

¹ТОВ «ДТЕК Енерго», Київ, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДЕГАЗАЦІЇ ВИЙМКОВИХ ДІЛЬНИЦЬ ТА УТИЛІЗАЦІЇ МЕТАНУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЛЬНИЧНОЇ ДЕГАЗАЦІЇ В УМОВАХ ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

¹LLC “DTEK Energy”, Kyiv, Ukraine

DEGASSING METHODS AND MEANS ANALYSIS OF MINE WORKINGS AND METHANE UTILIZATION TO IMPROVE SITE DEGASSING EFFICIENCY IN THE WESTERN DONBAS MINES

Мета. Аналіз методів і засобів дегазації виймкових дільниць та утилізації метану задля підвищення ефективності дільничної дегазації видобувних ділянок шахт Західного Донбасу.

Методика дослідження. Для досягнення поставленої мети використано комплексний підхід, що включає аналіз існуючих геомеханічних факторів та розкриття механізму їх впливу на газовиділення у підробленій вуглевмісній товщі в умовах Західного Донбасу.

Результати дослідження. Проаналізовано методи та засоби дегазації виймкових дільниць та утилізації метану. Аналіз показав задовільну ефективність дегазації з перспективою вилучення метано-повітряної суміші з концентрацією метану на рівні 25–45%, що створює умови для розвитку напрямів утилізації метану шляхом його спалення у когенераційних установках з метою виробництва теплової і електричної енергії. Разом з тим, аналіз сучасних досліджень методів і засобів дільничної дегазації довів існування значних резервів підвищення її ефективності за рахунок вибору раціональних параметрів технології цього процесу з урахуванням впливу геомеханічних і техно-логічних факторів.

Наукова новизна. Вперше встановлено, що каптування метану з відведенням його на земну поверхню значно безпечніше і дешевше, ніж розбавлення його повітрям і транспортування гірничими виробками. При цьому з'являється можливість використання метану для компенсації витрат на процеси дегазації з активним розвитком так званої дільничної дегазації. Вперше визначено тенденції впливу геомеханічних і технологічних факторів на процеси газовиділення. Набули подальшого розвитку уявлення про механізм зсуву надвугільної товщі в умовах шахт Західного Донбасу з погляду визначення зон розшарування і тріщиноутворення у породах покрівлі при відпрацюванні вугільних пластів.

Практичне значення. Отримані результати доводять, що визначення закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів на процеси газовиділення повинне базуватися на вивченні механізму дегазації, моделюванні цього процесу й оцінці достовірності за результатами шахтних експериментів, що буде сприяти розвитку підземного вуглевидобутку.

Ключові слова: вугільна шахта, гірський масив, дільнична дегація, геомеханічні та технологічні фактори.

Вступ. Нині вугільна галузь залишається головною в забезпеченні енерго-незалежності України. Тому постає питання комплексності підвищення

продуктивності роботи шахт, і насамперед це стосується Західного Донбасу, як провідного підприємства видобувної галузі.

У сучасних трендах вуглевидобутку спостерігається певний напрям, якщо їх розглядати з урахуванням супутніх факторів світового масштабу. Тому зроблена спроба оцінки і винайти дещо компромісні шляхи найбільш доцільного напрямку розвитку бази для переважно комплексного вирішення більшості задач сталого функціонування вугільних підприємств України на перспективу.

Таким чином обґрунтування напрямів підвищення ефективності дільничної дегазації при роботі високонавантажених лав є актуальною науково-практичною задачею.

Постановка проблеми та шляхи її вирішення. Міжнародна Енергетична Агенція ІЕА (International Energy Agency; www.iea.org) стверджувала у 2016 році про міцні позиції вугілля [1] з щорічним споживанням на рівні 7 млрд т у 2020–2021 рр. Відомо, що максимальний рівень вуглевидобутку був у 2013 р. (приблизно 8,3 млрд т), але потім мало місце його зниження [2, 3]. Стверджується [4, 5], що основні країни-споживачі кам'яного вугілля у перспективі будуть стабілізувати або зменшувати його споживання; за прогнозними розрахунками зменшення може скласти 0,8% на рік. Прогнозна динаміка споживання кам'яного вугілля свідчить, що головні країни-вуглеспоживачі під час виробництва електроенергії та тепла здійснюють перехід на до більш ефективного використання вторинних ресурсів, а також залучають альтернативні джерела енергії.

Фахівці стверджують, що від'ємна динаміка тренду споживання буде мати довгостроковий характер [6], воно впаде до 6,5–6,6 млрд т у 2025 р. і до 5,7–6,0 млрд т у 2035 р. Очікується, що до 2040 р. глобальна частка вугілля впаде до 19% і це падіння буде компенсоване [7] відновлювальними джерелами енергії (19%) і природним газом (25%).

Викладені прогнозні дані характеризують перший світовий тренд на виробництво і споживання кам'яного вугілля. Але існують й інші фактори світового масштабу. Серед них безпосередньо пов'язана (з першим трендом) тенденція зменшення викидів парникових газів, наприклад, за даними [8] у навколосемну атмосферу щорічно викидалося 1,25–1,30 млрд м³ вугільного метану станом на середину 2000 років. У той же час, сьогодні метан вугільних пластів вважається одним з перспективних джерел природної сировини; тому станом на 2020 р. світовий видобуток метану з вугільних пластів становить 78 млрд м³, а на 2040 р. прогнозується 157 млрд м³ [9–11]. Світовими лідерами в цьому напрямі є США, Канада, Австралія та Китай.

Екологічно чиста утилізація метану базується на можливості його повного спалення у замкненому циклі очищення й переробки продуктів згорання [12]. Сучасні технології дозволяють відбирати і захоронити вуглекислий газ у самих вугільних пластах – це дозволяє реалізувати вкрай важливе завдання зниження викиду парникових газів до атмосфери. Активно розробляється (США, Англія, Австралія, Німеччина, Японія та ін.) технологія витиснення метану з вугільних пластів та вуглевміщуючих порід за допомогою вуглекислого газу та азоту [13, 14].

З жорсткими вимогами до охорони навколишнього середовища розробляються у Польщі [15, 16] технології видобутку альтернативних ресурсів з вугілля; проводяться широкомасштабні дослідження з цього питання та викладений досвід впровадження новітніх технологій [17–21]. Важливість утилізації метану в польських вугільних шахтах [22] обґрунтовується великими об'ємами газу – підтверджений баланс становить 85,9 млрд м³ [23]. У цій країні дуже прискіпливо відносяться до безпеки розробки метанонасичених вугільних пластів [24]; відмічений великий вміст метану [25–27] не тільки на території вугільних родовищ Польщі, а й Чехії. Тому виконується комплекс досліджень [28] емісії метану з вугільних пластів і розробляються методи його дренажу для забезпечення безпеки і захисту навколишнього середовища. Встановлено, що метанонасиченість підвищується із зростанням глибини H розташування вугільного пласта, але найбільш небезпечний інтервал складає $500 \leq H \leq 1100$ м [29, 30]; також підвищується ризик небезпечних проявів за підсилення концентрації гірничих робіт [31, 32]. У цьому сенсі розглядається різноманітна техніка буріння дегазаційних свердловин [33], у тому числі в обвалену покрівлю виробленого простору [34–36], а також застосування випереджаючих свердловин [37]. Разом з технічними питаннями виконуються дослідження з оптимізації параметрів дегазації у лаві [38], а також розробляються методи контролю процесів утилізації її метану [39], [40].

Що стосується України, то розглянута проблема видобутку і використання метану вугільних родовищ дозволить поєднати забезпечення її енергоносіями з ростом безпеки роботи вугільних шахт та зменшення негативного впливу парникових газів [41–44]. За даними Державного комітету України по геології і використанню надр загальні запаси шахтного метану на Донбасі оцінювалися в 1,3 трлн м³; за іншими оцінками ресурси метану тільки у вугільних пластах Донбасу можуть перевищувати 4,0 трлн м³ [45, 46], що у 3,0–3,5 рази більше, ніж доведені запаси природного газу.

На сьогодні в Україні використовують [47] приблизно 0,5% від потреб країни в газі. Для порівняння, наприклад, у США споживається близько 10%; також високий показник має місце в країнах з розвинутою вугільною промисловістю – Канаді, Великій Британії, Австралії, Німеччині та Польщі [48]. У цьому сенсі доречно нагадати, що метан, який викидається в атмосферу вентиляційними системами вугільних шахт, сприяє створенню парникового ефекту. У роботі [49] приблизно підтверджені відомості, що запаси метану вугільних родовищ України у 2,0–2,5 рази перевищують запаси природного газу та надається оцінка технічним можливостям його видобутку на рівні 1,2–3,6 трлн м³. Майже на порядок вищий позитивний прогноз [50] щодо об'ємів загального ресурсу метану (у вугленосній товщі Донбасу) – він становить від 12 трлн м³ до 25 трлн м³ і наголошується, що методи шахтної дегазації дуже перспективні в майбутніх технологіях видобутку вугілля. У цьому ракурсі провідні фахівці доволі однозначно стверджують про перспективність розвитку газововугільного напрямку в енергонезалежності України поряд із великим соціальним і політичним значенням. Наприклад, у роботі [51], як і у багатьох інших, ставлять на перший план три основних аспекти комплексної розробки газововугільних родовищ, серед яких завдання дільничної

дегазації займає не останнє значення у сфері безпеки ведення гірничих робіт та підвищення їх ефективності.

Оцінка ресурсного потенціалу шахтного метану на шахтах Західного Донбасу сягнула 2,36 млрд м³. Наявне на сьогодні застосування дегазаційних систем на шахтах ім. Героїв Космосу, «Західно-Донбаська», «Ювілейна», «Степова» та «Дніпровська» обумовлює перспективність застосування когенераційних установок для підвищення енергоефективності та екологізації видобутку вугілля. Їх використання дає змогу покривати потреби електроенергії шахт на рівні 35–50 %, а в разі функціонування в перспективі двох дегазаційних комплексів на шахті ім. Героїв Космосу з'являється можливість покриття її потреб в електричній енергії на всі 100 %.

У підсумку бачимо, що другий світовий тренд (розвиток газовугільних технологій) має єдиний напрям з першим і дозволяє з поміркованим оптимізмом прогнозувати створення екологічно ощадливих способів і засобів перетворення вторинної сировини на корисну і безпечну продукцію життєзабезпечення населення.

Аналіз методів і засобів дегазації виїмкових дільниць та утилізації метану. Досвід розробки вугільних родовищ свідчить про максимально негативні соціальні, технологічні, економічні та екологічні наслідки. У цьому сенсі каптування метану з відведенням його на земну поверхню є значно безпечнішим і дешевшим, ніж розбавлення його повітрям і транспортування гірничими виробками. При цьому забезпечується можливість використання метану, що компенсує певну частку витрат на процеси дегазації. Важливим є той факт, що підвищення ефективності дегазації сучасними засобами дає змогу видобувати метан за якістю та кількістю, придатними для його переробки на електроенергію та тепло, з одночасним підвищенням безпеки ведення гірничих робіт і запобігання забрудненню атмосфери. Підвищення продуктивності видобутку вугілля сучасним обладнанням також пов'язане з вирішенням головної проблеми – дегазацією вуглепородного масиву.

Фахівці гірничої справи ще у 60–70 рр. минулого століття виділили декілька напрямів дегазації вуглепородного масиву: свердловинами, що пробурені із земної поверхні; попередня дегазація; підземна дегазація; дегазація після експлуатації.

До початку розробки вугільних родовищ (попередня дегазація) роботи з вилучення метану активно розвивалися ще з 80–90 рр. минулого століття з головною метою запобігання раптових викидів вугілля та газу, суфлярних виділень метану і створення газової безпеки шахт. Як основний спосіб застосовується гідророзрив вугільних пластів і породних шарів [52–55].

Попередня дегазація реалізується шляхом буріння з земної поверхні низки вертикальних, похилих і горизонтальних свердловин за певною схемою їх розташування. Ці схеми залежать від багатьох факторів геомеханічного і технологічного характеру. Їхній вплив розглянуто у багатьох наукових працях, наприклад, [56–62]. З боку технологічних факторів виникає проблема точності буріння, тобто боротьби з відхиленнями траси залежно від гірничо-геологічних умов [60–

62], контролю, корегування та моделювання траєкторії свердловини [63–70]; особливо це важливо під час буріння локальних дегазаційних свердловин в обмежених районах небезпечного скупчення газу [71]. Треба зазначити, що досвід практичного застосування в Україні засобів попередньої дегазації шляхом гідророзриву показав їхню невелику ефективність – не забезпечується потрібне зменшення газоносності за немалих витрат.

Підземну технологію дегазації зазвичай поділяють на три складові: попередня пластова дегазація; поточна дегазація свердловинами, пробуреними з гірничих виробок; дегазація виробленого простору.

Попередню дегазацію вугільних пластів, що розробляються, доцільно здійснювати за певного відносного показника виділення метану в лаві шляхом буріння свердловин паралельно або під кутом до очисного вибою. Щодо типових схем попередньої дегазації на шахтах Донбасу, то їх ефективність зазвичай становить 25–30%. Однак є відомості, що комбінація двох систем свердловин, які по-різному зорієнтовані у вугільному пласті, дозволяє досягати коефіцієнту дегазації до 45–55%, а саме ця величина забезпечує попередження раптових викидів вугілля, як встановлено з досвіду попередньої дегазації.

Якщо дегазація вуглепородного масиву свердловинами не забезпечує потрібної ефективності, то для виключення обмежень навантаження на очисний вибій за газовим фактором треба виключити вплив метановиділення із виробленого простору. Для вирішення цієї проблеми існує декілька варіантів дегазації (залежно від гірничотехнічних умов відпрацювання конкретного вугільного пласта), але всі вони мають ті чи інші недоліки.

Джерела газовиділення у процесі вуглевидобутку, розвантаження від гірського тиску та інтенсивного вивільнення від метану ефективно дегазуються свердловинами, що буряться услід за лавою (поточна дегазація). Розташування зон підвищеного газовиділення залежить від гірничо-геологічних і гірничотехнічних факторів [51, 55, 72–81]. До перших відноситься глибина розробки і кут падіння пласта, потужність і літотипний склад масиву. До других факторів – система розробки, схеми дегазації і провітрювання виїмкових дільниць, довжина і швидкість посування лави.

Обрана схема дегазації повинна забезпечувати [82, 83]: газову безпеку дільниці; максимальне навантаження на очисний вибій; виведення газової суміші на земну поверхню за максимальної концентрації в ній метану. Під час буріння свердловин позаду очисного вибою забезпечуються найсприятливіші умови їх функціонування: свердловина не підробляється очисним вибієм; гирла свердловин захищені від руйнування охоронною конструкцією виїмкового штреку, що використовується повторно. Досвід експлуатації таких свердловин показав, що ефективність дегазації вуглепородного масиву сягає 60–70% при вмісті метану близько 30%.

На шахтах Західного Донбасу в більшості схем дільничної дегазації вдається каптувати до 50% газу, а метан, що не каптується системою дегазації, розбавляється до концентрацій менше 1% і виводиться в атмосферу. Наведемо декілька прикладів схем дегазації, що застосовуються на шахтах Західного Донбасу.

На шахті ім. Героїв Космосу під час відпрацювання 501 лави передбачена дегазація покрівлі свердловинами, пробуреними за очисним вибоєм з вентиляційної виїмкової виробки (рис. 1). На шахті «Степова» дегазація покрівлі на виїмкових дільницях 153 і 178 лав пласта C_6 здійснюється за допомогою буріння дегазаційних свердловин позаду очисного вибою з розворотом у бік його руху по 153 і 180 збірних штреках (рис. 2). На шахті «Ювілейна» відпрацювання пласта C_6 також здійснюється технологією дільничної дегазації покрівлі (рис. 3). Аналогічну схему дегазації прийнято на шахті «Дніпровська» (рис. 4) при відпрацюванні пласта C_{10}^6 ; фактичний коефіцієнт дегазації 1186 виїмкової дільниці становить 42%. Станом на сьогодні на шахтах «Павлоградська», «Самарська» і «Тернівська» технологія дегазації не застосовується.

Узагальнений аналіз фактичних показників в умовах розглянутих п'яти шахт (шахти ім. Героїв Космосу, «Західно-Донбаська», «Степова», «Ювілейна» та «Дніпровська») показав задовільну ефективність дегазації з перспективою вилучення метано-повітряної суміші з концентрацією метану на рівні 25–45%, що створює умови для розвитку напрямів утилізації метану шляхом його спалення у когенераційних установках з метою виробництва теплової і електричної енергії. Разом з тим, існують значні резерви підвищення ефективності дегазації за рахунок вибору раціональних параметрів технології цього процесу з урахуванням впливу геомеханічних і технологічних факторів.

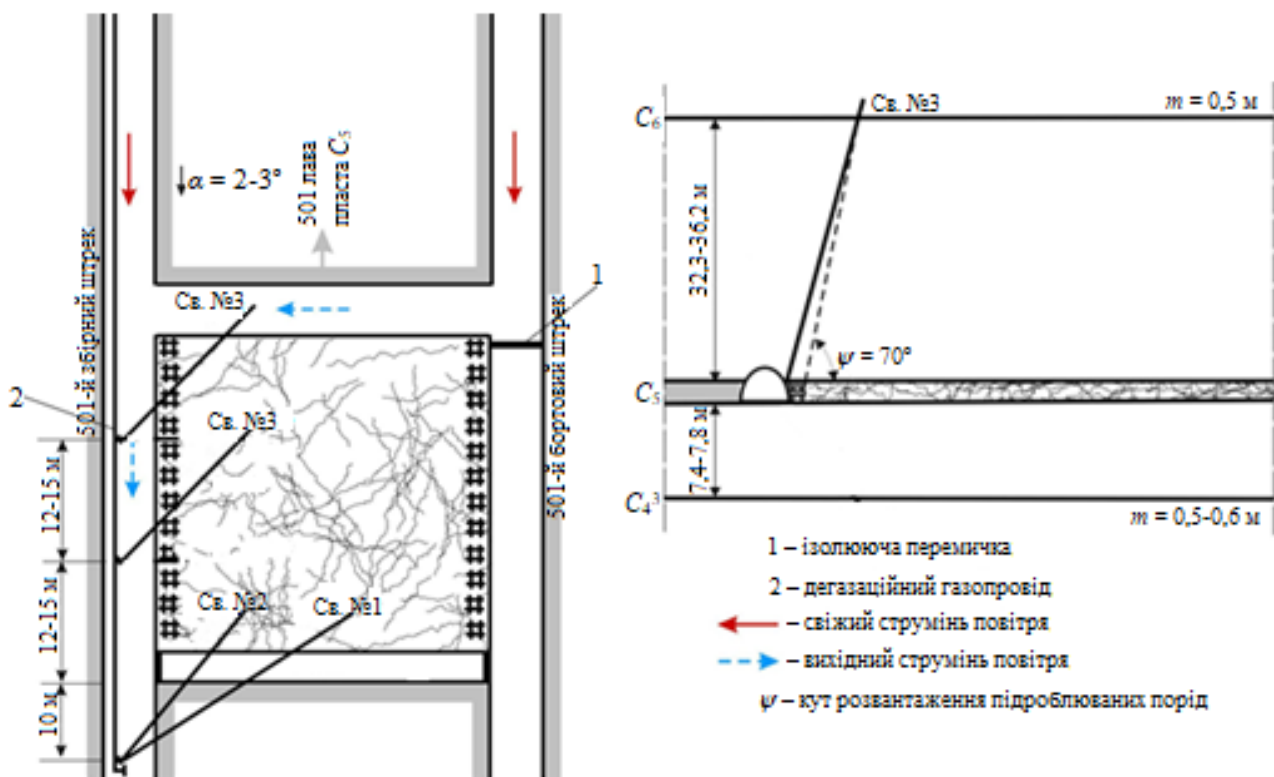


Рис.1. Схема буріння дегазаційних свердловин у покрівлю на виїмковій дільниці 501 лави пласта C_5 шахти ім. Героїв Космосу

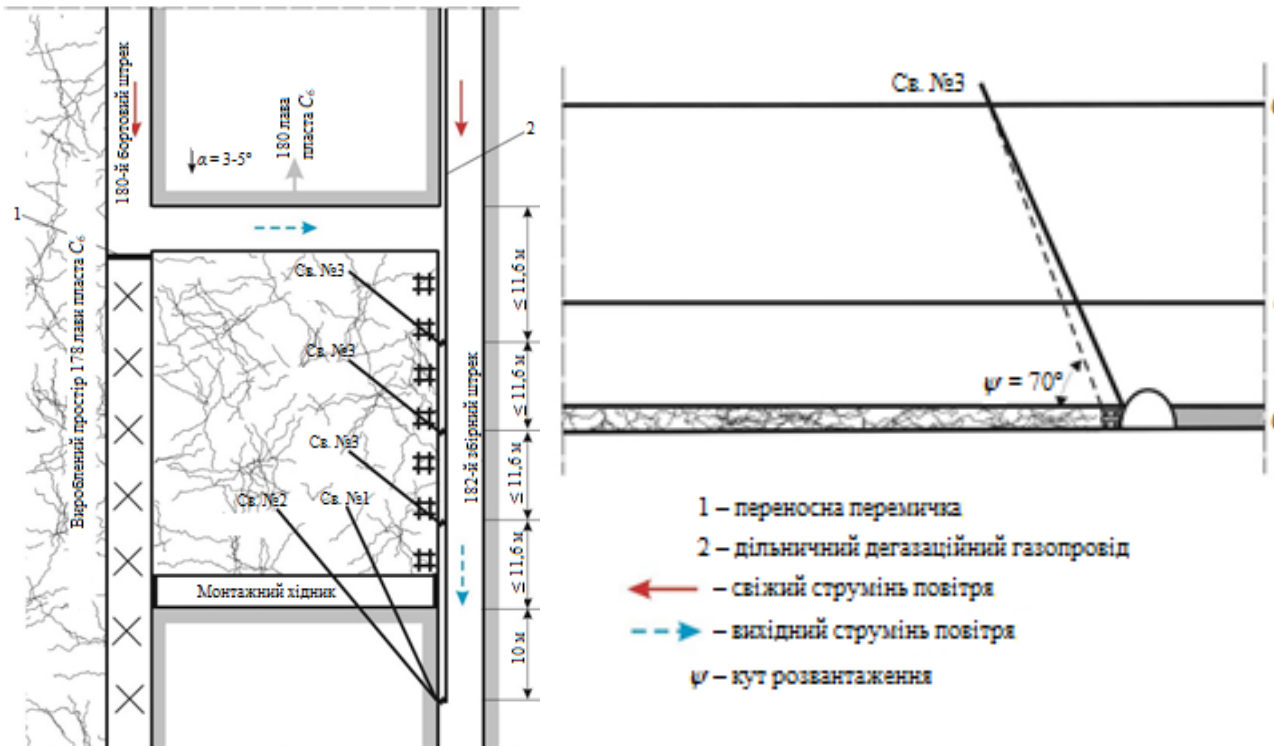


Рис. 2. Схема буріння дегазаційних свердловин у покрівлю на виїмковій ділянці 180 лави пласта C_6 шахти «Степова»

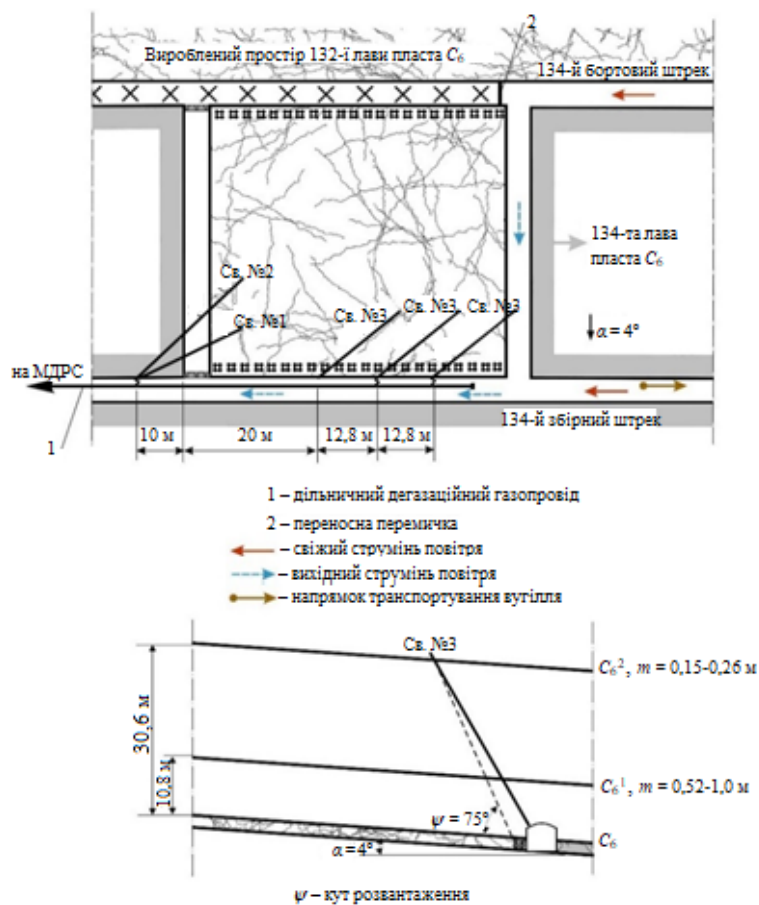


Рис. 3. Схема буріння дегазаційних свердловин на виїмковій ділянці 134 лави пласта C_6 шахти «Ювілейна»

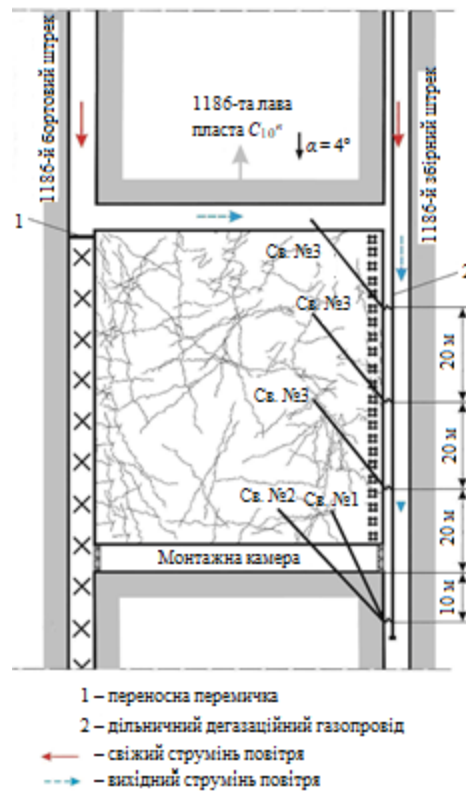


Рис. 4. Схема буріння дегазаційних свердловин у покрівлю на виїмковій ділянці 1186 лави пласта C_{10}^6 шахти «Дніпровська»

Систематизація уявлень про вплив геомеханічних і технологічних факторів щодо підвищення ефективності дільничної дегазації. Широко відомі результати вивчення геомеханічних процесів під час відпрацювання вугільних пластів вказують на можливість їх використання для визначення параметрів зон дренування газу в породах покрівлі і підшви вугільних пластів, оцінки ресурсу газу у цих зонах, вибору методів і засобів вилучення метану. Принципово важливим є питання не про дегазацію порід покрівлі чи підшви взагалі, а про дегазацію конкретних геодинамічних зон, що формуються над і під вугільним пластом у процесі його відпрацювання. Такий підхід дозволяє суттєво обмежити перетікання метану з одних зон до інших поблизу вибою лави.

Відомо, що фільтрація відбувається у напрямку пониження градієнта газового тиску. У недоторканому (гірничими роботами) вуглепородному масиві основна кількість метану міститься у вугільних пластах і пісковиках. У вугільних пластах метан знаходиться здебільшого у сорбованому стані (до 90 %), а невелика його газова фаза зачинена в порах і тріщинах внаслідок значних напружень стиску. Тому газопроникність вугільного пласта у недоторканому масиві практично відсутня. Газовиділення відбувається тільки після порушення рівноважного стану, зниження напружень і розкриття тріщин. У газонасичених пісковиках метан, як правило, міститься у вигляді вільного газу і за наявності перепаду тиску може дренувати за законами фільтрації.

За останні десятиліття набула популярності ідея врахування і використання геомеханічних процесів, що відбуваються у підроблених газоносних породах

покрівлі, для інтенсифікації газозуловлювання дільничними свердловинами. Її сутність полягає в тому, що на межі сполучення недоторканого масиву з підробленими породами покрівлі утворюються зони найбільших прогинів [84], у шарах яких виникають деформації розтягу у перпендикулярному до нашарування напрямку. В результаті відбувається розшарування порід, знижується газовий тиск, зростає проникність і фільтраційна здатність порід, особливо в напрямку нашарування.

Наведене уявлення розвинуто в роботі [74], де стверджується, що ефективна дегазація пов'язана з порушеннями текстури масиву, особливо його підробкою, коли в процесі опускання надвугільної товщі вона зазнає інтенсивного тріщиноутворення і руйнування – утворюється вільний метан, що по тріщинах дренує у свердловини й прилеглі виробки. Тому можна обґрунтувати доцільність розташування дегазаційних свердловин відразу позаду лави, де в умовах Західного Донбасу відбувається найбільш інтенсивне розшарування і обвалення порід покрівлі. Також сформульовано думку, що інтенсивна дегазація пластів-супутників і прилеглих порід виникає за підвищених швидкостей посування очисного вибою і тому цей технологічний параметр повинен враховуватися у сучасних методиках прогнозу.

Встановлено залежності [76] дебіту газу від відстані дегазаційної свердловини від лави, досліджено характер зміни геомеханічних і газодинамічних параметрів у часі після гідродинамічної дії на вугільний пласт. Але ці дослідження не враховують особливості вугленосної товщі Західного Донбасу.

У роботі [52] на базі аналізу сучасних уявлень про механізм руйнування газонасичених вугільних пластів (при їх відпрацюванні) зроблено висновки про значний вплив на процес дегазації низки факторів: опорного тиску, фізико-механічних властивостей вугільних пластів, їх фільтраційної проникності та швидкості посування очисного вибою. Ці фактори потрібно врахувати при обґрунтуванні параметрів дегазації вугільних пластів.

Здійснено спробу [50] підвищення достовірності прогнозу параметрів процесу розвантаження привибійної частини вугільного пласта, що надає нові уявлення про механізм впливу домінуючих факторів у технології дегазації виїмкової дільниці, у тому числі шляхом буріння свердловин позаду лави.

Робота [51] спрямована на розкриття на молекулярному рівні механізму формування метанопроявів у шахтах, а в практичному плані вона поліпшує достовірність прогнозу виділення метану з відповідним корегуванням технологічних параметрів видобутку вугілля.

Загальновідома тенденція зростання небезпеки виникнення газодинамічних явищ зі збільшенням глибини ведення гірничих робіт та їх інтенсифікацією [72]. Для більш достовірного прогнозування газовиділення метану встановлено закономірності зміни фізико-механічних властивостей пісковиків у небезпечних зонах як у непорушеному вуглепородному масиві, так і під час гірничих робіт, що, серед іншого, дає змогу більш обґрунтовано підійти до їх планування в ракурсі дільничної дегазації.

Мають практичне значення дослідження закономірностей розподілу газовиділення у виїмкову виробку при застосуванні гідравлічного знеміцнення вугільного пласта [54]. Сформульовано низку висновків на базі аналізу газового фактору при роботі очисного комплексу з оцінкою динаміки процесу газовиділення.

Спробі комплексного розгляду проблем дегазації вуглеводневого масиву присвячена робота [55], де серед інших завдань досліджено тенденції розподілу метану з урахуванням стадії стабілізації деформаційних процесів як у підробленому, так і недоторканому масиві, а також вивчено залежності дебіту з дегазаційних свердловин від текстури і механічних властивостей гірського масиву. Встановлено залежності зміни газової проникності гірських порід від ступеня негідростатичності компонент їх НДС – з падінням мінімальної компоненти коефіцієнт газової проникності зростає; ця тенденція підтверджена у роботі [85]. Таким чином, найбільш ефективно вилучення метану відбувається позаду лави у зруйнованих і знеміцнених породах виробленого простору, а ще у зонах максимуму вигину цілісних літотипів покрівлі, де є найбільша різниця між різновекторними компонентами напружень. З цього приводу сформульовано висновок, що підвищення ефективності заходів дегазації напряму залежать від урахування епюри розподілу основних компонент НДС гірського масиву навколо виїмкової ділянки. Наприклад, обирати напрямок буріння дегазаційних свердловин треба у найбільш сприятливих зонах масиву з максимально різновеликими компонентами його НДС.

На підставі виконаних досліджень [55] рекомендується кут нахилу дегазаційних свердловин обирати за умови перетину найбільшого прогину порід у його середній частині, а власне максимальний прогин літотипів покрівлі пласта залежить від кута його падіння та кута повних зрушень порід позаду лави.

Загальновідомо, що газовиділення у виїмкової виробки безперервно змінюється під впливом геомеханічних та технологічних факторів і цей процес певною мірою носить динамічний характер. Тому важливою є не тільки середньопрогнозована величина газовиділення, але й її коливання (у той чи інший бік) під впливом цих факторів. У цьому сенсі актуальними є завдання встановлення закономірностей впливу геомеханічних процесів зсуву надвугільної товщі, прогнозу газовиділення під спільною дією параметрів розвитку гірничих робіт, зміною навантаження на очисний вибій і деяких інших технологічних факторів [86]. Тут прискіпливу увагу приділено виїмковим ділянцям, бо, як показує досвід, основне газовиділення (іноді більше 90%) дають підроблені літотипи різного ступеня порушеності.

Зокрема, у роботі [86] стверджується, що максимальне метановиділення в гірничі виробки визначається певними співвідношеннями розмірів виробленого простору і глибини ведення очисних робіт. Встановлений експоненціальний зв'язок цих параметрів, включаючи відстань відходу лави від монтажної виробки. Навантаження на лаву має лінійний вплив на зміну газовиділення і ці закономірності у підсумку дозволяють планувати технологічні параметри очисних робіт на виїмковій ділянці шахти. Оскільки основні геомеханічні фактори пов'язані з процесами зсуву надвугільної товщі, то треба приділяти особливу

увагу впливу параметрів текстури і фізико-механічних властивостей літотипів, що складають надвугільну товщу. В процесі досліджень створених математичних моделей виявлено необхідність враховувати близько двадцяти параметрів гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов, однак, виділено основні фактори, до яких увійшли: глибина ведення очисних робіт, потужність вугільного пласта, кут його падіння, кути повних зрушень, відстань відходу лави від монтажної виробки, навантаження на очисний вибій і швидкість його посування. Щодо останнього фактору, то виявлено деяке відставання у часі між зміною газовиділення і коливаннями швидкості посування лави. У цьому питанні встановлення закономірностей газовиділення від швидкості посування лави треба виділити також публікації [87, 88].

У підсумку треба констатувати, що визначення закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів на процес газовиділення певною мірою базується на вивченні механізму дегазації [89] і моделюванні [90] цього процесу різними методами.

На базі виконаного аналізу світових досліджень процесу дегазації вуглепородного масиву можливо зробити висновок, що завдання поглиблення уявлень про механізм протікання газовиділення, ступеня впливу на нього геомеханічних і технологічних факторів та шляхи підвищення ефективності метаноуловлювання при відпрацюванні вугільних пластів Західного Донбасу є актуальним питанням.

Висновки. Аналіз сучасних світових прогнозних даних щодо видобутку вугілля вказує на негативну динаміку тренду споживання цієї сировини, що матиме довгостроковий характер із загальним падінням до 5,7–6,0 млрд т у 2035 р. Очікується, що у 2040 р. глобальна частка вугілля впаде до 19%, і це падіння буде компенсоване поновлюваними джерелами енергії (19%) та природним газом (25%). Цей перший тренд вказує на скорочення викидів парникових газів.

Екологічно чиста утилізація метану базується на можливості його повного спалювання в замкненому циклі очищення і переробки продуктів згоряння. Сучасні технології дають змогу відбирати і захоронити вуглекислий газ у самих вугільних пластах – це дає змогу реалізувати вкрай важливу проблему зниження викидів парникових газів в атмосферу. Таким є другий світовий тренд – розвиток газовугільних технологій має єдиний напрям із першим і дає змогу з помірним оптимізмом прогнозувати створення екологічно безпечних способів і засобів перетворення вторинної сировини на корисну і безпечну продукцію життєзабезпечення людей.

Каптування метану з відведенням його на земну поверхню значно безпечніше і дешевше, ніж розбавлення його повітрям і транспортування гірничими виробками. При цьому з'являється можливість використання метану для компенсації витрат на процеси дегазації з активним розвитком так званої дільничної дегазації. Узагальнений аналіз фактичних показників на шахтах Західного Донбасу засвідчив задовільну ефективність дегазації з перспективою вилучення метаноповітряної суміші з концентрацією метану на рівні 25–45%, що створює умови для розвитку напрямів утилізації метану шляхом його спалювання в

когенераційних установках з метою виробництва електричної та теплової енергії, якої за прогнозними оцінками вистачить на 100% задоволення потреб шахти.

Аналіз сучасних досліджень методів і засобів дільничної дегазації довів існування значних резервів підвищення її ефективності за рахунок вибору раціональних параметрів технології цього процесу з урахуванням впливу геомеханічних і технологічних факторів. За останні десятиліття набула популярності ідея не тільки врахування, а й використання геомеханічних процесів зсуву надвугільної товщі для інтенсифікації газоуловлювання дільничними свердловинами. Її сутність полягає у виборі трас дегазаційних свердловин по найсприятливіших зонах масиву з максимально різновеликими компонентами його НДС. Тому визначення закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів на процеси газовиділення повинне базуватися на вивченні механізму дегазації, моделюванні цього процесу й оцінці достовірності за результатами шахтних експериментів.

Перелік посилань

1. International Energy Agency. (2016). *Coal Information*. <https://doi.org/10.1787/coal-2016-en>
2. Snihur, V., Malashkevych, D., & Vvedenska, T. (2016). Tendencies of coal industry development in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 1–8. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.001>
3. Bondarenko, V., Salieiev, I., Kovalevska, I., Chervatiuk, V., Malashkevych, D., Shyshov, M., & Chernyak, V. (2023). A new concept for complex mining of mineral raw material resources from DTEK coal mines based on sustainable development and ESG strategy. *Mining of Mineral Deposits*, 17(1), 1–16. <https://doi.org/10.33271/mining17.01.001>
4. *BP Statistical Review of World Energy*. (2018). <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
5. International Energy Agency. (2017). *Coal Information*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9f9f4b45-66c4-4790-a16f-7cf5799b8fdf/Coal2017.pdf>
6. Atashi, H., & Veiskarami, S. (2018). Green fuel from coal via Fischer–Tropsch process: scenario of optimal condition of process and modelling. *International Journal of Coal Science and Technology*, 5(2), 230–243. <https://doi.org/10.1007/s40789-018-0204-7>
7. Stala-Szlugaj, K., & Grudziński, Z. (2021). Price trends on the international steam coal market in 2000-2020. *Gospodarka surowcami mineralnymi – Mineral resources management*, 37(4), 177–198. <https://doi.org/10.24425/gsm.2021.139743>
8. Gavurova, B., Rigelsky, M., & Ivankova, V. (2021). Greenhouse Gas Emissions and Health in the Countries of the European Union. *Front. Public Health*, (9), 756652. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.756652>
9. Bondarenko, V., Kovalevs'ka, I., & Ganushevych, K. (2014). *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/b17547>
10. Pivnyak, G., Bondarenko, V., & Kovalevska, I. (Eds.). (2015). *New Developments in Mining Engineering 2015*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/b19901>
11. Bondarenko, V.I., Kharin, Ye.N., Antoshchenko, N.I., & Gasyuk, R.L. (2013). Basic scientific positions of forecast of the dynamics of methane release when mining the gas bearing coal seams. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 24–30.
12. Фальштинський, В.С., Дичковський, Р.О., Лозинський, В.Г., & Саїк, П.Б. (2012). Комбінований спосіб видобування бідних газових сумішей при дегазації вугільних пластів та їх

- адаптація для промислової переробки. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (37), 65–69.
13. Сторишко, В.Е., Кирик, Г.В., & Стадник, А.Д. (2008). Нові технології та обладнання для збільшення метановіддачі вугільних пластів. *Геотехнічна механіка*, 40–46.
 14. Szlązak, N., Tor, A., Jakubów, A., & Gatnar, K. (2004). Methane as a Source of Energy in an AirConditioning System in “Pniówek” Coal Mine. *International Mining Forum*, 83–98.
 15. Koroviaka, Y., Pinka, J., Tymchenko, S., Rastsvietaiev, V., Astakhov, V., & Dmytruk, O. (2020). Elaborating a scheme for mine methane capturing while developing coal gas seams. *Mining of Mineral Deposits*, 14(3), 21–27. <https://doi.org/10.33271/mining14.03.021>
 16. Medunić, G., Mondol, D., Rađenović, A., & Nazir, S. (2018). Review of the latest research on coal, environment, and clean technologies. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 33(3), 13–21. <https://doi.org/10.17794/rgn.2018.3.2>
 17. Zubkova, V., Strojwas, A., Bielecki, M., Kieush, L., & Kovrya, A. (2019). Comparative study of pyrolytic behavior of the biomass wastes originating in the Ukraine and potential application of such biomass. Part 1. Analysis of the course of pyrolysis process and the composition of formed products. *Fuel*, (254), 115688. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115688>
 18. Шека, І.В., Салєєв, І.А., Шишов, М.В., Малова, О.К., Почепов, В.М., & Мамайкін, О.Р. (2023). Аналіз використання композитних матеріалів для подальшого застосування у кріпленнях гірничих виробок. *Збірник Наукових Праць НГУ*, 72, 30–42. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.062>
 19. Saik, P., Petlovanyi, M., Lozynskiy, V., Sai, K., & Merzlikin, A. (2018). Innovative approach to the integrated use of energy resources of underground coal gasification. *Solid State Phenomena*, (277), 221–231. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.277.221>
 20. Lozynskiy, V.G., Dychkovskiy, R.O., Falshtynskiy, V.S., Saik, P.B., & Malanchuk, Ye.Z. (2016). Experimental study of the influence of crossing the disjunctive geological faults on thermal regime of underground gasifier. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 21–29.
 21. Bondarenko, V., Lozynskiy, V., Sai, K., & Anikushyna, K. (2015). An overview and prospectives of practical application of the biomass gasification technology in Ukraine. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 27–32. <https://doi.org/10.1201/b19901-6>
 22. Nawrat, S., & Napieraj, S. (2012). Utilization of the methane from Polish mines. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, 36(3), 269–282. <https://doi.org/10.7494/MINING.2012.36.3.269>
 23. Wołkowicz, S., Smakowski, T., & Speczik, S. (2011). *Bilans perspektywicznych zasobów kopalni Polski – Metan pokładów węgla*. Warszawa, Polska: PIG-PIB, 262 s.
 24. Szlązak, N., Obracaj, D., & Swolkień, J. (2020). Enhancing Safety in the Polish High-Methane Coal Mines: an Overview. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37(2), 567–579. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00190-0>
 25. Kędzior, S. (2009). Accumulation of coal-bed methane in the south-west part of the Upper Silesian Coal Basin (southern Poland). *International Journal of Coal Geology*, 80(1), 20–34. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.08.003>
 26. Kędzior, S. (2015). Methane contents and coal-rank variability in the Upper Silesian Coal Basin, Poland. *International Journal of Coal Geology*, (139), 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.09.009>
 27. Kędzior, S., Kotarba, M. J., & Pękała, Z. (2013). Geology, spatial distribution of methane content and origin of coalbed gases in Upper Carboniferous (Upper Mississippian and Pennsylvanian) strata in the south-eastern part of the Upper Silesian Coal Basin, Poland. *International Journal of Coal Geology*, (105), 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.11.007>
 28. Zheng, C., Jiang, B., Xue, S., Chen, Z., & Li, H. (2019). Coalbed methane emissions and drainage methods in underground mining for mining safety and environmental benefits:

- A review. *Process Safety and Environmental Protection*, (127), 103–124. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.05.010>
29. Szlązak, N., Borowski, M., Obracaj, D., Swolkień, J., & Korzec, M. (2014). Comparison of Methane Drainage Methods Used in Polish Coal Mines. *Archives of Mining Sciences*, 59(3), 655–675. <https://doi.org/10.2478/amsc-2014-0046>
 30. Szlązak, N., Borowski, M., Obracaj, D., Swolkień, J., Korzec, M., Piergies, K. (2017) *Current ventilation problems in hard coal mines*. Krakow, Poland: AGH University of Science and Technology Press.
 31. Shi, L., Wang, J., Zhang, G., Cheng, X., & Zhao, X. (2017). A risk assessment method to quantitatively investigate the methane explosion in underground coal mine. *Process Safety and Environmental Protection*, (107), 317–333. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.02.023>
 32. Tong, R., Yang, Y., Ma, X., Zhang, Y., Li, S., & Yang, H. (2019). Risk Assessment of Miners' Unsafe Behaviors: A Case Study of Gas Explosion Accidents in Coal Mine, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(10), 1765. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101765>
 33. Hummel, J.A., Ruiz, F.A., & Kelafant, J.R. (2018). Quantifying the benefits of coal mine methane recovery and use projects: Case study on the application of in-mine horizontal pre-drainage boreholes at gassy coal mines in India and the optimization of drainage system design using reservoir simulation. *Environmental Technology & Innovation*, (10), 223–234. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.03.003>
 34. Qin, B., Li, L., Ma, D., Lu, Y., Zhong, X., & Jia, Y. (2016). Control technology for the avoidance of the simultaneous occurrence of a methane explosion and spontaneous coal combustion in a coal mine: A case study. *Process Safety and Environmental Protection*, (103), 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.07.005>
 35. Song, Z., & Kuenzer, C. (2014). Coal fires in China over the last decade: A comprehensive review. *International Journal of Coal Geology*, (133), 72–99. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.09.004>
 36. Xia, T., Zhou, F., Gao, F., Kang, J., Liu, J., & Wang, J. (2015). Simulation of coal self-heating processes in underground methane-rich coal seams. *International Journal of Coal Geology*, (141–142), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2015.02.007>
 37. Jureczka, J., Kasza, P., & Kroplewski, Ł. (2018) Pre-mine drainage of methane from coal seams in the USCB – Geo-Methane Program. *XXVII School of Underground Mining. Session – Coal Mine Methane as a Valuable Energy Source*. [https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/images/CMM/CMM CE/SEP - 11. Pre-mine Drainage of Methane from Coal Seams in the USCB %E2%80%93 Geo-Methane Program.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/images/CMM/CMM%20CE/SEP%20-11%20Pre-mine%20Drainage%20of%20Methane%20from%20Coal%20Seams%20in%20the%20USCB%20-%E2%80%93%20Geo-Methane%20Program.pdf)
 38. Qin, J., Qingdong, Q., & Guo, H. (2017). CFD simulations for longwall gas drainage design optimisation. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(5), 777–782. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.012>
 39. Szlązak N., Obracaj, D., Borowski M., Swolkień J., & Korzec, M. (2016) Methane in Polish coal mines-methods of control and utilisation. In *24th World Mining Congress proceedings: mining in a world of innovation* (pp. 287-297). Rio-de-Janeiro, Brazil: IBRAM.
 40. Szlązak, N., Obracaj, D., & Swolkień, J. (2019) Methods of methane control in Polish coal mines. In *Proceedings of the 11th International mine ventilation congress* (pp. 292-307). https://doi.org/10.1007/978-981-13-1420-9_25
 41. Perov, M.O., Makarov, V.M., & Novitsky, I.Yu. (2019). Utilization and directions of methane use at the mines of Ukraine. *The Problems of General Energy*, (3), 60–66. <https://doi.org/10.15407/pge2019.03.060>
 42. Bulat, A.F., & Chemerys, I.F. (2006). Perspektyvy stvorennya enerhetychnykh kompleksiv na bazi vuhledobuvnykh pidpryyemstv. 48, (2), 3–6.
 43. Майдукова, С.С. (2013). *Трансформування механізмів управління мінерально-енергетичними ресурсами вугільної промисловості: Дис. на здобуття наук. ступеня кандидата екон.*

- наук. Спец.: 08.00.06. Донецьк, Україна: Донецький державний науково-дослідний вугільний інститут.
44. Salieiev, I. (2024). Organization of processes for complex mining and processing of mineral raw materials from coal mines in the context of the concept of sustainable development. *Mining of Mineral Deposits*, 18(1), 54–66. <https://doi.org/10.33271/mining18.01.054>
 45. Гомель І.І., & Рябич О.М. (2006). Геотехнології та управління виробництвом ХХІ сторіччя. *Особливості реалізації проектів сучасного здійснення у вугільній промисловості* (с. 73–79). Донецьк, Україна: Вид-во ДонНТУ.
 46. Білецький, В.С. (2007). *Мала гірнича енциклопедія. Т. 2*. Донецьк, Україна: Донбас.
 47. Коровяка, Є.А., Манукян, Е.С., & Василенко, О.О. (2004). Перспективи вилучення шахтного метану та його утилізація в умовах шахти «Західно-Донбаська» ВАТ «Павлоградвугілля». *Науковий вісник НГУ*, (4), 39–43.
 48. Maydukov, H.L. (2015). Resursnyy potentsial shakhtnoho metanu v enerhetytsi Ukrayiny. *Vuhil'lya Ukrayiny*, (10), 38–45.
 49. Агаєв, Р.А. (2015). *Обґрунтування параметрів пневмодинамічного способу інтенсифікації притоку метану в поверхневу дегазаційну свердловину*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України.
 50. Пимоненко, Д.М. (2018). *Обґрунтування геомеханічних параметрів оцінки метанодобувальності діючих та закритих шахт*: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України.
 51. Чеснокова, О.В. (2019). *Динаміка тріщин і масоперенос флюїдів у газонасичених вугільних пластах при їх відпрацюванні*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: Інститут фізики гірничих процесів.
 52. Гаврилов, В.І. (2015). *Розвиток науково-технічних основ інтенсифікації дегазації напружених газонасичених вугільних пластів гідродинамічною дією*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.02. Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України.
 53. Чередніков, В.В. (2011). *Обґрунтування параметрів пневмогідродинамічного способу інтенсифікації притоку метану в поверхневі дегазаційні свердловини*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпропетровськ, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України.
 54. Потапенко, О.О. (2014). *Обґрунтування параметрів гідравлічного розміщення вугілля в привибійній зоні газодинамічно-активних пластів*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпропетровськ, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України.
 55. Васильєв, Д.Л. (2019). *Розвиток наукових основ визначення параметрів розвантаження привибійної частини газоносних вугільних пластів*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: ІТТМ НАН України.
 56. Ma, Y., & Xu, Y. (2022). Research into technology for precision directional drilling of gas-drainage boreholes. *Mining of Mineral Deposits*, 16(2), 27–32. <https://doi.org/10.33271/mining16.02.027>
 57. Zhao-feng, W., Jie, X., Jin-sheng, C., Xue-chen, L., Yan-fei, L., & Xiong-wei, M. (2021). Research on the timeliness of multi-purpose gas drainage by drilling one hole in the floor rock roadway. *Coal Science and Technology*, (1), 248–256. <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021.01.021>
 58. Hong-min, Yang., Fa-ke, Ren., Zhao-feng, W., Shan-wen, C., & Guanzhen, P. (2019). Quality detection and quantitative evaluation method of gas drainage drilling hole sealing. *Chinese Journal of Coal*, (S1), 164–170. <https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2018.1176>

59. Hong-min, Y., Shu-tuan, X., Li-wei, C., & Qiang, C. (2018). Research on the non-equidistant hole arrangement and drainage effect evaluation method in this coal seam. *Coal Mine Safety*, (2), 147–150. <https://doi.org/10.13347/j.cnki.mkaq.2018.02.040>
60. Jun, L., Ning, L., Jin-qi, W., & Tong, Y. (2019). The spatiotemporal response of the effective influence radius of discharge boreholes with different diameters. *China Safety Production Science and Technology*, (8), 82–87.
61. Guang-yi, L., & Yan-peng, X. (2017). Research on gas drainage technology of ultra-long directional high-level boreholes in the roof of goaf. *Coal Engineering*, (8), 88–91. <https://doi.org/10.16186/j.cnki.1673-9787.2019.5.1>
62. Xing-quan, L., & Yan-peng, X. (2017). Research on the effect of different permeability distributions on hydraulic perforation drainage. *Coal Mine Modernization*, (2), 128–131. <https://doi.org/10.13606/j.cnki.37-1205/td.2017.02.050>
63. Zhen, S., Zhi-wen, L., Weixin, Y., En-ying, W., & Hong-bo, X. (2020). Analysis of the deviation law and causes of drilling along the seam in coal seam gas drainage. *Coal Technology*, (3), 103–106. <https://doi.org/10.13301/j.cnki.ct.2020.03.030>
64. Yan-peng, X., Yang-yang, F., Jian-gong, Y., & Xin-xian, Z. (2018). Experimental study on the deflection law of bedding drilling in coal mine gas drainage. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, (6), 1–7. <https://doi.org/10.16186/j.cnki.1673-9787.2018.06.1>
65. Hu, H., Bao-hua, D., Wei, P., & Deng-feng, Z. (2020). Analysis of the causes of drilling deflection and the measures to correct the deflection. *Western Prospecting Engineering*, (7), 32–36.
66. Chao-jie, Z., & Cheng-lin, J. (2016). Study on vertical migration law of drilled drilling along the bed. *Coal Technology*, (2), 188–189. <https://doi.org/10.13301/j.cnki.ct.2016.02.073>
67. Ju-bo, J., Hong, H., & Kai, S. (2021). Status quo and prospect of downhole straight drilling technology in coal mine. *Drilling Engineering*, (7), 14–19.
68. Guo-long, M. (2017). Study on construction deviation of gas drainage drilling drilling. *Coal Mine Safety*, (3), 147–151. <https://doi.org/10.13347/j.cnki.mkaq.2017.03.040>
69. Jia-nan, K. (2020). Establishment of original borehole trajectory model and accuracy comparison of simulation methods. *Energy and Environmental Protection*, (4), 87–91+96. <https://doi.org/10.19389/j.cnki.1003-0506.2020.04.018>
70. Chang-jun, L., Dian-sen, Y., Wei-zhong, C., & Jin-quan, L. (2017). Defect correction of general calculation formula of drilling trajectory using equal-angle full-distance method. *Science Technology and Engineering*, (10), 108–113.
71. Sofiiskiy, K., & Petukh, O. (2019). The results of experimental research of the parameters of methane capturing by local degassing wells in the undermining area. *E3S Web of Conferences*, (109), 00097. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900097>
72. Каргаполов, А.А. (2017). *Обгрунтування критеріїв прогнозу вуглепородного масиву, небезпечних за газодинамічними проявами. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09.* Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України.
73. Дудля, К.Є. (2017). *Обгрунтування параметрів і розробка засобів підвищення безпеки транспортування та утилізації метану вугільних шахт. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.26.01.* Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України.
74. Філімонов, П.Є. (2013). *Фізико-технічні основи інтенсифікації способів видобутку та підвищення якості вугілля в єдиному шахтному технологічному комплексі. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.02; 05.15.09.* Дніпропетровськ, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України.
75. Єфремов, І.О. (2011). *Фізико-технічні основи комплексної дегазації і використання метану вугільних шахт. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.02.* Дніпропетровськ, Україна: ІГТМ НАН України.

76. Bondarenko, V., Salieiev, I., Symanovych, H., Kovalevska, I., & Shyshov, M. (2023). Uzasadnienie wzorców wpływu czynników geomechanicznych na parametry ścinania formacji nadkładu węgla, wymagającej odgazowania, z dużymi prędkościami posuwu ścian postojowych w Zachodnim Donbasie. *Inżynieria Mineralna*, 1(1 (51)), 23–32. <https://doi.org/10.29227/IM-2023-01-03>
77. Lukinov, V.V., Bezruchko, K.A., & Prykhodchenko, O.V. (2015). Otsinka rozpodilu metanu u vuhil-no-porodnomu masyvi za danymy shchodo metanovosti vuyimkovykh dilnyts. *Vuhillya Ukrainy*, (11), 16–19.
78. Lukinov, V.V., & Chernoray, A.M. (2017). Prohnozna otsinka statychnoho metanovoho potentsialu vuhilnykh shakht. *Vuhillya Ukrainy*, (5–6), 21–25.
79. Antoshchenko, M.I. (2003). Eksperymentalna otsinka hazovydilen pid chas aktyvizatsiyi zsuvu porid. *Vuhillya Ukrainy*, (2), 38–39.
80. Kharin, B.M., Antoshchenko, M.I., & Hasyuk, R.L. (2014). Nerivnomirnist hazovydilennya z vuhil-nykh plastiv i porid, shcho pidroblyayutsya. *Vuhillya Ukrainy*, (1), 32–35.
81. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Krasnyk, V., Chernyak, V., Haidai, O., Sachko, R., & Vivcharenko, I. (2024). Methodical principles of experimental-analytical research into the influence of pre-drilled wells on the intensity of gas-dynamic phenomena manifestations. *Mining of Mineral Deposits*, 18(1). <https://doi.org/10.33271/mining18.01.067>
82. Бондаренко, В. І., Салєєв, І. А., Ковалевська, І. А., Симанович, Г. А., Шишов, М. В., & Малова, О. К. (2023). Розвиток уявлень про механізм зсуву надвугільної товщі з погляду його впливу на параметри дільничної дегазації в умовах Західного Донбасу. *Збірник Наукових праць НГУ*, 72, 27–39. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.027>
83. Антощенко, М.І. (2014). *Безпечне відпрацювання газоносних вугільних пластів з урахуванням геомеханічних процесів*. Алчевськ, Україна: ДонДТУ.
84. Bondarenko, V. Kovalevska, I., Symanovych, H., Barabash, M., Chervatiuk, V., Husiev, O., & Snihur, V. (2020). *Combined roof-bolting systems of mine workings*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group.
85. Sabitova, D.K. (2015). Exploration Potential f Coalbed Methane in Karaganda Field. *Modern Applied Science*, 9(6). <https://doi.org/10.5539/mas.v9n6p145>
86. Бурчак, О.В. (2018). *Розвиток теорії та розробка фізико-хімічної моделі аномальних метанопроявів у вугільних шахтах*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України.
87. Plyashov, M.O., Ahafonov, A.V., Vodnar, O.O., & Kocherha, V.M. (2010). Pro koryhuvannya obliku metanoobylnosti vyrobok pry intensyvnyi rozrobsi tonkykh polohykh vuhilnykh plastiv. *Shkola pidzemnoyi rozrobky*, 25–29.
88. Minyeyev, S.P., Kocherha, V.M., & Yanzhula, A.S. (2015). Zakonomirnosti metanovydilennya pry vysokykh shvydkostyakh prosuvannya ochysnoho vyboyu. *Vuhillya Ukrainy*, (7), 26–31.
89. Kanduč, T., Sedlar, J., Novak, R., Zadnik, I., Jamnikar, S., Verbovšek, T., Grassa, F., & Rošer, J. (2021). Exploring the 2013–2018 degassing mechanism from the Pesje and Preloge excavation fields in the Velenje Coal basin, Slovenia: insights from molecular composition and stable isotopes. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 57(6), 585–609. <https://doi.org/10.1080/10256016.2021.1981309>
90. Бондаренко, В.І., Салєєв, І.А., Черватюк, В.Г., Симанович, Г.А., & Ковалевська, І.А. (2024). *Прикладні задачі геомеханіки вугільних шахт. Книга 1. Моделювання гірського масиву: навч. посіб.* Дніпро: ЛППрес.

ABSTRACT

Purpose. To analyze the methods and means of degassing excavation workings and methane utilization to improve the efficiency of site degassing in the Western Donbas mines.

Research methodology. An integrated approach was used to achieve this goal including the analysis of existing geomechanical factors and the disclosure of the mechanism of their influence on gas production in underworked rock massif in the Western Donbas condition.

Research results. The methods and means of degassing excavation areas and methane utilization were analyzed. The analysis showed satisfactory degassing efficiency with the prospect of extracting a methane-air mixture with a methane concentration of 25–45%, which creates conditions for the development of methane utilization by combustion in cogeneration units for the production of heat and electricity. At the same time, the analysis of modern research on methods and means of area degassing has proved the existence of significant reserves for increasing its efficiency by choosing rational parameters of the technology of this process, taking into account the influence of geomechanical and technological factors.

Scientific novelty. Methane capture with its discharge to the Earth surface is much safer and cheaper than diluting it with air and transporting it through mine workings it has been established for the first time. This makes it possible to use methane to compensate for the costs of degassing processes with the active development of the so-called site degassing. The trends in the influence of geomechanical and technological factors on gas separation processes were determined for the first time. The ideas about the mechanism of overburden displacement in the mines of Western Donbas were further developed in terms of determining the zones of stratification and fracturing of roof rocks during coal seams mining.

Practical value. The obtained results prove that determining the regularities of the influence of geomechanical and technological factors on the processes of gas emission should be based on the study of the degassing mechanism, modeling of this process and assessment of reliability based on the results of mine experiments, which will contribute to the development of underground coal mining.

Keywords: *coal mine, rock massif, site degassing, geomechanical and technological factors.*