

© Р.О. Дичковський¹, В.С. Фальштинський¹, А.Ю. Перерва¹, М.С. Демидов¹
¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕХНОГЕННОЇ ТЕРИТОРІЇ ВУГІЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

© R. Dychkovskyi¹, V. Falshtynskyi¹, A. Pererva¹, M. Demydov¹
¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

ASPECTS OF THE UTILIZATION FOR THE TECHNOGENIC TERRITORY OF COAL ENTERPRISES

Мета. Виконати аналіз вітчизняного та світового досвіду впровадження технологій формування підприємств з утилізації техногенних територій закритих вугільних підприємств після завершення їх функціонування.

Методика досліджень. Для досягнення поставленої мети автори на підставі аналізу науково-дослідної літератури щодо напрямів створення виробничих потужностей після завершення функціонування шахт запропонували технології формування підприємств з утилізації техногенних територій та подальшого його використання.

Результати дослідження. Обґрунтовано доцільність і закономірність створення гірничих енергохімічних комплексів (ГЕХК) на базі закритих вугільних підприємств для утилізації забруднення, вторинних ресурсів та енергії на техногенних територіях. Це сприятиме отриманню екологічно чистої земельної площі, використанню підземних ресурсів, а також виробництву енергії та хімічних продуктів, що відповідають потребам промислового ринку.

Наукова новизна полягає у систематизації та науковій обґрунтованості впровадження технологій використання техногенного простору закритих шахт. Висвітлено основні закономірності наукових засобів вивчення процесів адаптації таких процесів у механічній підготовці, переробці та енергетичній утилізації вторинної сировини в рамках впровадження ГЕХК до реальних умов підземного і наземного простору закритого вуглевидобувного підприємства.

Практичне значення. Розробка та встановлення основних технологічних аспектів формування гірничого енергохімічного комплексу з забезпеченням стабільної утилізації техногенного і енергетичного простору вугільних шахт з отриманням придатних до експлуатації територій, паливних, технічних промислових газів, теплової і електричної енергії та хімічного продукту.

Ключові слова: енергохімічний комплекс, гірниче підприємство, екологічно чиста земельна площа, згорання виробництва, підземний та наземний комплекс.

Вступ. Оптимальне використання техногенних територій на шахтних підприємствах вугільної промисловості є ключовою складовою розвитку енергоефективних і екологічно орієнтованих комплексів для утилізації ресурсів наземного та підземного простору, а також вторинної сировини в закритих шахтах. Впровадження гірничих енергохімічних комплексів для зменшення техногенного впливу на території вугільних шахт сприятиме ефективному очищенню забруднених площ шахт, використанню вторинних матеріалів та залишених паливних

ресурсів, а також енергетичному потенціалу техногенних зон, застосовуючи поєднані технології термохімічної, біологічної обробки й використання відновлювальних джерел енергії [1–3].

Необхідність впровадження таких комплексів впливає з сучасного стану вуглевидобувного сектору промисловості України й ґрунтується на передових принципах декарбонізації економіки, які застосовуються в ЄС та всьому світі. Використання техногенного простору закритих вугільних шахт є стратегічним завданням екологічної трансформації техногенно небезпечних та депресивних шахтарських регіонів [2].

Використання гірничих енергохімічних комплексів (ГЕХК) є критично важливим для виживання цих регіонів, оскільки воно сприяє економічній вигоді та зменшенню впливу техногенного середовища на життя людей і довкілля. Це досягається завдяки застосуванню передових комплексних технологій у закритому технологічному циклі. Такий підхід до використання та утилізації техногенного простору на вугільних підприємствах створить умови для очищення забруднених територій вуглевидобувних підприємств та отримання паливних і технічних промислових газів, електричної, теплової енергії та хімічних продуктів [3].

Ефективне використання техногенних територій на вугільних підприємствах є важливою складовою розвитку комплексних енергоекологічних підприємств, які використовують потенціал наземного та підземного простору, а також вторинних ресурсів у закритих шахтах. Запровадження гірничих енергохімічних комплексів для зменшення техногенного впливу на закритих вугільних підприємствах сприятиме ефективному очищенню забруднених територій шахт, використанню вторинної сировини, залишених паливних копалин та енергетичного потенціалу техногенних зон через впровадження поєднаних технологій термохімічної та біологічної переробки з використанням відновлювальних джерел енергії.

1. Аналіз наявних публікацій з утилізації техногенних територій вугільних підприємств. Аналіз технологій утилізації техногенної території вугільних підприємств охоплює оцінку методів і підходів, які спрямовані на оптимізацію використання земель та ресурсів, що залишилися після видобутку вугілля. Цей процес включає в себе оцінку ефективності, екологічної придатності та економічної доцільності застосування різних технологій для очищення, відновлення та використання територій, що були під впливом гірничої діяльності [4].

Технології утилізації техногенної території вугільних підприємств можуть включати в себе процеси рекультивзації (відновлення природної рослинності та ґрунтів), очищення забруднених земель від шкідливих речовин, використання технологій зберігання та використання води, а також переробку та використання вторинних ресурсів, щоб забезпечити стійке та безпечне перетворення після гірничих територій у корисні й придатні для використання землі [5, 6].

Оцінка технологій утилізації техногенної території також враховує їхній вплив на навколишнє середовище, здоров'я людей та природне біорізноманіття. Вона вимагає врахування впливу застосування технологій на водні ресурси, повітряні якості, гідрогеологічний стан, а також визначення можливих ризиків для екосистем та біологічної різноманітності [7]. Цей аналіз включає оцінку ефективності та доцільності використання певних технологій, їхню пристосованість до конкретних умов території вугільних підприємств, а також можливість їхнього впровадження відповідно до законодавчих та екологічних вимог [8].

Сучасні методи використання залишених вугільних родовищ, другорядних ресурсів та енергетичного потенціалу техногенного простору в закритих шахтах передбачають нові підходи з розробки, застосування та використання:

– технологічних систем ГЕХК, які базуються на розвитку передових методів використання промислових відходів [9]. Ці системи включають безвідходні процеси переробки вугільних родовищ та другорядної сировини, а також очищення і відновлення забруднених земельних угідь [10]. У цьому процесі використовуються техніки відновлювальних джерел енергії та передові способи обробки техногенної сировини для отримання енергії та хімічних продуктів;

– автономних технологічних блоків замкнутого циклу утилізації, переробки сировини та потенціалу техногенного середовища вугільної шахти [11]. Ці блоки мають логістичний напрямок управління сировиною та продукцією в енергохімічному виробництві та забезпечуються енергією у межах земельних угідь вугільного підприємства [12].

Адаптація традиційних та нетрадиційних технологічних рішень в контексті технологічного та логістичного простору включає створення параметрів технологічних блоків газогенераторних підприємств на поверхневих та підземних об'єктах, які визначають потреби енергохімічного комплексу та його виробничий потенціал.

2. Методика проведення досліджень. Дослідження основної технологічної системи ГЕХК, яка відповідає за газогенераторну ділянку та проводить термохімічну утилізацію і переробку вторинної сировини на техногенній наземній і підземній площі закритої вугільної шахти, було проведено з використанням комплексних методів [13].

Для відтворення умов на природних формуваннях породи та вугільної маси, газогенератора, а також термохімічних процесів переробки паливної сировини на стендових та лабораторних умовах, були визначені значні коефіцієнти масштабування для підтримки аналогічних умов: геометричні показники складових гірничої маси, параметри газогенератора; відносини часу та кінематичні умови: швидкість вивільнення газу, тиск газу у реакційному каналі газогенератора, кінетика реакцій і швидкість гарячих газових потоків; масштабні відношення тиску у вугільних формаціях; коефіцієнти теплового та температурного обміну, а також механічна та гідродинамічна схожість процесів та критерії гомохронності. Подальший аналіз базувався на основних параметрах газифікації вугільного

родовища: матеріальний та тепловий баланс термохімічного процесу [14]. Після експерименту коригувалися параметри математичного моделювання підземного газогенератора та процесу газифікації вугільного родовища слугують рекомендаціями для розробки станцій підземної газифікації вугілля.

У зв'язку з різноманітням взаємодії між гірничими формаціями та газогенератором, а також процесами вивільнення газу вугільного родовища, були розроблені критерії придатності вугільних формацій для газифікації. Альтернативні критерії визначаються наявністю зон окислення (спалювання) та відновлення (погасання) у зоні газифікації, які підтримуються температурним полем (тепловим балансом), утворенням генераторних газів (матеріальний баланс), а також геологічним середовищем, гідрогеологічними умовами та передбачуваними водозборами у зону реакційного каналу газогенератора, методами боротьби з ними, втратами добутку та газу, якісними характеристиками вугільного родовища (паливною, вторинною сировиною) [15].

Процес формування і експлуатації стендової установок при моделюванні процесу підземної газифікації пластів вугілля марки ДГ, Д, Г, в умовах: 1, 2 – Західного Донбасу, 3 – центрального Донбасу, представлений на рис. 1.

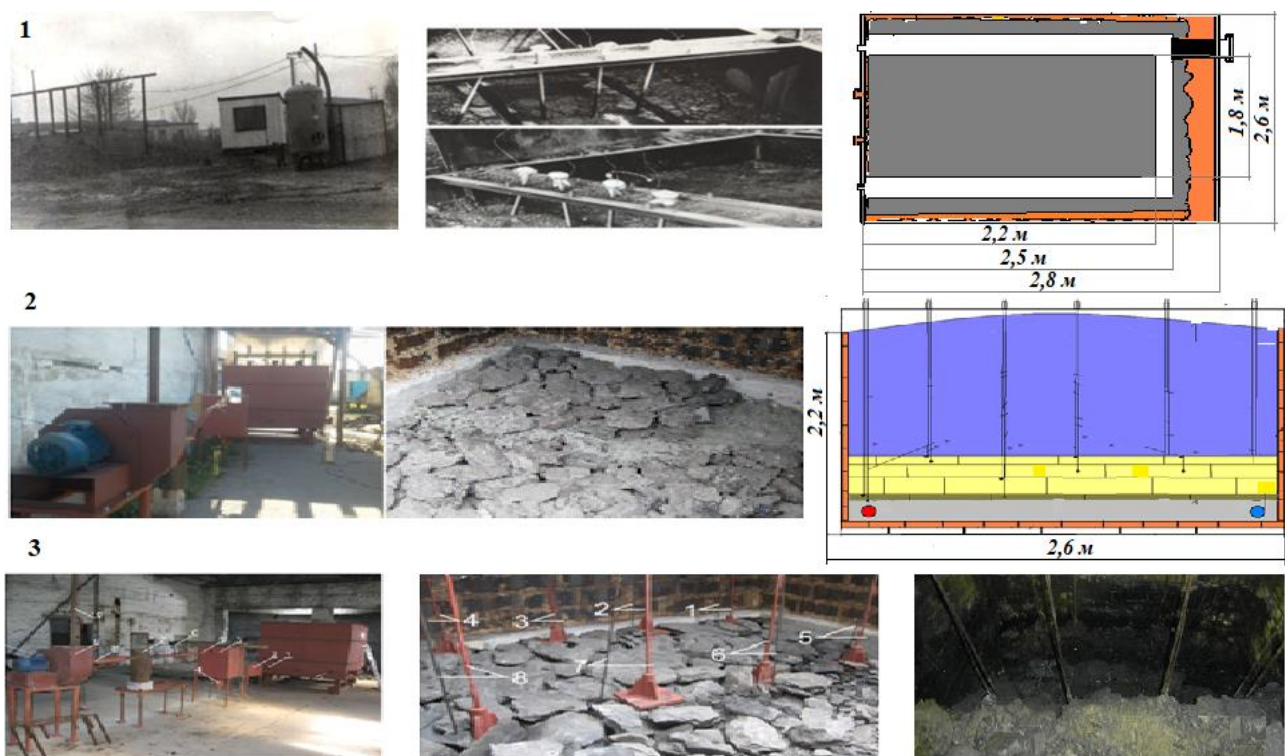


Рис. 1. Загальний вид формування і експлуатації стендової установок при моделюванні процесу підземної газифікації пластів вугілля марки ДГ, Д, Г, в умовах: 1, 2 – Західного Донбасу, 3 – центрального Донбасу

У рамках ініціативи Європейської унії, реалізація проєкту: «HUGE: воднева орієнтована підземна газифікація для Європи» вчені з Національного технічного університету "Дніпровська політехніка" обґрунтували можливість підземної

газифікації частини кам'яновугільного пласта в умовах шахти "Барбара" у місті Катовіце. Було встановлено параметри матеріально-теплого балансу для моделі процесу газифікації вугільного пласта, а також визначено технологічні та технічні характеристики експериментального шатного газогенератора (ЕШГ), враховуючи геологічні, гідрогеологічні фактори, конфігурацію, структуру та цілісність вугільного пласта [16].

Для створення моделі газогенератора-свердловини та вивчення процесів підземної газифікації вугільного пласта було створено стендову дослідну установку. На рис. 2 зображено послідовні етапи формування цієї моделі та проведення досліджень на стендовій установці (шахта "Барбара", місто Катовіце, Польща).



Рис. 2. Фотофіксація етапів формування моделі газогенератора-свердловини і дослідження процесів підземної газифікації вугільного цілика на стендовій установці (ш. Барбара, м. Катовіце, Польща)

Отримані результати аналітичних та стендових досліджень виявились ключовими для визначення оптимальних характеристик підземної та наземної частини експериментального шатного газогенератора (ЕШГ). Ці результати дозволили не лише сформулювати важливі параметри обладнання та процесу газифікації, але й виявили можливості для оптимізації цих процесів, враховуючи унікальні умови конкретного шахтного об'єкту та характеристики вугільного цілика.

Отримана інформація відіграє вирішальну роль у розробці детальних концепцій та налаштуванні процесів для забезпечення оптимальної ефективності газифікації вугільного пласта в місцевих умовах шахти "Барбара". Враховуючи ці дані, можна дослідити можливості підвищення продуктивності процесу, зменшення витрат енергії та оптимізації робочих параметрів ЕШГ, що сприятиме покращенню якості та ефективності всього проекту газифікації вугільного пласта (рис. 3).

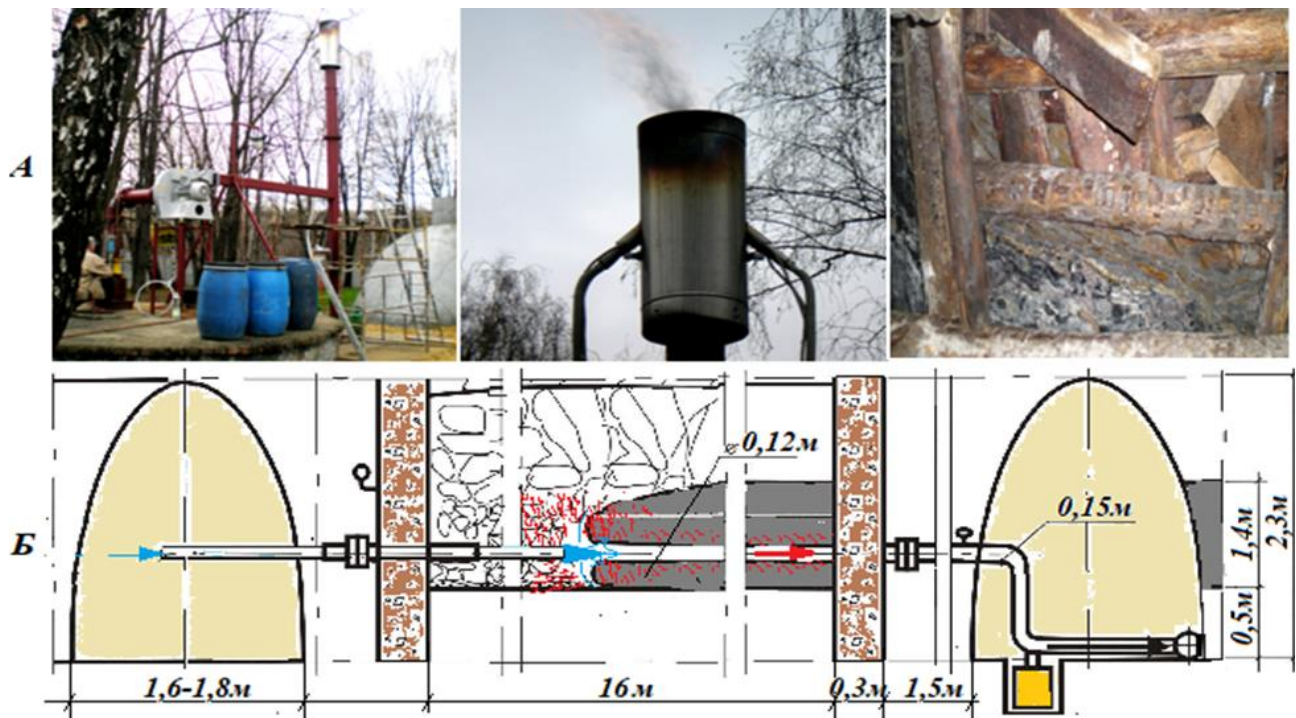


Рис. 3. Загальний вигляд поверхньої промислової площадки (А) та технологічної схема експериментального шахтного газогенератора (Б)

Поверхневий комплекс ЕШГ забезпечував контроль за процесом вигазовування вугільного цілика, очистку і лабораторну обробку продуктів газифікації. Розпал вугільного цілика здійснювався газовою горілкою з подачею повітряного дуття у окислювальну зону вогневого вибою газогенератора - свердловини, процес газифікації базувався на реверсному і імпульсно-пульсуючому режимі подачі дуття у реакційну зону газогенератора. Контроль і управління за режимами дуття, теплообміном в системі «газогенератор-вуглепородний масив», його показниками, напрямком, тиском у окислювальній та відновлювальній зоні вогневого каналу газогенератора здійснювався системою управління на основі комп'ютерних програмних пакетів, адаптованих до мінливих гірничо-геологічних умов [17].

Як методологія на кафедрі гірничої інженерії та освіти НТУ «Дніпровська політехніка було обґрунтовано і розроблено критерії, які представлені у методиках критеріїв оцінки доцільності свердловинної підземної газифікації вельми тонких і тонких вугільних пластів. Методика критеріїв придатності пройшла апробацію при створенні проектів газифікації вугільних пластів в різних країнах світу [18, 19].

Враховуючи особливості залягання малопотужних вугільних при обґрунтуванні їх придатності до газифікації, розроблені критерії багатofакторності приведені до загального коефіцієнту оцінки придатності ділянок вугільних пластів до процесу газифікації K_0 , котрий визначається за формулою [20]:

$$K_0 = \frac{(k_m + k_c + k_z + k_H + k_p + k_{л.н} + k_{л.к} + k_{в.н} + k_{в.з} + k_{в.у} + k_{н.у} + k_{д} + k_{н.у} + k_s + k_{Э} + k_n + k_{т.н})k_v k_{с.м}}{nk_r},$$

де: k_v – коефіцієнт варіативності окремих компонентів, що змінюється у діапазоні 7–1; $k_{с.м}$ – коефіцієнт враховує ступень метаморфізму вугілля, для бурого вугілля $k_v = 1,05 - 1,2$. k_r – коефіцієнт враховує ступень розвіданої ділянки газифікації. Критерії розвіданості запасів: А: $k_r = 1,1 - 1,2$; В: $k_r = 1,0 - 1,1$, С₁: $k_r = 0,92 - 1,0$; С₂: $k_r = 0,85 - 0,92$; С₃: $k_r = 0,8 - 0,85$; n – емпіричний еквівалент, що враховує дослідні параметри.

Значення K_0 – загального коефіцієнту придатності вугільних пластів до СПГВ знаходиться у діапазоні 0,5–0,9.

Цей показник дозволяє враховувати конкретні натурні умови залягання і якісного стану вугільного пласта і технологічних параметрів процесу вигазовування вугілля на ділянці газифікації [21, 22].

3. Результати розрахунку параметрів матеріально-теплового балансу газифікації та їх обґрунтування. Критерії придатності до СПГВ обраних ділянок вугільних пластів встановлені з урахуванням:

- геологічних, гідрогеологічних і структурних умов залягання вугільних пластів;
- рельєфного ландшафту місцевості і наявності, розвитку і спрямованості промислової і енергетичної інфраструктури;
- аналізу експлуатації станцій «Підземгаз», експериментальних підземних газогенераторів і стендових досліджень на території України і за кордоном при газифікації кам'яновугільних пластів;
- проведених лабораторних, стендових і натурних досліджень технології свердловинної газифікації вугільних пластів;

Збільшення області придатності вугільних пластів до СПГВ пов'язано з інноваційними процесами в галузі техніки, технології та зростанням економічного потенціалу новітніх технологій видобутку і переробки паливних родовищ і вторинної сировини. Відповідно, результати розрахунку критеріїв придатності кам'яновугільних пластів представлено на гістограмах на рис. 4.

Матеріально-тепловий баланс газогенератора при газифікації вугілля обґрунтовується з метою встановлення ефективності використання і адаптація технологічних процесів вигазовування твердого палива. За показниками балансів процесу газифікації твердого палива приймаються технічні і організаційні рішення по новації обладнання, технологічних схем і процесів, витратах і втратах матеріалів та отримання якісних і кількісних показників продукту газифікації [23, 24].

Розрахунок матеріального и теплового балансу забезпечується програмою **MTBalance SPGU** розробленою співробітниками кафедри ГІО НТУ «Дніпровська політехніка» [25, 26].

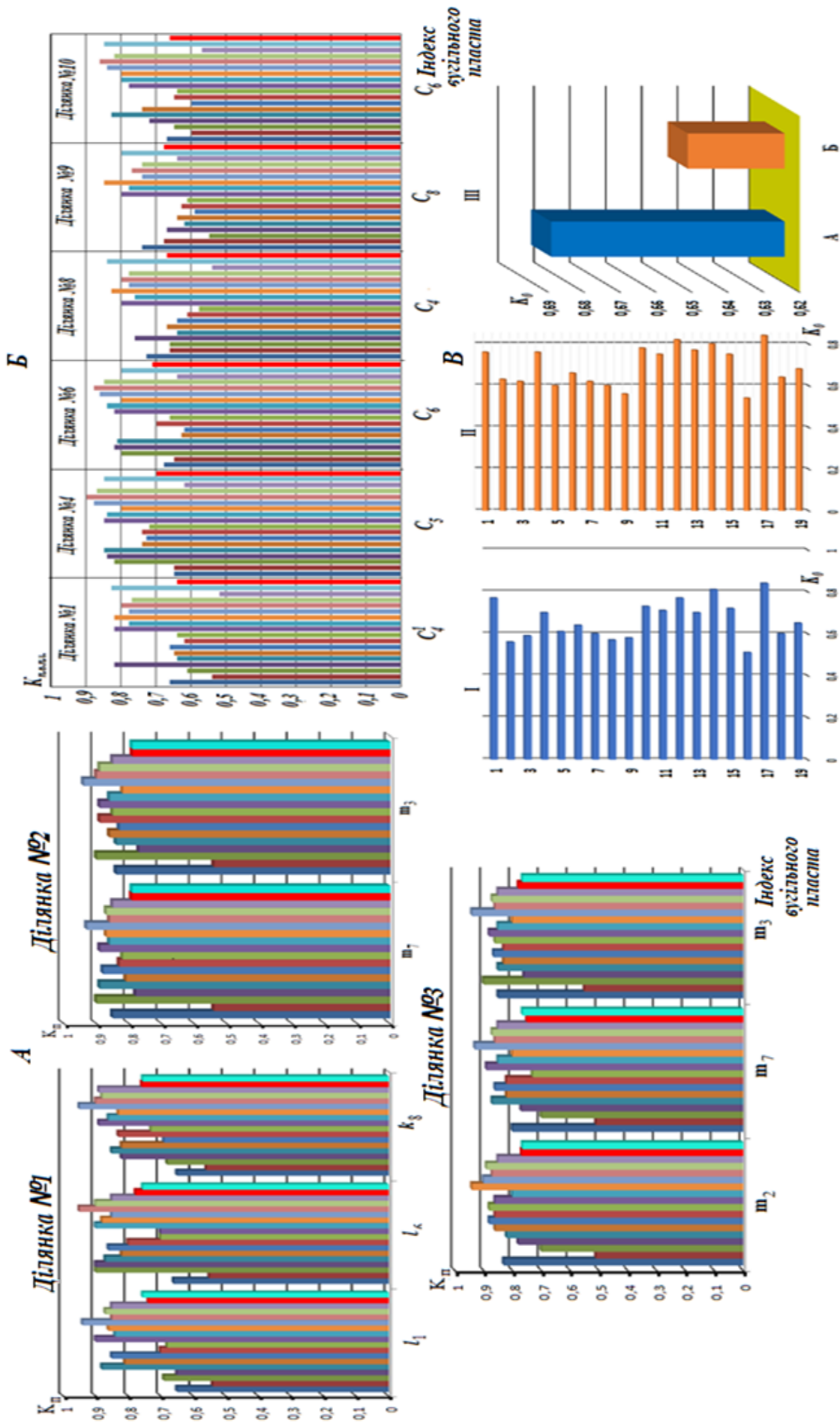


Рис. 4. Гістограми коефіцієнтів придатності вугільних пластів марки Т і ОС Селезневської площі західної частини Луганської обл. (А). Вугільних пластів марки ДГ, Д і Г Західного Донбасу (Б) та Центрального Донбасу (В) до СПГВ

Вихід паливних газів у генераторному газі при комбінованому способі подачі дуття і відводі генераторного газу з зони розвантаження в умовах газогенератора-свердловини на шахті Барбара при зміні гідродинамічних і часових параметрів, представлено на рис. 5.

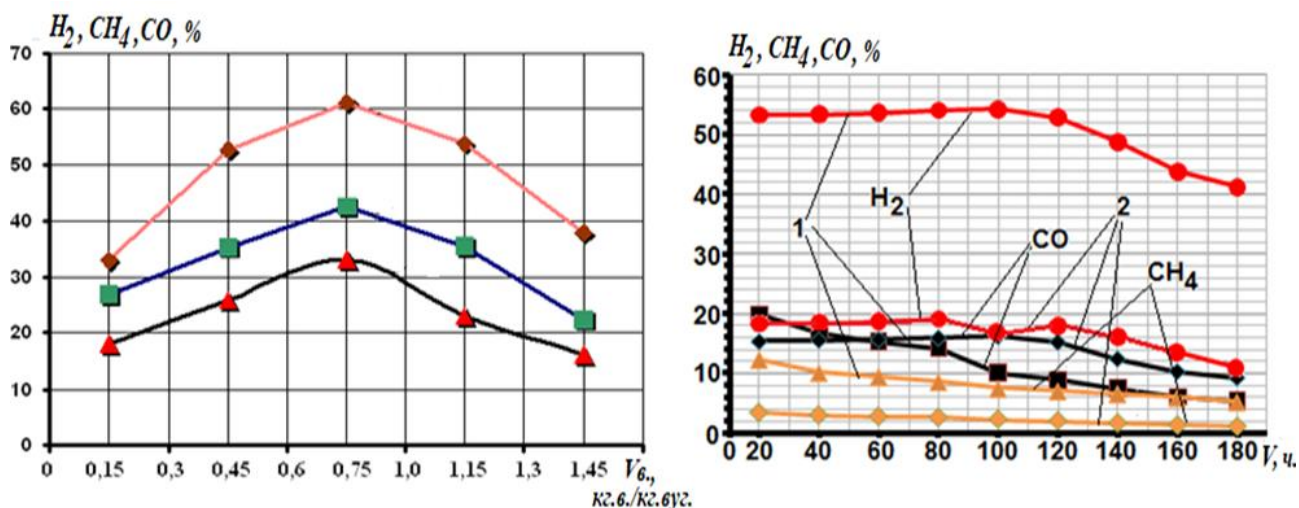


Рис. 5. Вихід паливних газів у генераторному газі при комбінованому способі подачі дуття і відводі генераторного газу з зони розвантаження в умовах газогенератора-свердловини при зміні гідродинамічних і часових параметрів

Алгоритм розрахунку програми пов'язаний з визначенням параметрів процесу свердловинної газифікації вугілля, на основі термохімічного перетворення твердого палива в газоконденсатний стан з урахуванням елементарного складу вугільного пласта, геомеханічних параметрів породної товщі, що вміщує вугільний пласт, зовнішнього водоприпливу та теплового балансу підземного газогенератора [27].

С цілю забезпечення надійності і ефективності роботи підземного газогенератора дослідниками розроблена технологія достатньої герметизації порід навколо газогенератора, шляхом ін'єктування закладного матеріалу в деформовані породи покрівлі й вигазований простір. При розв'язанні цієї задачі створені математична модель поведінки породо-вугільного масиву при вигазуванні вугільного пласта яка враховує особливості порід безпосередньої покрівлі та підшви, схильних під дією високих температур до спучування, заповнення вигазованого простору золошлаками й особливості вигазування вугільного пласта по потужності [28]. На підставі запропонованої математичної моделі розроблений алгоритм розрахунку параметрів поведінки і розшарування породної товщі з урахуванням особливостей процесу газифікації вугільного пласта.

З метою визначення геомеханічних параметрів, що тісно пов'язані з поведінкою шаруватого гірського масиву осадових порід при газифікації малопотужних вугільних пластів, застосовується метод розрахунку напружено – деформованого стану порід, розроблений у НТУ «Дніпровська політехніка» проф. А.В. Савостьяновим у програмному забезпеченні «GeoDynamics Lite».

Дослідження геомеханічних процесів у гірській товщі, що вміщує малопотужний вугільний в умовах вигазовування представлено на рис. 6.

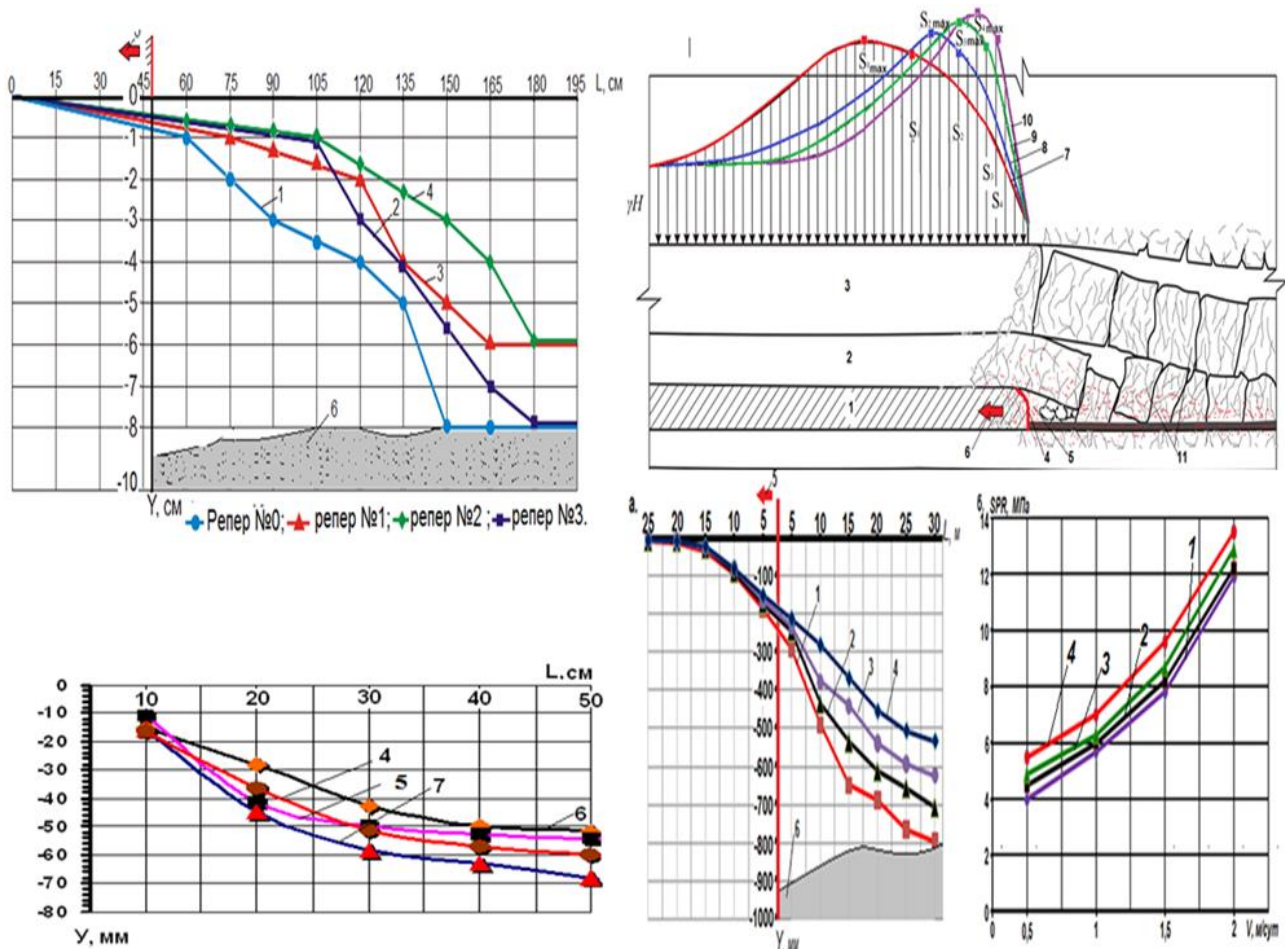


Рис. 6. Дослідження геомеханічних процесів у гірській товщі, що вміщує малопотужний вугільний пласт в умовах свердловинної підземної газифікації

За результатами аналітичних, стендових і натурних досліджень встановлено, що геометричні параметри опорної зони не залежать від довжини реакційного каналу газогенератора, але залежать від параметрів процесу вигазовування вугільного пласта. Руйнування щільності порід у вигляді тріщинуватості над вогневим вибоєм підземного газогенератора пов'язано з максимальними датичними навантаженнями від згину шару покрівлі і термічними напруженнями по довжині реакційного каналу, що посилюються при зміні швидкості та нерівномірності посування вогневого вибою. Досліджене руйнування порід над вогневим вибоєм у вигляді техногенної тріщинуватості змінює герметичність газогенератора і негативно впливає на процес газифікації вугільного пласта [28, 29].

Проведені дослідження також дозволили: розробити раціональні параметри стендових установок і процесів моделювання газифікації вугільного пласта; технологічні схеми експериментального шахтного газогенератора (ЕШГ) і ведення процесу газифікації вугільного цілика, при впровадженні в умовах ш. Барбара; встановити параметри адаптації і активізації процесів газифікації вугільних пластів та промислових відходів з урахуванням гірничо-геологічних умов,

геомеханічних параметрів та гірничо-технологічних показників; розробити технологічні схеми утилізації високотемпературних потоків в породному масиві навколо газогенератора та параметри достатньої герметичності підземного газогенератора [30].

Висновки. Проведені дослідження у сфері газифікація паливної сировини, створені комплексних, мобільних, адаптивних когенераційних систем газогенераторного підприємства та утилізації техногенного простору вуглевидобувних підприємств, дозволяє:

- створити енергохімічне підприємство модульно-комплексному форматі при використанні технологічних схем компоновки з використанням вторинної сировини і відновлювальних джерел енергії (дегазаційні, сонячні, вітроенергетичні та біогазові технологічні модулі) у закритим екологічно безпечному технологічному циклі;

- обґрунтовувати підготовку та газифікація твердих промислових (побутових) відходів і вугілля у пласті;

- розробити умови адаптації комплексу поверхневої газифікації до особливостей техногенного простору промислової площі вуглевидобувного підприємства;

- обґрунтовувати і розробляти способи і процеси формування дуттьових сумішей їх підготовка та режим подачі (раціональний температурний режим підігріву, пульсуючи та циклічні режими подачі дуття) до реакційного каналу газогенератора з отриманням генераторних газів (H_2, CH_4, CO) з підвищеною концентрацією H_2 при утилізації CO_2 у складі дуттьових сумішей. Джерела поставки вуглеводню: CO_2 з складу генераторного газу так і з викидів теплоелектростанцій, котельних тощо;

- впровадити режими газифікації у залежності від складу паливної сировини, дуття та кінцевого продукту газифікації вугілля, відходів та вугілля+відходів;

- розроблені технологічні схеми компоновки технічних вогулів вторинної сировини і відновлювальних джерел енергії з отриманням мобільного енергетично - хімічної продукції у залежності від кон'єктури ринку;

- обґрунтовувати схеми когенераційних систем рекуперації тепла газогенератора, генераторних газів і золи у залежності від конструктивних особливостей поверхневого газогенератора і техногенної промплощі шахти;

- створювати на основі газогенераторного підприємства маловідходного, мобільно – компактного енергохімічного підприємства (КЕХП) з замкнутим технологічним циклом виробництва.

Вдячність. Представлені результати отримано у рамках виконання науково-дослідної роботи ГП-516 «Науково-практичні засади технології газифікації низькосортного вугілля» (№ держреєстрації 0123U101757), що фінансується Міністерством освіти і науки України.

Перелік посилань

1. Moellerherm, S., Kretschmann, J., Tiganj, J., & Poplawski, M. (2022). Post-mining challenges and knowledge transfer for the Ukrainian coal industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1(970), 012034.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012034>
2. Makaryan, I. A., Sedov, I. V., Salgansky, E. A., Arutyunov, A. V., & Arutyunov, V. S. (2022). A Comprehensive Review on the Prospects of Using Hydrogen–Methane Blends: Challenges and Opportunities. *Energies*, 15(6), 2265.
<https://doi.org/10.3390/en15062265>
3. Polyanska, A., Pazynich, Y., Sabyrova, M., & Verbovska, L. (2023). Directions and prospects of the development of educational services in conditions of energy transformation: the aspect of the coal industry. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, 26(2), 195–216.
<https://doi.org/10.33223/epj/162054>
4. Evans, B. W., & Guggenheim, S. (1988). Chapter 8. Talc, pyrophyllite, and related minerals. *Hydrous Phyllosilicates*, 225–294.
<https://doi.org/10.1515/9781501508998-013>
5. Sahara, F., Murakami, T., Kobayashi, I., Mihara, M., & Ohi, T. (2008). Modelling for the long-term mechanical and hydraulic behavior of bentonite- and cement-based materials considering chemical transitions. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33, S531–S537.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.10.021>
6. Chai, S., Zhang, G., Li, G., & Zhang, Y. (2021). Industrial hydrogen production technology and development status in China: a review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(7), 1931–1946.
<https://doi.org/10.1007/s10098-021-02089-w>
7. Liventseva, H. (2022). The mineral resources of Ukraine. *Ukrgeologia*, 1–28.
<https://doi.org/10.21028/hl.2022.05.17>
8. Polyanska, A., Savchuk, S., Dudek, M., Sala, D., Pazynich, Y., & Cicho, D. (2022). Impact of digital maturity on sustainable development effects in energy sector in the condition of Industry 4.0. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 97–103.
<https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/097>
9. Фальштинський, В.С. (2009). Удосконалення технології свердловинної підземної газифікації вугілля. *Монографія*, НГУ.
10. Волошин, М.Д., Шестозуб, А.Б., Черненко, Я.М., & Зеленська, Л.О. (2009). *Технологія неорганічних речовин. Частина 1. Технологія газів: навчальний посібник*. Дніпродзержинський державний технічний університет.
11. Півняк, Г. Г., Бешта, О. С., & Шашенко, О. М. (2010). *Тенденції розвитку технологій та систем енергозбереження при видобуванні енергетичної сировини. Монографія*. Нац. гірн. ун-т.
12. Півняк, Г. Г., Бешта, О. С., & Пілов, П. І. (2013). *Економічні й екологічні аспекти комплексної генерації та утилізації енергії в умовах урбанізованих і промислових територій. Монографія*. Національний гірничий університет.
13. Савостьянов, О.В. (2016). *Методи прогнозу геомеханічних процесів для вибору технологічних параметрів відпрацювання пологих пластів, Монографія*, НГУ.
14. Галиш, В.В., Ященко, О.В., & Трембус, І.В. (2022). *Комплексне перероблення рослинної сировини: Комплексна хімічна переробка деревини: навч. посіб.* КПІ ім. Ігоря Сікорського.
15. Tashcheiev, Y. V., Voitko, S. V., Trofymenko, O. O., Riepkin, O. O., & Kudria, T. S. (2020). Global Trends in the Development of Hydrogen Technologies in Industry. *Business Inform*, 8(511), 103–114.
<https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-8-103-114>

16. Saik, P., Dychkovskiy, R., Lozynskiy, V., Falshtynskiy, V., Cabana, E.C., & Hrytsenko, L. (2021). Chemistry of the Gasification of Carbonaceous Raw Material. *Materials Science Forum*, (1045), 67–78.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1045.67>
17. Lozynskiy, V., Dychkovskiy, R., Saik, P., & Falshtynskiy, V. (2018). Coal Seam Gasification in Faulting Zones (Heat and Mass Balance Study). *Solid State Phenomena*, (277), 66–79.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.277.66>
18. Saik, P.B., Falshtynskiy, V.S., Lozynskiy, V.H., Cabana, E.C., Demydov, M.S., & Dychkovskiy, R.O. (2020). Efficiency of underground gas generator in consideration of the reverse mode. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 39–46.
<https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/039>
19. Rajan, S. S. S., & Edge, E. A. (1980). Dissolution of granulated low-grade phosphate rocks, phosphate rocks/sulphur (Biosuper), and superphosphate in soil. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 23(4), 451–456.
<https://doi.org/10.1080/00288233.1980.10417868>
20. Dychkovskiy, R. (2013). *Scientific principles of technologies combination for coal mining in weakly metamorphosed rockmass*. Thesis of the scientific degree of the Doctor of the Technique Science.
21. Dychkovskiy, R., Falshtynskiy, V., Ruskykh, V., Cabana, E., & Kosobokov, O. (2018). A modern vision of simulation modelling in mining and near mining activity. *E3S Web of Conferences*, 60, 00014.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000014>
22. Dychkovskiy, R., Tabachenko, M., Zhadiaieva, K., Dyczko, A., & Cabana, E. (2021). Gas hydrates technologies in the joint concept of geoenergy usage. *E3S Web of Conferences*, (230), 01023.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123001023>
23. 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>
24. Sala, D., & Bieda, B. (2019). *Life Cycle Inventory (LCI) Approach Used for Rare Earth Elements (REEs) from Monazite Material, Considering Uncertainty*. Lanthanides.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.80261>
25. Pylypenko, H.M., Pylypenko, Yu.I., Dubiei, Yu.V., Solianyuk, L.G., Pazynich, Yu.M., Buketov, V., Smolinski, A., & Magdziarczyk, M. (2023). Social capital as a factor of innovative development. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(3) 100118.
<https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100118>
26. Бондаренко, В.І., Фальштинський, В.С., Дичковський, Р.О., Табаченко, М.М., Медяник, В.Ю., & Руських, В.В. (2008). *Спосіб підземної газифікації* (Пат. №35926 UA, МПК (2008.01) E21B 43/295, № 200805567; заявл. 29.04.2008; опубл. 10.10.2008, бюл. №19).
27. Бондаренко, В.І., Фальштинський, В.С., Дичковський, Р.О., Табаченко, М.М., Медяник, В.Ю., & Руських, В.В. (2008). *Спосіб підземної газифікації пластів твердого палива* (Пат. №35731 UA, МПК (2006) E21B 43/25, № 200805265, заявл. 22.04.2008, опубл. 10.11.2008 бюл. №21).
28. Dychkovskiy, R., & Bondarenko, V. (2006). Methods of Extraction of Thin and Rather Thin Coal Seams in the Works of the Scientists of the Underground Mining Faculty (National Mining University). *International Mining Forum 2006, New Technological Solutions in Underground Mining*, 21–25.
<https://doi.org/10.1201/noe0415401173.ch3>
29. Фальштинський, В.С., Дичковський, Р.О., Лозинський, В.Г., Саїк, П.Б. & Кабана, Е. К. (2020). *Спосіб утилізації відходів при газифікації вугілля*. (Пат. №121987, МПК B09B, F23G, F21B, заяв. 13.11.2017; опубл. 25.08.2020; бюл. №16).

30. Dychkovskiy, R.O., Avdiushchenko, A.S., Falshtynskiy, V.S., & Saik, P.B. (2013). On the issue of estimation of the coal mine extraction area economic efficiency. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 107–114.

ABSTRACT

Purpose. To perform an analysis of domestic and world experience in the implementation of technologies for the utilization of man-made territories of closed coal enterprises after the completion of their operation.

Methods. To achieve the purpose, the authors, based on the analysis of scientific research literature concerning the directions of creation the production capacities after the completion of the mines functioning, proposed technologies for the formation of enterprises for the utilization of man-made territories and their further use.

Results. The expediency and regularity of creating mining energy-chemical complexes (MEChC) based on closed coal enterprises for the disposal of pollution, secondary resources and energy in man-made territories is substantiated. This will contribute to the acquisition of ecologically clean land area, the use of underground resources, as well as the production of energy and chemical products that meet the needs of the industrial market.

Originality. Consists in the systematization and scientific justification of the implementation of technologies for the use of man-made space in closed mines. The main regularities of the scientific means of studying the processes of adaptation of such processes in the mechanical preparation, processing, and energy utilization of secondary raw materials as part of the implementation of MEChC to the real conditions of the underground and surface space of the closed coal mining enterprise are highlighted.

Practical implication. Development and establishment of the main technological aspects of the formation of a mining energy-chemical complex with the provision of stable utilization of man-made and energy space of coal mines with the obtaining of usable territories, fuel, technical industrial gases, thermal and electrical energy, and chemical products.

Keywords: *energy-chemical complex, mining enterprise, ecologically clean land area, curtailment of production, underground and surface complex.*