

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Саїка Павла Богдановича на тему: «**Наукові основи підземної газифікації вугілля з утилізацією вуглекислого газу**», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин

Відгук підготовлено на підставі всебічного аналізу дисертаційної роботи, реферату, опублікованих здобувачем наукових праць, а також матеріалів, що підтверджують практичну реалізацію та впровадження отриманих результатів дослідження.

1. Актуальність обраної теми досліджень та зв'язок з науковими програмами, планами і темами

Сучасний етап розвитку світової енергетики характеризується активним переходом до екологічно безпечних технологій та зниженням залежності від традиційних джерел енергії, зокрема тих, що базуються на викопному паливі. Для України, яка має значний потенціал запасів вугілля, збереження і модернізація вугільної галузі є важливим елементом енергетичної стратегії.

На сьогодні вітчизняна вугільна промисловість перебуває в критичному стані. Причинами цього є не лише втрата продуктивних вугільних площ через воєнні дії та погіршення гірничо-геологічних умов, а й моральне та фізичне зношення технічної бази. Крім техніко-економічних труднощів, гостро постає екологічна проблема: традиційні методи механізованого видобутку вугілля спричиняють значне антропогенне навантаження на навколишнє середовище – деградацію земель, забруднення водних ресурсів, викиди в атмосферу, утворення великої кількості відходів та, зокрема, парникових газів, серед яких домінує вуглекислий газ.

Таким чином, дослідження, спрямовані на відпрацювання запасів вугілля технологією підземної газифікації з утилізацією вуглекислого газу, створюють підґрунтя для науково-практичного обґрунтування не лише параметрів ефективного освоєння вугільних ресурсів у важкодоступних або нерентабельних для традиційного видобутку гірничо-геологічних умовах, а й для суттєвого зниження негативного впливу на довкілля за рахунок локалізації процесів підземної газифікації вугілля та утилізації CO₂ у підземному техногенному середовищі, що в цілому формує актуальну наукову проблему. У зв'язку з викладеним, обрана тема дослідження є безперечно актуальною та відповідає сучасним науковим та прикладним викликам у гірничодобувній галузі.

Дисертаційна робота виконана відповідно до держбюджетних робіт Міністерства освіти і науки України: ГП-487 «Наукове обґрунтування та розробка енергоефективних маловідходних технологій видобування вуглеводневої та мінеральної сировини», ГП-489 «Наукові основи формування єдиної системи збереження та генерації енергії об'єктів паливно-енергетичного комплексу України», ГП-500 «Синтез, оптимізація та параметризація інноваційних

технологій освоєння ресурсів газовугільних родовищ», ГП-503 «Геотехнологічні основи формування енергохімічних комплексів вугледобувних регіонів», ГП-511 «Науково-практичні засади структурних трансформацій вугледобувних підприємств на основі інноваційних технологій раціонального природокористування», ГП-512 «Когазифікація вуглецевмісної сировини при вигазуванні надтонких вугільних пластів з орієнтацією на отримання водню», ГП-515 «Обґрунтування технологічних рішень екологобезпечного освоєння мінеральних ресурсів в умовах відбудови країни у воєнний і післявоєнний періоди, ГП-516 «Науково-практичні засади технології газифікації низькосортного вугілля», де здобувач був керівником, відповідальним та основним виконавцем. За результатами роботи укладено Ліцензійний договір № 12 ПЛ за патентом на корисну модель UA №156354 «Спосіб утилізації діоксиду вуглецю». Дисертаційна робота відповідає Стратегії розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2030 року (Вугільна промисловість) та Паризькій кліматичній угоді в межах Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (UNFCCC).

2. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

Наведені в дисертації наукові положення, теоретичні та практичні результати досліджень є достатньо обґрунтованими та змістовними, оскільки базуються на усесторонньому аналізі та узагальненні світового й вітчизняного досвіду у галузі видобутку запасів вугілля; дослідженнях у галузі термохімічного перетворення вугілля та утилізації вуглекислого газу; аналітичних методах дослідження при інтегруванні диференціальних рівнянь теплопровідності; лабораторних методах дослідження, що охоплюють добір, підготовку та дослідження відібраних зразків гірського масиву для дослідження параметрів розповсюдження температурного поля в них і визначення міцнісних характеристик на випробувальному пресі типу KL 200/CE-Tecnotest; рентгенівських дифракційних методах аналізу (XRD) для оцінки кристалічності та структури зразків гірської породи; лабораторних дослідженнях процесу підземної газифікації вугілля та подальшої утилізації вуглекислого газу; аналітичних та лабораторних дослідженнях параметрів формування вигазованого простору підземного газогенератора і механізмів зрушення гірського масиву. Збіжність результатів між лабораторними та аналітичними дослідженнями становить 78 – 92 %.

Наукові положення, що захищаються у дисертації:

1. Довжина окислювальної зони підземного газогенератора ($l_{ок.з.}$) змінюється за експоненціальною залежністю від тривалості процесу газифікації (t) та потужності вугільного пласта (m) і сягає свого критичного значення на проміжку 10,12 – 10,45 м, що свідчить про вихід процесу газифікації за межу ефективності його застосування. Це дає змогу спрогнозувати параметри посування фронту вогневого вибою для забезпечення стабільної та ефективної роботи підземного газогенератора при формуванні вигазованого простору газогенератора.

2. Тиск подачі дуттьової суміші (P) при газифікації вугільних пластів потужністю від 0,6 до 1,2 м описується експоненціальною залежністю від тривалості процесу газифікації (t), який встановлює геометричні параметри вигазованого простору від швидкості посування вогневого вибою в окислювальній та відновлювальній зонах підземного газогенератора, що дає змогу визначити режими подачі дуттьової суміші для оптимізації енергетичних витрат на її подачу.

3. Концентрація діоксиду вуглецю в генераторному газі ($\eta_{CO_2}^2$) змінюється лінійно за граничних концентрацій подачі вуглекислого газу в складі не більше 22,3%, що є критерієм формування коефіцієнта утилізації вуглекислого газу (k_{CO_2}), який визначається його концентраціями у складі дуттьової суміші ($\eta_{CO_2}^1$). Це дає можливість спрогнозувати теплотворну здатність отриманого газу (LHV) та ефективність ведення процесу підземної газифікації вугілля з утилізацією діоксиду вуглецю.

4. Ефективний час подачі повітряно-вуглекислотного дуття (t) до площини підземного газогенератора характеризується лінійною залежністю від потужності вугільного пласта (m) та показників виходу вуглекислого газу ($\eta_{CO_2}^2$) у кількості 25% як граничне значення, що в результаті прогнозує тривалість роботи підземного газогенератора, направлено на утилізацію вуглекислого газу (68,83 – 85,87%), з максимальним значенням теплотворної здатності отриманого газу на рівні 6,3 – 6,6 МДж/м³.

Отримані результати характеризуються науковою новизною, яка чітко та коректно сформульована, належно обґрунтована і полягає, що:

1. Вперше:

– розроблено та протестовано математичну модель теплообміну середовища в системі «вугілля – генераторний газ» при підземній газифікації з урахуванням умов Стефана на межі фазового переходу;

– розроблено та протестовано на авторській лабораторній установці математичну модель розповсюдження температурного поля в гірському масиві навколо підземного газогенератора залежно від тривалості процесу газифікації вугілля;

– встановлено залежності зміни критичних довжин окислювальної зони підземного газогенератора від тривалості процесу газифікації та потужності вугільного пласта з урахуванням теплотворної здатності генераторного газу;

– встановлено залежності зміни тиску подачі дуттьової суміші до окислювальної зони вогневого вибою з урахуванням параметрів формування вигазованого простору від тривалості процесу газифікації та потужності вугільного пласта;

– встановлено залежності зміни міцності зразків гірської породи залежно від температури вогневого вибою за його зонами хімічних реакцій для гірничо-геологічних умов ДП «Львіввугілля» та ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»;

– запропоновано коефіцієнт утилізації вуглекислого газу (k_{CO_2}) при підземній газифікації вугілля, що оцінюється його концентраціями у складі дуттьової суміші та генераторному газі;

– встановлено залежності тривалості процесу газифікації вугілля при подачі повітряно-вуглекислотного дуття ($CO_2 - 22,3\%$) від потужності вугільного пласта та критичних показників CO_2 у генераторному газі;

– встановлено залежності зміни теплотворної здатності генераторного газу від способів подачі дуттьової суміші до площини підземного газогенератора.

Необхідно відмітити, що важливим аспектом наукової новизни є подальший розвиток концепція утилізації вуглекислого газу у складі дуттьової суміші та техногенному середовищі підземного газогенератора на базі технології підземної газифікації вугілля для забезпечення принципів сталого розвитку вугледобувних регіонів.

3. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх безпосереднього застосування для вдосконалення технологічних процесів підземної газифікації вугілля з утилізацією вуглекислого газу. Запропоновані методики, технічні рішення та рекомендації можуть бути впроваджені на вугільних підприємствах з метою підвищення ефективності видобутку запасів вугілля технологією його підземної газифікації зі зменшенням екологічного навантаження на навколишнє середовище за рахунок утилізації вуглекислого газу у техногенному середовищі. Отримані практичні результати роботи полягають у такому:

1. Розроблено методику з визначення довжини переміщення межі фазового переходу середовища «вугілля – генераторний газ», що характеризує зміну температури вогневого вибою за довжиною зони газифікації від тривалості цього процесу.

2. Розроблено методику дослідження процесу підземної газифікації вугілля з утилізацією вуглекислого газу у складі дуттьової суміші.

3. Розроблено методику дослідження зміни міцнісних характеристик гірського масиву навколо підземного газогенератора від параметрів температури за зонами хімічних реакцій у вогневому вибої.

4. Розроблено рекомендації з оптимізації режимів подачі дуттьових сумішей при газифікації вугілля.

5. Розроблено методику прогнозу ефективності процесу газифікації вуглецевмісної сировини з утилізацією вуглекислого газу.

6. Розроблено методику визначення параметрів формування порожнин вигазованого простору підземного газогенератора.

7. Обґрунтовано параметри керування процесом підземної газифікації вугілля з утилізацією вуглекислого газу у складі дуттьової суміші.

8. Обґрунтовано параметри технології утилізації вуглекислого газу в техногенному просторі підземного газогенератора.

9. Розроблено технологію утилізації вуглекислого газу при підземній газифікації вугілля, яка захищена патентами України.

10. Розроблено онлайн-інструментарій з дослідження процесу підземної газифікації вугілля з утилізацією вуглекислого газу.

Отримані практичні результати дослідження були реалізовані у вигляді рекомендацій та методичних підходів, які можуть бути використані для ТОВ «ЗАХІД ТРЕЙД РЕСУРС», ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», ТОВ «ГОФЕР УКРАЇНА».

4. Оцінка структури та змісту роботи, повнота викладу положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел з 286 найменувань, 4 додатки на 30 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 342 сторінки, у тому числі 94 рисунка та 16 таблиць.

Дисертаційна робота характеризується логічною структурою, а її текст викладено чітко, коректно та грамотно, із застосуванням фахової науково-технічної термінології.

У вступі дисертації обґрунтовано актуальність обраної тематики дослідження, висвітлено її зв'язок із науковими програмами, планами та темами. Визначено мету, ідею та завдання дослідження, сформульовано об'єкт, предмет і методи наукової роботи. Представлено основні наукові положення, розкрито наукову новизну й практичну значущість отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, охарактеризовано апробацію результатів і структуру дисертації.

Перший розділ присвячено комплексному аналізу сучасного стану вугільної промисловості України з урахуванням глобальних трендів у сфері видобутку вугілля, проблем енергетичної безпеки та потреби у скороченні викидів парникових газів. Особливу увагу приділено підземній газифікації вугілля як перспективному напрямку трансформації галузі на основі принципів кліматичної нейтральності гірничодобувних регіонів. У другому розділі обґрунтовано методичні підходи та методи дослідження, що застосовувалися у вивченні процесу підземної газифікації вугілля утилізацією CO₂.

У третьому розділі наведено результати пов'язані з розробкою математичних моделей теплообміну при підземній газифікації вугілля. У четвертому розділі розглянуто питання оптимізації параметрів технології свердловинної підземної газифікації. Визначено вплив температурного режиму на динаміку формування активних зон газогенератора. Запропоновані підходи створюють наукову базу для підвищення рівня керованості технологією.

П'ятий розділ присвячено науковому обґрунтуванню параметрів утилізації вуглекислого газу в умовах підземної газифікації. Досліджено залежність концентрації CO₂ у генераторному газі від його вмісту в дугттьовій суміші, а також просторове розташування зон утилізації навколо газогенератора.

У шостому розділі подано варіанти технічних рішень для керування процесом підземної газифікації вугілля та утилізації CO₂, а також наведено оцінку їх економічної доцільності. Проаналізовано різні технологічні схеми

подачі дуттьової суміші. У результаті проведених досліджень розроблено онлайн-інструментарій «UCG-1», що дозволяє прогнозувати параметри технології газифікації вугілля з утилізацією CO₂.

Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві, а отримані наукові й практичні результати щодо технології газифікації вугілля з утилізацією вуглекислого безумовно відносяться до спеціальності 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин.

Результати дисертаційної роботи опубліковано в 64 наукових працях, у тому числі: 19 статей у журналах, що індексуються наукометричними базами даних Scopus і Web of Science Core Collection, з яких 5 відносяться до кватилів Q1, Q2; 7 статей у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються наукометричними базами даних Scopus і WoS; 9 статей у періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 3 монографії, видані вітчизняними видавництвами; частина розділу монографії, видана міжнародним видавництвом; 10 патентів України на винаходи та корисні моделі; 15 тез доповідей у матеріалах всеукраїнських і міжнародних конференцій. Кількість наукових праць здобувача, у яких опубліковано результати роботи відповідає встановленим вимогам МОН України.

5. Значення роботи для науки та практики та суспільства

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей протікання термохімічних процесів газифікації вугілля та їхнього взаємозв'язку з параметрами утилізації CO₂ у складі дуттьової суміші та техногенному просторі підземного газогенератора, що в сукупності формує наукові основи ефективного впровадження технології підземної газифікації вугілля з утилізацією вуглекислого газу.

Практичне значення одержаних результатів у встановленні раціональних параметрів технології підземної газифікації вугілля з утилізацією вуглекислого газу, що покладено в розробку методик і рекомендації з ефективного керування процесами газифікації вугілля та утилізації вуглекислого газу. Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальні програми підготовки бакалаврів та магістрів з дисциплін: «Механіка гірських порід», «Гірнична інженерія», «Моделювання геомеханічних систем у задачах підземного видобутку корисних копалин» у НТУ «Дніпровська політехніка».

Очікуваний економічний ефект при впровадженні технології підземної газифікації вугілля з утилізацією вуглекислого газу дає змогу отримати дохід від реалізації генераторного газу від 76,15 до 152,30 млн грн.

6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

В результаті детального ознайомлення із дисертаційною роботою та зі звітом з перевірки запозичень встановлено, що порушень академічної доброчесності не було виявлено. При цитуванні інших вчених зроблено відповідні посилання.

7. Дискусійні положення та зауваження по роботі:

1. У п. 4.2 зазначено, що дослідження параметрів формування активних зон підземного газогенератора здійснювалося шляхом вимірювання температурного поля в заданих точках за допомогою датчиків типу ТЕП-109, проте не зрозуміло, яким чином враховувалися похибки вимірювання температури. Крім того, наведена експоненціальна формула (4.1) не містить одиниць виміру змінних, що ускладнює її практичне використання. Було б доцільно також включити порівняння з аналогічними результатами інших досліджень, щоб продемонструвати узгодженість або відмінності отриманих результатів у контексті існуючих наукових підходів.

2. На рис. 4.2 наведено параметри розповсюдження температур у вогневому вибої відповідно до зон хімічних реакцій. Однак у роботі не уточнено, для яких саме часових умов ця температурна картина є репрезентативною. З огляду на динамічний характер процесу газифікації та поступове зміщення фронту вогневого вибою з тенденцією до розширення окислювальної зони, актуальність зображеного розподілу температур у різні часові моменти викликає питання. Відсутність вказівки на часові межі або інтервал, у межах яких дана схема є справедливою, ускладнює інтерпретацію результатів та їх подальше використання. Доцільним було б доповнити рисунок або супровідний текст відповідною часовою прив'язкою.

3. У п. 5.3 зазначено, що на основі експериментальних досліджень встановлено залежності між концентрацією CO_2 у дуттьовій суміші та його вмістом у генераторному газі, а також визначено ефективний час подачі повітряно-вуглекислотного дуття залежно від потужності вугільного пласта, проте не зрозуміло, за якою методикою проводилася оцінка ефективності утилізації вуглекислого газу.

4. У формулі з визначення коефіцієнта утилізації не пояснено фізичний зміст результатів при різних значеннях, зокрема, що означає «наближення коефіцієнта до нуля» у контексті практичного ефекту. Крім того, наведена оцінка ефективного часу утилізації CO_2 виглядає емпіричною, але не супроводжується аналітичним обґрунтуванням.

5. Потребує уточнення, чи враховувалися під час дослідження втрати вуглекислого газу в газоконденсатній фазі або його можливі витіки в гірський масив, що впливають на точність визначення коефіцієнта утилізації та на матеріально-тепловий баланс процесу газифікації.

6. Було б доцільно уточнити межі застосовності запропонованих технологічних рішень та можливість доповнення існуючих критеріїв придатності для оцінки технології підземної газифікації вугілля.

Вважаю, що наведені зауваження мають несуттєвий, уточнювальний характер і жодним чином не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи. Вони не впливають на її логічну завершеність, структурну цілісність, обґрунтованість висновків та загальну позитивну оцінку проведеного дослідження. Дисертаційна робота є самостійним завершеним науковим дослідженням, а її основні положення, рекомендації та висновки є науково-обґрунтованими, достовірними й актуальними.

8. Загальний висновок

Дисертаційна робота Саїка Павла Богдановича є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішено актуальну наукову проблему з оптимізації процесів видобутку вугілля підземною газифікацією з утилізацією вуглекислого газу в техногенному середовищі, які ґрунтуються на виявлених нових закономірностях зміни параметрів формування активних зон підземного газогенератора та утилізації вуглекислого газу, що дають змогу сформувати єдину інтегровану систему керування процесом підземної газифікації вугілля, яка може стати каталізатором для відновлення економічної активності, створення нових робочих місць та залучення інвестицій у розвиток гірничодобувних регіонів.

Матеріали дисертаційної роботи мають суттєву наукову новизну та високу практичну цінність, що підтверджується обґрунтованістю теоретичних положень, результатів експериментальних досліджень, а також можливістю впровадження отриманих розробок у виробничу практику підприємств гірничодобувної галузі. Запропоновані рішення сприяють удосконаленню технології підземної газифікації вугілля з утилізацією вуглекислого газу та відповідають сучасним вимогам до екологічної безпеки й енергоефективності.

Робота відповідає вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за своїм науково-практичним рівнем та змістом («Вимоги до оформлення дисертації», наказ МОН України від 12.01. 2017 року №40) і задовольняє пп.7 та 9 «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 року №1197.

На підставі вищезазначеного вважаю, що **Саїк Павло Богданович** заслуговує на присудження ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин.

Офіційний опонент:

Заступник директора з наукової роботи,
Інституту геотехнічної механіки
ім. М.С. Полякова НАН України,
член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук



Олександр КРУКОВСЬКИЙ

Відгук отриманий

2.05.2025

Вч. сепр. 080.03



М.В. Петлюк