

© Р.Р. Єгорченко<sup>1</sup>, О.М. Коптовець<sup>1</sup>, Е.А. Федоренко<sup>1</sup>, С.В. Фелоненко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТІВ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ ШАХТНОЇ ДЕГАЗАЦІЇ МЕТАНОВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩ

© R. Yehorchenko<sup>1</sup>, O. Koptovets<sup>1</sup>, E. Fedorenko<sup>1</sup>, S. Felonenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY METHODS AND MEANS OF MINE DEGASATION PROJECTS OF METHANE COAL DEPOSITS

**Мета.** Формування методологічного підходу щодо оцінки ефективності методів управління газовиділенням при розробці метановугільних пластів та проектуванні шахтних дегазаційних систем.

**Методика дослідження.** Розглянуто якісні та кількісні показники впливу шахтного середовища на економічні параметри способів дегазації метановугільних пластів та встановлення ефективності діючих дегазаційних систем. Аналіз і синтез експлуатаційних показників вилучення, відведення та утилізації шахтного метану, що застосовуються в вугільній галузі та результатів досліджень ефективності шахтних дегазаційних систем дозволив виділити основні економічні ефекти, що характеризують дегазацію вугільних шахт.

**Результати дослідження.** За результатами оцінки сучасних тенденцій щодо визначення економічної ефективності дегазації високонавантажених лав було встановлено, що в зарубіжній практиці впроваджується принципово нові підходи для вибору інноваційних засобів дегазації вугільних шахт за рахунок яких можливо досягти економічного ефекту та скорочення витрат на дегазацію. Встановлено також, що економію електроенергії при роботі дегазаційних установок можливо отримати за рахунок підвищення герметичності вакуумних газопроводів дегазаційної мережі.

**Наукова новизна.** Теоретично обґрунтована методологія визначення техніко-економічних показників дегазації метановугільних пластів за рахунок модернізації діючих шахтних дегазаційних систем. Розроблено методику розрахунку економічної ефективності роботи дегазаційних систем з урахуванням попутного ефекту за рахунок підвищення герметичності вакуумних газопроводів дегазаційної мережі.

**Практичне значення.** Розроблено методику оцінки техніко-економічних показників діючих систем дегазації. Практичне застосування результатів дослідження щодо полягає у удосконаленні методики визначення економічного ефекту дегазації метановугільних шахт України.

**Ключові слова:** дегазація, підземний вакуумний газопровід, метаноповітряна суміш, моніторинг, пропускна спроможність, вакуум насосна станція.

**Вступ.** Відповідно до Закону України «Про газ (метан) вугільних родовищ» прибуток підприємств, отриманий від господарської діяльності з видобутку та використання газу (метану) вугільних родовищ звільняється від оподаткування [1]. Актуальність прийняття такого рішення визначається необхідністю забезпечення: надійності та безпеки експлуатації копалень; ефективного використання газу метану вугільних родовищ; зменшення залежності від імпорту

традиційних видів енергоносіїв, а також поліпшенню екологічної ситуації в регіонах. Єдиним реальним джерелом видобутку шахтного метану в Україні є дегазаційні системи діючих шахт [2].

З економічної точки зору основною проблемою засобів вилучення метану з вугільних пластів є їх низька економічна ефективність. Метан у вугільних пластах знаходиться у сорбованому стані і для його каптування необхідно залучати додаткові витрати [3].

Дослідженнями [4, 5] встановлено, що експлуатаційні показники ефективності та показники газових свердловин, пробурених у вугільні пласти, нижчі за показники свердловин природного газу. Обумовлено це тим, що процеси видобування метану з вугільних пластів характеризуються більшими витратами та меншою виручкою порівняно з видобуванням газу з традиційних джерел. В той же час, вилучення метану вугільних родовищ вирішує низку технологічних проблем та проблем з охорони праці, що в комплексі забезпечує додатковий економічний ефект, при врахуванні якого, можна суттєво покращити показники ефективності проектів із вилучення метану з вугільних пластів.

**Актуальність.** Потреби державної економіки у природному газі та продуктах його переробки диктують необхідність залучення у розробку нетрадиційних джерел видобутку газу, до яких відносяться вугільні пласти, що містять метан. Промисловий видобуток метану дозволить не лише підвищити економічну ефективність роботи вугледобувних підприємств, а й додатково залучити до господарського обороту цінну вуглеводневу сировину, що робить менш гострою проблему обмеженості наявних ресурсів.

В умовах сьогодення при інтенсивній розробці газоносних вугільних пластів гостро стоїть питання своєчасного відведення метаноповітряної суміші з очисних вибоїв і виробленого простору діючих лав та забезпечення її якісних показників для подальшого використання.

**Мета.** Формування методологічного підходу щодо оцінки ефективності методів управління газовиділенням при розробці метановугільних пластів та проектуванні шахтних дегазаційних систем.

**Аналіз сучасних досліджень та публікацій.** Питанням вирішення проблем безпеки, ефективності управління газовиділенням і вдосконалення систем дегазації вугільних шахт присвячені роботи вітчизняних та зарубіжних спеціалістів [6–8]. Проте проблема залишається актуальною через складнощі виконання технологічних операцій з дегазації та забезпечення контролю її ефективності. Дослідженнями [9, 10] встановлено, що продуктивність очисних ділянок, які працюють з дегазацією, зростає на 20 – 50%, а собівартість тони видобутого вугілля при цьому знижується на 8 – 10%. Означені розбіжності між технологічними і економічними показниками обумовили при оцінці ефективності дегазації необхідність врахування економічного ефекту від підвищення темпів проведення підготовчих виробок, навантаження на очисний вибій та попутного використання метану.

Автори роботи [11] відзначають, що отриманий при дегазації метан може бути використаний: для побутових потреб, для вироблення пари та електроенергії, для хімічної промисловості та отримання кристалогідратів.

Прибуток від реалізації метану, або продукції, отриманої при його переробці, розраховується за виразом:

$$B = V_{np} \cdot C_{од\ np}, \quad (1)$$

де  $V_{np}$  – об'єм виробленої продукції, (1000 м<sup>3</sup> метану, 1 кВт · год електроенергії, 1 Гкал · год тепла, 1 т сажі і т д);  $C_{од\ np}$  – ціна реалізації одиниці продукції, грн.

Слід відзначити, що сумарний ефект від дегазації та використання каптованого метану в раніше опублікованих матеріалах не розглядався.

**Постановка задач.** Накопичений на вугільних шахтах досвід промислового видобутку метану показав, що при ефективній системі дегазації підвищується безпека умов видобутку угілля та знижується рівень вибухонебезпечності по газу.

Експериментально підтверджено [12], що при високій метановісті виробок, яка в середньому на 10% скорочує ефективний робочий час підприємства через уповільнення або зупинки видобутку, можуть призвести до втрати доходів підприємства у розмірі від 8 до 16 млн. дол. на рік [13].

Чисельні виробничі ситуації обумовили необхідність систематизувати основні економічні ефекти від дегазації вугільних шахт та обґрунтувати вибір організаційно-економічного механізму щодо реалізації проектів дегазації.

#### **Завдання досліджень**

– провести аналіз технологічної та економічної ефективності роботи дегазаційних систем в умовах діючих шахт;

– розробити методика розрахунку економічної ефективності роботи дегазаційних систем з урахуванням попутного ефекту.

**Виклад основного матеріалу.** Формування методологічного підходу до оцінки ефективності дегазації вугільних шахт повинно проводитись на основі аналізу наступних факторів, що визначають особливості проектів дегазації. Для кожного проекту мають бути визначені індивідуальні технологічні заходи та супутні їм витрати, які дозволять досягти заданих результатів у специфічних умовах конкретного підприємства, наприклад:

– підвищення ефективності вуглевидобутку шляхом дегазації вуглепородного масиву та використання попутно видобутого метану;

– утилізація видобутого метану з підвищенням екологічної ефективності регіону;

– аварії, спричинені вибухами та спалахами метану, що призводять до збільшення травматизму, руйнування шахтної інфраструктури, зниження обсягів видобутку угілля.

Загалом усі проекти щодо вилучення метану вугільних пластів можна розділити на два види:

– проекти дегазації пластів для створення безпечних умов праці;

– проекти промислового видобутку метану вугільних пластів як корисної копалини.

Технологічна ефективність роботи дегазаційної системи в шахті оцінюється величиною коефіцієнта дегазації, який дорівнює відношенню кількості метану, що каптується дегазацією, до сумарної кількості метану, що видаляється дегазацією і вентиляцією. Коефіцієнт дегазації шахти  $K_{дез}$  визначається за виразом [14]:

$$K_{дез} = \frac{\sum_{f=1}^k G_{\partial.i}}{\sum_{f=1}^k (G_{\partial.i} + I_i)}, \quad (2)$$

де  $k$  – кількість дегазованих підготовчих та очисних виробок;  $j$  – індекс дегазованої ділянки;  $G_{\partial.i}$  – дебіт каптованого засобами дегазації метану на  $i$ - тій ділянці, що дегазується,  $\text{м}^3/\text{хв}$ ;  $I_i$  – метановиділення у вентиляційну мережу на ділянці, що дегазується,  $\text{м}^3/\text{хв}$ .

Необхідне значення коефіцієнта дегазації виробки (вибійного простору лави, виїмкової ділянки або підготовчої виробки) визначається за виразом:

$$K_{дез} = I - \frac{I_g}{k_n} \quad (3)$$

де  $I$  – багатометановість виробки (фактична або за прогнозом),  $\text{м}^3/\text{хв}$ ;  $I_g$  – допустиме за фактором вентиляції метановиділення у виробку без дегазації джерел метановиділення,  $\text{м}^3/\text{хв}$ ;  $k_n$  – коефіцієнт нерівномірності метановиділення, який приймається згідно з нормативним документом з проектування вентиляції вугільних шахт.

Слід відзначити, що необхідне значення коефіцієнта дегазації обумовлено нормативними актами, а витрати на його забезпечення є *обов'язковими* для вугледобувного підприємства. Таким чином, вимоги безпеки зумовлюють необхідні мінімальні витрати на проведення дегазації вугільних шахт [15]. При цьому витрати на дегазацію можуть перевищувати мінімально необхідні, якщо це необхідно підприємству для досягнення інших завдань. Наприклад, для отримання та використання додаткових обсягів метану, зниження впливу «газового фактору» на продуктивність вугільних комбайнів, скорочення викидів метану в атмосферу та ін.

Також необхідно враховувати, що виконання існуючих вимог безпеки не гарантує повної відсутності аварій. Тому витяг додаткових обсягів метану понад тих, які встановлені вимогами безпеки, знижує ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

Дослідженнями [16] доведено також, що метан газувугільних родовищ – потужне додаткове джерело вуглеводнів в Україні. Тому державна політика у сфері використання метану вугільних родовищ має бути спрямована на підвищення безпеки і ефективності експлуатації вуглевидобувних підприємств, на диверсифікацію джерел отримання енергоносіїв, захист довкілля і раціональне

використання надр, що особливо актуально на тлі глобальної кризи в умовах постійного росту цін на енергоносії. При цьому неприпустимо, щоб при вирішенні завдань, пов'язаних з утилізацією метану, виникали утруднення для дегазації або знижувалася її ефективність, а відтак, падали темпи зростання видобутку вугілля [6].

Аналіз і синтез експлуатаційних показників вилучення, відведення та утилізації шахтного метану, що застосовуються в галузі [17] та результатів досліджень ефективності шахтних дегазаційних систем [18] дозволив виділити основні економічні ефекти, що характеризують дегазацію вугільних шахт, а саме:

– використання вугільного метану, як супутнього енергоносія. Кожні 1000 м<sup>3</sup> метану за теплою згоряння дорівнюють 1,3-1,5 т вугілля; ціна моторного палива з метану на 15–20 % менша від ціни традиційно застосовуваного рідкого палива; використання 1 м<sup>3</sup> метану дозволяє виробляти 3,1-3,3 кВт·год електроенергії [19].

– підвищення ефективності вуглевидобутку, пов'язаного зі зниженням впливу «газового фактору». Інтенсивний розвиток і концентрація гірничих робіт обмежуються газовиділенням, пилоутворенням, раптовими викидами вугілля, порід і газу, самозайманням вугілля. Продуктивність очисних ділянок, що працюють із дегазацією, зростає на 20–50 %. Собівартість тони видобутого вугілля знижується на 8–10 % [20].

– скорочення витрат на ліквідацію наслідків аварій, викликаних вибухами та спалахами метану, які призводять до збільшення травматизму, руйнування шахтної інфраструктури, зниження обсягів видобутку вугілля [21].

– скорочення викидів метану в атмосферу, що дозволяє забезпечити екологічно чисту комплексну безвідходну технологію вуглевидобутку. Стійкий парниковий газ, яким є метан, обсягом 71,5 м<sup>3</sup> еквівалентний 1 т діоксиду вуглецю [22]. Тому при оцінці ефективності дегазації необхідно враховувати економічний ефект від зниження емісії метану в атмосферу.

– проектна система дегазації замінює діючу систему, необхідно передбачити ефект від скорочення витрат на попередню дегазацію.

Для проектів з видобутку метану вугільних пластів як самостійної корисної копалини можна виділити тільки економічний ефект від використання метану.

Для визначення економічного ефекту від зниження аварійності, спричинених вибухами та спалахами МВС,  $V_{ав}$  можна визначити за фактичними даними за формулою:

$$V_{ав} = U_{np} + U_m + H_n, \quad (4)$$

де  $U_{np}$  – прямі втрати, пов'язані з руйнуванням промислових об'єктів, грн;  $U_m$  – сума втрат пов'язаних з травматизмом шахтарів, грн;  $H_n$  – втрати, пов'язані з недоотриманням продукції у зв'язку з аварією, грн

$$U_{np} = C_{m.do} - C_{m.nic}, \quad (5)$$

де  $C_{m.до}$  – вартість майна шахти до аварії, грн;  $C_{m.пос}$  – вартість майна шахти після аварії, грн.

$$Y_m = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4, \quad (6)$$

де  $Y_1$  – відшкодування бюджету державного соціального страхування витрат на виплату допомоги з тимчасової непрацездатності, грн;  $Y_2$  – відшкодування органам соціального забезпечення сум пенсій (або частини пенсії) інвалідам праці, грн;  $Y_3$  – виплата допомоги непрацездатним членам сім'ї у разі смерті працівника від травми, пов'язаної з виробництвом (за втрату годувальника), грн;  $Y_4$  – витрати підприємства на професійну підготовку і перепідготовку працюючих, які приймаються на роботу замість колишніх працівників у зв'язку з травмою, грн;

$$H_n = D B_{сер/доб} (C_{m\ yuz} - C_{yuz} Y_{y-ner}), \quad (7)$$

де  $D$  – кількість днів, втрачених внаслідок аварії;  $B_{сер/доб}$  – середньодобовий видобуток аварійної ділянки до моменту аварії, т;  $C_{m\ yuz}$  – ціна 1 т вугілля, грн/т;  $C_{m\ yuz}$  – собівартість 1 т вугілля, грн/т;  $Y_{y-ner}$  – питома вага умовно-змінних витрат у собівартості 1 т вугілля, частки од.

Експериментально встановлено, що на шахтах небезпечних по газу та пилу навантаження на очисні вибій в 1,5–2 рази нижчі від проектного навантаження [23, 24]. У метанонебезпечних шахтах встановлюється система сигналізації, яка в автоматичному режимі припиняє роботу вугільних комбайнів, при перевищенні вмісту метану в шахтній атмосфері вище за величину, визначену вимогами безпеки. Таким чином, так званий «газовий фактор» є серйозною перешкодою збільшення ефективності роботи вугільних підприємств.

Економічний ефект від поліпшення використання фронту гірничих робіт у вугільних шахтах  $E_{ш}$ , пов'язаного зі зниженням впливу газового фактору, складається з ефекту від підвищення темпу проведення підготовчих виробок у шахтах  $E_{nidz}$  та ефекту від підвищення навантаження на очисний вибій  $E_{оч}$ :

$$E_{ш} = E_{nidz} + E_{оч} \quad (8)$$

Економічний ефект від підвищення темпу проведення підготовчих виробок у шахтах  $E_{nidz}$  розраховується за виразом:

$$E_{nidz} = (v_n - v_d) N C_{1m} Y_{y-nost}, \quad (9)$$

де  $v_n$ ,  $v_d$  – швидкість проведення підготовчих виробок у зоні дегазації відповідно після та до її впровадження, м/добу;

$N$  – число робочих днів на рік, діб;  $C_{1m}$  – собівартість проходки 1 м підготовчих виробок після проведення дегазації, грн/м;  $Y_{y-nost}$  – питома вага умовно-постійних витрат у собівартості проходки 1 м підготовчих виробок, частки од.

Економічний ефект від підвищення навантаження на очисний вибій  $E_{оч}$  розраховується за виразом:

$$E_{оч} = ((t_{п.до} - t_{п.пос}) \Pi_k N) (C_{m\ yuz} - C_{m\ yuz} Y_{y-ner}), \quad (10)$$

де  $t_{n.do}$ ,  $t_{n.noc}$  – час простоїв очисних комбайнів, що працюють у зоні дегазації, через вплив газового фактору до і після проведення дегазації, хв/добу;  $P_k$  – продуктивність очисних комбайнів, т/хв.

Слід відзначити, що економічний ефект може бути отриманий від використання метану з вугільних пластів як паливо для вироблення пари та електроенергії; для вироблення моторного палива; для побутових потреб; як теплоносій на різних заводах, у тому числі металургійних; як сировина для хімічної промисловості; для отримання кристалогідратів. При цьому необхідно враховувати, що напрям використання залежить від обсягів видобутку, якості газу, що видобувається, його вмісту в МВС.

Вибір конкретного варіанта використання метану залежить від таких економічних та організаційних факторів, як величина витрат на створення переробного виробництва за відповідним напрямом використання, організаційно-економічний механізм взаємодії учасників проекту щодо вилучення метану, специфічні потреби учасників проекту у певних продуктах переробки.

Економічний ефект від використання метану  $E_i$  складається з ефектів від різних напрямів його використання, які визначаються виручкою від реалізації метану та (або) продуктів, отриманих при його переробці:

$$E_i = \sum_{t=1}^n B_i = \sum_{t=1}^n (Q_i + C_i), \quad (11)$$

де  $Q_i$  – обсяг реалізації метану та (або) продуктів, отриманих при його переробці (1000 м<sup>3</sup> метану, 1 кВт·год. електроенергії);  $C_i$  – ціна реалізації метану та (або) продуктів, отриманих при його переробці (грн/1000 м<sup>3</sup>, грн/1 кВт·год електроенергії);  $i$  – напрям використання видобутого метану.

Економічний ефект від зниження емісії метану в атмосферу  $E_{em}$  є скорочення витрат вугледобувного підприємства на платежі за викиди метану в атмосферу.

При визначенні платежу необхідно порівняти величину попереднього викиду  $Q$ , переведену в тонни (маса 1 м<sup>3</sup> метану при температурі 293 К дорівнює 6,679 · 10<sup>-4</sup> т) із встановленими нормативами. Слід зазначити, що зниження виплат можливе лише за умови повного чи часткового використання вилученого метану. Таким чином, для запобігання викиду відносяться тільки обсяги використаного метану.

Якщо  $Q \leq H_{zdk}$ , то  $E_{em} = (Q \cdot Z_{zdk}) k_e$ ,

якщо  $H_{zdk} < Q \leq H_{lim}$ , то  $E_{em} = (H_{zdk} Z_{zdk} + (Q - H_{zdk}) Z_{lim}) k_e$ ,

якщо  $H_{lim} < Q$ , то  $E_{em} = (H_{zdk} Z_{zdk} + (H_{lim} - H_{zdk}) Z_{lim} + (Q - H_{lim}) 5 \cdot Z_{lim}) k_e$ ,

де  $H_{zdk}$  – гранично допустимий викид, т;  $H_{lim}$  – викид у межах встановленого ліміту, т;  $Z_{zdk}$  – базовий норматив плати за викид 1 т у розмірах, що не перевищують гранично допустимі нормативи викидів, грн/т;  $Z_{lim}$  – плата за викиди в межах встановлених лімітів, грн/т;  $k_e$  – коефіцієнт екологічної ситуації та екологічної значимості атмосфери в даному регіоні (застосовується з додатковим коефіцієнтом 1,2 при викиді в атмосферне повітря міст).

Слід відзначити, що скорочення викидів метану в атмосферу дозволяє поліпшити екологічну ситуацію у вугледобувних регіонах, скоротити негативний вплив на стан озонового шару.

При застосуванні інноваційних технічних рішень для підвищення ефективності дегазації вугільних шахт можливо отримати економічний ефект від скорочення витрат за попередню дегазацію  $E_{n.d}$ , за виразом:

$$E_{n.d} = Q_{\text{вуг}} C_{m \text{ вуг}} U_{n.d} U_{c.z} \quad (12)$$

де  $Q_{\text{вуг}}$  – річний видобуток вугілля в зоні дегазації, т;  $U_{n.d}$  – частка витрат на попередню дегазацію у собівартості видобутку 1 т вугілля, частки од.;  $U_{c.z}$  – частка, яку можна скоротити витрати на попередні методи дегазації без зниження загальної ефективності дегазації, частки од.

Необхідно відзначити, що виникнення цього економічного ефекту можливе, якщо нова система дегазації, що впроваджується, повністю або частково замінює проведення попередньої дегазації.

Сумарний економічний ефект від дегазації  $E_{\text{дег}}$  дорівнює сумі п'яти перелічених ефектів:

$$E_{\text{дег}} = E_{av} + E_{ш} + E_i + E_{em} + E_{n.d}. \quad (13)$$

Слід відзначити, що економію електроенергії при роботі дегазаційних установок можливо отримати за рахунок наступних заходів:

- підвищення герметичності вакуумних газопроводів дегазаційної мережі;
- використання для постачання вакуум-насосів напірного бака замість підкачувальних насосів;
- застосування більш економічних вакуумних насосів.

З перерахованих заходів найефективнішим є підвищення герметичності вакуумних газопроводів дегазаційної мережі. Зниження кількості рудникового повітря, який підсмоктується з гірничої виробки, дозволить зменшити питому витрату електричної енергії на транспортування одиниці об'єму метаноповітряної суміші у перерахунку на 100% концентрацію метану та отримати на цій основі економію електричної енергії по шахті.

Порівняльний аналіз економічного ефекту, що транспортується по шахтній дегазаційній мережі визначається за виразом:

При концентрації 30%:

$$Q_{\text{доб.1}} = \frac{Q_{\text{доб}} \cdot 30}{100}, \text{ м}^3, \quad (14)$$

де  $Q_{\text{доб}}$  – кількість метану, що транспортується по ШДС, м<sup>3</sup>;

При концентрації 40 %:

$$Q_{\text{доб.2}} = \frac{Q_{\text{доб}} \cdot 40}{100}, \text{ м}^3. \quad (15)$$

Добова витрата електроенергії вакуум-насосами дорівнює:

$$W_{\text{доб}} = 24 \cdot P_c, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (16)$$



де  $P_c$  – потужність двигунів вакуум-насосів, кВт.

Питома витрата електроенергії на транспортування 1 м<sup>3</sup> метану визначається за виразом

При концентрації 30%:

$$\omega_1 = \frac{W_{\text{доб}}}{Q_{\text{доб.1}}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3 \quad (17)$$

При концентрації 40 %:

$$\omega_1 = \frac{W_{\text{доб}}}{Q_{\text{доб.2}}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3 \quad (18)$$

Таким чином, підвищення концентрації метану за рахунок зниження підсмоктування повітря в дегазаційну мережу на 10% дозволити знизити питому витрату електроенергії на 25%.

Річні витрати на споживання електроенергії установкою розраховується за виразом:

$$W_{\text{річ}} = 8760 \cdot P_c, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (19)$$

Очікувана річна економія по шахті від запровадження цього заходу розраховується за виразом:

$$\Delta\omega = 0,25 \cdot W_{\text{річ}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (20)$$

Проведений аналіз дегазації вугільних шахт за запропонованою методикою розрахунку дозволили встановити економічний ефект:

- від зниження аварійності, пов'язаної з вибухами метану;
- підвищення використання фронту гірничих робіт у вугільних шахтах, обумовленого зниженням впливу «газового фактора»;
- зниження викидів метану в атмосферу;
- використання видобутого метану.

**Висновки.** За результатами оцінки сучасних тенденцій щодо визначення економічної ефективності дегазації високонавантажених лав було встановлено, що в зарубіжній практиці впроваджується принципово нові підходи для вибору інноваційних засобів дегазації вугільних шахт за рахунок яких можливо досягти економічного ефекту та скорочення витрат на дегазацію.

Розроблено методику розрахунку економічної ефективності роботи дегазаційних систем з урахуванням попутного ефекту за рахунок підвищення герметичності вакуумних газопроводів дегазаційної мережі.

#### Перелік посилань

1. Закон України від 21.05.2009 № 1392-VI «Про газ (метан) вугільних родовищ» (2009).
2. Рудько, Г., Ловинюков, В., & Григіль, В. (2013). Перспективи видобутку вуглеводневої сировини нетрадиційного типу в Україні. *Геолог України*, 3, 101–106.
3. Вергельська, Н.В. (2015). Структурно-тектонічні особливості формування покладів газу у вуглепородних масивах Донбасу. *Нафтогазова галузь України*, 2, 25-28.

4. Видобуток природного газу в Україні: проблеми та перспективи. (2013). *Матеріали засідання Експертної ради з питань газової промисловості та ринку природного газу при Міненерговугілля.*
5. Звягільський, Є.Л., Бокій, Б. В., & Касімов, О.І. (2011). *Видобуток метану із вугільних родовищ Донбасу.* Вид-во «Ноулідж».
6. Булат, О.Ф., Кірік, Г.В., & Шевченка, В.Г.(2014). Комплексне вирішення проблем безпеки під час розробки родовищ вуглеводнів із застосуванням компресорного обладнання. *Геотехнічна механіка, 119, (3), 3–13.*
7. Рудько, Г. І., Калашник, П. М., & Ловинюков, В. І. (2009). Наукові і методичні основи вивчення метаносності вугільних родовищ для підрахування загальних і видобувних запасів метану. *Геолог України, 3, 69–70.*
8. *World Energy Outlook* (2008). OECD/IEA: International Energy Agency.
9. Кісь, С.Я., Яцюк, О.С., Юшков, Є.О., & Зінченко, С.А. (2013). *Обґрунтування економічної ефективності поточкових технологій спорудження дегазаційних свердловин на вугільних підприємствах. Монографія. «СІМІК».*
10. Курис, Ю. (2014). Перспективи видобутку метану вугільних пластів та шахтного метану на території Донбасу. *Матеріали конференції, 13-та Міжнародна конференція EAGE з геоінформатики – теоретичні та прикладні аспекти, 396-420.*  
<https://doi.org/10.3997/2214-4609.20140420>
11. Антощенко, Н.И., Филимонов, П.И., Костенко, В.К. & Завьялов, В.Д.(2013). *Геомеханічні та технологічні умови газодинамічних процесів у вугільних шахтах. Монографія. ДонГТУ.*
12. Chen, H., Cheng, Y., Ren, T., Zhou, H., & Liu, Q. (2014). Permeability distribution characteristics of protected coal seams during unloading of the coal body. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 71, 105–116.*  
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2014.03.018>
13. Рудько, Г. І., Калашник, П. М., & Ловинюков, В. І.(2009). Наукові і методичні основи вивчення метаносності вугільних родовищ для підрахування загальних і видобувних запасів метану. *Геолог України, 3, 69-70.*
14. Столбченко, Е. В., & Пугач, С. И. (2019). Обоснование параметров участков труб шахтных сетей. Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. *Сборник материалов 15-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Минск – Тула – Донецк, 198-204.* <https://rep.bntu.by/handle/data/63094>
15. *Правила проектування дегазації вугільних шахт та експлуатації дегазаційних систем: СОУ-П.* (2020). Міністерство енергетики України. [http://sop.zp.ua/norm\\_npaop\\_10\\_0-1\\_01-10\\_01\\_ru.php](http://sop.zp.ua/norm_npaop_10_0-1_01-10_01_ru.php)
16. Наумко, І.М., Павлюк, М.І., Сворень, Й.М., & Зубик, М.І. (2015). Метан газувугільних родовищ – потужне додаткове джерело вуглеводнів в Україні. *Вісн. НАН України, 6, 43-54.*
17. Ширин, Л.Н., Дудля, Н.А., & Софийский, К.К.(2012). Перспективы добычи шахтного метана из угольных отложений Донбасса. *Научный журнал (Геология, Гірництво, Нафтогазова справа) Полтавського НТУ імені Юрія Кондратюка, 1 (1), 171-179.*
18. Брюханов, П.А., & Шевченка, В.Г. (2012). Оцінка ефективності дегазації підземними свердловинами за діючим очисним вибоєм. *Геотехнічна механіка, 360.*
19. Рубан, А. Д. (2011). Нетрадиционные источники энергии: шахтный метан. *Газовая промышленность, 4. 28–29.*
20. Бокій, Б.В., & Дудля, Е.Е. (2015). Оценка эффективности добычи метана на ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько» поверхностными скважинами. *Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць., 124, 139-147.*

21. СОУ-П 10.1.00174088.018:2009. Система управління виробництвом та охороною праці у вугільній промисловості України (типове керівництво) (2010). Міністерство вугільної промисловості України.
22. Корогод, А., Огаренко, Ю., & Ніцович, Р. (2021). Стратегія ЄС зі скорочення викидів метану: можливості для України. Аналітична записка. ГО «Діксі Груп», 21. <http://dixigroup.org>.
23. Лобов, Н. М. (1999). Визначення економічної ефективності використання метану вугільних родовищ. *Актуальні проблеми гірничої науки та освіти: зб. тр. наук.-метод. конф. СПб.:СПГТИ (ТУ)*, 91–93.
24. Бондаренко, В.І., Кузьменко, О.М., Прийдешній, Ю.Б., Гайдук, В.А., Дзвонів, О.В., Табаченко, Н.М., & Почепов, В.М. (2003). *Технологія підземної розробки пластових родовищ корисних копалин. Навч. для ВНЗ*.

#### ABSTRACT

**Purpose.** The formation of a methodological approach to the evaluation of the effectiveness of gas release management methods in the development of methane coal seams and the design of mine degassing systems.

**Research methodology.** Qualitative and quantitative indicators of the influence of the mine environment on the economic parameters of the methods of degassing of methane coal seams and the establishment of the efficiency of the existing degassing systems were considered. Analysis and synthesis of operational indicators of extracting, removal and utilization of mine methane used in the coal industry and the results of studies of the effectiveness of mine degassing systems, allowing to highlight the main economic effects characterizing the degassing of coal mines.

**Findings.** According to the results of the assessment of modern trends in determining the economic efficiency of degassing of highly loaded beds, it was established that fundamentally new approaches are being implemented in foreign practice for the selection of innovative means of degassing of coal mines due to which it is possible to achieve an economic effect and reduce the costs of degassing. It was also established that electricity savings during the operation of degassing plants can be obtained by increasing the tightness of the vacuum gas pipelines of the degassing network.

**Originality.** A theoretically grounded methodology for determining the technical and economic indicators of degassing of methane coal seams due to the modernization of existing mine degassing systems. The methodology for calculating the economic efficiency of degassing systems has been developed, taking into account the side effect of increasing the tightness of the vacuum gas pipelines of the degassing network.

**Practical meaning.** The methodology for evaluating the technical and economic indicators of the existing degassing systems has been developed. The practical application of the results of the study is to improve the methodology for determining the economic effect of degassing of methane coal mines of Ukraine.

**Keywords:** *degassing, underground vacuum gas pipeline, methane-air mixture, monitoring, throughput, vacuum pumping station.*