнетания воды [1]. При этом гидрорыхление считается эффективным, если выполнены следующие условия: в пласт закачено расчетное количество воды; появление воды в плоскости забоя; снижение давления в напорном трубопроводе не менее чем на 30% от давления нагнетания. Однако, как показывает практика, выполнение одновременно всех трех параметров эффективности гидрорыхления зачастую невозможно из-за образования в пласте магистральных трещин разрыва и прорыва по ним воды в забой выработки, что не позволяет закачать в пласт расчетное количество жидкости. Это приводит к необходимости проведения дополнительных работ (бурению новых скважин, герметизации трещин и т.д.) и как следствие, удорожанию процесса гидрорыхления.

Таким образом, по совокупности технологических параметров и эффективности способа напорного нагнетания его применение не позволяет создать равномерно увлажненную и дегазированную зону вокруг скважины, предусмотренную инструкцией [1]. Кроме этого 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 порыв по кровле и почве пласта приводит к увлажнению последних. В результате снижается устойчивость горных пород и эффективность крепления.

Из изложенного следует, что поиск новых научно-технических решений и средств эффективного гидрорыхления угля в сложных горно-геологических условиях продолжается оставаться актуальной задачей.

Качественно нового уровня эффективности гидрорыхления можно достичь путем обработки угольного пласта дискретно-импульсным нагнетанием жидкости. Как отмечено в работах [2, 3] его применение может позволить равномерно нагнетать в пласт вязкие жидкости, что недостижимо при статическом нагнетании, и за счет этого реализовать новые технические решения по предотвращению внезапных выбросов угля и газа.

Применение нагнетательно-импульсной установки при гидроимпульсной обработке угольного массива [3] обеспечило максимальные значения пульсаций давления от 8 до 3,5% давления питания P_1 при его изменении от 5 до 32 МПа и давлении подпора $P_2 \approx 0,1P_1$. Это позволило увеличить в 1,5÷2 раза радиус увлажнения, снизить пылеобразование и газовыделение при разрушении угля. Однако, одной из нерешенных задач в [3], на взгляд авторов настоящей работы, является низкий уровень значения пульсаций давления. Это сдерживает развитие наиболее эффективного режима гидрорыхления.

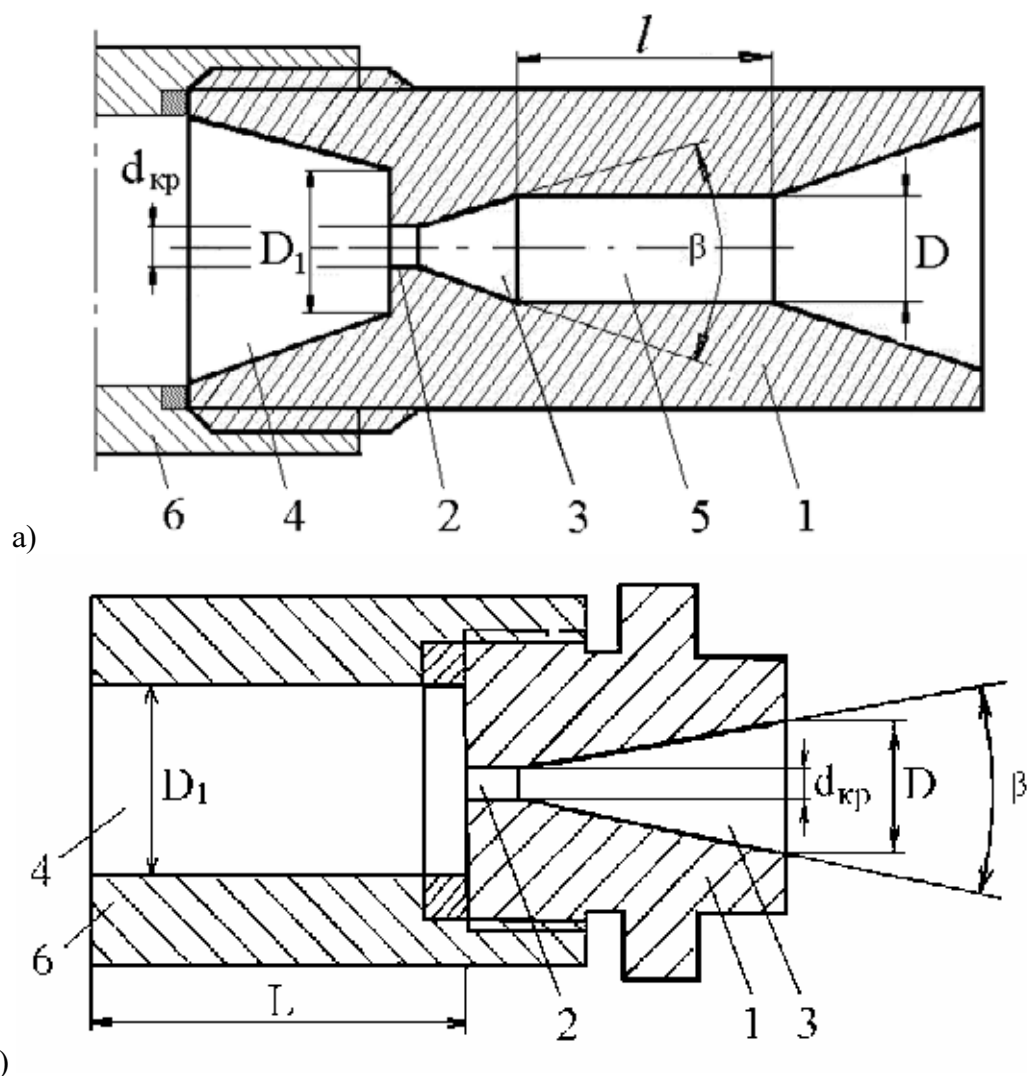
Задачей данного исследования является разработка способов и устройств для преобразования высоконапорного течения жидкости в дискретно-импульсное течение повышенной разрушительной способности и передачи импульсов давлений в массив с минимальными потерями энергии.

Целью настоящей работы является определение возможности повышения эффективности гидрорыхления путем гидроимпульсного воздействия на угольный пласт с использованием кавитационного генератора колебаний давления жидкости (генератора кавитации – ГК), работающего в режиме периодически-срывной кавитации [4].

Имеющийся большой объем результатов исследований кавитационного течения в местных гидравлических сопротивлениях с разной формой проточного канала [5-7], позволяет выбрать его геометрические параметры таким образом, чтобы в гидродинамической системе был инициирован и стабильно поддерживался режим периодически-срывной кавитации. Использование генератора кавитации такого типа, в качестве источника импульсов давления жидкости, позволяет преобразовать статическое нагнетание в импульсное с частотой следования генерируемых импульсов от 70 до 7000 Гц. Он не требует дополнитель-

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

В основу разработки и изготовления модернизированного генератора кавитации (рис. 1) положены исследования генераторов импульсов давления жидкости (ГИД) для гидроимпульсного воздействия на угольный пласт [2].



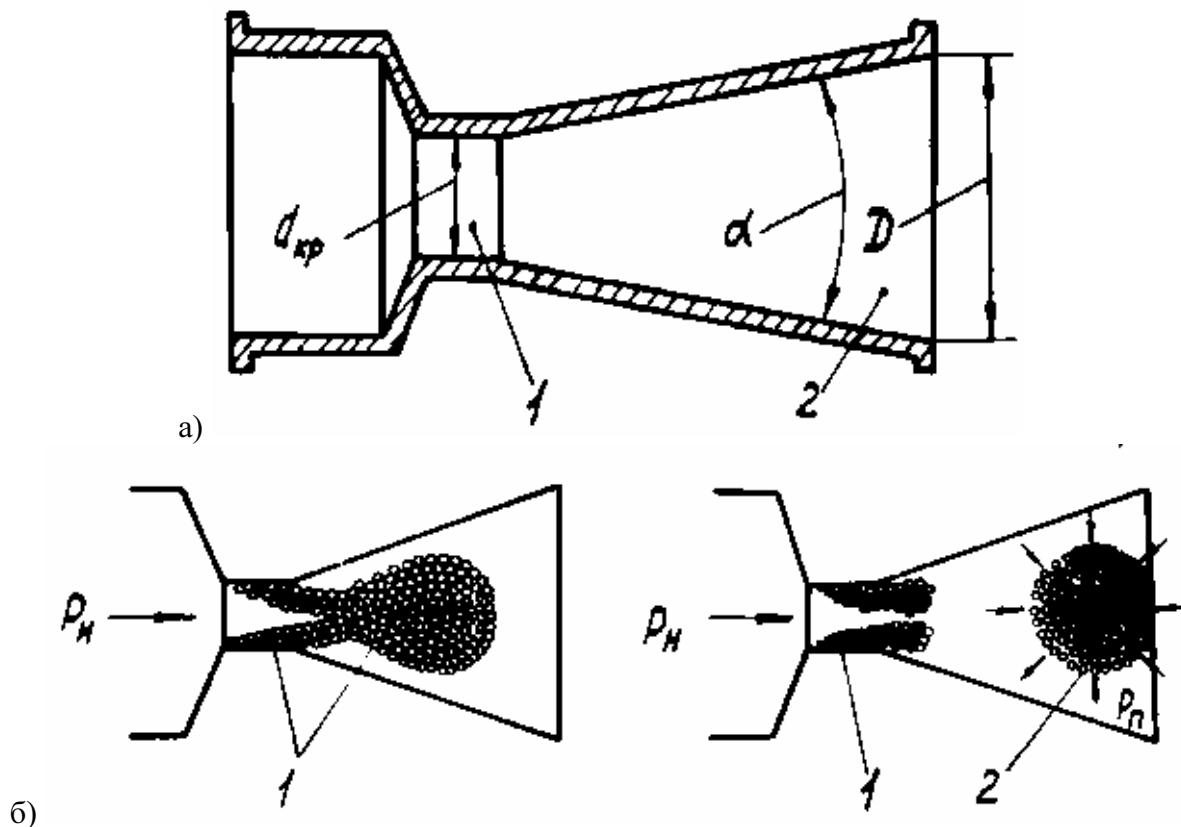
а – конструкция ГИД с преддиффузорным и последидиффузорным каналами; б – модернизированная конструкция ГК с преддиффузорным каналом; 1 – генератор кавитации; 2 – критическое сечение; 3 – диффузор кавитационной камеры; 4 – преддиффузорный проточный канал; 5 – последидиффузорный проточный канал; 6 – труба.

Рис. 1 – Конструкции генераторов кавитационных импульсов давления жидкости

ГИД (рис. 1а) представляет собой трубку Вентури с преддиффузорным и последидиффузорным проточным каналом. Принцип действия основан на использовании физического эффекта явления периодической срывной кавитации, которое проявляется в трубке Вентури (рис. 2).

При подаче жидкости под давлением в критическом сечении трубки – 1 скорость течения резко возрастает, а давление падает до давления насыщения паров. В результате испарения жидкости в диффузоре – 2 образуется кавитацион-

ная каверна – 3, которая относится потоком жидкости и отрывается в конце диффузора – 4. В конце диффузора оторвавшаяся каверна под воздействием давления подпора (в нашем случае давления в скважине) захлопывается. Образующиеся при этом ударные волны беспрепятственно распространяются в окружающем пространстве.



а – схема трубки Вентури; б – механизм формирования кавитационной каверны;
1 – критическое сечение; 2 – диффузор; 3 – кавитационная каверна;
4 – оторвавшаяся часть кавитационной каверны

Рис. 2 – Механизм периодически срывной кавитации в трубке Вентури

Для проведения работ по совершенствованию технологии гидрорыхления угольного массива импульсным нагнетанием жидкости в режиме кавитации, была разработана конструкторская и техническая документация на изготовление модернизированных генераторов кавитации (рис. 1 б). Исследование динамических характеристик и их соответствие проектным было выполнено в лаборатории ИГТМ НАН Украины.

Целью методики лабораторных и стендовых испытаний было определение оптимальных параметров импульсного нагнетания жидкости в режиме кавитации по:

1. Параметрам насосных установок:
 - давление подачи жидкости $1,0 \text{ МПа} \leq P_n \leq 30 \text{ МПа}$;
 - расход жидкости $Q = 35\text{-}40 \text{ л/мин}$ (УН - 35, УНШ); $Q = 50 \text{ л/мин}$ (УНР); $Q = 90 \text{ л/мин}$ (УГН);

2. Горно-геологическим условиям и свойствам угля:

– по давлению газа в пласте (давления подпора) $P_2 = 1,0-20,0$ МПа;

– по сопротивлению угля на сдвиг $K = 2,0-6,0$ МПа;

3. Параметрам генератора кавитации (рис. 1):

– угол раскрытия диффузора – β ;

– диаметр критического сечения – $d_{кр}$;

– диаметр преддиффузорного и последидиффузорного каналов – D_1 ;

– длина преддиффузорного – L и последидиффузорного – l каналов.

Исходными данными для расчета геометрических параметров модернизированного генератора для гидродинамического рыхления угольного пласта являются основные параметры насосной установки нагнетания воды в массив: давление подачи P_1 (кг/см²) и секундный расход жидкости G (кг/сек). По формуле:

$$F_{кр} = \frac{G}{\mu \sqrt{2g\gamma(P_1 - P_k)}} \quad (1)$$

определяется площадь критического сечения генератора. Учитывая, что давление в кавитационной полости $P_k \ll P_1$ его значением, как правило пренебрегают. Входящие в формулу значения коэффициента расхода генератора μ на основании многочисленных экспериментальных определений этого параметра, принимается равным 0,96; ускорение свободного падения $g = 981$ см/сек²; удельный вес воды $\gamma = 0,001$ кг/см³.

По площади критического сечения определяется его диаметр

$$d_{кр} = 2 \sqrt{\frac{F_{кр}}{\pi}} \quad (2)$$

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/сек. Входная часть модернизированного генератора выполняется с двойной кривизной для обеспечения безударного в него входа жидкости.

Исследование высокочастотных ударных кавитационных автоколебаний, создаваемых генератором специальной геометрии, проводились в ИГТМ НАН Украины на установке, схема которой представлена на рисунке 3.

Установка включает в себя питающий трубопровод 1, модернизированный кавитационный генератор 2, переходник 3, трубопровод-имитатор скважины 4, подпорный дроссель 5 и сливной трубопровод 6. 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 ΔP_2 и в трубопроводе-

имитаторе скважины ΔP_3 , сигналы с которых через вторичный и аналогово-цифровой преобразователи поступали на вход ПЭВМ, где производилась их обработка.

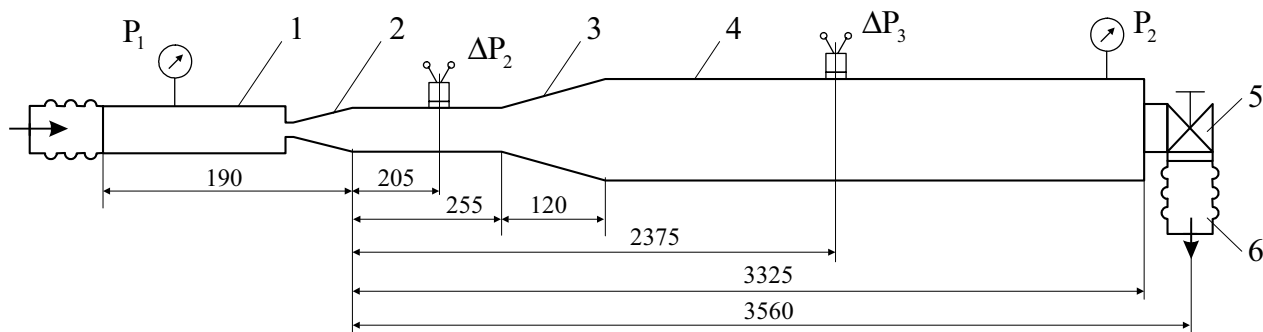


Рис. 3 – Схема экспериментальной установки

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 (параметр кавитации - τ) уменьшалось в диапазоне от 0,05 до 0,09. Расход воды через систему составил 35 л/мин.

В качестве примера на рисунке 4 представлены участки осциллограмм с записью параметров кавитационных автоколебаний, реализовывавшихся в гидравлической системе за кавитационным генератором (ΔP_2) и в трубопроводе-имитаторе скважины (ΔP_3). Характер этих колебаний подтверждает преобразование стационарного потока в пульсирующий.

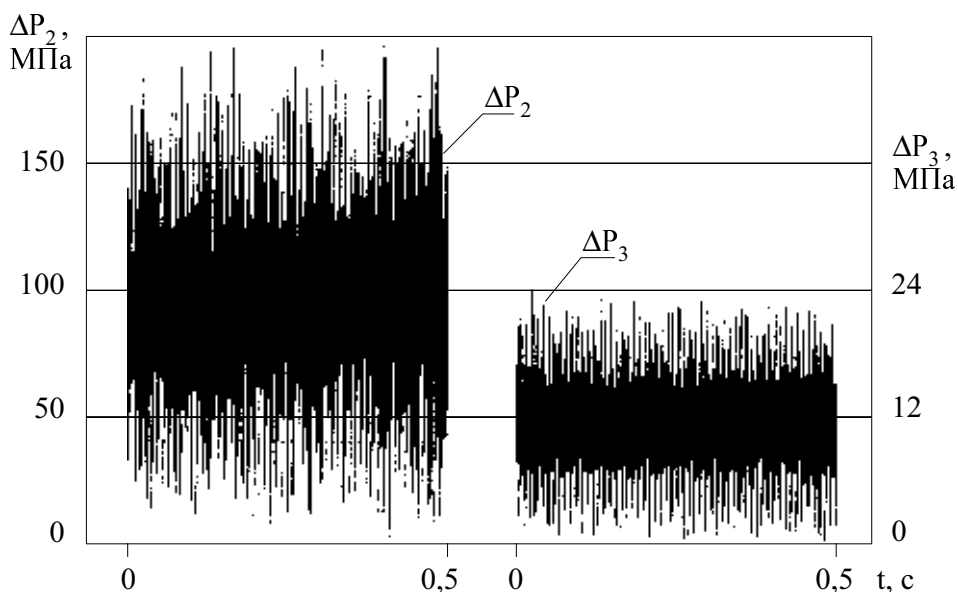


Рис. 4 – Копии участков осциллограммы с записью колебаний давления за генератором ΔP_2 и в трубопроводе-имитаторе скважины ΔP_3

Экспериментальные зависимости частоты кавитационных автоколебаний f и «двойной амплитуды» ΔP_2 и ΔP_3 , полученных при стендовых испытаниях гидрорыхлителя, представлены на рисунке 5.

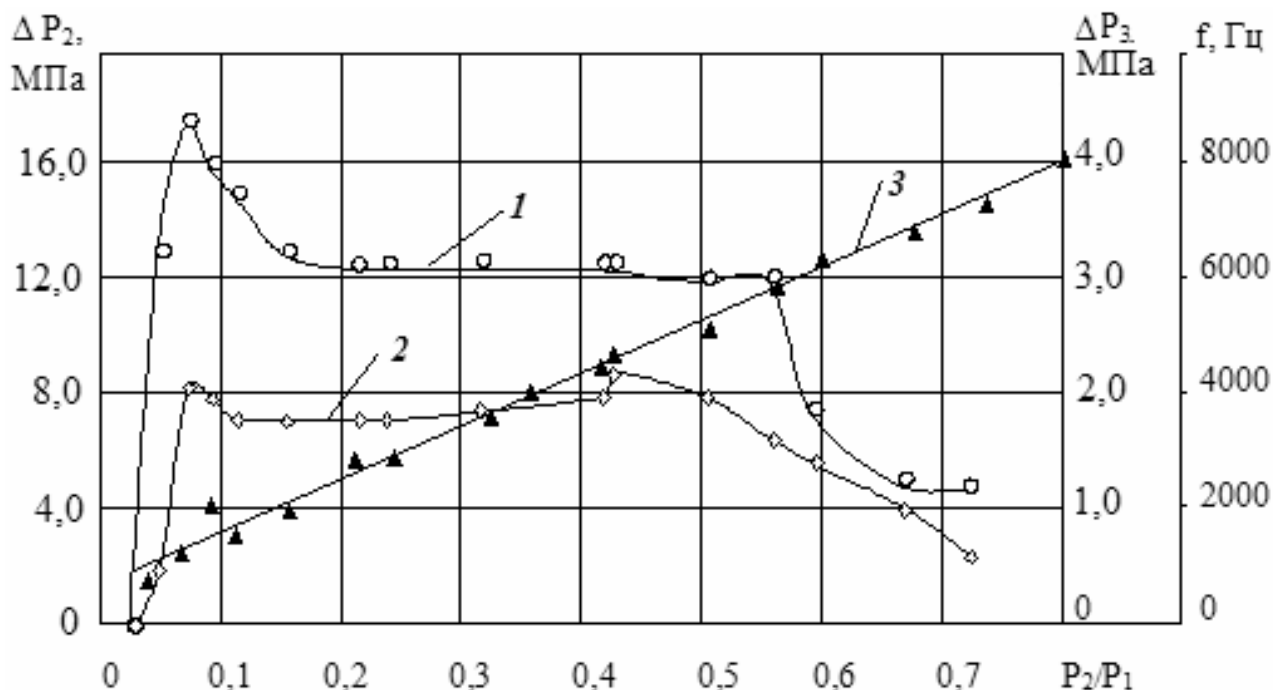


Рис. 5 – Экспериментальные зависимости кавитационных колебаний давления за генератором (1), в трубопроводе-имитаторе скважины (2) и частоты следования импульсов от соотношения P_2/P_1

В связи с негармонической формой колебаний под «двойной амплитудой» в данном случае понимается разность максимального и минимального значений давления в импульсе, т.е. $\Delta P = P_{max} - P_{min}$. Из приведенных зависимостей видно, что при уменьшении отношения P_2/P_1 двойные амплитуды колебаний ΔP_2 и ΔP_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 ΔP_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 ΔP_2 и ΔP_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.

Предварительные испытания технологии гидрорыхления угольного массива импульсным нагнетанием в него воды при проведении пластовых подготовительных выработок в условиях шахты «Дуванная» ОАО «Краснодонуголь» (рис. 6) показали возможность повышения эффективности гидрорыхления.

Нагнетание воды в угольный массив (1) производилось через герметизатор (2) с генератором кавитации ГК 2.2 (5) и напорный трубопровод (4), установленные в скважине (3). Исследованиями установлено, что при статическом на-

гнетании воды насосной установкой УНГ, длительность гидрорыхления составила 4 мин., было закачано $0,2 \text{ м}^3$. 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]. Импульсное нагнетание воды в течении 8 минут позволило закачать $0,6 \text{ м}^3$, при этом в процессе гидрорыхления магистральных трещин не образовалось, а динамика выделения метана из массива увеличилась в 12 раз по сравнению с исходной.

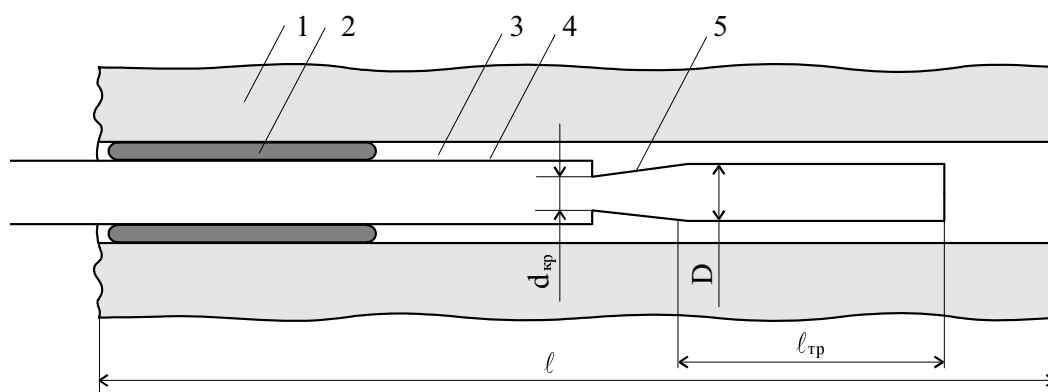
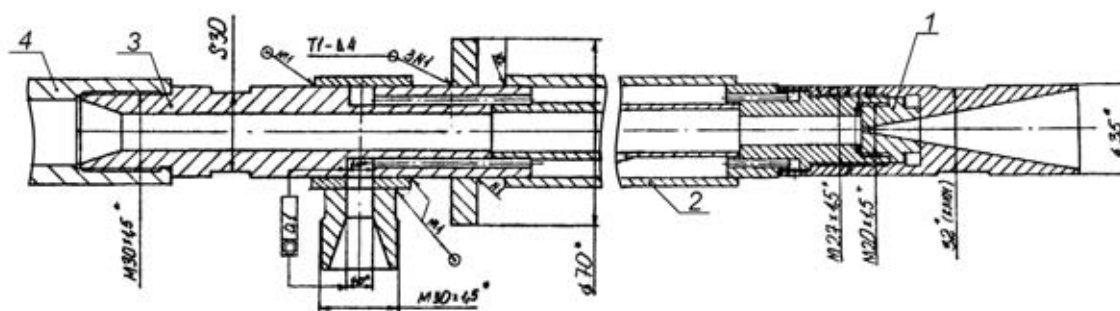


Рис. 6 – Схема гидрорыхления угольного массива

Основываясь на результатах опытно-промышленной проверки и горно-экспериментальных исследований образца герметизатора шпура конструкции ИГТМ НАН Украины в виде стальной трубы с коническим резиновым уплотнителем, самогерметизирующей в процессе гидрорыхления, была разработана рабочая документация на изготовление импульсного гидрорыхлителя угольного пласта с коническим обтекателем генератора кавитации (рис. 7).



1 – ГК с коническим обтекателем; 2 – стальная труба; 3 – распределительный узел;
4 – высоконапорный рукав

Рис. 7 – Схема импульсного гидрорыхлителя угольного пласта

На основании комплекса проведенных исследований в условиях залегания пласта $K_2+K_2^B$ гор. 590 м шахты «Дуванная» ОАО «Краснодонуголь» разработаны методические рекомендации по применению технологии гидрорыхления выбросоопасного угольного пласта импульсным нагнетанием в него жидкости

при проведении пластовых подготовительных выработок.

Выводы.

Предложенный авторами и рассмотренный в данной статье способ гидрорыхления угольного пласта импульсным нагнетанием в него жидкости в режиме кавитации с использованием разработанных генераторов кавитации имеет ряд преимуществ по сравнению со статическим нагнетанием. Они состоят в возможности дискретно-импульсного воздействия на угольный пласт, что приводит к значительному росту проницаемости угля, снижению его гидросопротивляемости и увеличению приемистости. Это позволяет увеличить темп нагнетания и объем жидкости, подаваемой в угольный массив при одновременном снижении временных затрат. В результате повышается эффективность гидрорыхления и радиус увлажнения, интенсифицируется газовыделение, снижается интенсивность пылеобразования и сопротивляемость угля резанию при разрушении угля.

Перспективы дальнейших исследований в данном направлении связаны с поиском путей эффективной передачи импульсов давления от генератора кавитации в угольный массив, подвергающийся гидрорыхлению, с минимальным снижением оптимальных значений параметров кавитации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа.– М.: Недра, 1989.– 192 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.