

В.Н. Павлыш, С.С. Гребёнкин, В.Д. Рябичев

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КОМПЛЕКСНОГО ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ

*Рассмотрена задача повышения эффективности предварительной обработки угольного пласта для снижения проявления основных опасностей при подземной угледобыче. Обосновано применение пневмообработки в комплексе с гидравлическим воздействием как средства снижения газонасыщенности разрабатываемого пласта.*

---

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ КОМПЛЕКСНОЇ ГІДРОПНЕВМАТИЧНОЇ ДІЇ НА ВУГІЛЬНИЙ ПЛАСТ

*Розглянуто задачу підвищення ефективності попередньої обробки вугільного пласта для зниження проявів основних небезпек при підземному вуглевидобутку. Обґрунтовано використання пневмообробки в комплексі з гідравлічною дією як засобу зниження газонасиченості розроблюваного пласта.*

---

### THE FORMULATION OF THE PROBLEM OF COMPLEX HYDROPNEUMATIC TREATMENT ON COAL STRATUM

*The task of rise of effectiveness of preliminary action on coal stratum for main dangerous reducing during underground mining is considered. The application of pneumatic treatment in complex with hydraulic action as way for reducing of gas holding is grounded.*

---

#### ВВЕДЕНИЕ

Применение способов и схем предварительного нагнетания жидкостей для борьбы с проявлениями опасных свойств угольных пластов является обязательным на шахтах и регламентировано нормативными документами [1].

Однако эффективность воздействия по уменьшению числа опасных явлений в шахтах и их интенсивности не всегда высока. Одной из причин этого является то, что гидравлическое воздействие производится на сухой пласт, который, как правило, не дегазирован. В этой связи возникает задача в комплексе с гидравлическим воздействи-

ем применить предварительную пневматическую обработку [2, 3].

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Пневматическая обработка является новым средством воздействия, пока не вошедшим в комплекс обязательных мероприятий. И хотя эффективность способа доказана, разработаны методики расчета параметров технологических схем, определено оборудование, установлен порядок применения, тем не менее, пневмообработка предусматривается не во всех случаях.

В работах ряда авторов и организаций рассмотрены три вида воздействия на угольные пласты: гидравлическое воздействие, пневмообработка и дегазация призабойной зоны пласта.

Из них к настоящему времени наиболее широко внедрено гидравлическое воздействие, которое применяется как средство борьбы с основными опасностями при подземной угледобыче. Трудями многих исследователей созданы основы теории и технологии гидровоздействия. В рамках данной работы удалось внести определенный вклад в дальнейшее развитие теоретических основ процесса, что позволило обосновать структуру и параметры системы управления процессом, обеспечивающую стабильность параметров и повышение качества обработки пласта. Тем не менее, в этой области еще остаются проблемы как в теоретическом аспекте, так и в области технологии.

Что касается двух других видов воздействия, то их развитие пока находится в начальной стадии. Однако уже на данном этапе благодаря полученным в работах ряда исследователей результатам есть основания ставить задачу развития теоретических основ и технологии комплексного гидропневматического воздействия на угольные пласты, включающего две последовательные стадии.

1. Пневматическая обработка неувлажненного пласта. На этой стадии обеспечивается вынос свободного и десорбирующегося метана. Кроме того, этот способ имеет перспективу в аспекте изменения физико-химического состояния пласта и, возможно, позволит снизить способность пласта к самовозгоранию.

2. Гидравлическое воздействие. Этот вид воздействия за счет применения разработанных технологий позволяет произвести насыщение угольного пласта жидкостью, что обеспечивает снижение пылеобразования, способствует уменьшению газовыделения и тем самым оказывает положительное влияние на условия труда при подземной угледобыче.

*Цель работы* – обоснование возможности и эффективности применения комплексного гидропневматического воздействия на анизотропные угольные пласты.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Механизм снижения природной газоносности пласта при нагнетании воздуха заключается в вытеснении свободного метана воздушным потоком в отточную скважину, приводящий к смещению сорбционного равновесия в системе «свободный – сорбированный газ» и десорбции метана с последующим его выносом. Одновременно при пневмообработке возможно снижение эндогенной пожароопасности за счет низкотемпературного окисления угля в массиве, приводящего к снижению его химической активности и склонности к самовозгоранию [4].

Теоретические и экспериментальные исследования пневмообработки неувлажненного угольного пласта показали возможность интенсификации выноса метана по сравнению с дегазацией скважинами, позволили раскрыть механизм ряда физико-химических процессов, приводящих к снижению газоносности пласта и химической активности угля при нагнетании воздуха. Однако отсутствие количественных характеристик протекающих при нагнетании процессов и малый объем экспериментальных данных не позволили до настоящего времени разработать эффективный режим и определить рациональные параметры пневматического воздействия. В связи с этим совершенствование пневмообработки как способа борьбы с газом в угольных шахтах предполагает, в первую очередь, детальное исследование процессов в системе «уголь – метан – воздух». Характерные отличия фильтрации воздуха в угле от фильтрации воды обусловлены следующими особенностями воздуха и угольного пласта: сжимаемость воздуха, высокая сорбционная активность угля по отношению к кислороду воздуха, способ-

ность угля к окислению и самонагреванию при соприкосновении с кислородом.

Эти отличия, а также общие закономерности фильтрации газов в трещиновато-пористых средах определяют основные физико-химические процессы, происходящие при нагнетании воздуха в угольный пласт:

- фильтрация метано-воздушной смеси;
- десорбция метана и его диффузия из пористых блоков в фильтрационный объем;
- диффузия и сорбция кислорода из потока воздуха;
- окисление и в определенных условиях нагревание угля.

Для разработки математической модели необходимо определить конкретную технологическую схему пневмообработки, что позволит осуществить постановку краевых условий и принять необходимые допущения. Согласно рекомендациям, основанным на результатах проведенных исследований, пневмообработка угольного пласта производится через серию скважин, пробуренных из подземных выработок, причем четные скважины являются нагнетательными, а нечетные – отточными, предназначенными для выноса из пласта метано-воздушной смеси. Следует отметить, что такая схема пригодна только для пластов с небольшой мощностью, поскольку в противном случае не будет обеспечен эффективный отвод метано-воздушной смеси в отточную скважину. В дальнейшем будем считать, что пневмообработка осуществляется через длинные скважины, пробуренные из подготовительных выработок параллельно линии очистного забоя, причем расстояние между скважинами значительно превышает мощность пласта, что позволяет принять допущение об одномерности фильтрационного потока от нагнетательной скважины к отточной (рис. 1).

Считая, что движение газовой смеси подчиняется закону Дарси и используя уравнения неразрывности для компонентов потока, запишем уравнения фильтрации газов относительно их концентрации [4]

$$n_3 \frac{\partial C}{\partial t} = \operatorname{div} \left[ \frac{kT}{\mu n_3} C \operatorname{grad}(CR) \right] - W_M - W_O;$$

$$n_3 \frac{\partial C_M}{\partial t} = \operatorname{div} \left[ \frac{kT}{\mu n_3} C_M \operatorname{grad}(CR) \right] - W_M;$$

$$n_3 \frac{\partial C_O}{\partial t} = \operatorname{div} \left[ \frac{kT}{\mu n_3} C_O \operatorname{grad}(CR) \right] - W_O,$$

где  $C$  – концентрация газа в фильтрационном объеме, г/см<sup>3</sup>;

$T$  – абсолютная температура смеси газов, К<sup>о</sup>;

$\mu$  – вязкость смеси, Н·с/м<sup>2</sup>;

$R$  – газовая постоянная, Дж/кг·град;

$W$  – скорость притока газа из пористых блоков в фильтрационный объем, г/см<sup>2</sup>·с;

« $M$ », « $O$ » – индексы, относящиеся соответственно к метану и кислороду; переменная без индексов относится к метано-воздушной смеси.

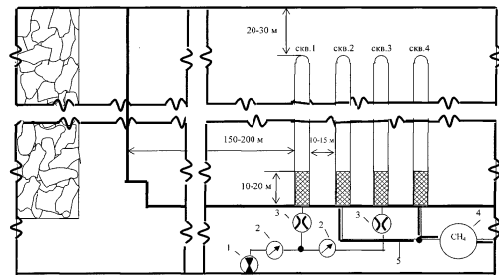


Рис. 1. Основной вариант технологической схемы пневмообработки пласта: 1 – компрессор; 2 – манометр; 3 – счетчик расхода воздуха; 4 – измеритель концентрации метана (газоанализатор); 5 – шахтный газопровод

Рассмотрим основные звенья технологической цепочки при реализации комплексного воздействия.

Пневматическая обработка. Рекомендуется применять на тонких и средней мощности пластах, разрабатываемых по столбовой системе. Основной вариант технологической схемы приведен на рис. 1, где

указывается рекомендуемое оборудование и геометрические параметры.

Диаметр скважины обычно принимает-ся 76 мм. Давление нагнетания  $P_n$  должно превышать давление газа в пласте, но при этом выбирается минимально возможным (обычно до 20 кгс/см<sup>2</sup>).

Наиболее эффективным и экономичным является циклический режим пневмообработки угольного пласта через длинные скважины, параллельные линии очистного забоя.

Темп нагнетания

$$q = 0,33 \cdot 10^{14} \text{ ml}_\phi \text{K} \frac{P_n^2}{L_{м.с.}}, \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Продолжительность циклов нагнетания определяется снижением концентрации метана в отточной скважине до 50 – 60%, первоначальная продолжительность определяется по формуле

$$t_n = 0,2 \cdot 10^{-15} \frac{L_{м.с.}^2 n_2 P_2}{K P_n^2}, \text{ сут.}$$

Общая продолжительность воздействия определяется интенсивностью выноса метана при нагнетании воздуха и в типичных условиях составляет 150 суток. Съём газа при пневмообработке за этот период на 35 – 40% выше, чем при дегазации. По такой технологии проводится пневмообработка неувлажненного пласта.

Наряду с этим пневмообработка угольного пласта позволяет снизить его химическую активность практически до безопасных пределов. Для пластов, имеющих показатель химической активности угля 0,06 мл/г·ч (максимальное значение для каменных углей), время пневмообработки, требуемое для снижения этого показателя до 0,015 мл/г·ч (значение, соответствующее категории пластов, малоопасных по возгоранию), составляет 130 суток. При этом в большинстве случаев пневмообработка не приводит к существенному нагреву угольного пласта: в любых условиях

повышение температуры не является опасным с точки зрения самовозгорания.

Промежуток времени между циклами нагнетания соответствует восстановлению концентрации метана в отточной скважине до максимального значения.

Общее время пневмообработки по фактору снижения газоносности определяется моментом, когда нагнетание воздуха перестает существенно влиять на вынос метана (когда продолжительность циклов нагнетания по вышеприведенному условию становится практически равной 0). Снижение газоносности массива за все время воздействия составляет

$$\delta X = \frac{a_{м0} - a_{м.исх}}{1,1 a_{м0} - a_{м.исх}} \cdot 100 \%$$

Время, требуемое для уменьшения показателя химической активности угля от исходного до значения  $a'_0$

$$T_n = 2,5 \frac{a_{0.исх} - a'_0}{a_{0.исх} a'_0}, \text{ сут.}$$

*Гидравлическая обработка.* Рекомендуется как второй этап комплексного воздействия, следующий за пневмообработкой неувлажненного пласта.

Начало воздействия непосредственно следует за окончанием пневмовоздействия, при этом важным является тот факт, что скважины, через которые производилась пневмообработка, могут быть использованы как элементы технологии гидравлического воздействия.

Методика, технология и параметры этого этапа подробно описаны в работах [2, 3].

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Снижение газонасыщенности угольного пласта определяется в основном уменьшением концентрации сорбированного метана. Последнее зависит от двух факторов:

концентрации свободного газа и коэффициента скорости сорбции метана в угле. Исследование изменения во времени концентрации свободного метана в пласте при дегазации и пневмообработке показало, что при нагнетании воздуха вынос газа происходит значительно быстрее, причем тем быстрее, чем выше давление нагнетания. Как показывают результаты моделирования, наибольшая эффективность по снижению газоносности достигается при циклической пневмообработке с минимально возможным давлением нагнетания.

## ВЫВОДЫ

Очевидно, что правильным выбором давления нагнетания и продолжительности циклов можно добиться эффективного снижения газонасыщенности пласта. С течением времени продолжительность циклов нагнетания уменьшается, поскольку уменьшается концентрация свободного метана в пласте. Пневмообработку следует заканчивать, когда при нагнетании воздуха вынос метана практически не увеличивается. Как показывают результаты моделирования, этот момент соответствует уменьшению равновесной концентрации, в среднем, на порядок.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДНАОП 1.1.30-1.XX-04. Безопасное ведение горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям (1-я редакция). – К.: Минтопэнерго Украины, 2004. – 268 с.

2. Павлыш В.Н. Физико-технические основы процессов гидравлического воздействия на угольные пласты: монография / В.Н. Павлыш, С.С. Гребенкин. – Донецк: «ВИК», 2006. – 269 с.

3. Павлыш В.Н. Основы теории и параметры технологии процессов гидроневматического воздействия на угольные пласты: монография / В.Н. Павлыш, Ю.М. Штерн. – Донецк: «ВИК», 2007. – 400 с.

4. Москаленко Э.М. Физико-химическое воздействие на угольный пласт как способ управления его состоянием / Э.М. Москаленко // Научные труды МГИ. – 1979. – № 122. – С. 35 – 42.

## ОБ АВТОРАХ

Павлыш Владимир Николаевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой вычислительной математики и программирования Донецкого национального технического университета.

Гребёнкин Сергей Семенович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой горного дела Антрацитовского горнотранспортного факультета Восточноукраинского национального университета им. В. Даля.

Рябичев Виктор Дронович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой инженерных дисциплин Антрацитовского горнотранспортного факультета Восточноукраинского национального университета им. В. Даля.