

3. Достоверность прогнозных оценок величины радиуса излучателя как при взрывах, так и при горных ударах, зависит от точности исходных параметров свойств породы и характеристик ВВ.

4. Для составления алгоритма движения сейсмических волн необходимо получить начальные значения массовой скорости (U), периода колебаний (T), декремента затухания сейсмических волн, характеризующего интенсивность рассеивания энергии с расстоянием, скоростей продольных и поперечных волн, что являются самостоятельными задачами и в данной работе не рассматриваются.

Список литературы / References

1. Chudek M. Geomechanika z podstawami ochrony srodowiska gorniczego i powierzchni terenu / Chudek M. – Gliwice : Wydawnictwo politechniki Slaskiej, 2002. – 637 p.

Розглянуто методики визначення розмірів зони безповоротних деформацій (порожнини, зони дроблення і зони радіальних тріщин) при вибухах зарядів вибухових речовин (ВР) і методики визначення радіуса випромінювача при гірському ударі. Розміри

цих зон є одними з найбільш важливих початкових параметрів при дослідженні сейсмічних хвиль будь-якого походження. Наведено розрахункові дані і порівняльна характеристика розглянутих методик.

Ключові слова: зона безповоротних деформацій, пружна зона, радіус випромінювача, вогнище вибуху, порожнина, гірський удар

The article considers methodologies of determination of size of zone of irreversible deformations (cavities, zones of crushing and zone of radial cracks) caused by the explosions of charges of explosive materials and methodologies of determination of radius of emitter of a bounce. Size of such zones is one of the most essential initial parameters for research of seismic waves of any origin. Calculation data and comparative description of the considered methodologies are presented.

Keywords: zone of irreversible deformations, resilient zone, radius of emitter, explosion focus, cavity, rock burst

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.В. Соляникінім. Дата надходження рукопису 20.04.11.

УДК 622.411.322.004.14:542.943

В.И. Гаврилов, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: gawrilov.slawick@yandex.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ УГОЛЬНОГО МАССИВА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

V.I. Gavrilov, Cand. Sci. (Tech.),
Senior Research Fellow

N.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of National Academy of Science of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: gawrilov.slawick@yandex.ru

TECHNOLOGICAL DIAGRAMS OF EXTRACTION WORKS WITH APPLICATION OF COMPLEX PREVENTIVE PROCESSING OF COAL BED BY HYDRODYNAMIC METHOD

Приведены технологические схемы безопасного ведения очистных работ на напряженных газонасыщенных крутых пластах, обрабатываемых потолкоуступными лавами. Доказано, что применение гидродинамического способа воздействия на угольные пласты позволяет комплексно влиять на призабойное состояние угольного пласта, что приводит к его дегазации и снижению газодинамической активности. Дана оценка эффективности гидродинамического воздействия по коэффициенту дегазации и количеству выхода угля из скважин.

Ключевые слова: призабойная зона, технологические параметры, метод контроля, технологические схемы

Изучение процессов выброса угля и газа и причин их возникновения, вопросы прогноза их потенциальной опасности, мер предупреждения или ослабления действия, обеспечения безопасности труда горнорабочих и сохранности выработок являются по настоящее время актуальными, так как, несмотря на осуществление различных, порой весьма сложных и

дорогостоящих мероприятий, выбросы происходят и имеют огромную силу.

Чем глубже ведутся горные работы, тем больше опасность выбросов и тем большее количество угольных пластов подвергается воздействию внешних нагрузок и внутреннего давления метана, которым они не в состоянии сопротивляться, что и показано в работах Г.Д. Лидина.

Применяемые в настоящее время нормативные способы дегазации, основанные на бурении из гор-

ных выработок дегазационных скважин, в определенных горно-геологических условиях, зачастую, не обеспечивают необходимую по технико-экономическим условиям скорость подвигания очистных забоев, т.к. с увеличением глубины существенно снижается проницаемость угольных пластов.

Для предотвращения выбросов необходимо в выбросоопасных зонах изменить соотношение между величиной энергии, высвобождающейся в призабойной части угольных пластов и пород при их отторжении, и величиной работы их разрушения, а также величиной энергии газа, содержащегося в угольных пластах и породах, и работой по перемещению разрушенных выбросом угля и породы таким образом, чтобы трансформирующаяся в работу разрушения энергия упругого деформирования угольного пласта и пород, и в работу перемещения разрушенных выбросом угля и породы энергия газа, были меньше, соответственно, величин работы разрушения и работы перемещения разрушенных выбросом угля и породы [1].

Обеспечить такое соотношение можно:

- за счет снижения величины высвобождающейся энергии упругого деформирования в призабойной части массива горных пород при их отторжении и энергии газа в угольных пластах и породах путем разгрузки (снижения величины горного давления) и дегазации;

- повышением пластических свойств угля и выбросоопасных пород, что способствует снижению склонности угольных пластов и пород к накоплению потенциальной энергии упругого деформирования и склонности к хрупкому разрушению;

- снижением скорости изменения напряженного состояния (перехода из объемного в одно- или двухосное напряженное состояние) призабойной части угольных пластов и пород при их отторжении, что способствует рассеиванию в массиве горных пород потенциальной энергии упругого деформирования.

В ИГТМ НАН Украины разработаны нормативные способы гидродинамического воздействия на пласты, склонные к газодинамическим явлениям, перед их вскрытием и гидродинамический способ дегазации и снижения газодинамической активности нижней части щитовой лавы [2]. Физическая сущность процесса гидродинамического воздействия заключается в приложении к свободным поверхностям угольного пласта знакопеременных нагрузок, которые, суммируясь в некоторый момент времени с силами горного давления, направленными на преодоление предела прочности угля на разрыв, совершают работу по разрушению свободных поверхностей и образованию более широкой системы трещин в пласте, способствуя тем самым увеличению фильтрационного объема, интенсификации процесса газовыделения и перераспределения нагрузок, что приводит к снижению газодинамической активности пласта.

На основе этих способов разработаны технологические схемы безопасного ведения очистных работ на напряженных газонасыщенных угольных пластах, обрабатываемых потолкоуступными лавами.

Цель данной статьи состоит в разработке технологических схем безопасного ведения очистных работ в потолкоуступных лавах на базе применения гидродинамического способа.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- обосновать параметры заложения технологических скважин по простиранию угольного массива;
- определить параметры дегазации и снижения газодинамической активности угольного массива;
- разработать технологические схемы безопасного ведения очистных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям.

Основными операциями, выполняемыми при реализации приведенных ниже технологических схем, являются периодическое бурение через породную пробку на пласт восстающих (ниспадающих) технологических скважин, приготовление герметизирующего раствора, герметизация скважин и производство гидродинамической обработки угольного массива.

Для этого из промежуточного квершлага или откаточного штрека через породную пробку на пласт бурятся технологические скважины согласно схеме, представленной на рис. 1.

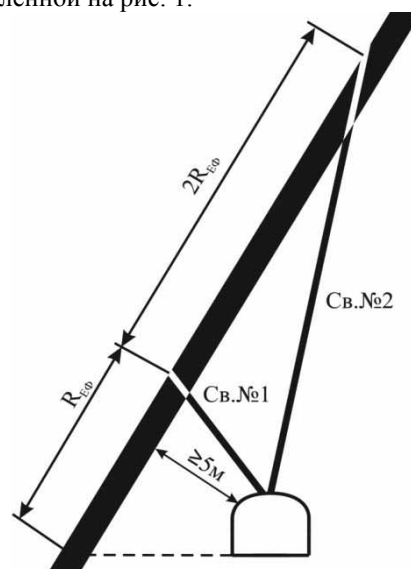


Рис. 1. Расположение скважин для гидродинамического воздействия

Породная часть скважин длиной 8 м разбуривается до диаметра 150 мм под обсадные трубы и герметизируется цементно-песчаным раствором. После затвердевания раствора на выступающий из скважины конец обсадной трубы монтируется устройство для гидродинамического воздействия (УГВ).

При производстве гидродинамического воздействия на пласт в технологическую скважину насосной установкой подают воду из противопожарного става с темпом нагнетания 30÷40 л/мин до достижения давления в скважине 2÷3 МПа. Затем осуществляют резкий сброс жидкости из скважины открыванием задвижки УГВ. Время открывания клина задвижки высокого давления на превышает 1 с, а выпуск пульпы производили в течение 5÷10 с.

Для определения расчетных показателей дегазации измеряется фоновая концентрация метана C_ϕ и концентрация метана в исходящей струе C_u датчиками ПП системы АГК.

Эффективность гидродинамического воздействия определяется по расчетному коэффициенту дегазации и по количеству выхода угля из скважин согласно [2].

Коэффициент дегазации определялся по формуле

$$k_d = \frac{V_\phi}{V_p},$$

где V_ϕ – объем фактически вышедшего газа из обработанной зоны угольного пласта, м³; V_p – расчетный объем газа в обрабатываемой зоне угольного пласта, м³.

Объем фактически вышедшего газа из обработанной зоны определялся по формуле

$$V_\phi = 0,01 \cdot Q_u (C_u - C_\phi) N,$$

где Q_u – количество воздуха на исходящей струе участка, м³/сут.; C_u – среднесуточная концентрация метана в исходящей струе участка при обработке обработанной зоны, %; C_ϕ – фоновая концентрация метана в исходящей струе участка до подхода забоя лавы к обработанной зоне пласта и после выхода из неё, %; N – количество расчетных суток, сут.

Расчетный объем газа в обрабатываемой зоне угольного пласта

$$V_p = S_3 \cdot m \cdot \gamma \cdot \chi,$$

где S_3 – площадь обработанной зоны, м²; m – полезная мощность угольного пласта, м; γ – объемная масса угля, т./м³; χ – природная газоносность угольного пласта, м³/т. с.б.м.

1. Площадь обработанной зоны

$$S_3 = \pi R_0^2 + 2R_0 l_{m.c},$$

где R_0 – радиус зоны обработки, м; $l_{m.c}$ – расстояние между точками пересечения скважинами угольного пласта, м.

Необходимое количество извлеченного из скважин угля при гидродинамическом воздействии на пласт определяется из выражения (т.)

$$M_n \geq k_c M_s,$$

где $k_c = 2 \cdot 10^{-3}$ – статистический геотехнологический коэффициент влияния гидродинамического воздействия на разгрузку угольного пласта; M_s – количество угля в обрабатываемой зоне, т.

$$M_s = \pi R_0^2 m \gamma.$$

Гидродинамическое воздействие на угольный пласт через скважины осуществляется в среднем за 4÷12 часов. Выход угля из скважины начинается с 7÷12 цикла и продолжается до конца гидродинамического

воздействия. Количество циклов воздействия в различных горно-геологических условиях колеблется от 18 до 23. За время воздействий из скважин извлекается до 10 т. угля.

Результаты и расчетные показатели эффективности гидродинамической обработки нижних частей потолкоуступной лавы и полосы, обрабатываемой щитовым агрегатом, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расчетные показатели эффективности гидродинамического способа воздействия

Показатели воздействия	Потолкоуступная лава		Щитовая лава	
	ПК20+1 Сква. №1 Сква. №2	ПК33+5 Сква. №3 Сква. №4	Полоса №2	Полоса №3
Объем выхода газа из обработанной зоны, V_ϕ , м ³	56306	28356	31587	34928
Радиус обработки R_ϕ , м	24	20	21	23
Площадь обработки S_{oz} , м ²	3392	2336	2150	2150
Расчетный объем газа в обрабатываемой зоне V_p , м ³	92862	62916	66200	66200
Коэффициент дегазации обработанной зоны, k_d	0,6	0,45	0,48	0,53

Объем извлеченного газа из скважин №1 и №2 в течение месяца со дня производства гидродинамического воздействия составил 56306 м³. Угольный пласт был приведен в дезинтегрированное состояние на площади 3392 м², коэффициент дегазации обработанной зоны составил $k_d = 0,6$, радиус зоны обработки – 24 м.

Аналогичная картина наблюдается и по остальным скважинам.

Для исследования степени влияния гидродинамического способа воздействия на напряженно-деформированное состояния призабойной части угольного массива проведены измерения с привлечением геофизического и механического методов.

Качественную характеристику состояния массива до и после гидродинамического воздействия характеризует распределение кажущегося удельного электрического сопротивления ρ_k по длине шпура.

Для этого в средней части уступа молотковой лавы бурился шпур диаметром 45÷50 мм и длиной 5 м. В него помещался симметричный четырехэлектродный потенциометрический зонд длиной один метр и с помощью досельников и шахтного измерителя сопротивлений ШИИС-1 производился замер ρ_k на интервале 0,5 м. Результаты измерений приведены на рис. 2.

Согласно [3] графики распределения электросопротивления по глубине угольного массива можно ра-

збить на несколько геоэлектрических зон, параметры

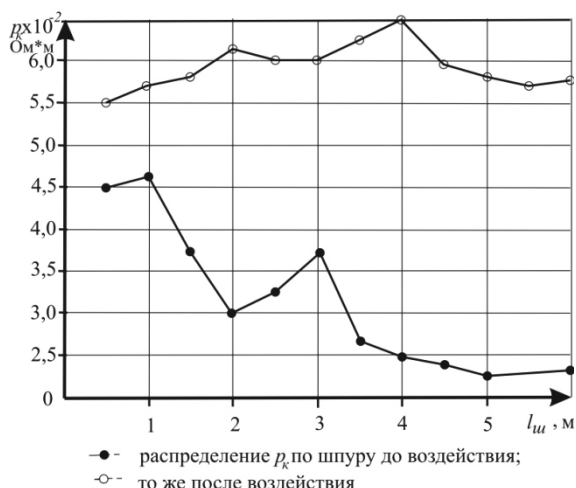


Рис. 2. Характер распределения кажущегося электрического сопротивления ρ_k по длине шпура

которых коррелируют с напряжениями, действующими в массиве. Вид графика распределения электросопротивления ρ_k по длине шпура до гидродинамического воздействия позволяет выделить четыре зоны, каждая из которых характеризуется отличительными особенностями.

Первая – зона разрушенного угля (зона отжима) распространяется от контура забоя вглубь массива на 1,0÷1,3 м. Она характеризуется развитой сетью трещин в различных направлениях. Удельное электрическое сопротивление угля в этой зоне, как правило, высокое и снижается по мере удаления от контура забоя, что свидетельствует о повышении напряжений.

Вторая – зона уплотнения угольного массива распространяется вглубь массива от зоны отжима на 1,3÷2,5 м. В этой зоне уголь подвержен влиянию консоли непосредственной кровли и кажущееся электрическое сопротивление значительно ниже, чем в первой зоне.

Третья – зона разуплотнения угольного массива имеет протяженность 0,6÷0,7 м и характеризуется более высоким значением ρ_k . Этой зоне присуща направленная трещиноватость, ориентированная в направлении максимальных напряжений. Как видно из графика, величины кажущегося электрического сопротивления в третьей зоне меньше, чем в первой, и это свидетельствует о более высоких прочностных и деформационных характеристиках угля в третьей зоне.

Четвертая – зона повторного уплотнения угольного массива (рис. 2). Она плавно переходит в зону максимума опорного давления. Характерной особенностью зоны является резкое снижение кажущегося электрического сопротивления угольного массива, что свидетельствует об увеличении концентрации напряжений.

После гидродинамического воздействия кажущееся электрическое сопротивление угольного массива на всем интервале наблюдения резко возросло за счет образования более широкой сети крупных

трещин разрушения и увлажнения угля (рис. 2). Все геоэлектрические зоны слились и превратились в одну – зону повышенной трещиноватости, по параметрам близкую к зоне отжима.

Наблюдения за изменением прочности угля в трех нижних уступах и в забое нижнего просека до и после проведения гидродинамического воздействия на угольный пласт осуществляли с помощью прочностномера П-1 по методике, приведенной в [2, приложение Ж]. Приведенные в табл. 2 результаты свидетельствуют о незначительной изменчивости этого показателя (~ 4,7%) в результате воздействия, что значительно ниже установленного критерия для выбросоопасной зоны – 20%.

Таблица 2

Результаты измерения прочности угольного массива

Наименование показателей прочности угля	Средние значения прочности угля по длине лавы, у.е.
Средняя прочность угля по падению пласта до воздействия, у.е.	72,8
Средняя прочность угля по падению пласта после воздействия, у.е.	69,4
Отклонение средних значений прочности угля, у.е	3,4
Изменчивость прочности угля, %	4,7

Таким образом, в результате проведения гидродинамической обработки происходит увеличение газопроницаемости и газоотдачи массива, снижение горного и газового давления, изменение физико-механических свойств угольного пласта. Эти физические процессы являются основными признаками предотвращения газодинамической активности отрабатываемого пласта.

На основании полученных результатов были разработаны технологические схемы безопасного ведения очистных работ для условий сплошной системы разработки на пластах с углами падения не менее 40°, коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова $f \leq 1,5$ и газоносностью не менее 8 м³/т. с.б.м.

Выбор технологической схемы способа зависит от величины обрабатываемой зоны по восстанию (падению) пласта, длины очистного забоя, удаления полевой выработки от пласта и др.

Технологическая схема ведения очистных работ при отработке напряженного газонасыщенного пласта потолкоуступной лавой в зоне ПГД (рис. 3).

После нарезки уступов на расстоянии не менее 40 м от забоя нижнего просека из откаточного штрека бурятся две скважины по схеме, приведенной на рис. 1.

Количество рядов технологических скважин по восстанию пласта зависит от высоты зоны обработки.

Гидродинамическое воздействие производят в ремонтную смену вначале через верхнюю скважину.

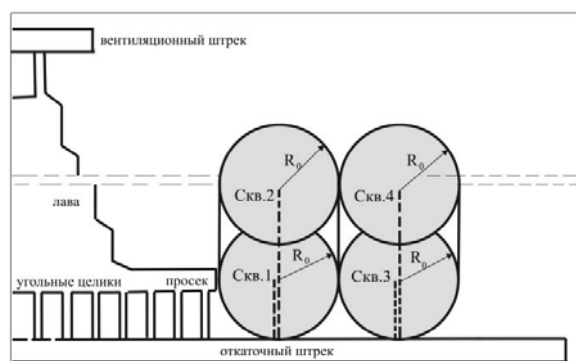


Рис. 3. Технологическая схема ведения очистных работ с применением гидродинамического воздействия на нижнюю часть пласта из откаточного штрека

Количество циклов гидродинамического воздействия определяется из выражения

$$N = \frac{M_n}{M_u},$$

где M_n – необходимое количество выемки угля для гидродинамической обработки нижней части лавы, т.; M_u – среднее количество выхода угля из скважины за один цикл, т.

После извлечения расчетного M_n гидродинамическое воздействие через скважину №2 прекращается и переносится на скважину №1. Эффективный радиус зоны гидродинамического воздействия определяется до его проведения по выражению

$$R_0 = k_{ГТ} \sqrt{H},$$

где $k_{ГТ} = 0,798$ – геотехнологический коэффициент гидродинамического воздействия на напряженный угольный массив; H – глубина разработки угольного пласта, м.

Расстояние между кустами скважин по длине откаточного штрека принимается равным двум радиусам зоны дезинтегрированного угля $2R_0$.

Технологическая схема №1 ведения очистных работ при отработке напряженного газонасыщенного пласта потолкоуступной лавой в зоне влияния отработанного вышележащего горизонта (рис. 4).

Схема рекомендуется для гидродинамической обработки верхней части потолкоуступной лавы из пластового вентиляционного штрека.

Для проведения гидродинамического воздействия на угольный пласт из вентиляционной выработки на расстоянии не менее 0,5 м от пласта через породы почвы (кровли) по простиранию пласта бурится ниспадающая технологическая скважина с выходом забоя на пласт на расстоянии R_0 от подошвы выработки (рис. 4). Угол наклона скважины к горизонту определяется по формуле, град.

$$\beta = \arctg \frac{a_p}{l_y},$$

где a_p – горизонтальная проекция технологической скважины, м; l_y – вертикальная проекция технологической скважины, м.

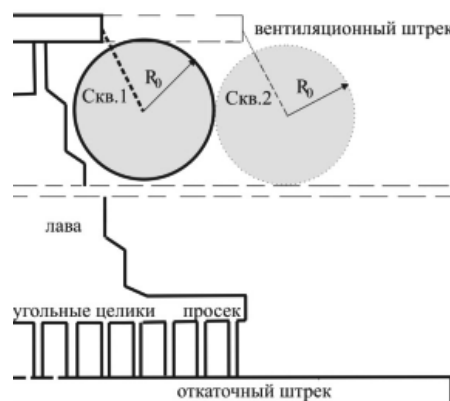


Рис. 4. Технологическая схема ведения очистных работ с применением гидродинамического воздействия на верхнюю часть лавы из пластового вентиляционного штрека

После обсадки, герметизации скважины и монтажа УГВ приступают к гидродинамическому воздействию на угольный пласт. Количество циклов воздействия, расчетное количество извлекаемого угля, радиус обработанной зоны определяются по вышеприведенным формулам.

Систематическое, по мере отхода забоя вентиляционного штрека от технологической скважины на расстояние R_0 , гидродинамическое воздействие обеспечивает дегазацию и снижение газодинамической активности верхней части потолкоуступной лавы.

Технологическая схема №2 ведения очистных работ при отработке напряженного газонасыщенного пласта потолкоуступной лавой в зоне влияния отработанного вышележащего горизонта.

Схема рекомендуется для гидродинамической обработки верхней части потолкоуступной лавы из полевого вентиляционного штрека.

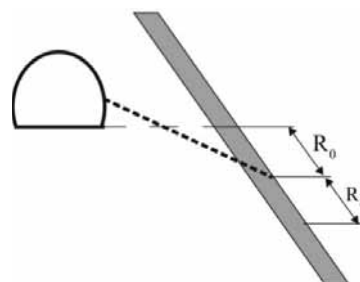


Рис. 5. Схема расположения технологических скважин в полевого вентиляционном штреке

Подготовка участка к проведению гидродинамического воздействия заключается в следующем. На угольный пласт из полевого вентиляционного штрека по всей длине от лавы до забоя через породы почвы (кровли) по падению бурятся технологические скважины (рис. 5). Расстояние между скважинами не должно превышать двух радиусов обработки угольного массива. Точки пересечения забоев скважин с

кровлей (почвой) пласта должны находиться на расстоянии R_0 от подошвы вентиляционного штрека (рис. 6).

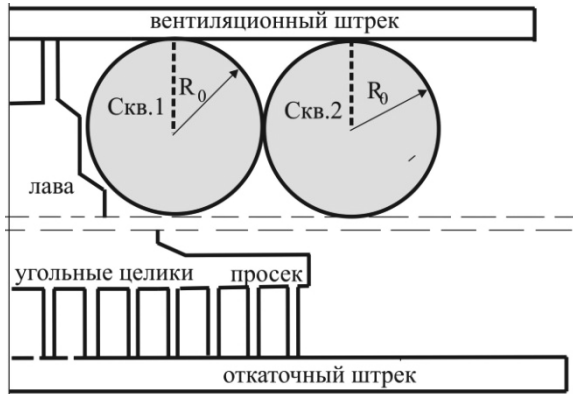


Рис. 6. Технологическая схема ведения очистных работ с применением гидродинамического воздействия на верхнюю часть лавы из полевого вентиляционного штрека

Гидродинамическое воздействие на угольный пласт производят вначале через ближнюю к лаве скважину, а затем, после извлечения расчетного количества угля из скважины, последовательно обрабатываются остальные по направлению к забою штрека. В результате такого воздействия в верхней части потолкоуступной лавы формируется зона дезинтегрированного угля, разгруженная от горного давления и частично дегазированная – коэффициент эффективности дегазации составляет не менее 0,45.

Таким образом, на основании изложенного, можно сделать следующие выводы:

1) гидродинамический способ воздействия на газонасыщенный угольный массив через подземные скважины оказывает комплексное влияние на угольный пласт, в результате которого происходит одновременно интенсификация процесса дегазации, снижение и равномерное распределение горного давления, разупрочнение и увеличение влажности угля;

2) эффективная обработка нижней части потолкоуступной лавы достигается при длине нижней скважины 15÷20 м, верхней – 50÷60 м. Расстояние от забоя нижнего просека до скважины на момент обработки должно составлять не менее 40 м. Расстояние между кустами скважин должно быть равно сумме радиусов обработанной и обрабатываемой зон;

3) эффективная обработка угольного массива в верхней части лавы производится через ниспадающую скважину длиной 20÷25 м при расстоянии между технологическими скважинами по простиранию угольного пласта, равном двум радиусам обработки;

4) применение технологических схем безопасного ведения очистных работ в потолкоуступных лавых, основанных на гидродинамической обработке угольного массива, позволяют снизить относительную га-

зообильность добычного участка на 45÷60%, что дает возможность увеличения нагрузки на забой и обеспечения безопасности труда шахтеров.

Список литературы / References

1. Пивняк Г.Г. Некоторые проблемы разработки полезных ископаемых на больших глубинах / Пивняк Г.Г. // Матеріали міжнар. конф. „Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання“. – Днепропетровск: Національний гірничий університет, 2009. – С. 6–7.

Pivnyak G.G. Some problems of development of minerals in deep layers / Pivnyak G.G. // Materials of international conference “Underground catastrophes: models, prognosis, prevention”. – Dnipropetrovsk: NGU, 2009. – P. 6–7.

2. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: СОУ 10.1.00174088.011-2005. – [чинний від 2005-12-01]. – К.: Мінвуглепром України, 2005. – 224 с.

Rules of mining works on layers with gas-dynamic occurrences: SOU 10.1.00174088.011-2005. – [valid since 2005-12-01]. – К.: Minugleprom of Ukraine, 2005. – 224 p.

3. Паламарчук Т.А. Элементы механосинергетики породного массива. / Паламарчук Т.А., Кириченко В.Я., Усаченко Б.М – Днепропетровск: ЧП „Лира ЛТД“, 2006. – 308 с.

Palamarchuk T.A. Elements of mechanical synergetics of rock massif / Palamarchuk T.A., Kirichenko V.Ya., Usachenko B.M. – Dnepropetrovsk: „Lira LTD“, 2006. – 308 p.

Наведено технологічні схеми безпечного ведення очисних робіт на напружених газонасичених крутих пластах, що відпрацьовуються стелеуступними лавами. Доведено, що використання гідродинамічного способу впливу на вугільні пласти дозволяє комплексно впливати на привибійний стан вугільного пласта, що приводить до його дегазації і зниження газодинамічної активності. Дана оцінка ефективності гідродинамічного впливу по коефіцієнту дегазації і кількості вилученого вугілля зі свердловини.

Ключові слова: привибійна зона, технологічні параметри, метод контролю, технологічні схеми

Technological schemes of safe development of steeply inclined coal layers disposed to gas-dynamic events are suggested. It is proved that application of hydrodynamic method for degassing and decrease of gas-dynamic activity is effective. The estimation of efficiency of hydrodynamic influence on the coefficient of degassing and amount of output of coal from a mining hole is given.

Keywords: face zone, technological parameters, control method, technological schemes

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук. С.П. Місєвим. Дата надходження рукопису 14.04.11.