

УДК 622.231.76

<https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.006>

МЕТОДИЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИПЕРЕДЖУЮЧОГО ЗАХИСТУ ПЛАСТІВ, СХИЛЬНИХ ДО ГДЯ

С.П. Мінеєв¹, А.А. Костриця¹, Н.О. Калугіна², О.С. Янжула³, Р.Н. Сачко³

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

²Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

³ПрАТ «Донецьксталь», м. Покровськ, Україна

*Відповідальний автор: e-mail: sergminee@gmail.com

METHODOLOGICAL ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF ADVANCED PROTECTION OF FORMATIONS INCLINED TO GASDYNAMIC PHENOMENA

S.P. Minieiev^{1*}, A.A. Kostrytsia, N.O. Kalugina², O.S. Yanzhula³, R.N. Sachko³

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

²Institute for Physics of Mining Processes of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

³PJSC “Donetssteel “Iron and steel works” Pokrovsk, Ukraine

*Corresponding author: e-mail: sergminee@gmail.com

ABSTRACT

Purpose. Development of a methodology and refinement of a methodology for assessing the effectiveness of advanced protection of formations prone to hydro-stimulation.

Methodology. When mining outburst-hazardous coal seams, a regulatory framework is used for forecasting and combating gas-dynamic phenomena (GDN). The most effective method is considered to be the complete protection of the mined coal seam. The protective effect of the advanced development of coal seams to prevent hydroelectric events in the protected seams is determined only by the characteristics of the protective seam and interbedded rocks. On the basis of these provisions, regulatory documents have been developed that regulate the issues of defensive engineering.

The essence of the normative method for determining the effectiveness of a protective action is as follows. Depending on the depth of development and the width of the mined-out space of the protective layer, the standard range of the protective action is found during over- and underworking. The standard range is adjusted taking into account the critical thickness of the protective layer and the total content of sandstones in the interbedded rocks. The calculated range of the

protective action determined in this way is compared with the actual thickness of the rocks between the layers and the indicator of the effectiveness of the protective action is calculated, according to the value of which the category of protection is determined.

Scientific novelty. The established property of coal seams protected from gas-dynamic phenomena to form a protective action of advanced development showed that the process of forming a protective action is carried out by the physical system "protective layer - interbed - protected layer". The latter is formed due to the activation of the process of unloading the formation during its development, due to the thickness of the protected formation, its sorption properties and residual gas content, structure, degree of metamorphism, etc.

Practical significance. The proposed methodology will make it possible to more objectively determine the efficiency of advanced development of reservoirs to prevent hydroelectric events, eliminating type I errors, i.e. when GDDs occur in effectively protected areas.

Keywords: efficiency control, protective layer, ineffective protection, protected layer, interbedded rocks

1. ВСТУП

При відпрацюванні викидонебезпечних вугільних пластів використовуються нормативна база з питань прогнозу і боротьби з газодинамічними явищами (ГДЯ) у шахтах [1-4]. При цьому застосовується ряд регіональних і локальних способів запобігання ГДЯ, з яких найбільш ефективним вважається спосіб повного захисту вугільного пласта, що відпрацьовується [5- 14], тобто випереджуюча розробка захисних пластів. Вона здійснюється у вигляді над-або підробки пластів, небезпечних за ГДЯ. При цьому рахується, якщо на пласті, що захищається, можливість виникнення ГДЯ виключається, то він попадає в категорію ефективного захисту, виключається частково – не ефективний захист або не виключається – відсутність захисту. У якісному відношенні ступінь захищеності називається ефективністю захисної дії (захисту).

Відповідно до існуючих наукових уявлень [2, 6, 13, 14–21], захисна дія випереджаючої розробки вугільних пластів для запобігання ГДЯ на пластах, що захищаються, визначається тільки характеристиками захисного пласта і порід міжпласття. На підставі цих положень розроблені нормативні документи, які регламентують питання захисної розробки [3, 4].

Сутність нормативного методу визначення ефективності захисної дії полягає у наступному. Залежно від глибини розробки і ширини виробленого простору захисного пласта знаходять нормативну дальність захисної дії при над-і підробці. Нормативну дальність коректують з урахуванням критичної потужності захисного пласта і загального вмісту пісковиків у породах міжпласття. Визначену таким чином розрахункову дальність захисної дії, зіставляють з фактичною потужністю порід міжпласття і обчислюють показник ефективності захисної дії, за величиною якого визначають категорію захисту. При цьому, використовується наступна основна термінологія:

– ефективність захисної дії – ступінь (категорія) захищеності пласта щодо прояву ГДЯ за випереджаючої розробки пластів;

- оцінка ефективності захисної дії – встановлення наявності захисту і визначення меж захищених зон при неефективному захисті;
- контроль ефективності захисної дії – періодична перевірка наявності захисту на пластах, на яких ефективність захисної дії встановлюється шляхом її оцінки.

2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Вплив порід міжпласття на формування захисної дії характеризується їх сумарною потужністю і загальною потужністю пісковиків у складі порід міжпласття. На підставі цих характеристик визначається ефективність, тобто ступінь захисту випереджаючої розробки в наступній послідовності [3]:

1. Обчислюють ефективну потужність захисного пласта за формулою:

$$m_e = k_y \cdot m_o, \quad (м), \quad (1)$$

де k_y – коефіцієнт, що враховує спосіб управління гірським тиском. При повному обваленні і плавному опусканні $k_y=1,0$; при утриманні бічних порід на кострах $k_y=0,7$; при різних видах закладки $k_y=0,25-0,65$; m_o – потужність захисного пласта, що виймається, $м$.

2. Знаходять критичну потужність захисного пласта m_o , тобто, максимальну потужність, при якій досягається підвищення ефективності захисної дії. Вона визначається за графіком [3] в залежності від глибини розробки H і ширини a виробленого простору на захисному пласті.

3. Обчислюють коефіцієнт β_1 , що враховує співвідношення ефективної і критичної потужності пласта за формулою:

$$\beta_1 = m_e / m_o, \quad \beta_1 \leq 1. \quad (2)$$

4. Обчислюють коефіцієнт β_2 , що враховує вміст пісковиків в породах міжпласття за формулами:

$$\beta_2 = \begin{cases} 1 - 0,004\eta, & \eta \leq 50\%, \\ 1,2 - 0,008\eta, & \eta > 50\%. \end{cases} \quad (3)$$

де η – вміст пісковиків в породах міжпласття, %.

5. За таблицями [3] знаходять нормовану дальність захисної дії при підробці S'_1 і надробці S'_2 в залежності від глибини розробки і ширини виробленого простору.

6. Обчислюють дальність захисної дії при підробці S_1 і надробці S_2 відповідно за формулами:

$$S_1 = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot S'_1, \quad (м), \quad S_2 = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot S'_2, \quad (м). \quad (4)$$

7. Визначають показник ефективності захисної дії K за формулою:

$$K=1,67 - 0,67h_{1,2}/S_{1,2}, \quad (5)$$

де h_1 і h_2 – потужність порід міжпласття при під- і надробці відповідно, м.

8. За значеннями показника K визначають ефективність захисної дії – категорію захисту із співвідношень:

$K \geq 1$ – захист вважається ефективним, пласт розробляють без прогнозу небезпеки і заходів щодо запобігання ГДЯ;

$0 < K < 1$ – захист неефективний, пласт розробляють з оцінкою і контролем ефективності захисної дії згідно [3];

$K < 0$ – захист відсутній, пласт розробляють як одиночний.

Розглянутий існуючий спосіб розрахунку ефективності захисної дії, основу якого складають наукові уявлення, наведені в роботах [3, 6], має наступні недоліки [12]:

1. Не враховується характеристика пластів, що захищаються (підзахисних).

2. Не враховуються потужність і властивості міцності пісковиків, які змінюються у великих межах. Так, межа міцності на одновісне стиснення пісковиків змінюється від 4 до 18 МПа [13-15, 22-24].

3. Не враховується розташування пластів пісковиків відносно захисного пласта, хоча з практики відомо, що пісковик, розташований ближче до захисного пласта, надає сильнішу екрануючу дію на ефективність захисту, ніж пісковик, більш віддалений від пласта [12].

4. Не враховуються потужність, міцність і розташування щодо захисного пласта інших видів порід, крім пісковика, міцність яких може перевищувати міцність останнього.

5. При розрахунку дальності захисної дії не враховується кут падіння порід. Тим часом, розробка вугільних пластів показує, що ефективність захисту на крутих пластах нижче, ніж на пологих, при інших рівних умовах.

6. Вплив порід міжпласття на ефективність захисту, як уже вказувалося, враховується тільки їх загальною потужністю і вмістом в них пісковиків. З теорії і практики захисного відпрацювання відомо, що ефект захисту полягає у розвантаженні і дегазації порід міжпласття. Ефективність розвантаження і дегазації найбільш об'єктивно може бути оцінена величинами зсувів (деформацій) порід. Цього діючий метод розрахунку ефективності захисту не передбачає [15-17].

7. Не враховується вплив газового фактора на захисну дію, хоча загально-визнано, що газ є одним з основних, а для раптових викидів вугілля і газу – вирішальним фактором розв'язання ГДЯ [24, 26].

Перераховані недоліки призводять, в одних умовах, до завищення розрахункової дальності захисної дії, і в захищених зонах відзначаються випадки реалізації ГДЯ (помилки I роду); в інших умовах, навпаки, дальність захисної дії виявляється заниженою (помилки II роду) і на шахтах виконується невіправдано завищений обсяг профілактичних заходів з боротьби із ГДЯ – прогноз небезпеки, способи запобігання і т.п. Тому очевидна необхідність уточнення методики оцінки ефективності випереджаючого захисту пластів, схильних до ГДЯ, яка і розглядається в даній статті.

3. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка методології і уточнення методики оцінки ефективності випереджаючого захисту пластів, схильних до ГДЯ.

4. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Оцінка ефективності захисної дії випереджаючої над- і підробки пластів, схильних до ГДЯ, визначається графічно або аналітично з використанням параметра k через систему головних компонент F_1 і F_2 . Залежно від виду геомеханічного впливу надробки або підробки і виду ГДЯ, до якого схильні підзахисні пласти, можуть бути приведені математичні моделі визначення їх категорії захисту [12]. У науковому відкритті [12] розглянуті категорії захисту від таких явищ, як раптові викиди вугілля і газу в разі надробки, раптові видавлювання вугілля і гірські удари у разі надробки, раптові обвалення вугілля у разі надробки, раптові викиди вугілля та газу у разі підробки, раптові видавлювання вугілля і гірські удари у разі підробки та раптові обвалення вугілля у разі підробки.

Сутність наукового відкриття [12] полягає у тому, що вугільні пласти, що захищаються від ГДЯ, самі мають властивість формувати захисну дію випереджаючої розробки за рахунок активізації процесу розвантаження пласта при його розробці, обумовлену потужністю пласта, що захищається, його сорбційними властивостями і залишковою газонасністю, структурою і ступенем метаморфізму, а також впливом пласта на деформації порід поблизу нього з урахуванням зменшення екрануючої дії міцних шарів порід міжпласття і характеристик всіх прилеглих шарів, що вміщує вуглепородний масив, включаючи їх потужність, міцність, вологість і взаємне положення.

Таким чином, в [12, 17] встановлено, що формування захисних властивостей за випереджаючої розробки вугільних пластів здійснюється фізичною системою «захисний пласт – породи міжпласття – сам пласт, що захищається (підзахисний)».

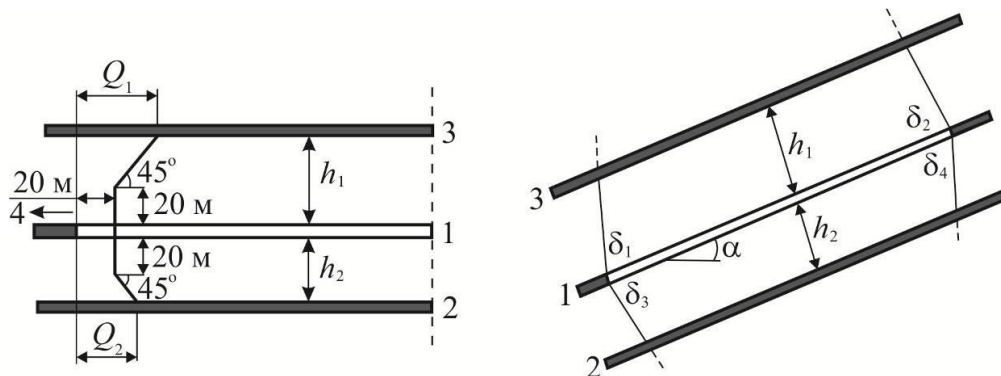
Наступні показники грають роль впливаючих факторів в захисній системі:

- виймальна потужність пласта m ;
- кількість пачок n , що складають пласт;
- вихід летких речовин V^{laf} , що характеризує ступінь метаморфізму вугілля, за допомогою якого обчислюють показник ступеня метаморфізму KV ;
- сорбційні властивості вугілля і природна газонасність пласта X_y , що використовується як окремий впливаючий фактор, а також для розрахунку залишкової газонасності вугілля X'_0 ;

– вміст води W і вміст золи A^c , що використовується для розрахунку залишкової газонасності вугілля [17].

Ці фактори виявлені методами математичної статистики як ті, які істотно впливають на ефективність захисної розробки вугільних пластів [15].

Межі захищених зон по лініях простягання і падіння (підняття) для пластів з ефективним і неефективним захистом будують по кутах захисту (рис. 1, 2), що визначаються відповідно до вимог [3].



1 – захисний пласт;
 2, 3 – підзахисні пласти;
 4 – напрямок посування. очисного вибою

Рисунок 1. Схема побудови меж захищеної зони по лініях простягання (а) і падіння (б) в разі відпрацювання захисного пласта стовпами по простяганню

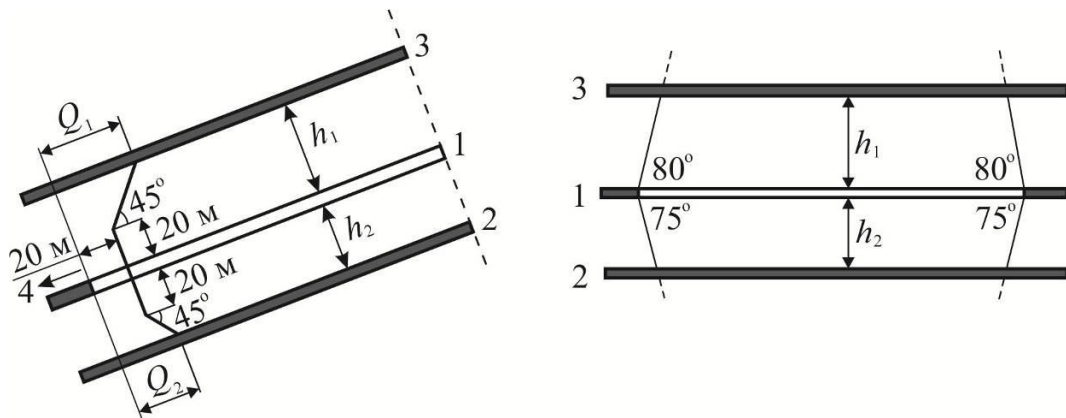


Рисунок 2. Схема побудови меж захищеної зони по лініях простягання і падіння в разі відпрацювання захисного пласта стовпами по падінню (позначення на рис. 1)

Категорію захисту над- і підроблених зон підвищеного гірського тиску (ПГТ) визначають наступним чином: [9-11, 18-21]:

- розраховують категорію випереджаючого захисту ділянки пласта зоною (зонами) ПГД по математичній моделі, розробленій без урахування цих зон;
- визначають категорію небезпеки ділянки із зоною (зонами) ПГТ без обліку геомеханічного впливу над- або підробки;
- визначають категорію випереджаючого захисту ділянки пласта з над- або підробленими зонами ПГТ, згідно наступним правилам: при категорії «відсутність захисту» або «неефективний захист», отриманій за моделлю, ділянку з

зонами ПГТ вважають незахищеною; при категорії «ефективний захист», отриманій за моделлю, ділянку з зонами ПГТ вважають неефективно захищеною.

Для пластів, надроблених пластами з ефективною потужністю менш, ніж 0,5 м, захист слід вважати неефективним. А за випереджаючої надробки захист викидонебезпечних пластів при потужності міжпласття менше 22 м слід вважати ефективним.

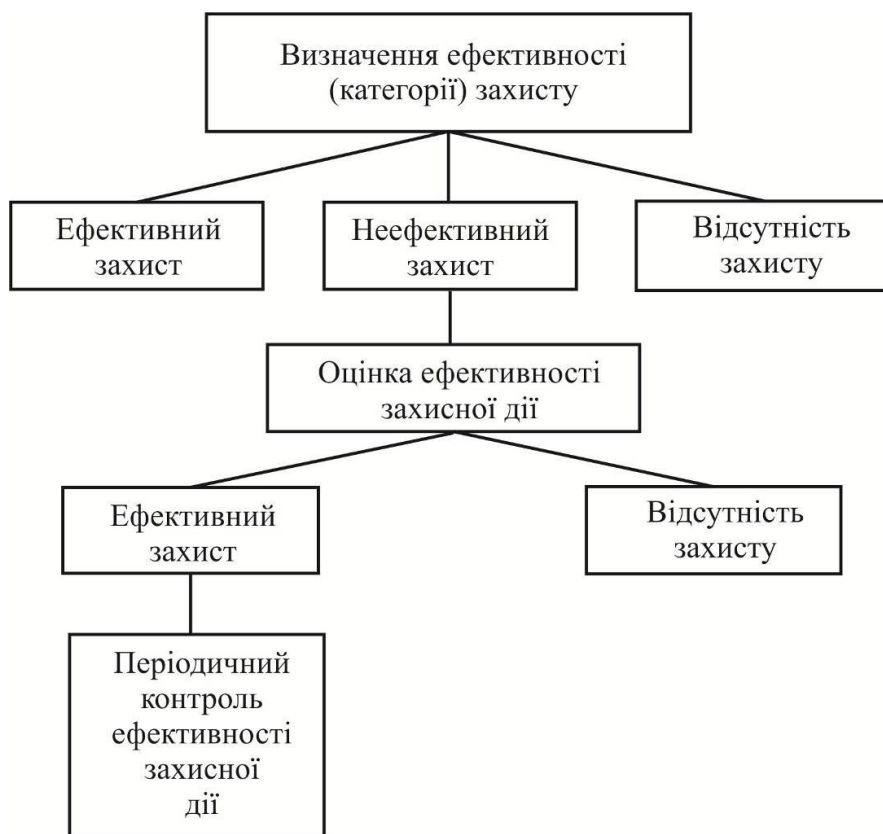


Рисунок 3. Порядок визначення ефективності захисної дії за випереджаючої розробки

Математична модель визначення ефективності випереджаючої розробки пластів стосовно реалізації раптових викидів вугілля і газу при над- і підробці (моделі ВН і ВП відповідно). Модель містить в собі: систему рівнянь для визначення величин головних компонент F_1 і F_2 , а також графік визначення категорії захисту: ЕЗ – ефективний захист, НЗ – неефективний захист, ВЗ – відсутність захисту (рис. 4).

За цією моделлю, ефективність захисної дії, тобто категорію захисту, випереджаючої над- і підробки пластів, схильних до ГДЯ, слід визначати графічно або аналітично. У першому випадку визначають величини головних компонент F_1 і F_2 з рівняння (6). Значення головних компонент F_1 і F_2 наносять на графіки (рис. 4) і по їх положенню визначають ефективність (категорію) захисної дії.

Система рівнянь для визначення головних компонент має наступний вигляд:

$$\begin{cases} F_1 = -0,7330 - 1,725 \ln(m_y) - 0,313 \ln(\varepsilon) + \\ \quad + 0,2955 \cdot 10^{-1} m - 0,159 \cdot 10^{-1} KV + 0,231 \cdot 10^{-2} X_0', \\ F_2 = -0,9646 - 0,838 \ln(m_y) + 0,751 \ln(\varepsilon) + \\ \quad + 0,7285 \cdot 10^{-1} m + 2,052 \cdot 10^{-1} KV - 0,236 \cdot 10^{-1} X_0'. \end{cases} \quad (6)$$

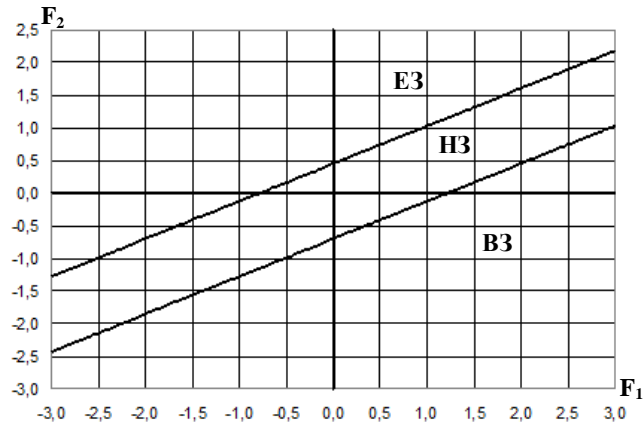


Рисунок 4. Графік визначення категорій захисту для моделі ВН

Параметр k визначають за рівнянням:

$$k = 1,9F_1 - 3,3F_2. \quad (7)$$

Критичні значення параметра k для визначення категорій захисту:

$$\begin{cases} k < -1,5 & \text{— категорія ЕЗ} \\ -1,5 \leq k \leq 2,3 & \text{— категорія НЗ} \\ k > 2,3 & \text{— категорія ВЗ} \end{cases} \quad (8)$$

У зонах, виявлених під час оцінки ефективності захисної дії як незахищені, слід застосовувати прогноз небезпеки по ГДЯ, а у незахищених зонах, виявлених прогнозом, — способи їх попередження. На ділянках пластів, на яких в результаті оцінки ефективності захисної дії встановлено наявність ефективного захисту, гірничі роботи в подальшому слід проводити з періодичним контролем ефективності захисної дії [17]. Контроль ефективності захисної дії слід здійснювати по виходу бурового дріб'язку і початковій швидкості газовиділення при бурінні контрольних шпурів відповідно до вимог [3] або сейсмоакустичним способом згідно [2]. Крім того, при виконанні оцінки контролю ефективності захисної дії випереджаючої розробки пластів допускається замість вимірювання початкової швидкості газовиділення і виходу бурового дріб'язку використовувати сорбційні показники, відповідно до методики, наведеної в роботах [3, 10, 24].

При цьому, слід враховувати, що величина допустимого мінімального випередження очисного вибою захисного пласта гірничих робіт на підзахисному пласті дорівнює відстані між пластами по нормалі, але у всіх випадках не менше 20 м. За межу очисної виробки захисного пласта слід брати найбільш віддалену ділянку вибою, а за межу вироблення підзахисного пласта – найбільш передову ділянку гірничих робіт [12].

Оцінку і контроль ефективності розробки захисних пластів в даний час, проводить служба прогнозу шахти за узгодженням з ІГТМ НАН України. Всі види робіт, пов'язаних з випереджаючою розробкою захисних пластів, здійснюються з дотриманням правил безпеки [3, 4]. Таким чином, виконується оцінка ефективності розробки захисних пластів.

5. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Залежність для визначення умовної відстані від i -го шару до підшви захисного пласта може бути виведена з міркувань, що величина деформації i -го шару визначається як для однорідного масиву. Розрахунок за умовною відстанню до захисного пласта можна вважати розрахунком однорідного масиву, оскільки шари з різними коефіцієнтами міцності приводяться до одного шару з одним коефіцієнтом міцності.

Отже,

$$\varepsilon_{i-1} = \exp \left(-1,006 + 0,364 \ln \frac{\gamma H \cos \alpha}{0,1\sigma_{c,i-1}} - 0,692 \ln \frac{h_{i-1}}{am_e} \right). \quad (9)$$

Величини α , a і H при розрахунку деформацій в даних умовах залишаються постійними. Величина h_{i-1} визначається з виразу (10):

$$h_{i-1} = am_e \exp \left(\frac{-1,006 + 0,364 \ln \frac{\gamma H \cos \alpha}{0,1\sigma_{c,i-1}} - \ln \varepsilon_{i-1}}{0,692} \right). \quad (10)$$

Для i -го шару порід відстань h_{i-1} замінюється еквівалентною відстанню з коефіцієнтом міцності f_i , отже,

$$h_i' = am_e \exp \left(\frac{-1,006 + 0,364 \ln \frac{\gamma H \cos \alpha}{0,1\sigma_{c,i}} - \ln \varepsilon_{i-1}}{0,692} \right), \quad h_i' \geq 0. \quad (11)$$

За формулою (9) можна зробити розрахунок деформації i -го шару порід. При цьому, оскільки деформація розраховується на рівні підшви шару, обчислюється розрахункова відстань до захисного пласта з виразу

$$h_i = h_i' + m_i, \quad (12)$$

де m_i – потужність i -го шару порід.

Таким чином,

$$\varepsilon_i = \exp \left(-1,006 + 0,364 \ln \frac{\gamma H \cos \alpha}{0,1 \sigma_{c,i}} - 0,692 \ln \frac{h_i}{a m_e} \right). \quad (13)$$

Аналогічним чином відбувається деформування підроблюваних порід міжпластя. Відмінність полягає в тому, що при підробці необхідно враховувати взаємодію породних шарів. Шари меншої міцності, розташовані на більшій відстані від пласта, можуть вплинути на деформування шарів з більшою міцністю, що розташовані ближче до захисного пласта, якщо останні мають недостатню потужність.

Узагальнюючи вищевикладене, сформулюємо порядок визначення величини відносної деформації надробленого і підробленого шаруватого масиву на рівні підзахисного пласта (при міцності порід $\sigma_c = 5 \dots 140$ МПа):

1. При підробці аналізують співвідношення потужності і міцності породних шарів міжпластя відповідно до схем, наведених у табл. 1.

Таблиця 1. Схеми розрахунку деформацій шаруватого масиву порід при підробці

№ схеми	Співвідношення міцності сусідніх шарів	Міцність шарів, м	Розрахункова схема
1	$\sigma_{c,i+1} > \sigma_{c,i}$	будь-яка	Шари вважаються самостійними
2	$\sigma_{c,i+1} < \sigma_{c,i}$	$h_i > 10$	Шари вважаються самостійними
3	$\sigma_{c,i+1} < \sigma_{c,i}$	$h_i < 10$	Шари об'єднують, визначаючи міцність і потужність шарів відповідно за формулами: $h_{i+(i+1)} = h_i + h_{i+1}$ $\sigma_{c,i+(i+1)} = (\sigma_{c,i} h_i + \sigma_{c,i+1} h_{i+1}) / (h_i + h_{i+1})$

При співвідношеннях, відповідних схемам 1 і 2, шари при розрахунку вважають самостійними. При схемі 3 – сусідні шари об'єднують, вважаючи об'єднані шари самостійними, знову виконують наведений аналіз. Об'єднання виконують до того часу, поки співвідношення міцності і потужності сусідніх шарів не будуть відповідати схемам 1 або 2.

2. У разі надробки шари вважають самостійними.

3. Розраховують деформацію першого шару (рахунок шарів виконують в напрямку від захисних пластів до тих, що захищаються). Величини a , H , a , m_e при розрахунку залишаються постійними.

4. Для кожного наступного шару знаходять умовну відстань h_i' від покрівлі (при надробці) за формулою (11) або підошви (при підробці) даного шару до захисного шару за формулою:

$$h_i' = am_e \exp \left(\frac{2,359 + 1,128 \ln \frac{\gamma H \cos \alpha}{\sigma_{c,i}} - \ln \varepsilon_{i-1}}{0,591} \right). \quad (14)$$

5. Визначають розрахункову відстань h_i від підшви (при надробці) або покрівлі (при підробці) i -го шару до захисного шару по формулі:

$$h_i = h_i' + m_{c,i}. \quad (15)$$

6. Розраховують деформацію i -го шару за формулами (9) і (10), використовуючи відповідні значення h_i і $\sigma_{c,i}$.

7. Розрахунок завершують на рівні пласта, що захищається з урахуванням його потужності або при $\varepsilon \leq 0,001$.

Розрахунок залишкової газоносності X'_0 пласта, що захищається, виконують за відомими методиками [24, 27] в залежності від ступеня його метаморфізму, вмісту в ньому золи і вологи, характеристики захисного пласта.

Наведемо приклад виконання оцінки ефективності захисної дії. Табл. 2 містить інформацію, яка необхідна для розрахунку [22, 23, 26, 27]. Дані про склад порід міжпласття, потужність і міцність порід наведені у табл. 3.

Таблиця 2. Вихідні дані для розрахунку ефективності захисної дії надробки пласта k_8 пластом l_1 в умовах шахти А.Ф. Засядка

Найменування характеристик і показників	Величина характеристик і показників	
	захисного	підзахисного
Індекс	l_1	k_8
Категорія небезпеки по викидам	небезпечний	небезпечний
Потужність, що виймається, м	1,8	0,9
Кількість пачок	–	1
Спосіб управління покрівлею	Повне обвалення	
Глибина залягання, м	882	–
Кут падіння, град.	10,0	–
Ширина виробленого простору, м	більш 250	–
Наявність геологічних порушень	–	немає
Вихід летких, %	–	30,0
Природня газоносність, м ³ /т.с.б.м.	–	20,0
Вміст вологи, %	–	1,6
Вміст пластової золи, %	–	11,0

Таблиця 3. Вихідні дані і результати розрахунку деформацій міжпласття $l_1 - k_8$

Найменування порід	Міцність порід, м	Міцність на одиницій, МПа	Фактична відстань до пласта, м	Відстань до пласта, м		Деформація, %
				умовна	розрахункова	
Сланець піщаний	12,2	60	12,2	–	12,2	7,091
Пісковик	19,5	80	31,7	10,487	29,987	3,427
Сланець глинистий	5,0	50	36,7	38,397	43,397	3,149
Вапняк	3,0	90	39,7	31,856	34,856	2,959
Сланець глинистий	2,0	50	41,7	47,484	49,484	2,875
Вугільний пласт k_8	0,9	10	42,6	115,38	116,280	2,860
Разом	42,6					

Результати розрахунку, наведені у табл. 4, дозволяють зробити висновок, що захист в розглянутих умовах ефективний.

Таблиця 4. Результати розрахунку ефективності захисної дії за розробленим способом

Найменування показників	Величина показників
Ефективна потужність пласта m_e пласта l_1 , м	1,8
Показник, що враховує вплив виходу летких речовин KV	0,767
Відносна деформація $\varepsilon \cdot 10^3$	2,860
Головна компонента F_1	-2,031
Головна компонента F_2	0,664
Область належності точки (рис. 1)	ЕЗ
Висновок про ефективність захисту	Захист ефективний

За результатами гірничо-експериментальних робіт зроблено висновок, що розрахунок ефективності захисної дії, виконаний запропонованим способом з використанням захисних властивостей пласта, що захищається, є більш ефективним у порівнянні з раніше діючим нормативним способом. Так, пласт k_8 під захистом пласта l_1 відпрацьовується протягом тривалого періоду (понад 10 років) без прогнозу небезпеки і профілактичних заходів.

Таким чином, з представлених даних видно, що розроблений спосіб визначення ефективності захисної дії більш точно визначає ступінь захисту при надробці в порівнянні з нормативним, що підтверджується експериментальними даними і досвідом розробки пластів.

6. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Проаналізуємо отримані закономірності з метою встановлення адекватності відображення ними геомеханічних і фізичних процесів, що відбуваються в гірничому масиві за випереджаючої розробки захисних пластів. Процес деформування гірничого масиву за випереджаючої надробки або підробки знає три стадії: 1 – стиснення (зона ПГТ), 2 – розтягнення (зона розвантаження) і 3 – повторного стиснення (зона відновлення навантажень). Зона ПГТ відіграє негативну роль за випереджаючої розробки і тут не розглядається.

У зоні розтягнення в максимальному ступені проявляється ефект розвантаження, дегазації підзахисного пласта. Протяжність цієї зони від 100 до 300 м. Більшість надроблених і підроблених виробок (при достатньому розвитку гірничих робіт і безціликовому вийманні, поширеному в останні роки) розташовується в зоні відновлення навантажень. Внаслідок дегазації, що відбулася в цій зоні, навіть при відновленні початкових навантажень, прояв раптових викидів вугілля і газу виключається. У зоні відновлення навантажень можливе виникнення ГДЯ негазового типу.

Оскільки основними факторами, що формують захисну дію, є відносна деформація порід міжпласття і ефективна потужність захисного пласта, то зі збільшенням, як ефективної потужності захисного шару, так і величини відносної деформації порід міжпласття, ефективність захисної дії (ефект розвантаження) зростає.

Багато пластів, що захищаються, працюють в умовах повного або часткового обвалення (так назвемо умови, коли один з розмірів захисної лави не досягає критичного рівня відновлення навантажень). Процес відновлення навантажень триває довгий час, якщо врахувати, що тільки при відпрацюванні другого горизонту (ярусу) розмір виробленого простору досягає критичного. Оскільки об'єкти, що захищаються починають працювати в зоні відновлення навантажень у різний час (від декількох місяців до 30 років), вплив факторів, що формують захисну дію, в цих умовах проявляється по-різному.

Слід зазначити, що у більшості умов ГДЯ ініціюються однією, як правило, найбільш порушеною, пачкою вугілля. При підробці інтенсивність порушеності пласта вище, ніж при надробці (за інших рівних умов), тому вища ймовірність того, що слабкі пачки отримують додаткове руйнування, знижуючи тим самим ефект захисної дії.

Потужність підзахисного пласта, який виймається; кількість пачок, що складають підзахисний пласт; відносна потужність порід міжпласття при збільшенні своїх значень зменшують ефект захисту.

Ступінь метаморфізму грає істотну роль у формуванні захисної дії лише на викидонебезпечних пластах при їх надробці, що відображає тісний зв'язок показника ступеня метаморфізму з газоносністю пласта, а газовий фактор, як відомо, має суттєвий вплив на виникнення раптових викидів вугілля і газу. При цьому максимум газоносності пластів збігається з максимальною частотою викидів. При підробці пластів внаслідок їх кращої дегазації в порівнянні з надробкою вплив газового фактора і, отже, ступеня метаморфізму вугілля – знижується.

Збільшення потужності пласта, що захищається, підвищує ймовірність раптового викиду вугілля і газу і, отже, зменшує ефект захисту при інших рівних умовах. Підвищена залишкова газоносність пласта, що захищається, свідчить про недостатність його дегазації і, отже, веде до зменшення ефективності захисту.

В результаті виконаних досліджень, встановлена також здатність пластів, що захищаються, формувати захисну дію випереджаючої розробки. Їх показники відіграють істотну роль в процесі формування захисної дії випереджаючої розробки фізичної системи «захисний пласт – породи міжпластя – пласт, що захищається».

Слід зазначити, що подібний приклад позитивного досвіду безпечного проведення виробки прохідницьким комбайном змішаним вибоєм по викидонебезпечному пісковіку під захистом був отриманий в умовах шахти «Краснолиманська» [25].

7. ВИСНОВКИ

1. Встановлена властивість вугільних пластів, що захищаються від газодинамічних явищ, формувати захисну дію випереджаючої розробки показала, що процес формування захисної дії здійснюється фізичною системою «захисний пласт – міжпластя – пласт, що захищається». Вона формується за рахунок активізації процесу розвантаження пласта при його розробці, обумовленого потужністю пласта, що захищається, його сорбційними властивостями і залишковою газоносністю, структурою і ступенем метаморфізму, а також впливом пласта на деформації порід поблизу нього з урахуванням зменшення екрануючої дії міцних шарів порід міжпластя і характеристик всіх прилеглих шарів, що вміщує вуглепородний масив, включаючи їх потужність, міцність, вологість і взаємне положення.

2. Запропонована методологія дозволить більш об'єктивно визначати ефективність випереджаючої розробки пластів для запобігання ГДЯ, виключивши помилки I роду, тобто коли ГДЯ відбуваються в ефективно захищених зонах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Минеев С.П., Рубинский А.А., Витушко О.В., Радченко А.Г. (2010). *Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах*. Донецк: Східний видавничий дім, 604 с.
2. Минеев С.П. (2016). *Прогноз и способы борьбы с газодинамическими явлениями на шахтах Украины*. Мариуполь: Восточный издательский дом, 258 с.
3. *Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: СОУ 10.1.00174088.011:2005*. (2005). Київ: Мінвуглепром України, 191 с.
4. *Правила безпеки у вугільних шахтах*. (2010). Харків: Форт, 248 с.
5. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт: ДНАОП 1.1.30-6.09.93*. (1994). Київ: Основа, 312 с.
6. Петухов И.М., Линьков А.М., Фельдман И.А. (1972). *Защитные пласты*. М.: Недра, 424 с.

7. Петухов И.М., Линьков А.М., В.С. Сидоров, Фельдман И.А. (1976). *Теория защитных пластов*. М.: Недра, 1976. – 224 с.
8. *Теоретическое обоснование использования защитных пластов*. (1979). Л.: ВНИМИ, 136 с.
9. Канин В.А., Ходырев Е.Д., Галемский П.В. (2012). Опережающая разработка защитных пластов для предотвращения выбросов песчаника при проведении подготовительных выработок. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*, №11, 239–250.
10. Коптиков В.П., Бокий Б.В., Минеев С.П., Никифоров А.В. (2016). *Совершенствование способов и средств безопасной разработки угольных пластов, склонных к газодинамическим явлениям*. Донецк: Проминь, 480 с.
11. Ходырев Е.Д. (2010). Построение зон ПГД на угольных пластах с учётом изменения горнотехнических факторов. *Наукові праці УкрНДІ НАН України*, №7, 64–75.
12. Брюханов А.М., Коптиков В.П., Минеев С.П. и др. (2014). Научное открытие №443. Свойство защищаемого угольного пласта формировать защитное действие от газодинамических проявлений при его опережающей разработке. *Научные открытия – 2013. Сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез*. М.: РВЕН, 19–21.
13. Брюханов А.М., Коптиков В.П., Евдокимова В.П., Анцыферов А.В., Южанин И.А., Минеев С.П., Бокий Б.В. (2009). Свойство защищаемых от газодинамических явлений угольного пласта формировать защитное действие опережающей разработки. *Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання: матеріали 1^{ої} Міжнар. конф. 30.09-03.10.2009*. Дніпропетровськ: НГУ, 22–29.
14. Анцыферов А.В., Ходырев Д.И., Канин В.А. (2002). Эффективность использования защитных пластов для предотвращения газодинамических явлений. *Уголь Украины*, №11, 10–12.
15. Евдокимова В.П., Коптиков В.П., Южанин И.А. (2007) *Статистический способ определения эффективности защитного действия опережающей разработки выбросоопасных пластов*. Донецк: Вебер, 443 с.
16. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Дубовик А.И. (2017). *Геомеханические процессы сдвижения подработанных пород и обоснование методики прогноза газовой выделения в угольных пластах*. Лисичанск: ДонГТУ, 298 с.
17. Брюханов А.М., Коптиков В.П., Евдокимова В.П., Анцыферов А.В., Южанин И.А., Минеев С.П., Бокий Б.В. (2011). Расчет эффективности защитного действия опережающей разработки с учетом характеристики подзащитного пласта. *Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. научн. тр. МакНННН*. Вып. 2(28), 5–21.
18. Навичихин И.А. Кулешов В.М., Зайцев Ю.А. (1997). *Использование защитных пластов на шахтах Донбасса*. Донецк: Донбасс, 71с.
19. Мхатвари Т.Я. (1987). Оценка степени защищенности крутых выбросоопасных пластов при их опережающей наработке. *Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб.*, вып. 77. – К.: Техника, 55–61.
20. Иофис М.А. (1985). *Инженерная геомеханика при подземных разработках*. М.: Недра, 248с.
21. Генкин В.А., Калинин Ю.К., Никифоров Н.А., Агранат О.И. (1974). Установление границ зон разгрузки и защищенных зон при разработке защитных пластов на шахтах Центрального района Донбасса. *Горное давление и горные удары: Сб. науч. тр. ВНИМИ. Л.*, №91, 242–246.
22. Минеев С.П. (2009). *Свойства газонасыщенного угля*. Днепропетровск: НГУ, 220 с.

23. Мельникова Н.В., Ржевский В.В., Протодяконова М.М. (1975). *Справочник (кадастр) физических свойств горных пород*. М.: Недра, 280 с.
24. Минеев С.П., Прусова А.А., Корнилов М.Г. (2007). *Активация десорбции метана в угольных пластах*. Днепропетровск: Вебер, 252 с.
25. Минеев С.П., Ильющенко А.В., Вострецов Н.А., Медведев В.В., Волосецкий К.И. (2018). *Вскрытие выбросоопасных угольных пластов проходческими комбайнами*. Днепр: ФЛП Халиков, 136 с.
26. Клец А.П., Бокий Б.В., Филимонов П.Е. (2013). Прогноз метановыделения из подработанных пород в выработки выемочного участка. *Уголь Украины*, №8, 47–50.
27. *Методика определения природной газоносности угольных пластов действующих и строящихся шахт Донбасса* (1981). Макеевка: МакНИИ, 83 с.

REFERENCES

1. Mineyev S.P., Rubinskiy A.A., Vitushko O.V., Radchenko A.G. (2010). *Gornyye raboty v slozhnykh usloviyakh na vybrosoopasnykh ugol'nykh plastakh*. Donetsk: Skhidniy vidavnicхий dím, 604 s.
2. Mineyev S.P. (2016). *Prognoz i sposoby bor'by s gazodinamicheskimi yavleniyami na shakhtakh Ukrainy*. Mariupol': Vostochnyy izdatel'skiy dom, 258 s.
3. *Pravila vedeniya gornyykh robot na plastakh, sklonnykh k gazodinamicheskim yavleniyam: SOU 10.1.00174088.011:2005*. (2005). Kiïv: Mïnvugleprom Ukraïni, 191 s.
4. *Pravyla bezpeky u vuhil'nykh shakhtakh*. (2010). Kharkiv: Fort, 248 s.
5. *Rukovodstvo po proyektirovaniyu ventilyatsii ugol'nykh shakht: DNAOP 1.1.30-6.09.93*. (1994). Kiïv: Osnova, 312 s.
6. Petukhov I.M., Lin'kov A.M., Fel'dman I.A. (1972). *Zashchitnyye plasty*. M.: Nedra, 424 s.
7. Petukhov I.M., Lin'kov A.M., V.S. Sidorov, Fel'dman I.A. (1976). *Teoriya zashchitnykh plastov*. M.: Nedra, 1976. – 224 s.
8. *Teoreticheskoye obosnovaniye ispol'zovaniya zashchitnykh plastov*. (1979). VNIMI: L., 136 s.
9. Kanin V.A., Khodyrev Ye.D., Galem'skiy P.V. (2012). Operezhayushchaya razrabotka zashchitnykh plastov dlya predotvrashcheniya vybrosov peschanika pri pro-vedenii podgotovitel'nykh vyrabotok. *Naukovï pratsï UkrNDMï NAN Ukraïni*, №11, 239–250.
10. Koptikov V.P., Bokiy B.V., Mineyev S.P., Nikiforov A.V. (2016). *Sovershenstvovaniye sposobov i sredstv bezopasnoy razrabotki ugol'nykh plastov, sklonnykh k gazodinamicheskim yavleniyam*. Donetsk: Promin', 480 s.
11. Khodyrev Ye.D. (2010). Postroyeniye zon PGD na ugol'nykh plastakh s uchotom izmeneniya gornotekhnicheskikh faktorov. *Naukovï pratsï UkrNDI NAN Ukraïni*, №7, 64–75.
12. Bryukhanov A.M., Koptikov V.P., Mineyev S.P. i dr. (2014). Nauchnoye otkrytiye №443. Svoystvo zashchishchayemogo ugol'nogo plasta formirovat' zashchitnoye deystviye ot gazodinamicheskikh proyavleniy pri yego operezhayushchey razrabotke. *Nauchnyye otkrytiya – 2013. Sbornik kratkikh opisaniy nauch-nykh otkrytiy, nauchnykh idey, nauchnykh gipotez*. M.: RVEN, 19–21.
13. Bryukhanov A.M., Koptikov V.P., Yevdokimova V.P., Antsyferov A.V., Yuzhanin I.A., Mineyev S.P., Bokiy B.V. (2009). Svoystvo zashchishchayemykh ot gazodinamicheskikh yavleniy ugol'nogo plasta formirovat' zashchitnoye deystviye operezhayushchey razrabotki. *Pidzemni katastrofi: modeli, prognoz, zapobigannya: materialy Ioy Mïzhnar. konf. 30.09–03.10.2009*. Dnïpropetrovs'k: NGU, 22–29.

14. Antsyferov A.V., Khodyrev D.I., Kanin V.A. (2002). Effektivnost' ispol'zovaniya zashchitnykh plastov dlya predotvrashcheniya gazodinamicheskikh yavleniy. *Ugol' Ukrainy*, №11, 10–12.

15. Yevdokimova V.P., Koptikov V.P., Yuzhanin I.A. (2007) *Statisticheskiy sposob opredeleniya effektivnosti zashchitnogo deystviya operezhayushchey razrabotki vybrosoopasnykh plastov*. Donetsk: Veber, 443 s.

16. Filat'yev M.V., Antoshchenko N.I., Dubovik A.I. (2017). *Geomekhaniche-skiye protsessy sdvizheniya podrobotannykh porod i obosnovaniye metodiki prognoza gazovydeleniya v ugol'nykh plastakh*. Lisichansk: DonGTU, 298 s.

17. Bryukhanov A.M., Koptikov V.P., Yevdokimova V.P., Antsyferov A.V., Yuzhanin I.A., Mineyev S.P., Boki V.V. (2011). Raschet effektivnosti zashchitnogo deystviya operezhayushchey razrabotki s uchetom kharakteristiki podzashchitnogo plasta. *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnykh i zdorovykh usloviy truda v ugol'nykh shakhtakh: Sb. nauchn. tr. MakNII*. Vyp. 2(28), 5–21.

18. Navichikhin I.A. Kuleshov V.M., Zaytsev YU.A. (1997). *Ispol'zovaniye zashchitnykh plastov na shakhtakh Donbassa*. Donetsk: Donbass, 71 s.

19. Mkhartvari T.YA. (1987). Otsenka stepeni zashchishchennosti krutykh vybrosoopasnykh plastov pri ikh operezhayushchey nadrobotke. *Razrabotka mestoro-zhdeniy poleznykh iskopayemykh: Resp. mezhd. nauch.-tekhn. sb.*, vyp. 77. – K.: Tekhnika, 5–61.

20. Iofis M.A. (1985). *Inzhenernaya geomekhanika pri podzemnykh razrabotkakh*. M.: Nedra, 248s.

21. Genkin V.A., Kalinin YU.K., Nikiforov N.A., Agranat O.I. (1974). Ustanovleniye granits zon razgruzki i zashchishchennykh zon pri razrabotke zashchitnykh plastov na shakhtakh Tsentral'nogo rayona Donbassa. *Gornoye davleniye i gornyye udary: Sb. nauch. tr. VNIMI. L.*, №91, 242–246.

22. Mineyev S.P. (2009). *Svoystva gazonasyschennogo uglya*. Dnepropetrovsk: NGU, 220 s.

23. Mel'nikova N.V., Rzhavskiy V.V., Protod'yakonova M.M. *Spravochnik (kadastr) fizicheskikh svoystv gornykh porod*. M.: Nedra, 280 s.

24. Mineyev S.P., Prusova A.A., Kornilov M.G. (2007). *Aktivatsiya desorbtsii metana v ugol'nykh plastakh*. Dnepropetrovsk: Veber, 252 s.

25. Mineyev S.P., Il'yushchenko A.V., Vostretsov N.A., Medvedev V.V., Volosetskiy K.I. (2018). *Vskrytiye vybrosoopasnykh ugol'nykh plastov prokhodcheskimi kombaynami*. Dnepr: FLP Khalikov, 136 s.

26. Klets A.P., Boki V.V., Filimonov P.Ye. (2013). Prognoz metanovyde-leniya iz podrobotannykh porod v vyrabotki vvyemochnoyu uchastka. *Ugol' Ukrainy*, №8, 47–50.

27. *Metodika opredeleniya prirodnoy gazonosnosti ugol'nykh plastov deystvuyushchikh i stroyashchikhsya shakht Donbassa* (1981). Makeyevka: MakNII, 83 s.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Розробка методології і уточнення методики оцінки ефективності випереджаючого захисту пластів, схильних до ГДЯ.

Методика. При відпрацюванні викиднебезпечних вугільних пластів використовується нормативна база з прогнозу і боротьби з газодинамічними явищами (ГДЯ). Найбільш ефективним вважається спосіб повного захисту вугільного пласта, що відпрацьовується. Захисна дія випереджаючої розробки вугільних пластів для запобігання ГДЯ на пластах, що захищаються, визнача-

ється тільки характеристиками захисного шару і порід міжпластя. На підставі цих положень розроблені нормативні документи, які регламентують питання захисної розробки.

Сутність нормативного методу визначення ефективності захисної дії полягає в наступному. Залежно від глибини розробки і ширини виробленого простору захисного шару знаходять нормативну дальність захисної дії при над- і підробці. Нормативну дальність коректують з урахуванням критичної потужності захисного шару і загального змісту пісковиків в породах міжпластя. Визначену таким чином розрахункову дальність захисної дії зіставляють з фактичною потужністю порід міжпластя і обчислюють показник ефективності захисної дії, за величиною якого визначають категорію захисту.

Наукова новизна. Встановлена властивість вугільних пластів, які захищаються від газодинамічних явищ, формувати захисну дію випереджаючої розробки показало, що процес формування захисної дії здійснюється фізичною системою «захисний пласт – міжпластя – пласт, що захищається». Останнє формується за рахунок активізації процесу розвантаження пласта при його розробці, обумовленого потужністю пласта, що захищається, його сорбційними властивостями і залишковою газоносністю, структурою, ступенем метаморфізму тощо.

Практична значимість. Запропонована методологія дозволить більш об'єктивно визначати ефективність випереджаючої розробки пластів для запобігання ГДЯ, виключивши помилки I роду, тобто коли ГДЯ відбуваються в ефективно захищених зонах.

Ключові слова: контроль ефективності, захисний шар, неефективний захист, пласт, що захищається, породи міжпластя

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Разработка методологии и уточнение методики оценки эффективности опережающей защиты пластов, склонных до ГДЯ.

Методика. При отработке выбросоопасных угольных пластов используется нормативная база по прогнозу и борьбе с газодинамическими явлениями (ГДЯ). Наиболее эффективным считается способ полной защиты отработываемого угольного пласта. Защитное действие опережающей разработки угольных пластов для предотвращения ГДЯ на защищаемых пластах определяется только характеристиками защитного пласта и пород междупластя. На основании этих положений разработаны нормативные документы, регламентирующие вопросы защитной разработки.

Сущность нормативного способа определения эффективности защитного действия заключается в следующем. В зависимости от глубины разработки и ширины выработанного пространства защитного пласта находят нормативную дальность защитного действия при над- и подработке. Нормативную дальность корректируют с учетом критической мощности защитного пласта и общего содержания песчаников в породах междупластя. Определенную таким образом расчетную дальность защитного действия сопоставляют с факти-

ческой мощностью пород междупластья и вычисляют показатель эффективности защитного действия, по величине которого определяют категорию защиты.

Научная новизна. Установленное свойство защищаемых от газодинамических явлений угольных пластов формировать защитное действие опережающей разработки показало, что процесс формирования защитного действия осуществляется физической системой «защитный пласт – междупластье – защищаемый пласт». Последнее формируется за счет активизации процесса разгрузки пласта при его разработке, обусловленного мощностью защищаемого пласта, его сорбционными свойствами и остаточной газоносностью, структурой, степенью метаморфизма и пр.

Практическая значимость. Предлагаемая методология позволит более объективно определять эффективность опережающей разработки пластов для предотвращения ГДЯ, исключив ошибки I рода, т.е. когда ГДЯ происходят в эффективно защищенных зонах.

Ключевые слова: контроль эффективность, защитный пласт, неэффективная защита, защищаемый пласт, породы междупластья.

ABOUT AUTHORS

Minieiev Sergey, Doctor of Technical Science, Professor, Department head, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600. E-mail: sergminee@gmail.com.

Kalugina Nadiia, Doctor of Technical Sciences, Scientific Secretary of the Institute for Physics of Mining Processes of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600. E-mail: kalugina_n_a@ukr.net.

Kostrytisia Andrii, postgraduate, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600.

Yanzhula Oleksii, Candidate of Technical Sciences, director of technical development and investment, PJSC «Donetsksteel», 2 Shibankova Street, Pokrovsk, Ukraine.

Sachko Roman, Master's Degree, Chief Engineer, PJSC «Donetsksteel», 2 Shibankova Street, Pokrovsk, Ukraine.