

Олейніченко О.А., Любимова-Зінченко О.В., Корчуганова О.М., Гуртовий В.І.

## ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ ГАЗОВОЇ НЕБЕЗПЕКИ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ УКРАЇНИ

*Нормативна база безпечного відпрацювання газоносних вугільних пластів застаріла. Це стосується встановлення категорійної небезпеки шахт і прогнозу газовиділення при веденні гірничих робіт. В статті узагальнено результати досліджень щодо встановлення основних факторів газової небезпеки у вугільних шахтах України. У зв'язку з переходом на більш глибокі горизонти, газовий баланс і джерела метановиділення під час очисних робіт змінилися. У сучасних шахтах основна частка газовиділення походить з вуглепородної товщі, що підробляється. Зміна газового балансу та частки основних джерел метановиділення його складових призвела до зміни факторів, що визначають небезпеку ведення гірничих робіт. Поточний рівень газовиділення залежить як від ресурсів метану, що знаходиться в джерелах, що підробляються і від швидкості просування очисного забою. Загальна кількість метану, що виділився, залишається постійною величиною для конкретних розмірів виїмкового поля. Показник кількості газу, що виділився з одиниці площі виробленого простору, що утворився в процесі місячного просування очисного вибою, не є постійним параметром для конкретних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов. Зміна цього показника аналогічна залежності газовиділення, віднесеного до тони видобутого вугілля. При достатньому розвитку очисних робіт у шахтному полі з'являються додаткові джерела газовиділення за межами виїмкової ділянки, що експлуатується, під впливом активізації зсуву підроблюваних порід. Це необхідно враховувати під час проектування схем провітрювання виїмкових ділянок і напрямки дії загальношахтної депресії. Отримані наукові результати дозволяють розробити нову методику оцінки газової небезпеки у вугільних шахтах та прогнозу газовиділення з вуглепородної товщі на основі наявного виробничого досвіду та технічної документації щодо встановлення категорійної небезпеки вугільних підприємств у попередні роки відповідно до чинних у той період нормативних документів.*

**Ключові слова:** метан, метановиділення, газовиділення, газоносність, очисний вибій, газова небезпека, вугільні шахти

**Актуальність дослідження.** Положення нормативної бази безпечного відпрацювання газоносних вугільних пластів були закладені в шістдесятих роках минулого століття. Зокрема, це стосується встановлення категорійної небезпеки шахт [1] і прогнозу газовиділення при веденні гірничих робіт [2]. Розробка вимог цих документів була заснована на припущенні про прямопропорційну залежність рівня газовиділення від кількості видобутого вугілля. В деякій мірі такий підхід був обґрунтований тим, що основним джерелом газовиділення при веденні очисних робіт був розробляємий пласт. Частка газовиділення з відбитого вугілля і оголеної поверхні очисного вибою, в той період освоєння вугільних родовищ Донбасу, становила в загальному газовому балансі виїмкової ділянки 60÷80%. Протягом останніх кількох десятиліть гірничі роботи вимушено перейшли на більш глибокі горизонти. Це вплинуло на суттєву зміну газового балансу виїмкових ділянок при веденні очисних робіт. У сучасних шахтах при веденні гірничих робіт на глибинах 500-1500 м. основне газовиділення до 90% і більше відбувається з підроблюваної очисними виробками вуглепородної товщі. На рівень газовиділення з цих джерел (зближених пластів і вміщують порід), крім видобутку вугілля, впливають інші фактори. До них, в першу чергу, відносяться процеси зрушення підроблених порід при веденні очисних робіт [3]. За минулий період часу якісно і кількісно змінилися не тільки основні джерела метановиділення, а й фактори, що визначають його рівень і способи безпечного відпрацювання газоносних шахтопластів. Такі зміни в умовах ведення гірничих робіт практично не знайшли належного відображення в нормативних документах [1, 2], положення яких не переглядалися протягом багатьох років. Наприклад, газова небезпека приурочена тільки до рівня видобутку вугілля, а ступінь розвитку очисних робіт в межах виїмкової ділянки і крила шахтного поля не розглядаються. Аварії з тяжкими наслідками, пов'язані із займанням газоповітряних сумішей та їх вибухів у вугільних шахтах, на жаль, періодично повторюються. Це свідчить про актуальність робіт, спрямованих на встановлення факторів, що визначають безпечне відпрацювання газоносних вугільних пластів.

**Мета дослідження** - встановити основні фактори, що визначають метановиділення протягом усього періоду експлуатації виїмкових ділянок. Це дозволяє визначити вплив ступеня розвитку очисних робіт на пов'язані з ними процеси зрушення підробленої вуглепородної товщі і газовиділення. Розробити пропозиції в частині вдосконалення прогнозу газовиділення та встановлення категорійної небезпеки шахт.

Ідея - рівень метановиділення і загальна кількість виділився газу з підроблюваних джерел залежить як від розмірів виїмкового стовпа, так і від швидкості просування очисного вибою. Спостереження протягом усього періоду експлуатації виїмкової ділянки дозволяє оцінити зміну газовиділення при розвитку очисних робіт

(видаленні вибою від розрізного вироблення) на всіх характерних стадіях видобутку вугілля - досягнення планових показників, стабільної роботи і зниження навантаження перед зупинкою лави.

**Об'єкт дослідження.** До розгляду прийняті показники газовиділення при певному посуванні очисних вибоїв за фіксований проміжок часу, в тому числі офіційні середньомісячні дані для встановлення категорії шахт по газовій їх безпеці.

До розгляду прийняті відомі експериментальні дані [4,5], отримані відповідно в умовах шахт ім. А. Ф. Засядько, ім. газети "Известия", а також середньомісячні дані для встановлення категорійної безпеки шахт «Суходільська-Східна» та ім. Д. ф. Мельникова протягом останніх чотирьох-п'яти років. Основні відомості про об'єкти спостережень зведені в таблицю 1. У всіх випадках управління покрівлею проводилося повним обваленням порід. Експериментальні дані дозволили встановити кількість виділився газу за окремі проміжки.

**Результати та їх обговорення.** У всіх випадках в початковий період експлуатації виїмкових ділянок, у міру видалення очисних вибоїв від розрізних печей, спостерігалось збільшення кількості виділився газу (рис. 1). Зростання метановиділення в цей період обумовлений збільшенням площі виробленого простору і розвитком процесів зсуву підроблених порід до опаді основної покрівлі з подальшим розвитком цих процесів. Після формування постійної висоти зони зсуву порід з розривом їх суцільності відбувається стабілізація газовиділення на деякому рівні. Перед зупинкою очисного вибою відбувається, в більшості випадків, зниження швидкості посування очисних вибоїв.

Таблиця 1 -Відомості про гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови відпрацювання виїмкових ділянок

Лави, пласт	Потужність пласта, $m$ , м	Довжина лави, $L_l$ , м	Довжина відпрацьованого виїмкового стовпа, $L_{cm}$ , м	Глибина ведення очисних робіт, $H$ , м	Швидкість просування очисних вибоїв, $v_{оч}$ , м/міс	Кількість газу, що виділився в межах стовпа виїмки, млн.м <sup>3</sup>
Шахта ім. А.Ф. Засядька[4]						
16-та східна, $m_3$	2.10	270	1918	1195	18÷132	57.2
Шахта ім. газети "Известия"[5]						
1-а західна, $\ell_2^6$	0.90	111÷185	1422	300	9÷64	4.7
1-а західна, $\ell_2^6$	0.90	68÷100	775	300	6÷63	2.5
2-а західна, $\ell_2^6$	0.90	200	1186	300	27÷139	13.6
2-я біс західна, $\ell_2^6$	0.90	185	279	300	9÷41	4.7
3-я західна, $\ell_2^6$	0.90	215	1559	300	31÷144	16.7
4-а західна, $\ell_2^6$	0.90	210	1491	300	52÷153	15.5
5-а західна, $\ell_2^6$	0.90	216	1421	300	56÷149	22.0*
6-а західна, $\ell_2^6$	0.90	230	1169	300	25÷95	23.0*
7-а західна, $\ell_2^6$	0.90	230	1309	300	21÷118	16.4
8-ма західна, $\ell_2^6$	0.90	215	787	300	0÷131	12.8
9-а західна, $\ell_2^6$	0.90	250	329	300	0÷73	4.4
Шахта "Суходільська-Східна"						
24-а східна, $i_3^1$	2.20	240	1112	1016	5÷70	50.5
25-а західна, $i_3^1$	2.20	265	700	1198	15÷47	26.0
12-а біс східна, $i_3^1$	2.20	240	879	965	12÷36	34.8
34-а східна, $i_3^1$	1.20	180	813	948	22÷53	11.6
37-а західна, $i_3^1$	1.20	180	1316	911	18÷88	10.1
Шахта ім. Д.Ф. Мельникова						
1-а північна, $\ell_6$	1.30	220	1210	853	0÷58	11.4

\* - сумарно з кількістю газу, що надійшли з-за меж виїмкових ділянок при активізації зсуву порід

Мінімальні швидкості посування очисних вибоїв відповідають, як правило, початкового і кінцевого періодів експлуатації виїмкових ділянок, що обумовлено специфічними особливостями технологічних процесів при відпрацюванні вугільних пластів довгими лавами. Вони характеризуються необхідністю притирання механізмів і виявленням можливих дефектів монтажу обладнання. Із зазначених причин для забезпечення планових показників експлуатації виїмкових ділянок необхідний деякий проміжок часу.

Зниження швидкості посування очисних вибоїв перед їх зупинкою визначається перехідним періодом, пов'язаним з необхідністю введення в експлуатацію чергового виїмкового стовпа. Для організації очисних робіт у знову вводиться лаві потрібні додаткові матеріальні і людські ресурси, а також деякий проміжок часу виходу на планові показники.

Експериментальні дані (табл. 1, рис. 1) показують, що обсяги газу, що виділився, залежать від розмірів виїмкових стовпів. Вони характеризуються їх довжиною ( $L_{cm}$ ) та довжиною експлуатованих лав ( $L_l$ ), а також швидкістю просування очисних вибоїв. Це видно на прикладі лав шахти імені газети "Известия". На ділянці 2-ї біс західної лави (крива 2) при довжині стовпа 279м. та швидкості просування очисного вибою 9÷41 м/міс.

виділилося значно менше газу порівняно з 2-ю (крива 3) та 3-ю (крива 4) західними лавами, для яких значення  $L_{ст}$  становили відповідно 1186 і 1559м, а  $v_{оч}$  -  $27 \div 139$  та  $31 \div 144$  м/міс.

Вплив швидкості руху очисних вибоїв на значення  $\sum I_{v_{оч}}$  підтверджуються і експериментальними даними для 12-ї біс (крива 5) та 24-ї (крива 6) східних лав шахти «Суходільська-Східна». При однаковій довжині лав (240м) на ділянці 24-ї східної лави та  $v_{оч} = 5 \div 70$  м/міс, виділилося 50,5 млн. м<sup>3</sup> газу (табл. 5.3), але в ділянці 12-ї біс східної лави при  $v_{оч} = 12-36$  м/міс виділилося лише 34,8 млн. м<sup>3</sup> метану.

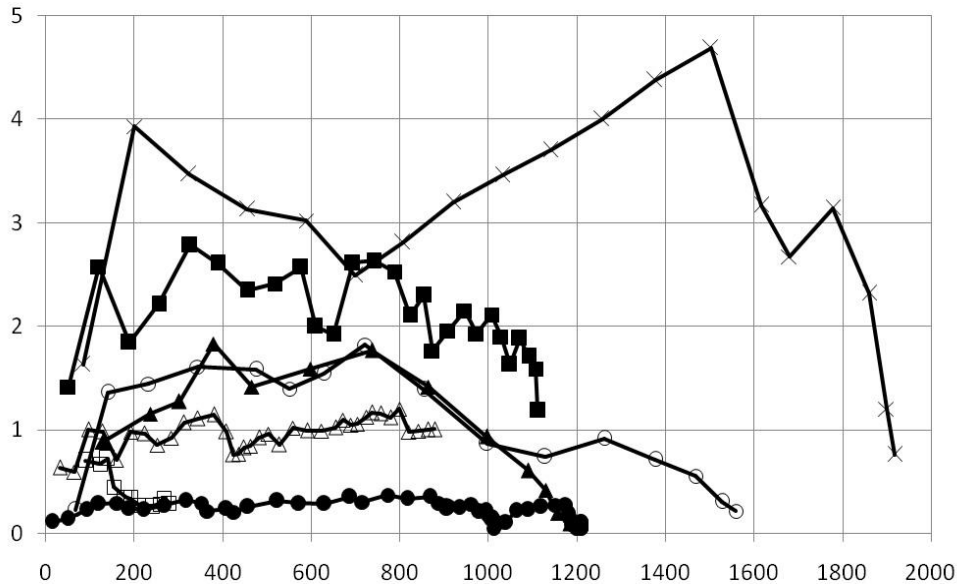


Рисунок 1 - Зміна середньомісячних обсягів газовиділення ( $\sum I_v$ ) залежно від видалення очисних вибоїв ( $L$ ) від розрізних виробок

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 - графіки зміни газовиділення відповідно для шахт ім. Д. ф. Мельникова (1-А Північна лави пласта  $\ell_6$ ), ім. газети "Известия" (2-я біс, 2-я і 3-я Західні лави пласта  $\ell_2^B$ ), "Суходільська-Східна"(12-я біс і 24-я східні лави пласта  $i_3$ ), ім. А. Ф. Засядько(16-та Східна пласта  $m_3$ ); ●, □, ■, ○, ▲, Δ, × - експериментальні дані.

Наведені факти свідчать, що газовиділення пов'язане як із розмірами площі виробленого простору відпрацьованих лав ( $S_{cm} = L_l \times L_{cm}$ ), так і зі швидкістю подвигу очисних вибоїв ( $v_{оч}$ ). Крім зазначених технологічних параметрів ( $S_{cm}, v_{оч}$ ) на газовиділення з товщі, що підробляється, впливають і інші фактори. Насамперед до них слід віднести запаси (ресурси) метану, що знаходиться у вуглепородній товщі до ведення очисних робіт. Попередньо про передбачувані запаси газу можна судити за величиною газонасності вугілля пластів, що розробляються. Природна газонасність пласта т3 (шахта ім. А.Ф.Засядька) складає 35 м<sup>3</sup>/т.г.б.м, пласт  $i_3$  (шахта «Суходільська-Східна») – 33 м<sup>3</sup>/т.г.б.м. При відпрацьованні пласта  $\ell_2^B$  шахтою ім. газети «Известия» його природна газонасність зменшувалася з 35 до  $3 \div 8$  м<sup>3</sup>/т.г.б.м у міру відпрацьовання стовпів по повстанню та наближенню очисних вибоїв до зони газового вивітрювання та геологічного порушення (Карловського скидання). Природна газонасність пласта  $\ell_6$  (Шахта ім. Д.Ф. Мельникова) не перевищувала 8 м<sup>3</sup>/т.г.б.м. Таке співвідношення природної газонасності пластів, що розробляються, очевидно вплинуло і на кількість газу, що виділяється з підроблюваної вуглепородної товщі (табл. 1, рис. 1). Питання про можливі обсяги та форми знаходження газу у вуглепородній товщі потребує окремого детального вивчення.

Вплив швидкості руху очисних вибоїв ( $v_{оч}$ ) на кількість газу, що виділяється з підроблюваної товщі ( $I_v$ ) виявилось у вигляді залежностей, що відрізняються між собою, для різних об'єктів (рис. 2, а). При відпрацьованні пласта  $m_3$  спостерігалася прямо пропорційна залежність (пряма 2), а при виїмці пластів  $i_3$   $\ell_6$  - Експонентна (відповідно криві 1 і 3).

При відпрацьованні пласта  $\ell_2^B$  тенденція залежності  $I_v = f(v_{оч})$  також наближається до експоненціальної (рис. 2, б). Великі відхилення експериментальних даних від зосереджувальної кривої викликані суттєвими відмінностями ресурсів газу в масиві, що підробляється, в міру відпрацьовання окремих стовпів внаслідок впливу геологічних порушень, різним ступенем розвитку очисних робіт у крилі шахтного поля і наявністю газовиділення за межами деяких виїмкових ділянок під впливом активізації зсуву порід.

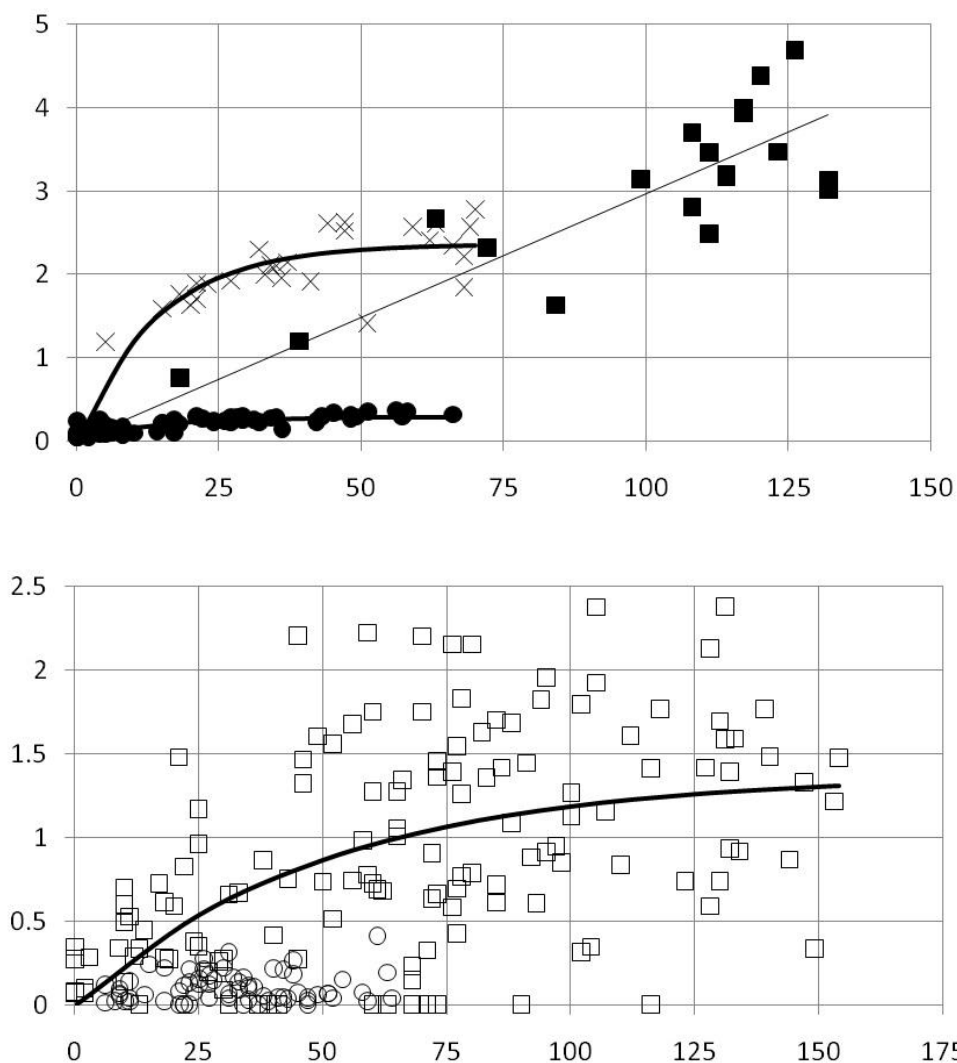


Рисунок 2 - Залежність кількості газу, що виділилася ( $I_v$ ) з вуглепородної товщі, що підробляється, від швидкості подвигу очисних вибоїв ( $v_{оч}$ ) в умовах різних шахт

1, 2, 3, 4 - середні лінії відповідно для експериментальних даних шахт "Суходільська-Східна" (24-а східна лава, пласт  $i'_3$ ), ім. А.Ф. Засядька (16-та східна лава, пласт  $t_3$  [4]), ім. Д.Ф. Мельникова (1-а північна лава, пласт  $l_6$ ), ім. газети "Известия" (2-я біс та 2-9-ті західні лави, пласта  $l_2^6$  [5]);  $\times$ ,  $\blacksquare$ ,  $\bullet$ ,  $\square$  - експериментальні дані для середніх ліній;  $\circ$  - експериментальні дані для 1-ї та 1-ї біс західних лав шахти ім. газети "Известия", що знаходяться безпосередньо у зоні геологічного порушення;  $R$ ,  $r$  - відповідно кореляційне відношення та коефіцієнт кореляції.

За наявності додаткових джерел поза виїмкових ділянок застосовувалися схеми їх провітрювання, які сприяли додатковому припливу газу дільничні вироблення. Наведені результати шахтних спостережень свідчать, що для забезпечення безпечного відпрацювання газоносних вугільних пластів поряд з технологічними факторами ( $L_{ст}$ ,  $L_l$ ,  $S'_v$ ,  $v_{оч}$ ) і природними ресурсами газу в товщі, що підробляється, необхідно при проектуванні схем провітрювання виїмкових ділянок передбачати виключення надходження газу в дільничні виробки із зовнішніх джерел під впливом загальношахтної депресії.

Представляє науковий та практичний інтерес залежність газовиділення з одиниці площі виробленого простору ( $\frac{I_v}{S'_v}$ ) від швидкості просування очисних вибоїв ( $v_{оч}$ ). Показник  $\frac{I_v}{S'_v}$  є недостатньо вивченим досі. Графіки таких залежностей (рис. 3) показують мінливість цього параметра кожного об'єкта спостережень. За своєю сутністю залежність  $\frac{I_v}{S'_v}=f(v_{оч})$  повторює залежність відносної газообильності на тону вугілля, що видобувається, так як площа ( $S'_v$ ) для кожної виїмкової ділянки функціонально пов'язана з кількістю видобутого вугілля за певний період. За відсутності видобутку вугілля ( $v_{оч}=0$ ) газовиділення з одиниці площі виробленого простору немає свого конкретного значення, оскільки величина цього параметра прагне нескінченності. Це обумовлено наявністю газовиділення з підроблених джерел протягом тривалого часу (кілька місяців) при зупинці очисного вибою ( $v_{оч}=0$ ). Наведені обставини не дозволяють показник  $\frac{I_v}{S'_v}$  використовувати як критерій газової безпеки

під час проведення очисних робіт.

Для практичних цілей найбільш підходящим параметром для оцінки газової небезпеки може бути показник газовиділення  $\sum I_{cm}^i$ , який характеризує загальну кількість газу, що виділилося з джерел, що підробляються від початку експлуатації виїмкової ділянки до поточного моменту.

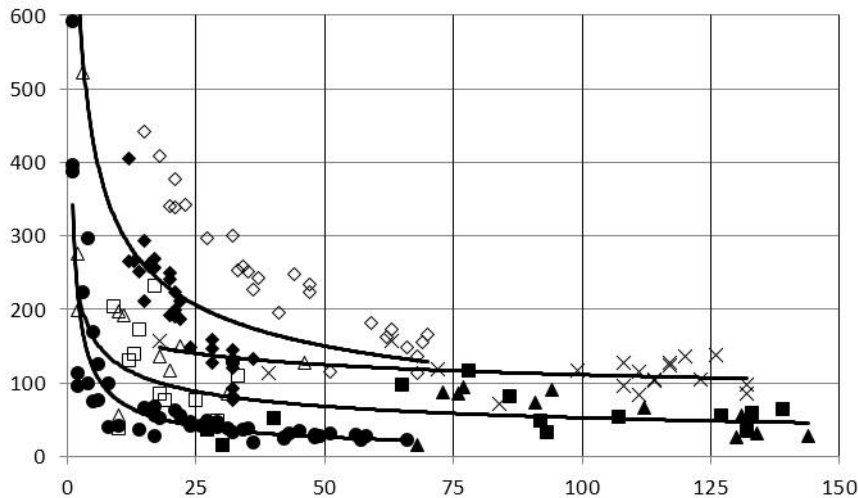


Рисунок 3 - Залежність питомого газовиділення по відношенню до одиниці площі виробленого простору  $(\frac{I_v}{S_v^i})$ , що відповідає місячній швидкості руху очисних вибоїв  $(v_{оч})$ .

1, 2, 3, 4 - усереднювальні криві відповідно для шахт ім. Д.Ф. Мельникова (1-а північна лава, пласт  $\ell_6^e$ ), ім. газети "Известия" (2-а біс, 2-а, 3-я, 9-а західні лави, пласта  $\ell_2^e$ ), ім. А.Ф. Засядька (16-та східна лава, пласта  $t_3$ ), "Суходільська-Східна" (12-а біс, 24-а східні лави, пласт  $i_3^i$ ).

Такі залежності (рис. 4, а) вигідно відрізняються від наведених раніше (рис. 1), які характеризують газовиділення  $(I_v)$  тільки за деякий період відпрацювання стовпа виїмки (його подвигу на деяку відстань). Головною перевагою показника  $\sum I_{cm}^i$  є його функціональна залежність для конкретних виїмкових ділянок. Параметр  $\sum I_{cm}^i$  однозначно збільшується в міру видалення очисних вибоїв  $(L)$  від розрізного вироблення (рис. 4, а). Аналогічно показник  $\sum I_{cm}^i$  залежить від площі виробленого простору (рис. 4, б).

Наведені графіки свідчать, що за незмінних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов загальна кількість газу, що виділився, прямо пропорційно змінюється в міру збільшення довжини відпрацьованого стовпа (рис. 4, а) або площі виробленого простору (рис. 4, б). Однозначно така залежність характерна для виїмкових ділянок шахт ім. Д.Ф. Мельникова (пряма 1) та ім. А.Ф. Засядька (пряма 3), де гірничо-геологічні умови не змінювалися при відпрацюванні виїмкових стовпів. У разі шахти ім. газети «Известия» встановлено відхилення експериментальних даних (крива 2) від прямо пропорційної залежності (пряма 2'), що спричинено зменшенням ресурсів газових запасів у підробленій товщі у міру видалення очисних вибоїв від розрізних виробок та наближенням до зони газового вивітрювання або до геологічного порушення. Незважаючи на зміни гірничо-геологічних умов виїмкових ділянок при відпрацюванні пласта  $\ell_2^e$  встановлена тісна кореляційна залежність ( $r=0,97$ ) кількості газу, що виділився від площі виробленого простору окремих виїмкових ділянок (рис. 5). Це свідчить про те, що лави відпрацьовувалися в близьких гірничо-геологічних умовах, які змінювалися приблизно однаково при видаленні очисних вибоїв від печей.

У міру видалення очисних вибоїв 12-ї біс та 24-ї східних лав від розрізних печей (шахта «Суходільська-Східна») спостерігалася відхилення експериментальних даних  $\sum I_v^i$  (крива 4) від прямо пропорційної залежності у бік збільшення (рис. 4, пряма 4'). Це вказує на зміну гірничо-геологічних умов та збільшення кількості газу, що припадає на одиницю площі виробленого простору. Знаючи зміну  $\sum I_v^i$ , при видаленні очисних вибоїв від розрізних виробок  $(L)$  або збільшується площі виробленого простору  $(S_v^i)$ , не становить жодних труднощів достовірно спрогнозувати газовиділення для будь-якої стадії відпрацювання наступних стовпів виїмки. Отримані результати відпрацювання експериментальних даних свідчать, що для конкретних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов достовірним показником газової небезпеки може служити відношення загальної кількості газу, що виділяється, віднесене до площі виїмкового стовпа, що відпрацьовується, на поточний момент часу або закінчення ведення очисних робіт у виїмковому стовпі. Зміна показника  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$  у початковий період експлуатації виїмкових ділянок пов'язано з видаленням очисних вибоїв від розрізних виробок  $(L)$  та розвитком процесів зсуву порід, що підробляються, з наступними опадками основної покрівлі. При достатньому видаленні очисного вибою  $(L)$  відбувається стабілізація  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$ , якщо не змінюються гірничо-геологічні та гірничо-технічні умови експлуатації

виїмкових ділянок (рис. 6). Такий характер зміни  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$  спостерігався для лав шахт ім. Д.Ф. Мельникова (крива 1) та ім. А.Ф. Засядька (крива 6).

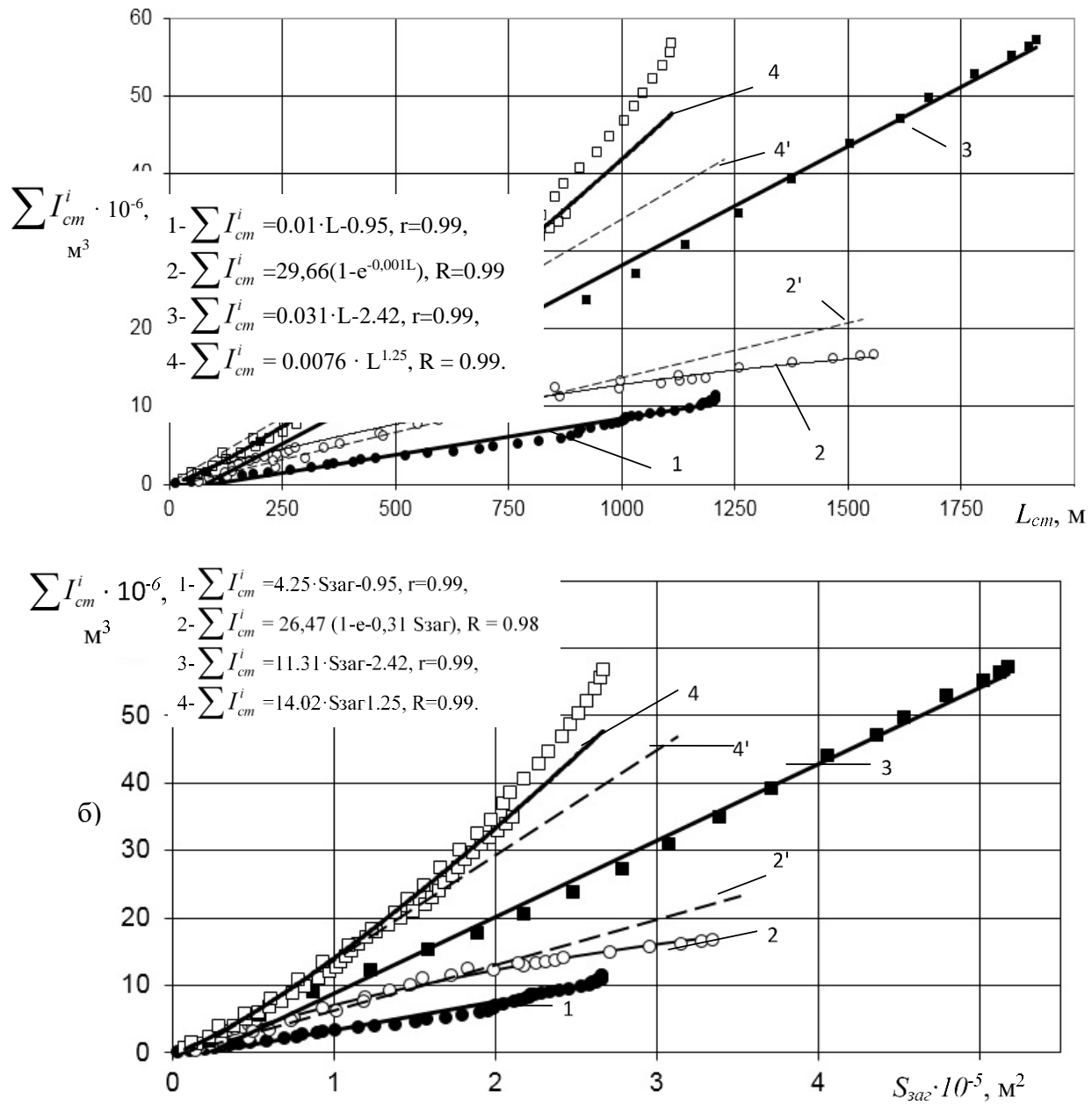


Рисунок 4 - Залежність загальної кількості газу, що виділився з підроблюваної вуглепородної товщі ( $\sum I_v^i$ ) у міру подвигу (L) очисного вибою (а) та збільшення площі ( $S_{ст}$ ) виробленого простору (б)

1, 2, 3, 4 - середні лінії відповідно для шахт ім. Д.Ф. Мельникова (1-а північна лава, пласт  $\ell_6$ ), ім. газети "Известия" (2-а біс, 2-а, 3-я західні лави, пласта  $\ell_2^B$ ), ім. А.Ф. Засядька (16-а східна пласта  $\ell_3$ ), і "Суходільська-Східна" (12-а біс, 24-а східні лави, пласт  $\ell_3^i$ );

2', 4' - прогнозовані прямі залежності  $\sum I_{cm}^i$  для незмінних гірничо-геологічних умов порівняно з початком експлуатації виїмкових ділянок відповідно для лав шахт ім. газети "Известия" та "Суходільська-Східна";

●, ○, ■, □ - експериментальні дані; r, R - відповідно коефіцієнт кореляції та кореляційне відношення.

У разі шахти ім. газети «Известия» такий вид залежності встановлено для виїмкових стовпів 3-ї (крива 3) та 2-ї (крива 4) західних лав (рис. 6). Довжина цих виїмкових стовпів відповідно становила 1559 та 1186 м, що

дозволило стабілізуватися процесам зсуву порід при видаленні очисних вибоїв від розрізних виробок на відстань понад 250÷350 м, а разом з ними досягти приблизно постійних значень і для показника  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$ .

У міру видалення очисних вибоїв 12-ї біс та 24-ї східних лав від розрізних печей (шахта «Суходільська-Східна») спостерігалось відхилення експериментальних даних  $\sum I_v^i$  (крива 4) від прямо пропорційної залежності у бік збільшення (рис. 4, пряма 4/). Це вказує на зміну гірничо-геологічних умов та збільшення кількості газу, що припадає на одиницю площі виробленого простору. Знаючи зміну  $\sum I_v^i$ , при видаленні очисних вибоїв від розрізних виробок ( $L$ ) або збільшується площі виробленого простору ( $S_v^i$ ), не становить жодних труднощів достовірно спрогнозувати газовиділення для будь-якої стадії відпрацювання наступних стовпів виїмки. Отримані результати відпрацювання експериментальних даних свідчать, що для конкретних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов достовірним показником газової небезпеки може служити відношення загальної кількості газу, що виділяється, віднесене до площі виїмкового стовпа, що відпрацьовується, на поточний момент часу або закінчення ведення очисних робіт у виїмковому стовпі. Зміна показника  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$  у початковий період експлуатації виїмкових ділянок пов'язано з видаленням очисних вибоїв від розрізних виробок ( $L$ ) та розвитком процесів зсуву порід, що підробляються, з наступними опадами основної покрівлі. При достатньому видаленні очисного вибою ( $L$ ) відбувається стабілізація  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$ , якщо не змінюються гірничо-геологічні та гірничо-технічні умови експлуатації виїмкових ділянок (рис. 6). Такий характер зміни  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$  спостерігався для лав шахт ім. Д.Ф. Мельникова (крива 1) та ім. А.Ф. Засядька (крива 6).

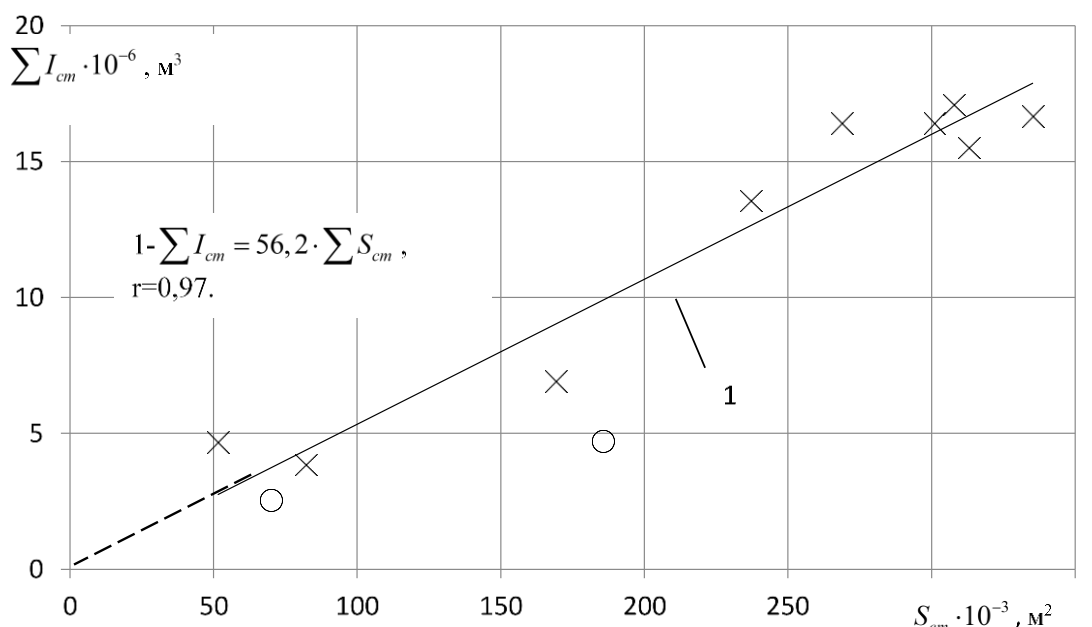


Рисунок 5 - Залежність кількості газу, що виділився ( $\sum I_{cm}$ ) у межах виїмкових ділянок шахти ім. газети "Ізвестия" від площі вироблених просторів зупинених лав ( $S_{ст}$ ).

1- посередня пряма для лав, що знаходяться поза безпосередньою зоною геологічних порушень;  $r$  – коефіцієнт кореляції;  $\times$  - експериментальні дані для лав(2-а, 2-я біс, 3-я, 4-а, 5-а, 6-а, 7-а, 8-а, 9-а) поза зоною безпосереднього впливу розривних геологічних порушень;  $\circ$  - експериментальні дані для лав(1-а та 1-я біс) у безпосередній зоні впливу геологічних порушень.

У разі шахти ім. газети «Ізвестия» такий вид залежності встановлено для виїмкових стовпів 3-ї (крива 3) та 2-ї (крива 4) західних лав (рис. 6). Довжина цих виїмкових стовпів відповідно становила 1559 та 1186 м, що дозволило стабілізуватися процесам зсуву порід при видаленні очисних вибоїв від розрізних виробок на відстань понад 250÷350 м, а разом з ними досягти приблизно постійних значень і для показника  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$ .

При експлуатації 2-ї біс (крива 2) та 9-ї (крива 5) західних лав можливість для розвитку процесів зсуву порід до такої міри була відсутня, так як довжина їх виїмкових стовпів становила відповідно лише 279 і 329 м. З цієї причини при відпрацюванні лав короткими стовпами спостерігалось лише зростання значень  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$  до певного рівня без подальшої стабілізації.

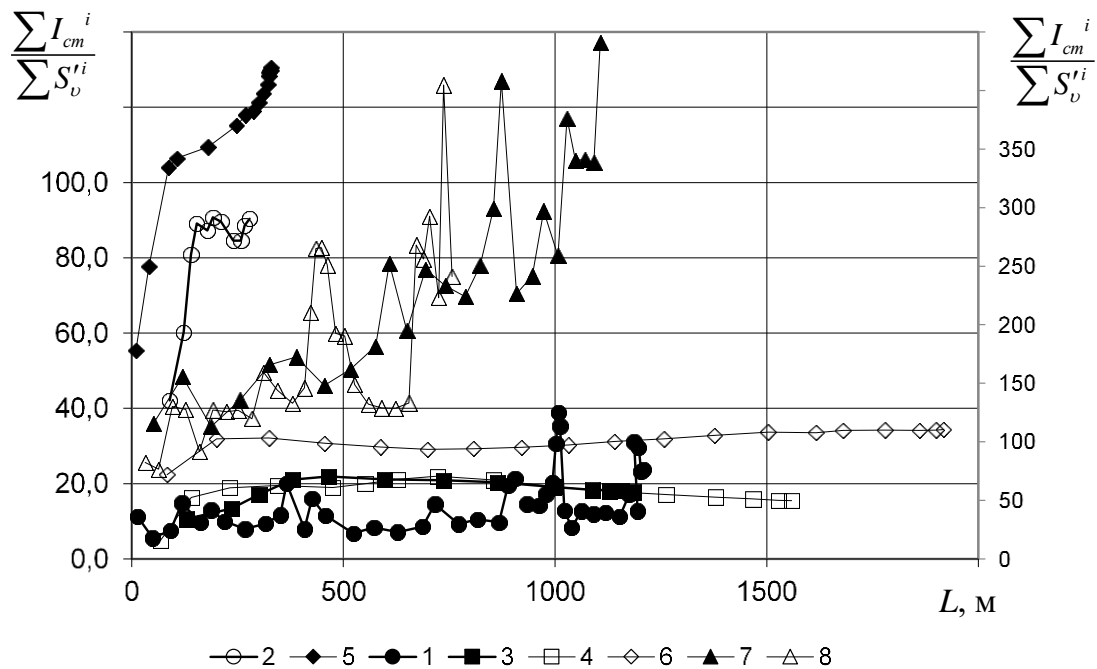


Рисунок 6 – Зміна питомого газовиділення щодо одиниці площі виробленого простору відпрацьованих виїмкових стовпів ( $\frac{\sum I_{cm}^i}{\sum S_v^i}$ ) при видаленні ( $L$ ) очисних вибоїв від розрізних виробок

1,2,3,4,5,6,7,8 – криві зміни показника  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$  відповідно, в умовах шахт ім. Д.Ф. Мельникова (1-а північна лави пласта  $\ell_6$ ), ім. газети «Известия» (2-а біс, 2-а, 3-я, 9-а західна лави пласта  $\ell_2^B$ ), ім. А.Ф. Засядька (16-та східна, пласт  $T_3$ ), Суходільська-Східна (24-а, 12-а біс східні лави, пласт  $i_3$ ); ●, ○, ■, □, ◆, ◇, ▲, △ - експериментальні дані.

Слід зазначити, що середня швидкість руху 2-ї біс і 9-ї західних лав за весь період їх експлуатації була незначною і відповідно становила 0,7 і 0,9 м/добу. На виїмкових ділянках цих лав за період експлуатації виділилося у гірничі виробки та дегазаційні свердловини відповідно 4,7 та 4,4 млн. м<sup>3</sup> метану. При приблизно однакових показниках швидкості руху ( $v_{оч}$ ) та кількості газу, що виділився ( $\sum I_v^i$ ), зміна кривих параметра  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$  (рис. 6, криві 5 і 2) у міру видалення очисних вибоїв від розрізних виробок суттєво відрізнялися між собою. Після зупинки лав показник  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$  для цих лав відповідно становив 90,4 та 53,9 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>. Така відмінність пояснюється відмінними рисами експлуатації лав. Довжина 2-ї біс західної лави становила 185 м, а 9-ї західній – 250 м. При маловідмінних середній швидкості проміщення очисних вибоїв (0,7 і 0,9 м/добу) і довжині стовпів (279 і 329 м), площі вироблених просторів аналізованих лав відрізнялися між собою більш ніж у 1,5 рази (51,6 та 82,3 тис. м<sup>2</sup>). Природна газонасність пласта, що розробляється при експлуатації 2-ї біс західної лави становила 24,0 м<sup>3</sup>/т.г.б.м, а при відпрацюванні 9-ї західної лави - 35,0 м<sup>3</sup>/т.г.б.м. Це вказує на те, що ресурси газу в вуглепородній товщі, що підробляється, 9-ї західної лави приблизно в півтора рази повинні були перевищувати показник  $\frac{I_{ст}}{S_{ст}}$  для 2-ї біс західної лави. Якщо ж крім природної газонасності пласта, що розробляється, розглядати і площу виробленого простору відпрацьованих стовпів, то загальне газовиділення  $I_{ст}$  на ділянці 9-ї західної мало у 2,3 рази перевищити цей показник для 2-ї біс західної лави. Експериментальні дані не підтвердили таке співвідношення  $I_{ст}$  і  $\frac{I_{ст}}{S_{ст}}$ . Показник  $I_{ст}$  для обох лав був приблизно однаковим, а  $\frac{I_{ст}}{S_{ст}}$  для 2-ї біс західної лави – перевищував майже 1,7 разу його значення для 9-ї західної лави. Отримані експериментальні дані можна пояснити лише послідовністю відпрацювання цих лав. Виїмковий стовп 2-ї біс західної лави при його відпрацюванні був ізольований з усіх боків масивом вугілля, а 9-ї західної лави вилучений стовп примикав до виробленого простору раніше відпрацьованих десяти лав. У першому випадку газ виділявся лише у межах виїмкової ділянки, тоді як у другому – рахунок напрями депресії він виносився від дільничних виробок до загальношахтним.

В умовах шахти «Суходільська-Східна» при видаленні очисних вибоїв 24-й (крива 7) та 12-й біс (крива 8) східних лав пласта  $i_3$  (рис. 5) від розрізних виробок зміна значень показника  $\frac{\sum I_v^i}{\sum S_v^i}$  мало приблизно однаковий характер. Це свідчить про те, що для цих лав гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови змінюються приблизно однаково у разі розвитку очисних робіт.



Якщо площа виробленого простору ( $S'_y$ ), що утворилося при місячному подвигу очисного вибою ( $u_{оч}^i$ ), менше площі виробленого простору  $\sum S'_v$ , що визначає газовиділення  $\sum I_v^i$ , то значення  $\frac{I_v^i}{S'_v}$  завжди буде більше  $\frac{I_v^i}{\sum S'_v}$ . Рівність цих показників можлива тільки для випадків, коли місячна швидкість просування очисного вибою забезпечує вилучення пласта на площі, що відповідає за розмірами зоні газовиділення. Розміри зони газовиділення над очисним вибоєм визначаються зонами активного зсуву порід, що підробляються. Проекція розміру такої зони за очисним вибоєм згідно з [3] становить 0,466 від глибини ( $H$ ) ведення очисних робіт. Наприклад, для умов шахти ім. газети «Известия» зона газовиділення позаду очисного вибою становить близько 140 м, а умов шахти ім. А.Ф. Засядька – приблизно 550 м. Максимальні швидкості просування очисних вибоїв близько 140 м/міс забезпечувалися в окремі місяці лише для кількох лав (2-а, 3-я, 4-а, 5-а західні) шахти ім. газети «Известия». Для цих випадків значення  $\frac{I_v^i}{S'_v}$  і  $\frac{I_v^i}{\sum S'_v}$  у всіх випадках були близькими між собою, що підтверджує достовірність визначення розмірів зон активного зсуву підроблених порід та відповідні йому розміри виробленого простору, що визначають газовиділення з вуглепородної товщі.

На ділянці 16-ї східної лави пласта  $m_3$  шахти ім. А.Ф. Засядька досягнуті швидкості (132 м/міс) просування очисного вибою (табл. 1) були значно меншими за проекцію зони активного зсуву порід позаду очисного вибою. Це, очевидно, зумовило вищі значення  $\frac{I_v^i}{S'_v}$  у всіх випадках порівняно з  $\frac{I_v^i}{\sum S'_v}$  після видалення очисного вибою від розрізного вироблення на відстань більше 550 м. Підтвердження збігу розмірів зон газовиділення із зонами активного зсуву порід потребує додаткових досліджень.

**Висновки.** На підставі узагальнення результатів проведених досліджень щодо встановлення основних факторів газової безпеки у вугільних шахтах України зроблено такі висновки:

- нормативна база безпечного відпрацювання газоносних вугільних пластів ґрунтується на дослідженнях, проведених 50÷60 років тому. За період часу значно змінилися, у зв'язку з переходом більш глибокі горизонти, газовий баланс і джерела метановиділення під час очисних робіт. У сучасних шахтах основна частка газовиділення походить з вуглепородної товщі, що підробляється, а вимоги нормативних документів щодо встановлення газової безпеки орієнтовані на прямо пропорційну залежність від рівня видобутку вугілля з пласта, що розробляється. Зміна газового балансу та частки основних джерел метановиділення його складових призвела до зміни та факторів, що визначають безпеку ведення гірничих робіт по газовому фактору.

- загальна кількість газу, що виділяється з вуглепородної товщі, що підробляється, за інших рівних умов, прямо пропорційно залежить від площі виробленого простору відпрацьованого виїмкового стовпа;

- поточний рівень газовиділення залежить як від ресурсів метану, що знаходиться в джерелах, що підробляються, так і від швидкості просування очисного забою. Загальна кількість метану, що виділився, залишається постійною величиною для конкретних розмірів виїмкового поля;

- показник кількості газу, що виділився з одиниці площі виробленого простору, що утворився в процесі місячного просування очисного вибою, не є постійним параметром для конкретних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов. Це викликано не збігом, в більшості випадків, швидкості просування очисних вибоїв за деякий проміжок часу (місяць) з розмірами зон газовиділення з масиву, що підробляється після проходження очисного вибою. Зміна цього показника аналогічна залежності газовиділення, віднесеного до тони видобутого вугілля. З цієї причини він не може бути критерієм оцінки газової безпеки шахт;

- при достатньому розвитку очисних робіт у шахтному полі з'являються додаткові джерела газовиділення за межами виїмкової ділянки, що експлуатується, під впливом активізації зсуву підроблюваних порід. Це необхідно враховувати під час проектування схем провітрювання виїмкових ділянок і напрямів дії загальношахтної депресії.

Отримані наукові результати дозволяють розробити нову методику оцінки газової безпеки у вугільних шахтах та прогнозу газовиділення з вуглепородної товщі на основі наявного виробничого досвіду та технічної документації щодо встановлення категорійної безпеки вугільних підприємств у попередні роки відповідно до чинних у той період нормативних документів.

## Література

1. НПАОП 10.01-1.01-10, Правила безпеки у вугільних шахтах (Київ, 2010)
2. С. Янко Руководство по проектированию вентиляции угльных шахт (Основа, Київ, 1994)
3. М. Філат'єв, Е. Філат'єва, А. Дубовік, Инженерная геомеханика при отработке угльных пластов (Лисичанськ, ДонДТУ, 2017)
4. При Айруни, Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах (Недра, Москва, 1981)
5. В. Михайлов, Д. Кузьмин, Н. Силаев, О метановиделении за разделами выемных участков из "старых" ранее отработанных этажей (горизонтов), Сб. МакНШ. 8, 33-38 (1972)
6. В. Мьякенький, Сдвигение и дегазация пород и угольных пластов при очистных работах (ИГТМ, Киев, 1975)
7. А. М. Морев, И. М. Евсеев, Дегазация сближенных пластов (Недра, Москва, 1975)
8. А. Айруни, И. Евсеев, Л. Зенович, Т. Мхатвари, Искусственное увеличение защитного действия при разработке бросоопасных пластов (СНПЕИ, 7, 1984)

9. ВВ Бокий, ОІ Касимов, Уголь України. 5, 17-21 (2005)
10. Н.И. Антощенко и др. Безопасная отработка газоносных угольных пластов с учетом геомеханических процессов сдвижения подработанных пород (Алчевск, ДонДТУ, 2014)

#### References

1. NPAOP 10.01-1.01-10, Pravila bezpeki u vugil'nih shahtah (Kiev, 2010)
2. S. Yanko Rukovodstvo po proektuvanni ventyliatsii uholnykh shakht (Osнова, Kyiv, 1994)
3. M. Filatiev, E. Filatieva, A. Dubovik, Inzhenernaya geometriya pri otrabotke ugol'nykh plastov (Lisichansk, DonSTU, 2017)
4. Pry Ajruni, Teoriya i praktika bor'by z rudnichnymi gazami na bol'shikh glubinah (Nedra, Moscow, 1981)
5. V. Mikhailov, D. Kuzmin, N. Sylaev, O metanovydelenii za rozpodilamy vyiemnykh uchastkiv z "starykh" ranei otrabotannykh etazhej(horizontov), Sb. MakNII. 8, 33-38 (1972)
6. V. Myaken'kij, Sdvizhenie i degazaciya porod i ugol'nykh plastov pri ochistnykh rabotah (IGTM, Kiev, 1975)
7. A. M. Morev, I. M. Evseev, Dehazatsiia zblizhennykh plastiv (Nedra, Moskva, 1975)
8. A. Ajruni, I. Evseev, L. Zenovich, T. Mhatvari, Isskustvennoe uvelichenie zashchitnogo dejstviya pri razrabotke brosoopasnykh plastov (CNIEI, 7, 1984)
9. VV Bokij, OI Kasimov, Ugol' Ukrainy. 5, 17-21 (2005)
10. NI Antoschenko et al., Bezopasная отработка газоносных угольных пластов с учетом геомеханических процессов сдвижения подработанных пород (Alchevsk, DonSTU, 2014)

*The regulatory framework for the safe development of gas-bearing coal seams is outdated. This applies to the establishment of the categorical danger of mines and the forecast of gas emissions during mining operations. This work summarizes the results of research on the establishment of the main factors of gas danger in coal mines of Ukraine. Due to the transition to deeper horizons, the gas balance and sources of methane release during treatment have changed. In modern mines, the main share of gas emissions comes from the forged coal seam. The change in the gas balance and the share of the main sources of methane emissions of its components has led to a change in the factors that determine the danger of mining. The current level of gas evolution depends on both the methane resources contained in the forged sources and the rate of advance of the treatment face. The total amount of methane released remains a constant value for the specific size of the excavation field. The indicator of the amount of gas released from the unit area of the produced space, formed in the process of monthly advancement of the treatment face, is not a constant parameter for specific mining-geological and mining conditions. The change in this indicator is similar to the dependence of gas evolution, attributed to the ton of coal produced. With sufficient development of treatment works in the mine field, additional sources of gas emissions appear outside the excavated area in operation, under the influence of increased shear of forged rocks. This must be taken into account when designing ventilation schemes of excavated areas and the directions of action of the general mine depression. The obtained scientific results allow to develop a new method of gas hazard assessment in coal mines and forecast of gas evolution from the coal seam on the basis of available production experience and technical documentation on establishing the categorical hazard of coal enterprises in previous years in accordance with current regulations.*

**Key words:** methane, methane emissions, gas evolution, gas bearing capacity, treatment face, gas hazard, coal mines

**Олейніченко О. А.** старший викладач кафедри фармації, виробництва та технологій Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

**Любимова-Зінченко О. В.,** к.т.н., доцент, доцент кафедри фармації, виробництва та технологій Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля [oljazin72@gmail.com](mailto:oljazin72@gmail.com)

**Корчуганова О. М.,** к.т.н., доцент, доцент кафедри фармації, виробництва та технологій Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

**Гуртовий В. І.,** студент гр. ГІР-21дм Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля