

УДК 622.831.322

Оптимизация параметров и технологии гидрорыхления угольных пластов

Изложены результаты исследований, на основании которых разработана методика определения оптимальных параметров гидрорыхления угольных пластов для предотвращения внезапных выбросов угля и газа в конкретных условиях ведения горных работ.

Ключевые слова: выбросоопасный угольный пласт, гидрорыхление, параметры способа, предотвращение выбросов.

Контактная информация: sergmineev@gmail.com

В 30-х годах прошлого столетия на шахтах Франции, а также и Центрального района Донбасса было замечено, что в «мокрых забоях», на обводненных пластах, внезапные выбросы угля и газа не происходят. Это стало предпосылкой для предотвращения выбросов путем искусственного увлажнения угольных пластов с помощью нагнетания в них воды. Первые опыты в данном направлении с обнадеживающими результатами провели в МакНИИ в 1951 г., на основании которых сделали вывод: отсутствие выбросов после увлажнения угля обусловлено вытеснением из пласта большого количества газа нагнетаемой водой [1].

Позднее, в 60-х–70-х годах, МакНИИ, ВостНИИ, ИГД им. А. А. Сковчинского, ВНИМИ, ИГТМ им. Н. С. Полякова НАН Украины и другие институты выполнили исследования для изучения влияния увлажнения угольных пластов на их прочностные и деформационные свойства, напряженно-деформированное и газодинамическое состояние [2–4]. Испытывали два способа нагнетания воды в пласт из горных выработок:

- через длинные скважины, пробуренные по падению или восстановлению пласта вне зон влияния

очистных работ из опережающих подготовительных выработок (региональная гидрообработка);

- через короткие скважины (шпуры), пробуренные по пласту непосредственно из забоев выработок (локальная гидрообработка).

Результаты выполненных исследований позволяют сформулировать физический смысл защитного действия нагнетаемой в пласт воды на предотвращение внезапных выбросов угля и газа. Нагнетаемая в пласт под некоторым давлением вода проникает в доступные для нее поры и трещины, которые под действием сил самодвижения жидкости расширяются, «прорастают» и «ветвятся», образуя водонасыщенный коллектор, вследствие чего снижается прочность угля, модуль его упругости и коэффициент Пуассона, т. е. повышается пластичность, а следовательно, устраняется возможность хрупкого разрушения, инициирующего возникновения внезапных выбросов угля и газа. Если нагнетание производится через короткие скважины (шпуры) со стороны забоя выработки, то из-за указанных изменений деформационно-прочностных характеристик угля происходит плавный отжим его в выработку, увеличивается зона разгрузки призабой-



Т. Я. МХАТВАРИ,
канд. техн. наук
(МакНИИ)



А. А. ПОТАПЕНКО,
инж.
(ГП «ДУЭК»)



С. П. МИНЕЕВ,
доктор техн. наук
(ИГТМ НАН Украины)

ной части пласта, максимум опорного давления перемещается вглубь массива, снижается концентрация напряжений и устраняется опасность возникновения выбросов при выемке угля с требуемой длины скважины, находящейся в увлажненной зоне.

Оба способа нагнетания воды в пласт, который испытывали на выбросоопасных пластах, были рекомендованы к внедрению. Но, как показала практика, нагнетание через длинные скважины в целях предотвращения внезапных выбросов угля и газа не получило широкого применения на шахтах Донбасса из-за значительной трудоемкости и небезопасности бурения таких скважин, а нередко и недостаточной эффективности вследствие малого радиуса увлажнения пласта вокруг скважин. Поэтому, несмотря на достоинства способа и то, что его включали во все переиздаваемые нормативные документы, вплоть до последнего СОУ [5], фактически к 1995 г. перестали использовать.

Способ нагнетания воды в пласт через короткие скважины (шпуры) из забоев выработок оказался более технологичным и приемлемым почти во всех горно-геологических и горнотехнических условиях ведения горных работ, что и предопределило перспективность его совершенствования.

На основании результатов исследований сущности процессов, происходящих при нагнетании воды в призабойную часть пласта, было установлено, что положительный результат (устранение выбросоопасности) достигается, если гидровоздействие вызывает разупрочнение угля, а горное давление – доразрушение и смещение в выработку, т. е. происходит как бы гидрорыхление пласта впереди забоя выработки. Поэтому и способ предотвращения внезапных выбросов получил аналогичное название – способ гидрорыхления, что соответствует его физической сущности.

Эффективность любого способа предотвращения выбросов угля и газа зависит от степени соответствия его параметров свойствам и состоянию пласта. Поскольку при нагнетании вода поступает в пласт из загерметизированной в скважине фильтрующей части, возможность достижения эффекта гидрорыхления и его продолжительность зависят от напряженно-деформированного состояния пласта в месте расположения этой части скважины. Если фильтрующая часть скважины находится в зоне опорного давления, характеризующейся низкой водопроницаемостью и повышенными напряжениями, то поступление воды в пласт и его гидрорыхление проблематичны. Если же фильтрующая часть скважины располагается в разгруженной призабойной зоне с повышенной трещиноватостью пласта, то нагнетание сводится к фильтрации воды по трещинам и истечению ее в выработку, при этом она не будет влиять на разрыхление угля и изменение напряжений впереди забоя.

Следовательно, своеобразие процесса гидрорыхления состоит в том, что вблизи максимума опорного давления эффективное гидрорыхление может происходить лишь при такой глубине герметизации нагнетательных скважин, при которой их фильтрующая часть располагается за пределами зоны разгрузки, но не в зоне опорного давления, а напряжения в пределах длины этой части скважин не превышают максимально возможное давление нагнетания, создаваемое насосной установкой.

Таким образом, глубина герметизации скважин и давление нагнетания – основные и сопряженные параметры гидрорыхления, предопределяющие динамику и эффективность гидрообработки пласта для предотвращения выбросов угля и газа. Диапазон числовых значений этих параметров указан в Инструкции [6], но выбор их для конкретных условий ведения горных работ не регламентировался. Поэтому на практике глубину герметизации скважин, по которой определяют другие параметры гидрорыхления (радиус эффективного нагнетания, расстояние между скважинами, допустимая глубина выемки угля и др.), принимают из технико-экономических соображений, отдавая предпочтение такой глубине, при которой требуется минимальное количество скважин в забое и допускается максимально возможное подвигание его за цикл гидрорыхления.

Давление нагнетания воды в каждую скважину задают его плавным повышением до значения, при котором по прямым или косвенным признакам вода поступает в пласт. Субъективно подбираемые таким образом параметры нагнетания без учета соответствия их напряженному состоянию пласта не всегда оптимальны с точки зрения эффективности их для предотвращения внезапных выбросов и сокращения продолжительности процесса гидрообработки, часто превышающей разумные пределы выделяемого для этого рабочего времени. В связи с этим разработана методика выбора оптимальных параметров способа и технологии нагнетания воды в пласт, обеспечивающих повышение эффективности и ускорение процесса гидрорыхления для предотвращения внезапных выбросов угля и газа в глубоких шахтах.

Поскольку гидрорыхление возможно, если напряжения в пределах длины фильтрующей части скважин не превышают предельно допустимое по технической характеристике насосной установки давление нагнетания, необходимо прежде всего уточнить диапазон давлений нагнетания P , определяемых согласно Инструкции [6], с учетом глубины разработки пласта H и удельного веса вышележащей породной толщи γ , численно равных напряжениям в массиве в пределах $(0,75...2)\gamma H$.

На рис. 1 показаны изменения давления $0,75 \gamma H$, $1 \gamma H$ и $2 \gamma H$ в зависимости от глубины разработки пласта, а также максимальный (предельный) уровень давления (32 МПа), создаваемого насосной установкой типа УНГ, применяемой для гидрорыхления угольных пластов. Минимально необходимое давление нагнетания, равное $0,75 \gamma H$, на достигнутых глубинах разработки 1200 м остается меньше максимально возможного по технической характеристике этой установки и обеспечивается на глубинах до 1700 м. Возможность создания давления, равного γH , ограничена глубиной разработки около 1300 м, а равного $2\gamma H$, исчерпана уже на глубинах 600 м.

Следовательно, диапазон давлений нагнетания, при которых происходит гидрорыхление пласта, составляет $(0,75...1) \gamma H$. Для осуществления этого процесса глубину герметизации нагнетательных скважин выбирают из условия, чтобы в пределах длины фильтрующей части их напряжения σ соответствовали указанному диапазону значений давления нагнетания

$$0,75 \gamma H \leq \sigma \leq \gamma H \quad (1)$$

и вода преждевременно не прорывалась в выработку. Так как напряженно-деформированное состояние призабойной части пласта по фактору выбросоопасности характеризуется размерами зоны разгрузки, для увеличения которой и предназначено гидрорыхление за ее пределами, то из закономерности нарастания напряжений от забоя выработки в глубину массива и соотношения размеров разгруженной зоны с расстояниями от забоя, при которой выполняется условие (1), можно установить зависимость оптимальной глубины герметизации нагнетательных скважин от размеров зоны разгрузки.

Методология установления такой зависимости – в экспериментальном определении размеров зоны разгрузки призабойной части пласта по динамике начальной скорости газовыделения при поинтервальном бурении нагнетательных скважин, расстояния до максимума опорного давления, например по максимальному выходу штыба на тех же интервалах бурения, и аналитическом описании распределения напряжений впереди забоя выработки с учетом установленного местоположения зоны опорного давления, физико-механических свойств угольного пласта и глубины его разработки. По соотношению размеров зоны разгрузки с расстоянием до участка скважины, в пределах которого напряжения составляют не менее $0,75 \gamma H$ и не более $1 \gamma H$, выбирали оптимальную для конкретных условий ведения горных работ глубину герметизации, а зависимость ее от размеров зоны разгрузки устанавливали на основании корреляционного анализа совокупности данных, полученных в различных условиях.

В таблице указаны объекты проведения экспериментальных работ и полученные результаты. На ос-

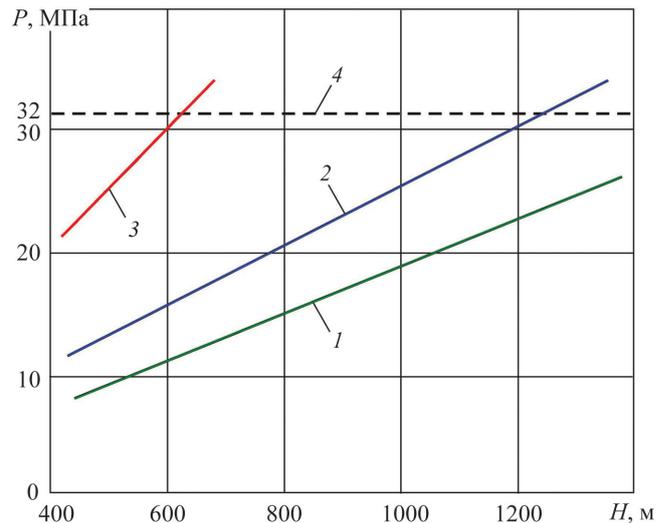


Рис. 1. Зависимость давления воды P , необходимого для гидрорыхления пласта, от глубины разработки H : 1 – $P = 0,75\gamma H$; 2 – $P = \gamma H$; 3 – $P = 2 \gamma H$; 4 – давление, предельно допустимое для насосной установки.

новании корреляционного анализа взаимосвязи приведенных в таблице размеры зоны разгрузки l_p и глубин герметизации скважин l_r установлена зависимость между этими параметрами

$$l_r = 1,5 l_p^{1,24} e^{-0,08 l_p} \quad (2)$$

при корреляционном отношении $\eta = 0,99 \pm 0,01$ и надежности связи $NA = 94,6 > 3$.

Из анализа полученных опытных данных следует, что с достаточной точностью глубину герметизации нагнетательных скважин можно определить по упрощенной и достаточно корректной для инженерных расчетов формуле

$$l_r = 1,5 l_p \quad (3)$$

При этом, как было установлено, отклонение значений l_r от вычисленных по уравнению (2) не превышает 10 %, что вполне допустимо.

Выводы. Таким образом, методика выбора оптимальных параметров гидрорыхления прежде всего предусматривает определение в забое проводимой выработки размеров разгруженной зоны, в зависимости от которой устанавливают необходимую глубину герметизации скважин, а по ней вычисляют и остальные параметры согласно Правилам [5]. При этом длину фильтрующей части скважин l_ϕ принимают равной 2 м, если $l_r > 3$ м. Если $l_r = 3$ м, то длину фильтрующей части следует уменьшить до 1 м, так как ее остальная часть нередко оказывается в зоне повышенных напряжений, в которую вода при допустимом давлении нагнетания не поступает. Если же $l_r < 3$ м, что может быть при $l_p < 2$ м, то применение гидрорыхления не рекомендуется, поскольку в таких случаях фильтрую-

ВЗРЫВООПАСНОСТЬ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Индекс пласта	Выработка	Глубина разработки H , м	Зона разгрузки l_p , м	Глубина герметизации l_r , м	Длина скважин $l_{скв}$, м	l_r/l_p	Давление нагнетания P_{max} , МПа
<i>Шахта им. А. А. Скочинского</i>							
h_6^1	1-я западная лава УПЦП	1195 – 1245	4,0	6	8	1,5	21 – 23
	1-я восточная лава УПЦП	1200 – 1248	4,5	6	8	1,3	19 – 25
	2-я восточная лава УПЦП	1248 – 1283	4,5	6	8	1,3	20 – 24
	8-я восточная лава БПЦП	1175 – 1200	3,5	6	8	1,7	18 – 27
	6-я восточная лава ВП	1216 – 1237	4,0	6	8	1,5	19 – 26
	6-я западная лава ВП	1211 – 1233	4,0	6	8	1,5	20 – 27
<i>Шахта им. В. М. Бажанова</i>							
m_3	Нижняя ниша 7-й восточной лавы уклонного поля	1150	2,0	3	4	1,5	21 – 26
	Нижняя ниша 2-й центральной лавы уклонного поля	1150	2,0	3	4	1,5	19 – 28
	Конвейерный ходок западного крыла	1112	2,5	3	4	1,2	22 – 25
<i>Шахта «Глубокая» шахтоуправления «Донбасс»</i>							
h_{10}	8-я восточная лава	1188	3,0	5	7	1,7	23 – 25
	8-я западная лава	1188	3,5	5	7	1,4	24 – 28
<i>Шахта «Ясиновская-Глубокая»</i>							
m_3	5-й западный транспортный штрек	695	2,5	4	6	1,6	17 – 22

Примечание. УПЦП – уклонное поле центральной панели; БПЦП – лава бремсберового поля центральной панели; ВП – восточная панель.

щая часть скважин длиной даже 1 м оказывается в зоне высоких напряжений и нагнетание происходит в режиме гидростатического или гидроразрыва пласта, опасных по выбросам угля и газа.

После определения числовых значений указанных параметров следует произвести опытное нагнетание в целях проверки реальной возможности достижения эффекта гидрорыхления, а также определения затрат воды и времени на его выполнение. Для этого скважину добуривают до полной длины, равной сумме $l_r + l_p$, герметизируют с помощью гидрозатвора, подключенного к насосу, и нагнетают воду, создавая начальное давление не менее $0,75 \gamma H$. При этом темп нагнетания должен быть не менее 3 л/мин. Каждые 5 мин нагнетания регистрируют показания манометра и водомера, установленных на насосе.

Когда давление нагнетания самопроизвольно снизится не менее чем на 30 % максимального, зарегистрированного в процессе нагнетания, что свидетельствует о завершенности процесса гидрорыхления, нагнетание прекращают и по данным регистрации определяют его продолжительность и количество воды, поданной в скважину за это время.

Результаты вычисления параметров гидрорыхления заносят в акт по форме (приведена в СОУ [5]), в которые включены описанные положения и требования методики определения оптимальных параметров и технологии гидрорыхления. Эффективность их подтверждается отсутствием выбросов угля и газа в забоях, где применяли гидрорыхление с параметрами в соответствии с Правилами [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кричевский Р. М. Работы МакНИИ по внезапным выбросам угля и газа, выполненные за 1949 – 1951 гг., и результаты их внедрения / Р. М. Кричевский // Материалы совещаний по внезапным выбросам угля и газа. – М.–Л.: Углетехиздат, 1952. – С. 53–89.
2. Опыт борьбы с внезапными выбросами угля, породы и газа // Тезисы докладов на Всесоюз. школе по обмену опытом борьбы с внезапными выбросами угля, породы и газа на угольных шахтах. – М.: ЦНИЭИуголь, 1967. – 113 с.
3. Минеев С. П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко. – Донецк: Східний видавничий дім, 2010. – 603 с.
4. Браилко И. П. К вопросу об эффективности борьбы с внезапными выбросами угля и газа в подготовительных выработках путем нагнетания воды в пласт через скважины, пробуренные со стороны забоя / И. П. Браилко, Г. Р. Мороз, А. И. Резниченко // Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах: сб. науч. тр. МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1971. – Вып. 7. – С. 123–127.
5. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: СОУ Ю.0.00174088.011-2005. – К.: Минуглепром Украины, 2005. – 222 с.
6. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа: НАОП І.І.30-5.06-89. – М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1989. – 191 с.