

УДК 622.831.031.55

## **ОПЕРЕЖАЮЩАЯ РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНЫХ ПЛАСТОВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПЕСЧАНИКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК**

**Канин В. А., Ходырев Е. Д., Галемский П. В.**  
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*Наведені результати експериментальних досліджень впливу випереджальної розробки захисних пластів на газодинамічний стан викиднебезпечних пісковиків. Викладено науково обґрунтовані методичні положення з розрахунку і побудування зон захисту і підвищеного гірського тиску для запобігання викидам пісковиків при проведенні підготовчих виробок.*

*The results of experimental study related to the influence of advance mining of protective seams on gas-dynamic condition of outburst-prone sandstones are given. Scientifically proven methodical guidelines for computation and construction of protection and increased rock-pressure zones to prevent sandstone outbursts when driving a working are described.*

При повышенном горном давлении на достигнутых шахтами Донбасса глубинах ведения горных работ 900-1200 м все более актуальным становится проблема охраны и поддержания основных подготовительных и капитальных горных выработок. Для повышения устойчивости выработок к горному давлению их обычно располагали в наиболее прочных породах – песчаниках. Но при достигнутой глубине разработок (свыше 1000 и более метров) песчаники в условиях Донбасса практически все становятся выбросоопасными.

Применяющиеся методы прогноза и локальные способы предотвращения внезапных выбросов песчаников весьма трудоемки, дорогостоящи и требуют продолжительного времени для их выполнения.

В отличие от всех других видов газодинамических явлений (ГДЯ) внезапные выбросы породы и газа происходят лишь при взрывных работах, при которых осуществляется резкое обнажение области слоя песчаника, испытывающей высокое горное и газовое давления.

Минимальная глубина проявления происшедших на шахтах Донбасса выбросов песчаника составляет  $H_0 = 680$  м [1]. По мере увеличения глубины ведения горных работ в Донбассе количество и интенсивность выбросов песчаников резко возрастает. Так, например, по данным [2] последующие выбросы песчаников были зафиксированы на шахте № 1-5 «Кочегарка» треста «Горловскуголь» (03.08.1955 г.) в южном квершлага на глубине 750 м интенсивностью 300 т и на шахте № 17-17-бис треста «Рутченковуголь» (16.09.1956 г.) при проходке ствола «Новый» на глубине 800 м интенсивностью 1000 т. Затем в 1957 г. на шахте «Ново-Центральная» (им. Горького) треста «Донецкуголь» произошло 5 выбросов песчаника интенсивностью до 800 т. на глубине 813 м при проходке зумпфовой части скипового ствола и камеры зумпфовых насосов. За период с 1957 по 1964 гг. на шахте «Щегловская-Глубокая» (бывшей шахте им. *К. И. Поченкова*) треста «Макеевшахтострой» произошло 86 выбросов песчаников интенсивностью от 25 до 2100 т при проведении квершлагов на глубине 906 м. Позднее на шахтах Донбасса проявилось более 4200 выбросов песчаников и газа на глубинах от 813 до 1200 м интенсивностью от 5 до 4315 т. Наибольшее количество из них (более 3000) произошло на шахте «Петровская–Глубокая» (в настоящее время «Шахта им. А. А. Скочинского» Донецкой угольной энергетической компании).

Известно, что для предотвращения газодинамических явлений (ГДЯ), в том числе выбросов породы и газа, наиболее эффективна и технологична опережающая разработка защитных пластов. Механизм защитного действия заключается в снижении горного и газового давления в зоне разгрузки, в увеличении га-

зопроницаемости и дегазации защищаемых пластов угля и пород. В зоне разгрузки выделяется зона защиты, где нормальные к напластованию напряжения  $\sigma_y$  меньше критического их значения  $\sigma_{y0}$ , при котором происходят внезапные выбросы.

Методика построения зон защиты, возникающих при отработке защитного пласта, изложена в нормативном документе СОУ 10.1.00174088.011-2005 [3], основывающемся на результатах исследований по определению критериев и параметров защиты склонных к ГДЯ только угольных пластов.

Ранее проведенными УкрНИМИ исследованиями условий проявления внезапных выбросов песчаника и газа на шахте «Щегловская-Глубокая» были определены особенности изменения поля напряжений углепородного массива при отработке угольного пласта  $m_3$ , используемого в качестве защитного. При этом выбросоопасный песчаник  $m_2Sm_3$  надрабатывался на горизонтах 830 м и 915 м 2-й восточной лавой западного бремсберга и 3-ей западной лавой восточного бремсберга пласта  $m_3$ . Длина лав 200...220 м, мощность пласта 1,45...1,60 м, угол падения 10-27°, система разработки сплошная, расстояние до песчаника по нормали  $h_2 = 20 - 40$  м. Исследования проводились в западном и восточном полевых откаточных штреках, проводимых по выбросоопасному песчанику  $m_2Sm_3$ , где в условиях отсутствия надработки произошло в каждом, соответственно, 26 и 14 выбросов породы и газа интенсивностью до 500 м<sup>3</sup>.

Измерялась деформация породного массива (до подхода и после прохода надрабатывающей лавы) с помощью глубинных реперов, закладываемых в пробуренные в песчаник скважины. С этой же целью велись наблюдения за смещением парных реперов, закрепленных в специально пройденных в боках полевых штреков нишах.

Характер деформаций по мере приближения и перехода станций надрабатывающей лавой изменялся следующим образом. Под воздействием опорного давления (начиная с 60 м впереди забоя лавы) проявлялись деформации сжатия песчаника по нормали к напластованию и растяжения в плоскости напластования. Величина деформаций сжатия составила  $\varepsilon_{сж} = (1,1-1,2) \times 10^{-3}$ .

В 15 – 20 м впереди проекции забоя лавы отмечалось резкое расширение песчаника, а в плоскости напластования – сжатие, т.е. знаки деформаций массива изменялись на обратные, что свидетельствует о разгрузке массива от напряжений вследствие упругого восстановления песчаника в сторону надрабатывающего пласта. Максимальная релаксация упругой деформации зафиксирована на расстоянии 18 – 20 м позади проекции забоя лавы и составила  $\varepsilon_{\text{релакс}} = (9,5 - 10,5) \times 10^{-3}$ . Начиная с 20 – 25 м позади забоя надрабатывающей лавы наблюдалось повторное сжатие, обусловленное уплотнением обрушенных пород и стабилизацией деформаций на новом уровне.

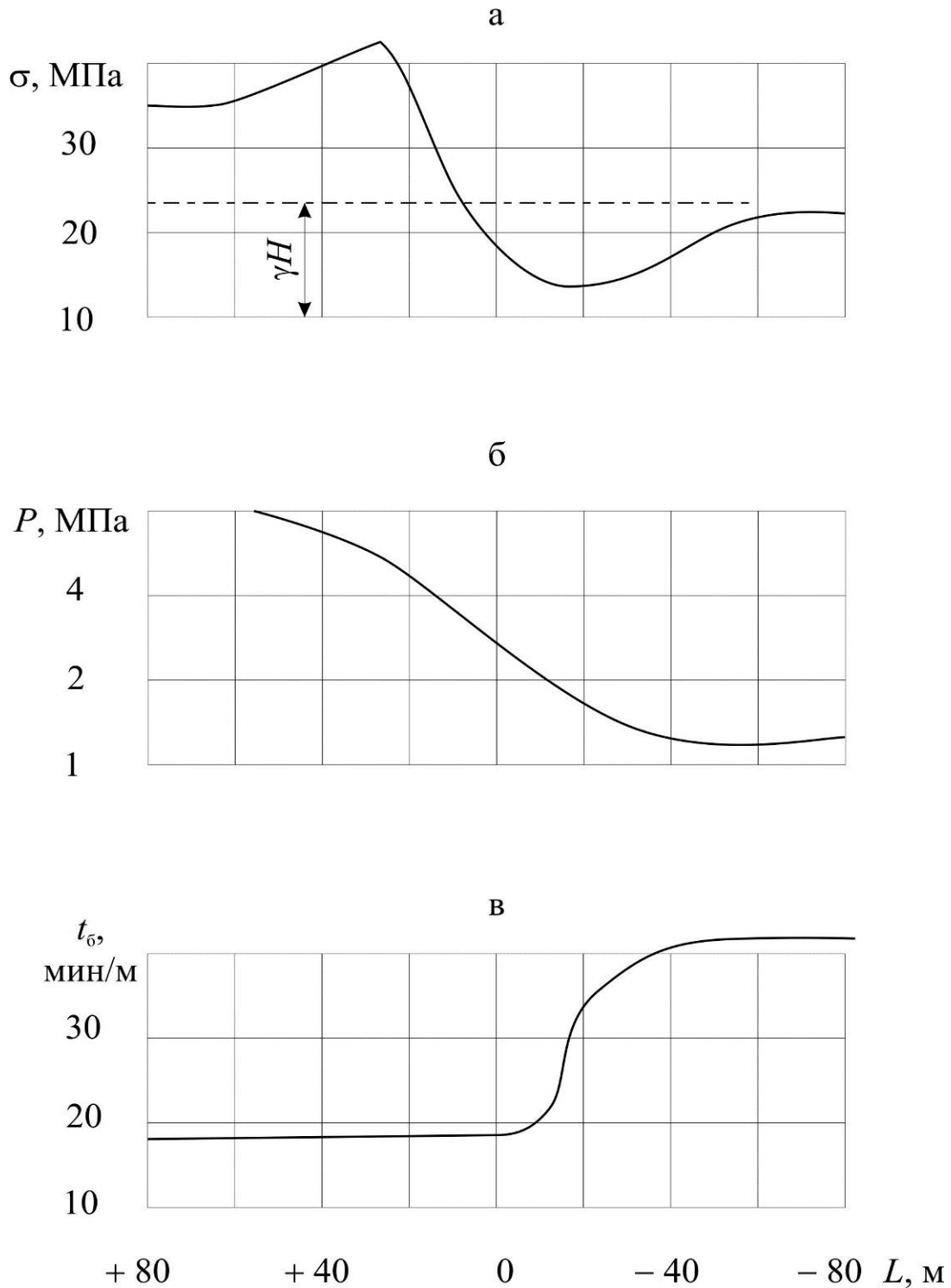
Кроме наблюдений за глубинными реперами осуществлялась периодическая (через 15 м подвигания лавы) нивелировка профильных линий реперов протяженностью 200 – 300 м, заложенных в полевых откаточных штреках на участках надработки пластом  $m_3$ . Было установлено, что в интервале от 60 м впереди очистного забоя и до 60 м за ним происходит поднятие массива песчаника до 250 мм.

Величину напряжений в породном массиве определяли способом ограниченного гидроразрыва. Для этого в забоях полевых выработок, проводимых по выбросоопасному песчанику, бурили шпуров длиной 4 – 6 м и с помощью резинового герметизатора и высоконапорного насоса в измерительную камеру длиной 0,2 м закачивали жидкость и осуществляли гидроразрыв, фиксируя величину критического давления жидкости по манометру.

Результаты экспериментальных исследований показаны на рисунке 1.

Исследованиями было установлено, что в зоне опорного давления напряжения составляют  $\sigma \approx 35...42$  МПа, в зоне разгрузки  $\sigma \approx 13...14$  МПа, в зоне уплотнения пород  $\sigma \approx 20...25$  МПа. Последние в 1,5 раза меньше исходных и не превышают уровня гравитационных напряжений (рис. 1, а).

Изменения давления газа в песчанике и скорость его газоотдачи определялись в 18 скважинах длиной 6...23 м, оборудованных манометрами. Заметное снижение давления газа совпадало с началом деформаций породного массива (рис. 1, б).



$L$  – расстояние впереди (знак «плюс») или позади («минус») забоя надрabатывающей лавы

Рис. 1. Кривые изменения: а – напряжений  $\sigma$ ; б – давлений газа  $P$ ; в – буримости  $t_\sigma$  выбросоопасного массива песчаника при его пластовой надрabотке

На шахте «Щегловская-Глубокая» исследовались также изменения механических свойств выбросоопасного песчаника в натуральных условиях путем измерения чистого времени бурения 1 м скважины при проведении выработок в ненадработанной и надработанной пластом  $m_3$  зонах (рис. 1, в), из которого следует, что в разгруженных зонах чистое время бурения 1 м скважины по песчанику увеличивается в 3...4 раза. Это свидетельствует о том, что под влиянием разгрузки и дегазации песчаника увеличивается его прочность и за счет этого уменьшается вероятность проявления выбросов породы и газа.

В результате проведенных исследований УкрНИМИ обоснован и разработан для выбросоопасных песчаников по фактору горного давления критерий защищенности от ГДЯ, определяемый выражением:

$$\sigma_y < \sigma_{y_0}, \quad (1)$$

где  $\sigma_y$  – уровень гравитационных напряжений, действующих в забое подготовительной выработки, проводимой по выбросоопасному песчанику, МПа;

$\sigma_{y_0}$  – уровень гравитационных напряжений, действующих на минимальной глубине проявления происшедших выбросов песчаника (в условиях Донбасса, при  $H_0 = 680$  м [1],  $\sigma_{y_0} = 17$  МПа).

Значения  $\sigma_y$  и  $\sigma_{y_0}$  в общем виде вычисляются по формулам:

$$\sigma_y = -\gamma H_y (\cos^2 \alpha + \lambda \sin^2 \alpha), \quad (2)$$

$$\sigma_{y_0} = -\gamma H_0 (\cos^2 \alpha + \lambda \sin^2 \alpha), \quad (3)$$

где  $\gamma$  – средний объемный вес горных пород (в условиях Донбасса  $\gamma = 0,025$  МН/м<sup>3</sup>);

$H_y$  – глубина расположения подготовительной выработки, проводимой по выбросоопасному песчанику, м;

$H_0$  – глубина, с которой песчаник переведен в категорию опасных по ГДЯ, м;

$\lambda$  – коэффициент бокового распора (при отсутствии данных  $\lambda = 0,7$ );

$\alpha$  – угол падения пласта, град.

Эмпирический критерий (1) отражает опыт проведения горных выработок по песчаникам в различных горно-геологических

и горнотехнических условиях при определенных физико-механических и газодинамических свойствах песчаника и действующих в нем напряжений в зависимости от глубины разработки или влияния зон повышенного горного давления (зон ПГД) от целиков угля или краевых частей угольного массива. Зафиксированная минимальная глубина  $H_0$  проявления выброса рассматривается как результат совершившегося промышленного эксперимента по установлению критической глубины, с которой пласт должен быть отнесен к категории опасных по ГДЯ.

Разработанные критерии (1) защиты выбросоопасных песчаников при подработке или надработке угольными пластами участков отражают условия безопасности, где показатели горного и газового давлений снижены до безопасных значений.

Поскольку минимальная глубина проявления на шахтах Донбасса выбросов песчаника составляет  $H_0 = 680$  м [1], при которой гравитационные напряжения, по расчетам составляют  $\sigma_{y0} = \gamma H = 0,025 \times 680 = 17$  МПа. В качестве критерия безопасности принимается уровень напряжений в массиве горных пород, не превышающий  $\sigma_{y.безоп} = 16$  МПа и соответствующий напряжениям на глубине разработки  $H = 640$  м. Поэтому для предотвращения выбросов песчаников необходимо в создаваемой опережающей разработкой угольных (защитных) пластов зоне разгрузки выделять зону защиты, где максимальный уровень напряжений не превышает  $\sigma_{y.безоп} = 16$  МПа.

Расчеты и построения зон защиты и ПГД (на конкретном приводимом примере) выполняются по схеме рисунка 2.

Для расчетов анализируются исходные данные:

Защитный угольный пласт с углом падения  $\alpha = 10^\circ$  с вынимаемой мощностью  $m = 1,0$  м, разрабатывается на глубине  $H = 1200$  м. Лава длиной  $a = 200$  м отошла от разрезной (монтажной) печи на расстояние 300 м. Управление кровлей – полное обрушение. В кровле и почве защитного пласта залегают слои выбросоопасного песчаника мощностью 18 - 20 м на расстояниях соответственно  $h_1 = 60$  м и  $h_2 = 40$  м. Остальная толща пород представлена слоями алевролита и аргиллита.

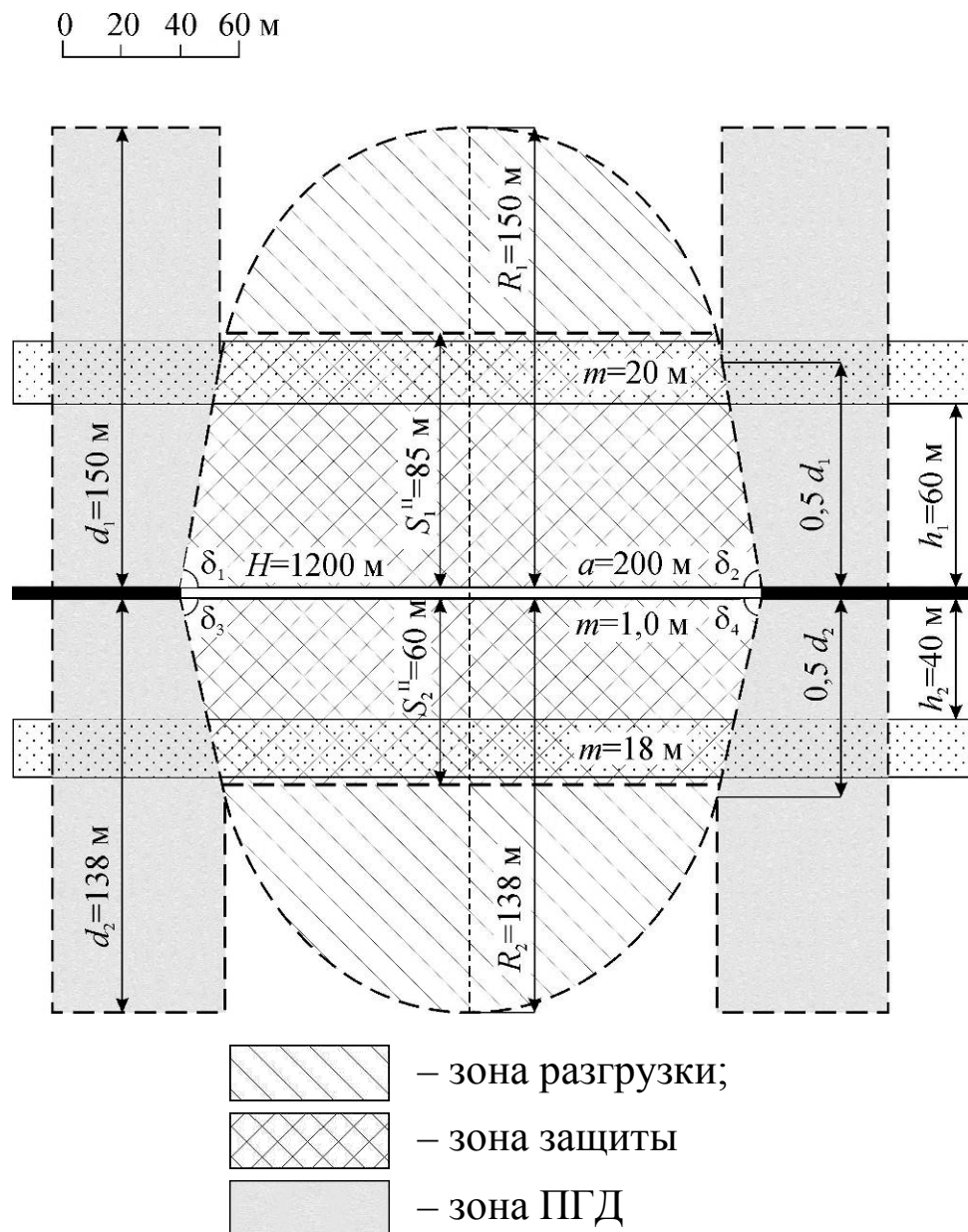


Рис. 2. Схема расчета и построения зон защиты и ПГД в условиях опережающей подработки или надработки угольными пластами выбороопасных песчаников для предотвращения ГДЯ при проведении по ним подготовительных выработок

Расчеты осуществляются в следующей последовательности:

1. Определяют размер  $d_1$  и  $d_2$  зон повышенного горного давления (зон ПГД) в краевых частях угольного пласта по таблице Л.3 [3], которые в рассматриваемом примере соответственно



имеют при  $a = 200$  м на глубине разработки  $H = 1200$  м размеры  $d_1 = 150$  м и  $d_2 = 138$  м.

Возникновение и формирование каждой зоны повышенного горного давления ( $d_{1,2}$ ) с напряжениями, превышающими геостатические, происходит одновременно с образующейся рядом зоной разгрузки ( $R_{1,2}$ ), в которой согласно [4] нормальные напряжения на 5 % меньше чем в нетронутом массиве. Поэтому размеры этих зон сопоставимы между собою, и в инженерных расчетах их можно считать равными, т. е. в рассматриваемом примере  $d_1 = R_1 = 150$  м и  $d_2 = R_2 = 138$  м.

2. При расчете границ зоны защиты при под- или надработке песчаника учитывают глубину разработки защитного пласта ( $H = 1200$  м) и уровень действующих на этой глубине напряжений ( $\sigma = \gamma H = 0,025 \times 1200 = 30$  МПа), глубину расположения от дневной поверхности верхней границы зоны разгрузки  $R_1$ , составляющей в данной ситуации  $H_B = H - d_1 = 1200 - 150$  м = 1050 м, а при надработке – глубину расположения от дневной поверхности нижней границы зоны разгрузки  $R_2$ , равной  $H_H = H + d_2 = 1200 + 138$  м = 1338 м. Затем определяют уровень действующих в этих частях массива напряжений  $\sigma_B = \gamma H_B = 0,025 \times 1050 = 26$  МПа и  $\sigma_H = \gamma H_H = 0,025 \times 1338 = 33$  МПа.

3. Определяют темп восстановления напряжений в зоне разгрузки по формулам:

$$\text{– при подработке} \quad \Delta\sigma_1 = \frac{\sigma_{R_1}}{R_1} = \frac{26}{150} = 0,17 \text{ МПа/м}; \quad (4)$$

$$\text{– при надработке} \quad \Delta\sigma_2 = \frac{\sigma_{R_2}}{R_2} = \frac{33}{138} = 0,24 \text{ МПа/м}. \quad (5)$$

4. С учетом установленных темпов восстановления напряжений от защитного пласта до верхней, а также до нижней границ зоны разгрузки определяют, с учетом показателя критерия безопасности  $\sigma_{y.безоп} = 16$  МПа, дальность (без учета коэффициентов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ ) защитного действия подработки и надработки песчаника по формулам:

$$\text{– при подработке} \quad S'_1 = \frac{\sigma_{y.безоп}}{\Delta\sigma_1} = \frac{16}{0,17} = 94 \text{ м}; \quad (6)$$

$$\text{– при надработке } S_2^{\prime\Pi} = \frac{\sigma_{y \text{ безоп}}}{\Delta\sigma_2} = \frac{16}{0,24} = 67 \text{ м}; \quad (7)$$

5. Определяют коэффициенты защиты песчаников, отображающие соотношения размеров зон защиты к размерам зон разгрузки,

$$\text{– при подработке } K_1^{\Pi} = \frac{S_1^{(\Pi)}}{R_1} = \frac{94}{150} = 0,63; \quad (8)$$

$$\text{– при надработке } K_2^{\Pi} = \frac{S_2^{(\Pi)}}{R_2} = \frac{67}{138} = 0,48 \quad (9)$$

6. Размер зон эффективной защиты песчаников при опережающей их подработке или надработке защитными пластами определяется выражением:

$$S_{1,2}^{\Pi} = \beta_1 \beta_2 K_{1,2}^{\Pi} R_{1,2}, \quad (10)$$

где  $\beta_1$  – коэффициент, учитывающий эффективную мощность защитного пласта ( $m_{эф}$ ), принимается равным  $\beta_1 = m_{эф} / m_0$ , но не более 1.

$m_0$  – критическое значение мощности защитного пласта, определяемое по рисунку Л.3 [3];

$\beta_2$  – коэффициент, учитывающий процентное содержание песчаников ( $\eta$ ) в составе пород междупластья между защитным угольным пластом и защищаемым песчаником  $\beta_2 = 1 - 0,4 \eta / 100$ ;

$K_1^{\Pi}$  и  $K_2^{\Pi}$  – коэффициенты защиты. Их значения на различных глубинах отработки защитных пластов с учетом наименьшей ширины очистной выработки на защитном пласте, вычисленные по настоящей методике, приведены в таблице 1.

В рассматриваемом примере при  $m_{эф} = 1,0$  м, согласно [3],  $m_0 = 1,10$  м, коэффициент  $\beta_1 = 10 / 1,1 = 0,9$ .

Ввиду отсутствия других песчаников в толще пород междупластья, как в кровле, так и в почве между защитным пластом и защищаемыми песчаниками, коэффициент  $\beta_2 = 1$ .

Таблиця 1

Значения коэффициентов защиты

Глубина расположения источника ПГД $H$ , м	$K_1^{\text{II}}$	$K_2^{\text{II}}$
500	1,00	1,00
600	1,00	0,90
700	1,00	0,78
800	0,93	0,70
900	0,83	0,63
1000	0,74	0,57
1100	0,67	0,52
1200	0,63	0,48
1300	0,55	0,44
1400	0,51	0,41

Коэффициенты защиты, согласно таблице 1 и результатам вышеприведенных расчетов составляют:  $K_1^{\text{II}} = 0,63$ ;  $K_2^{\text{II}} = 0,48$ .

Размеры зон защиты равняются:

- в кровлю пласта:  $S_1^{\text{II}} = 0,9^\circ \times 1,0 \times 0,63 \times 150 = 85$  м;
- в почву пласта  $S_1^{\text{II}} = 0,9^\circ \times 1,0 \times 0,48 \times 138 = 60$  м.

При расположении на расстояниях от защитного пласта  $h_1 = 60$  м и  $h_2 = 40$  м защищаемые песчаники полностью находятся в защищенной от выбросов зоне.

На основе разработанного критерия защиты УкрНИМИ определены оптимальные параметры защитного действия опережающей отработки угольных пластов для предотвращения ГДЯ в песчаниках при проведении по ним подготовительных и капитальных горных выработок и разработана методика построения зон защиты и ПГД.

Опытно-промышленная проверка и внедрение способа предотвращения выбросов песчаника и газа путем опережающей пластовой надработки осуществлены при проведении полевых выработок на шахтах «Щегловская-Глубокая» и им. А. А. Скочинского. На первой из них по выбросоопасным песча-

никам без проявления выбросов пройдено 6000 м горизонтальных и наклонных выработок.

На шахте им. А. А. Скочинского (восточная панель гор. (1200 м) проведено 320 м восточного полевого откаточного штрека № 1 и 60 м наклонного квершлага по выбросоопасному песчанику  $h_4^1 Sh_6^1$  с использованием защитного действия отработываемой коренной восточной разгрузочной лавы пл.  $h_6^1$  «Смоляниновский».

### СПИСОК ССЫЛОК

1. Забигайло В. Е. Выбросоопасность горных пород Донбасса / В. Е. Забигайло, В. В. Лукинов, А. З. Широков – Киев: Наук. Думка, 1983. – 288 с.
2. Волошин Н. Е. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906 – 2006 г.г.: справочник / [Н. Е. Волошин, Л. А. Ванштейн, Л. А. Брюханов и др.] ; Гос. Макеевский науч.-исслед. ин-т по безопасности работ в гор. пром. (МакНИИ). – Донецк : СПД Дмитриенко, 2007. – 908 с. – ISBN 978-966-8965-21-0.
3. СОУ 10.1.00174088.011-2005. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ. – Прийнято та надано чинності: наказ № 145 Мінвуглепрому від 30.12.2005 р. – Вид. офіц. – К.: Мінвуглепром України, 2005. – 225 с.
4. Петухов И. М. Механика горных ударов и выбросов / И. М. Петухов, А. М. Линьков. – М.: Недра, 1983. – 280 с.