

## АКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ГИДРОВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГЛЕГАЗОВЫЙ МАССИВ

Рассмотрены способы гидровоздействия на выбросоопасные угольные пласты при статическом, гидроимпульсном и гидродинамическом режимах подачи жидкости. Отмечены особенности способов при проведении мероприятий по предотвращению газодинамических явлений.

Розглянуто способи гідродії на викидонебезпечні вугільні пласти при статичному, гідроімпульсному і гідродинамічному режимах подачі рідини. Відмічені особливості способів при проведенні заходів щодо запобігання газодинамічним явищам.

The methods of hydro affect on outburst coal layers are considered at static, hydro-pulse and hydrodynamic modes of liquid supply. The features of methods during conducting of measures on prevention of the gas dynamic phenomena are marked.

В условиях больших глубин мероприятия по борьбе с газодинамическими явлениями (ГДЯ) стали производственной необходимостью. С этой целью разработан ряд нормативных документов, которые регламентируют проведение профилактических работ в технологическом цикле добычи угля.

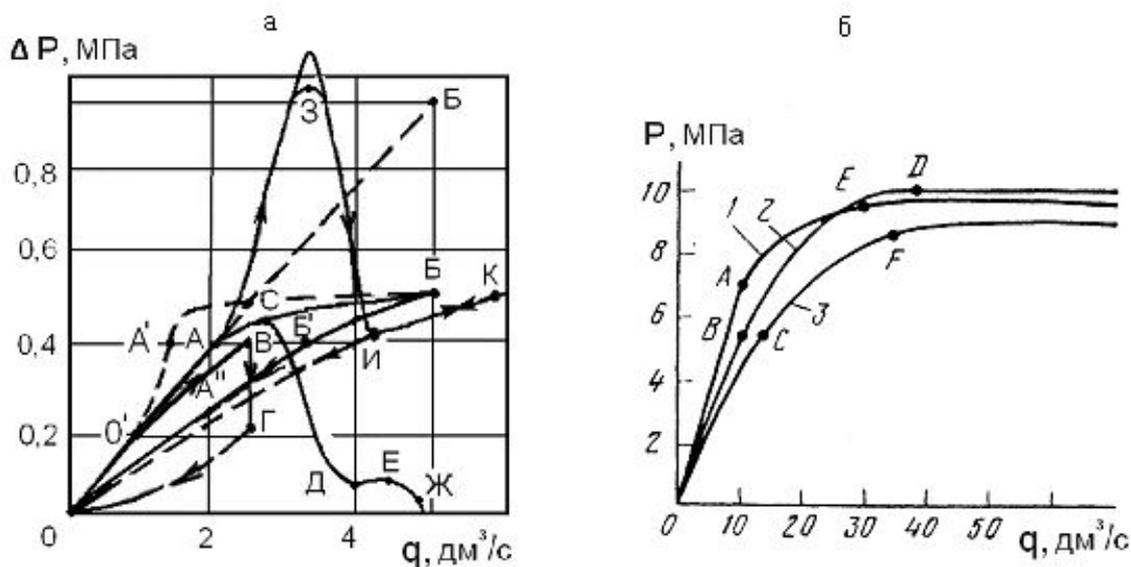
В данном направлении проведен огромный объем научно-технических исследований, на основании которых разработан ряд способов и средств воздействия на выбросоопасные угольные пласты с целью предотвращения внезапных выбросов угля и газа.

Наиболее простыми по своему исполнению являются способы, связанные с нагнетанием жидкости в статическом режиме. Однако, как показала практика ведения горных работ, статическое нагнетание жидкости на больших глубинах не позволяет в полной мере обеспечить безопасное ведение горных работ. Более того, в некоторых случаях, проведение работ по гидрорыхлению и гидротжиму приводит к провоцированию выбросов угля и газа.

Анализ изменения фильтрационных характеристик и зависимости давления нагнетания от темпа подачи жидкости в пласт (рис. 1) [1, 2] позволяет отметить следующее. Если под действием статического давления, соизмеримого с прочностными характеристиками угля, жидкость свободно проникает по трещинам в угольный массив, то режим течения жидкости будет фильтрационным. Если давление превышает прочностные свойства угля и в пласте образуются трещины гидроразрыва, то фильтрационный режим переходит в высоконапорный поток течения жидкости по этим трещинам.

На рисунке 1а приведены режимы гидравлического воздействия на угольный пласт: ОА – фильтрация по линейному закону; О'А' – фильтрация по нелинейному закону; А'Б, ИК – гидравлическое расчленение; ББ', ИО – гистерезис приемистости после гидрорасчленения, гидроразрыва; СД, ЕЖ – гидросбойка или гидротжим; ДЕ – прекращение процесса гидросбойки или гидротжима; АЗИ – гидравлический разрыв; ОВГО – гидравлический размыв. На рисунке 1б – зависимости давления нагнетания от темпа нагнетания жидкости в

пласт: 1 – пласт  $k_{17}$ ; 2 – пласт  $k_{10}$ ; 3 – пласт  $k_{12}$  (Карагандинский бассейн), АЕ, ВД, СF – переходные режимы от фильтрации к расчленению пласта.



а – режимы гидравлического воздействия; б – зависимости давления нагнетания от темпа нагнетания жидкости в пласт

Рис. 1. Характеристики статического режима нагнетания жидкости

Процесс трещинообразования и перехода фильтрационного течения жидкости в высоконапорный поток при статическом режиме нагнетании никак не контролируется. Если данным фактом при нагнетании жидкости через скважины, пробуренные с целью дегазации можно пренебречь, то при гидрорыхлении краевой части пласта в подготовительных или очистных выработках непредсказуемые прорывы жидкости приводят к неэффективности мероприятий. В очистных забоях это не вызывает особых затруднений и в технологическом цикле противовыбросных мероприятий можно перейти к гидроотжиму. В подготовительных выработках применение гидроотжима требует соблюдения дополнительных мер безопасности, что приводит к резкому снижению скорости их проведения.

Исследованием данной проблемы специалисты горного дела занимаются на протяжении многих десятилетий. Одним из путей решения является применение импульсных режимов воздействия. Как показывает практика, при импульсном нагнетании происходит развитие разнонаклонных трещин и равномерное распределение жидкости по всей мощности пласта. Это приводит к устранению причин проявления гидроразрыва и прорыва жидкости по угольным прослоям.

В Институте геотехнической механики НАН Украины (ИГТМ НАНУ) разработаны режимы гидродинамического и гидроимпульсного воздействия.

Принципиально новым оказался режим импульсно-волнового возмущения в скважине при пневмогидравлическом способе добычи угля [3], основанный на подаче жидкости в угольный пласт с последующим резким сбросом давления и извлечением разрушенного угля (рис. 2).

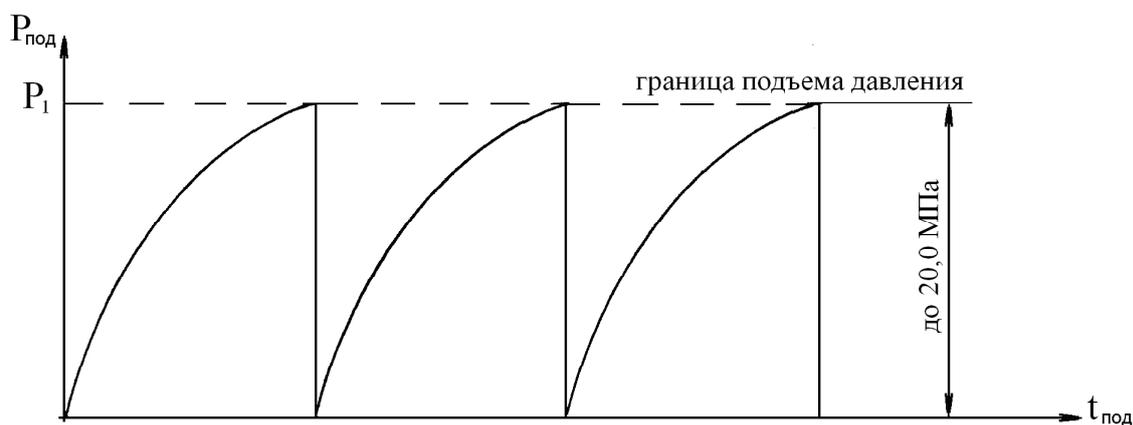
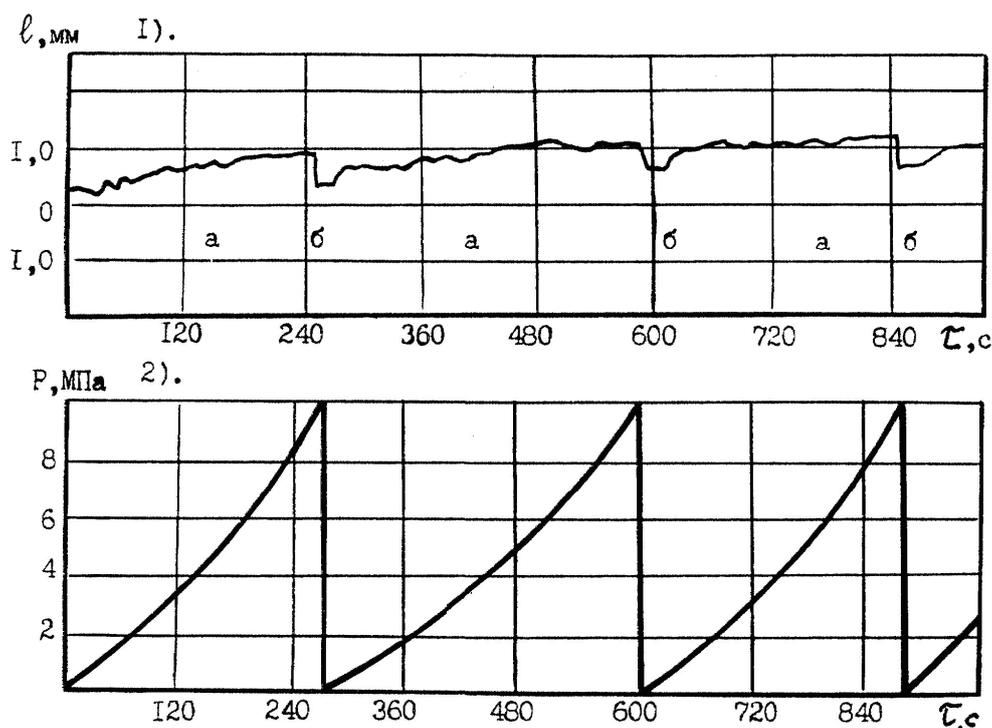


Рис. 2. Схема режима пневмогидравлического способа добычи угля

Механизм этого способа был исследован в лабораторных условиях (рис. 4) и получил развитие как нетрадиционный способ гидродинамического воздействия, а далее, как способ гидродинамического воздействия (ГДВ) [4].



1) – деформации сжатия (а) и растяжения (б); 2) – изменение давления

Рис. 4. Механизм режима гидродинамического воздействия

Способ гидродинамического воздействия прошел промышленную проверку и внедрен на шахтах Центрального района Донбасса при вскрытии крутых выбросоопасных пластов кваршлагами и в очистных забоях, оборудованных щитовыми агрегатами. При проведении горно-экспериментальных работ и промышленных испытаний способа вскрытия выбросоопасных пластов кваршлагами был отработан режим двухступенчатого воздействия (рис. 5).

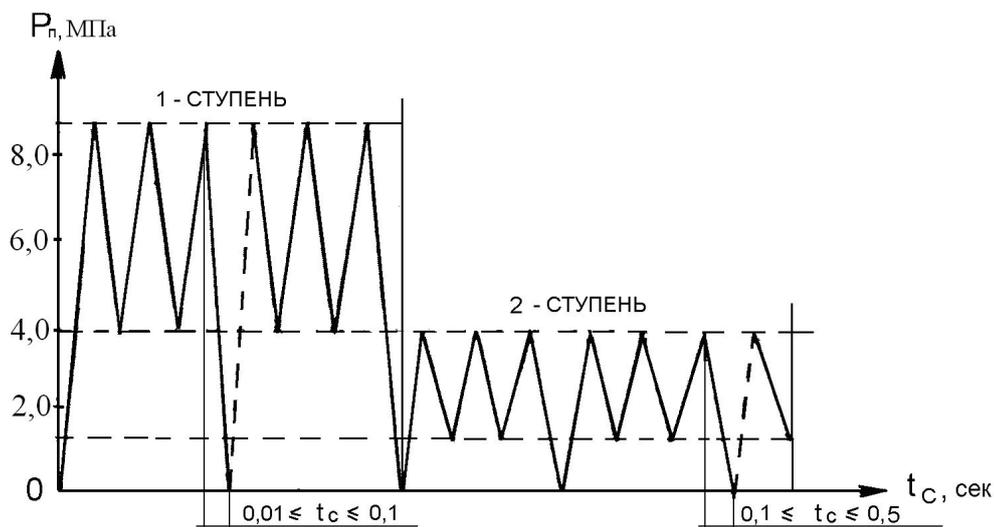


Рис. 5. Схема двухступенчатого режима гидродинамического воздействия

На первой ступени в импульсном режиме циклическими подъемами и сбросами давления в угольном пласте создавалась прискважинная зона с разрушенным углем. На второй ступени разрушенный уголь под действие энергии газа в виде водогазоугольной суспензии кратковременными сбросами извлекался через скважину в выработку. После прекращения выхода угля скважина открывалась для дегазации массива.

Однако, как показали дальнейшие исследования ГДВ в нижней части щитовых лав двухступенчатый режим, эффективно используемый при вскрытии пластов, потребовал существенной корректировки [5]. Основной причиной несоответствия параметров способа технологической схеме щитовой отработки оказался газовый фактор. Средствами вентиляции не удавалось обеспечивать нормальный режим проветривания, что приводило к загазированию участка.

Для этих условий был предложен многоступенчатый режим ГДВ, который состоит из трех основных этапов (рис. 6).

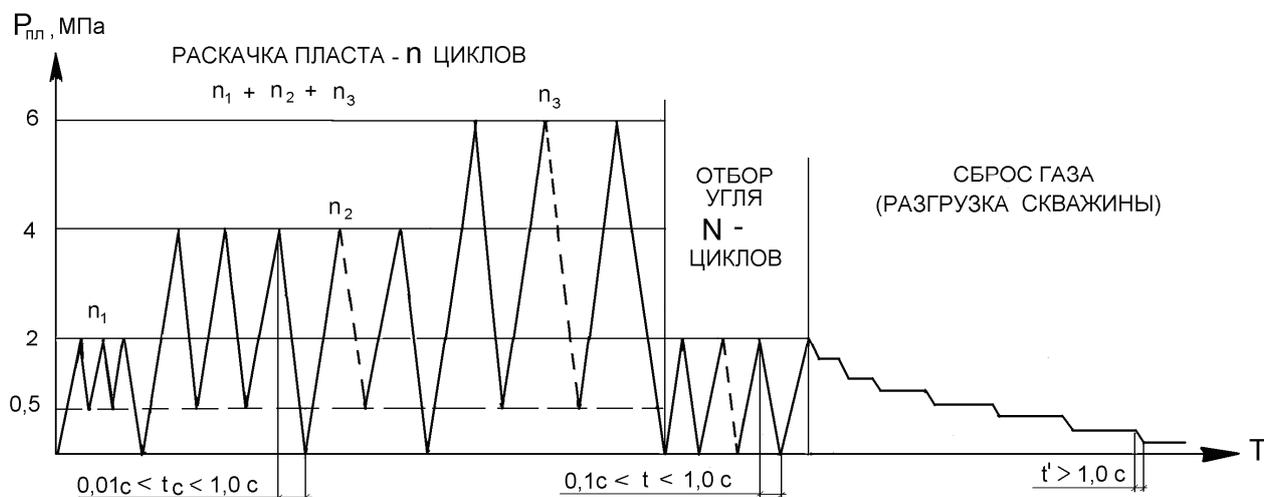


Рис. 6. Схема трехэтапного режима гидродинамического воздействия

На первом этапе осуществляется раскачка пласта и провоцирование газодинамического саморазрушения. Давление в циклахратно давлению газа в пласте. На втором – за счет самоподдерживающегося процесса разрушения извлекается расчетное количество угля, а на третьем, после определенной выдержки во времени, проводится циклический сброс газа и разгрузка скважины. Кратковременные циклические сбросы газа позволяют средствам проветривания обеспечить безопасные нормы содержания метана в атмосфере выработки. Разработанный механизм ГДВ был положен в основу способа дегазации и снижения выбросоопасности в нижней части полос, обрабатываемых щитовыми агрегатами [6].

В рассмотренных способах ГДВ реализуется через скважины, пробуренные из подземных горных выработок. Многоступенчатым режимом воздействия обеспечивается эффективное разрушение угля и формирование прискважинной коллекторной зоны [5].

Процессы, происходящие при гидродинамическом воздействии можно разделить на три составляющие. Первое, это процессы, связанные с инициированием саморазрушения углегазового массива в прискважинной зоне. Второе – извлечение через скважину твердой и газообразной составляющих в виде водогазоугольной пульпы различной консистенции и формирование прискважинной коллекторной зоны. Третье – свободное истечение через скважину газа и увеличение прискважинного коллектора вследствие перераспределения напряжений, развития деформаций сдвига и трещинообразования.

Механизм гидродинамического воздействия и основанные на нём режимы нагнетания жидкости в угольный пласт показали высокую надежность и эффективность в промышленных условиях. За весь период проведения исследований (с 1984 г.) и применения ГДВ на шахтах Центрального района Донбасса не произошло ни одного проявления признаков газодинамических явлений.

Особенности статического и импульсного режимов нагнетания жидкости при гидрорыхлении угольных пластов уже рассматривались ранее, например, в работе [7]. Вместе с тем вопрос достаточности импульсного нагнетания жидкости по-прежнему требует дополнительных исследований. Учитывая, что устройство гидроимпульсного воздействия позволяет измерять давления подпора в фильтрационной части скважины, теоретические исследования можно сопоставить с результатами эксперимента.

Проявление высоконапорных кавитационных автоколебаний на поверхности трещин и дефектов угля в виде высокочастотной гидроимпульсной вибрации приводит к снижению сил внутреннего и внешнего трения и зарождению касательных напряжений, при критических значениях которых возникают деформации сдвига [8]. Известно, что скорость относительной деформации определяется  $\dot{\varepsilon} = d\varepsilon/dt$  (м/с). Наиболее резкий спад прочности углей наблюдается в интервале развития деформаций со скоростью от 1 до  $10 \text{ с}^{-1}$ . При скорости развития деформаций более  $10 \text{ с}^{-1}$  инициируется разрушение угля на сдвиг. В случае приложения импульсных нагрузок

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\Delta P \cdot f}{E}, \quad (1)$$

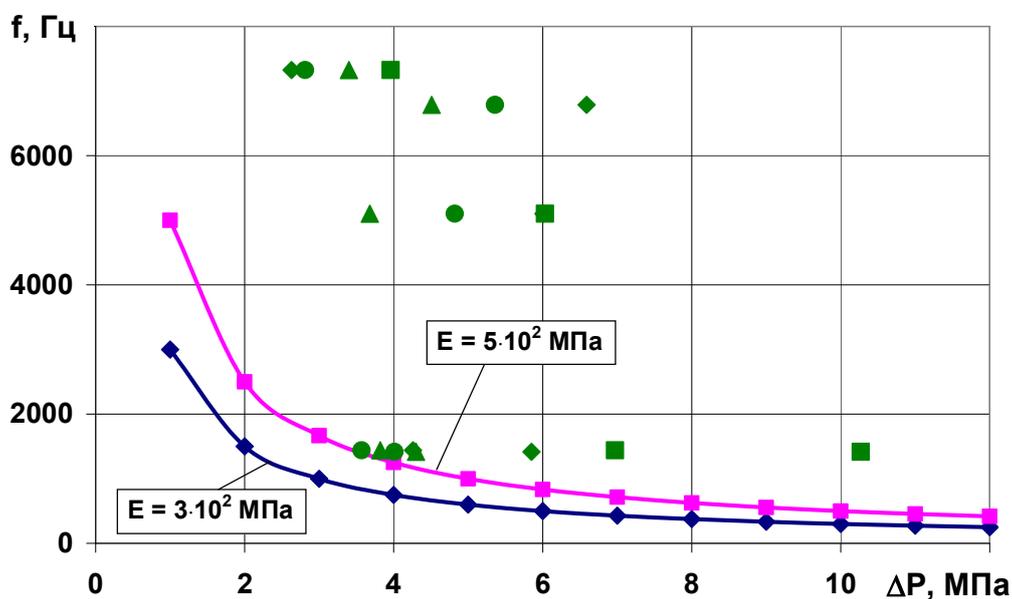
где  $\varepsilon$  – линейная деформация угля;  $\Delta P$  – импульсное давление;  $f$  – частота импульсов;  $E$  – модуль упругости угля.

Из выражения (1) для предельного случая скорости деформации  $\dot{\varepsilon}=10 \text{ с}^{-1}$  определим частоту следования импульсов

$$f = \frac{10E}{\Delta P}. \quad (2)$$

Известно, что модуль упругости угля по напластованию, так как именно в этом направлении динамическое воздействие приводит к трещинообразованию, находится в пределах  $3 \cdot 10^2 \text{ МПа} \leq E \leq 5 \cdot 10^2 \text{ МПа}$ .

Для принятого нами условия по выражению (2) установлены теоретические зависимости частоты следования импульсов давления от их величины (рис. 7). Там же представлены экспериментальные рабочие точки устройства гидроимпульсного воздействия при давлении на входе в устройство 21,9 МПа и изменении давления подпора в диапазоне от 3,1 МПа до 14,4 МПа.



Экспериментальные точки замеров в скважине на удалении от генератора:

□ - 0,5 м; ○ - 1,0 м; ◇ - 1,5 м; Δ - 2,0 м

Рис. 7. Зависимости частоты  $f$  следования импульсов давления от их величины  $\Delta P$

Сопоставление теоретических и экспериментальных данных показывает, что все рабочие точки устройства гидроимпульсного воздействия на угольный пласт находятся в зоне инициирования разрушение угля на сдвиг (выше теоретической кривой с  $\dot{\varepsilon}=10 \text{ с}^{-1}$ ). Следовательно, гидроимпульсное воздействие обеспечивает развитие деформаций сдвига и инициирование трещинообразования. Здесь необходимо отметить, что трещины сдвига образуются в точке концентрации максимальных касательных напряжений под различными углами наклона к напластованию. Чем выше сопротивляемость угля на сдвиг, тем больше угол наклона трещины к плоскости напластования.

Учитывая, что на берегах реальных трещин, всегда имеется множество дефектов поверхности в виде изломов, в точках перегиба высокочастотной гидроимпульсной вибрацией будет обеспечиваться развитие максимальных касательных напряжений и массовое образование трещин под углами от 0 до  $\pm\pi/4$  к плоскости напластования. Причем, с уменьшением коэффициентов трения угол развития максимальных касательных напряжений возрастает и стремится к  $\pm\pi/4$ . Отсюда следует, что силы внутреннего и внешнего трения, изменение которых приводит к развитию максимальных касательных напряжений, являются критериями давления гидроимпульсного воздействия.

Давление подпора жидкости в фильтрационной камере строго соответствует определенному уровню частоты и размаха автоколебаний, генерируемых генератором упругих колебаний (ГК). Поэтому, зная давление подпора  $P_1$  в фильтрационной части скважины, можно изменяя давление на входе генератора  $P_0$  управлять режимом периодически срывной кавитации (рис. 8) и интенсивностью трещинообразования в угольном массиве.

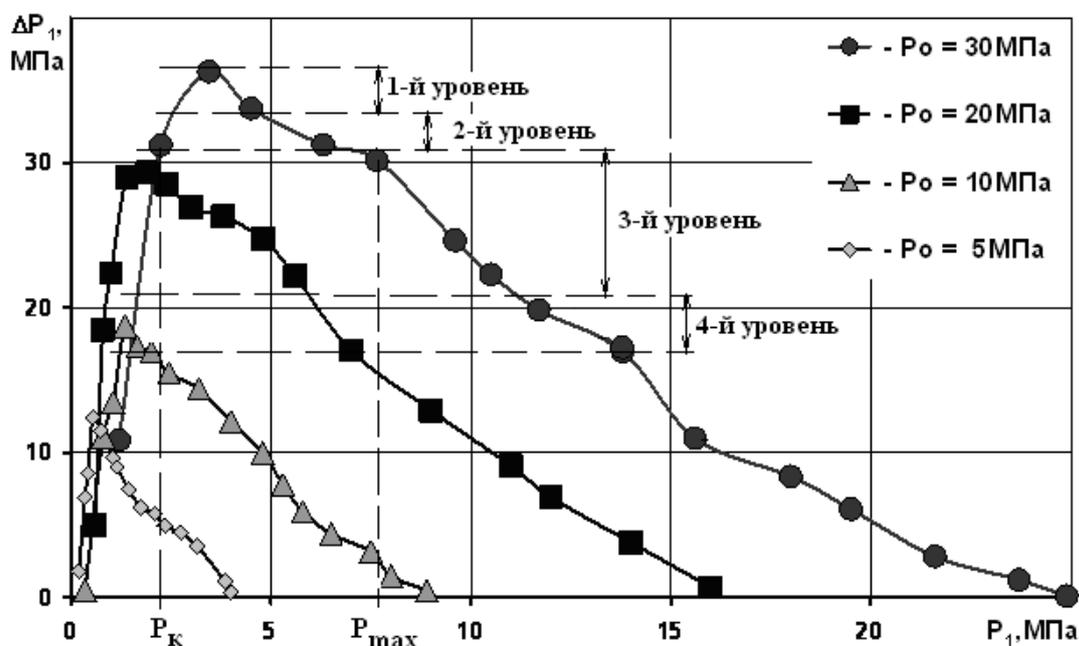


Рис. 8. Характеристики гидродинамических параметров ГК-2,5 при различных значениях давления подпора в фильтрационной камере

Достаточность гидроимпульсного воздействия в установленном режиме будет определяться снижением давления подпора от его максимального значения, что в свою очередь соответствует интенсивному трещинообразованию и росту фильтрации жидкости в угольный пласт. Падение давления до уровня, при котором кавитационное течение жидкости уже не инициирует развитие трещин (на 2-3 уровня), соответствует его контрольному значению  $P_k$ , т.е. критерию достаточности гидроимпульсного воздействия для данных условий.

Применение гидроимпульсного воздействия в забоях подготовительных выработок при их проведении комбайнами показало, что гидрорыхление выбросоопасных пластов происходит без проявления признаков гидроразрыва пласта или гидроотжима угольных пачек.

Таким образом, переход от статического режима нагнетания жидкости к импульсному, позволяет более активно воздействовать на краевую часть напряженно-деформированных угольных пластов и эффективно использовать энергию газа и горного массива в процессе перераспределения напряжений, иницировании деформаций сдвига и разнонаклонного трещинообразования. Эти процессы способствуют интенсификации газовыделения и повышению эффективности гидрорыхления, что в свою очередь повышает уровень безопасности при ведении горных работ на выбросоопасных угольных пластах.

#### Список литературы

1. Ржевский В.В. Управление свойствами и состоянием угольных пластов с целью борьбы с основными опасностями в шахтах / В.В. Ржевский, Б.Ф. Братченко, Н.В. Ножкин; под общей ред. В.В. Ржевского. – М.: Недра, 1984. – 327 с.
2. Васючков Ю.Ф. Физико-химические способы дегазации угольных пластов / Ю.Ф. Васючков. – М.: Недра, 1986. – 155 с.
3. Импульсно-волновое возмущение в скважине при пневмогидравлическом способе добычи угля / А.Н. Зорин, В.Г. Колесников, А.Т. Диденко, Я.Т. Пирич // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1984. – №4. – С. 88 – 92.
4. Софийский К.К. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля / К.К. Софийский, А.П. Калфакчян, Е.А. Воробьев. – М.: Недра. – 1994. – 192 с.
5. Зберовский В.В. Обоснование метода и параметров активной дегазации выбросоопасных пластов на больших глубинах / В.В. Зберовский // Науковий Вісник Національної гірничої Академії.– Днепропетровск, 2000. – №1. – С. 28–32.
6. Правила ведения горных работ на пластах склонных к газодинамическим явлениям. – К.: Минуглепром Украины, 2005. – 224 с.
7. Жулай Ю.А. Решение концептуальных задач гидроимпульсного рыхления выбросоопасных угольных пластов в режиме периодически срывной кавитации / Жулай Ю.А., Зберовский В.В. // Збірник наукових праць НГУ України. – Дніпропетровськ: РВК НГА, 2010 - № 35, Том 2 – С. 246-253.
8. Васильев Л.М. Механизм формирования горизонтальных нормальных напряжений в массивах горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ. - М.: Мир горной книги, 2008г. - №5.- С. 190-195.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бойком В.А.  
Надійшла до редакції 22.03.2012*

УДК 622.831.322:532.528

© В.В. Зберовский, Л.М. Васильев, Д.Л. Васильев, Ю.Е. Поляков

## **ГИДРОИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВЫБРОСООПАСНЫЙ УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ**

Рассмотрены результаты исследований параметров гидроимпульсного воздействия при гидрорыхлении выбросоопасных угольных пластов с целью предотвращения внезапных выбросов угля и газа.

Розглянуто результати досліджень параметрів гідроімпульсної дії при гідророзпушуванні викидонебезпечних вугільних пластів з метою запобігання раптовим викидам вугілля і газу.

The results of parameters researching of the hydro-pulse influence at hydro breaking of outburst coal layers are considered with the purpose of prevention of the instantaneous outburst of coal and gas.