

## Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу Лозинського Василя Григоровича на тему: «Наукові основи воднево-орієнтованої підземної когазифікації вугілля», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин

Відгук сформовано на основі детального вивчення дисертаційного дослідження, автореферату, наукових публікацій здобувача, а також документів, що засвідчують практичне застосування та впровадження отриманих наукових результатів.

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

У сучасній енергетиці вугілля залишається важливою ланкою забезпечення промислового розвитку, адже значна частина електрогенерації та технологічних процесів у металургії та хімічному виробництві все ще залежить від продуктів його переробки. Хоча останні роки характеризуються активним розширенням використання відновлюваної енергії, повна відмова від вуглецевих ресурсів є на сьогодні передчасною через технологічні, економічні та логістичні обмеження. Саме тому удосконалення способів раціонального та екологічно контрольованого використання вугілля стає одним із ключових завдань для багатьох країн і галузей.

Серед можливих напрямів модернізації особливу увагу привертає технологія підземної газифікації вугілля, яка дає змогу перетворювати вуглецевмісні речовини на газоподібний енергоносіє. Такий підхід уможливорює використання пластів, які раніше вважалися промислово неперспективними, зменшує витрати на видобуток, виключає небезпеку ведення підземних робіт для персоналу (безлюдна технологія) та суттєво скорочує екологічні ризики, пов'язані з порушенням земної поверхні й формуванням відвалів. Однак реалізація підземної газифікації передбачає складну взаємодію теплових і хімічних процесів у породному масиві, що створює низку технологічних бар'єрів.

Проблема стабільного розвитку реакційного каналу залишається однією з найгостріших, оскільки масив прилеглих порід активно відводить тепло, стримуючи поширення високотемпературної зони і знижуючи якість отриманого генераторного газу. Традиційні спроби компенсувати ці втрати шляхом збільшення інтенсивності дуття або підвищення температури газифікації призводять до суттєвого зростання енерговитрат і не завжди забезпечують очікуваний ефект. Така ситуація вимагає пошуку нових методологічних підходів до керування тепловими потоками та оптимізації складу дуття.

Паралельно з цим, глобальна тенденція до розширення використання водню стимулює інтерес до когазифікації вугілля з біомасою або іншими різновидами вуглецевої сировини. Такий підхід дає змогу коригувати параметри реакційної зони.

Потенціал когазифікації робить її перспективним інструментом інтеграції вугільної промисловості в сучасні енергетичні стратегії, орієнтовані на декарбонізацію.

З огляду на складність процесів, що відбуваються у підземному газогенераторі, та необхідність підвищення його термохімічної ефективності, проведення комплексних досліджень, спрямованих на моделювання поведінки реакційного каналу, прогнозування теплових режимів і оптимізацію складу дуття, є надзвичайно актуальним. Таким чином, обрана тема роботи повністю відповідає потребам розвитку технологій підземної газифікації та сучасним тенденціям трансформації енергетичного сектору.

Дисертація підготовлена в рамках державних бюджетних досліджень, які здійснювалися за тематичними напрямками, визначеними планом наукових робіт Міністерства освіти і науки України на 2016–2025 рр., що забезпечує відповідність отриманих результатів пріоритетним завданням галузі.

Дослідження тематично і концептуально вписується в стратегічні завдання реформування паливно-енергетичного комплексу України до 2030 року, зокрема в напрямі підвищення ефективності використання вітчизняних енергоресурсів. Крім того, робота відповідає світовим кліматичним орієнтирам, визначеним Паризькою угодою, що підкреслює її актуальність у контексті глобальної політики декарбонізації.

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

Наукові висновки та результати, представлені в дисертаційній роботі, вирізняються високим рівнем обґрунтованості та доказовості. Це забезпечено комплексним використанням перевірених теоретичних підходів, експериментальних методик і чисельного моделювання. Дослідження виконано з акцентом на фундаментальні положення теплообміну, термодинаміки, хімічної кінетики та математичної статистики, що дало можливість отримати достовірні результати. Значний обсяг експериментальних даних підтверджує надійність отриманих висновків, а узгодженість аналітичних і експериментальних результатів на рівні 82–96% свідчить про коректність застосованих методів.

Наукові положення, що захищаються у дисертації:

1. Концентрація водню в генераторному газі процесу підземної когазифікації при застосуванні парокисневого дуття ( $O_2$  – 42%,  $H_2O_{\text{пара}}$  – 10%) зі зниженням енергії активації з 200,0 до 179,8 кДж/моль змінюється лінійно, досягаючи максимуму (10,56%) при вмісті біомаси в шихті  $\geq 75\%$ , забезпечуючи оптимальним співвідношенням  $H_2/CO$  на рівні 0,6. Це дає можливість спрогнозувати теплотворну здатність генераторного газу (LHV) та ефективність ведення процесу воднево-орієнтованої

підземної когазифікації, а також адаптувати синтез-газ до потреб хімічних технологій без зміни базових параметрів процесу когазифікації.

2. Ефективний час ( $t$ ) подачі парокисневого дуття ( $O_2 - 42\%$ ,  $H_2O_{\text{пара}} - 10\%$ ) у газогенератор при підземній когазифікації визначається циклічністю активізації окислювальної зони кисневим дуттям ( $O_2 - 42\%$ ) і залежить від теплового ефекту залучених органічних компонентів (суміш вугільного пилу і біомаси у співвідношенні 1:3) із сумарним внеском 63% вуглецю до базового значення вугілля як граничне значення. Це дає змогу прогнозувати режим роботи підземного газогенератора в температурному діапазоні 1000 – 1050°C

3. Застосування намагніченого парокисневого дуття підвищує лінійну швидкість посування вогневого вибою з 1,37 до 1,54 м/добу, збільшуючи площу вигазовування на 12,4%, що забезпечує скорочення інтервалу реверсування з 2,6 до 2,0 діб при віддаленні середини окислювальної зони на довжину 5,0 м від початкового значення. Врахування параметрів реверсування дає змогу запобігти надмірному видовженню реакційного каналу і забезпечить стабільну роботу геореакторної системи при інтенсифікації процесу когазифікації.

Представлені у дисертації результати мають суттєву наукову новизну, яка чітко визначена та належно аргументована автором. Здобувачем вперше:

- встановлено залежність впливу концентрації кисню у дутті на швидкість посування вогневого вибою газогенератора, апроксимовану за моделлю насичення типу Міхаеліса-Ментена;

- встановлено залежність зниження енергії активації реакцій газифікації під дією магнітного поля, яка спричиняє експоненціальне підвищення константи швидкості реакції, що відображається у значенні фактора  $F$ ;

- адаптовано чисельно-аналітичний підхід до моделювання процесу когазифікації вуглецевмісної сировини в реакційному каналі підземного газогенератора із використанням  $k-\epsilon$  турбулентної моделі та методу незмішаного горіння з урахуванням густини розподілу ймовірностей (PDF);

- встановлено закономірності теплової взаємодії високотемпературної зони окислення з вміщуючими породами, які виражаються експоненціальним зниженням безрозмірної температури  $\theta$  зі збільшенням критерію Фур'є  $Fo$ , збільшенням кумулятивних теплових втрат  $\Delta Q$  з часом  $\tau$  та зменшенням відносних втрат тепла  $\eta$ ;

- розроблено та протестовано математичну модель теплового балансу реакційного каналу з урахуванням теплопровідності вугілля і вміщуючих порід, яка дає змогу визначати тепловий режим когазифікації та прогнозувати термостабільність високотемпературної зони окислення;

- встановлено залежності зміни нижчої теплоти згоряння генераторного газу процесу підземної когазифікації за різних поєднань вуглецевмісної сировини в шихті і типів окислювача;

– встановлено залежності зміни мольних часток складових генераторного газу процесу підземної когазифікації при магнітній активації парокисневого дуття за різних поєднань вуглецевмісної сировини;

– визначено граничні умови ефективного часу подачі парокисневого дуття з урахуванням циклічної активації високотемпературної зони окислення та теплового ефекту компонентів вуглецевмісної сировини;

– встановлено залежності впливу намагніченого парокисневого дуття на динаміку посування вогневого вибою та зміну періодичності реверсування дуттьових потоків.

Окрім вищезазначеного важливим аспектом наукової новизни є подальший розвиток концепції воднево-орієнтованої підземної когазифікації вугілля як інтегрованого термохімічного процесу, в якій враховано вплив складу вуглецевмісної сировини, типу дуття, параметрів високотемпературної зони окислення і зовнішніх фізичних впливів на тепловий баланс, кінетику реакцій і стабільність роботи геореакторної системи.

### 3. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення полягає в можливості застосування результатів дисертації для модернізації та підвищення ефективності технологічних процесів підземної когазифікації вугілля, насамперед у напрямі отримання водню. Розроблені методики, технічні пропозиції та рекомендації придатні до впровадження у виробничу діяльність підприємств гірничої галузі з метою покращення процесів термохімічної генерації газу з вугілля. Практичні результати дисертаційної роботи полягають у такому:

1. Обґрунтовано вибір пріоритетних способів інтенсифікації процесу підземної газифікації на основі методологічного підходу PRISMA з подальшим семантичним зіставленням термінів.

2. Визначено та обґрунтовано оптимальні параметри концентрації кисню у дутті, що забезпечують оптимальну швидкість вигазовування вугілля.

3. Обґрунтовано оптимальні режими роботи підземного газогенератора залежно від складу шихти, типу дуття та впливу магнітного поля для підвищення виходу водню.

4. Розроблено методику прогнозування теплового режиму газогенератора на основі математичної моделі теплового балансу реакційного каналу процесу когазифікації.

5. Розроблено методику визначення граничних умов ефективного часу подачі парокисневого дуття з урахуванням циклічної активації високотемпературної зони окислення, що забезпечує стабільну роботу підземного газогенератора.

6. Обґрунтовано параметри керування процесом когазифікації для запобігання надмірному видовженню реакційного каналу та забезпечення стабільності геореакторної системи.

7. Розроблено технологічну схему підземної когазифікації вугілля з орієнтацією на підвищене виробництво водню, яка враховує попереднє намагнічування парокисневого дуття та оптимізацію складу вуглецевмісної сировини.

8. Обґрунтовано економічну ефективність технології підземної когазифікації на основі поступового порівняння показників з визначенням індексу переваги.

9. Удосконалено критерії придатності вугільних пластів до підземної газифікації вугілля з урахуванням коефіцієнта інтенсифікації (когазифікація).

10. Запропоновано інтегрований підхід для оцінки придатності вугільних пластів до впровадження технології підземної когазифікації на основі багатокритеріального аналізу з використанням методу індексу переваг (PSI).

Практична значущість підтверджена передачею розроблених методичних матеріалів і рекомендацій на підприємства вугільної галузі, серед яких ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», ПАТ «Львівська вугільна компанія», ТОВ «ЗАХІД ТРЕЙД РЕСУРС», а також отримано акт впровадження від ПАТ «Львівська вугільна компанія».

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 із 467 найменувань, 3 додатків на 27 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 475 сторінок, у тому числі 121 рисунок та 23 таблиці.

Дисертаційна робота відзначається послідовною побудовою та внутрішньою логікою викладу. Матеріал подано чітко, коректно та грамотно з використанням належної науково-технічної термінології. У вступі аргументовано актуальність теми в науковому та прикладному вимірах, показано її відповідність пріоритетам програмних і планових наукових досліджень, визначено мету, провідну концепцію та сукупність завдань, конкретизовано об'єкт і предмет дослідження, а також охарактеризовано застосований методичний інструментарій. Також у вступній частині наведені положення, що виносяться на захист, окреслені складові наукової новизни, теоретична та практична значущість результатів, представлені відомості про особистий внесок здобувача, апробацію і загальну структуру дисертації.

Перший розділ містить систематизований огляд і критичне узагальнення світового досвіду підземної газифікації вугілля, а також аналіз науково-технічних передумов і сучасних тенденцій розвитку технології. Вперше для області підземної газифікації виконано оригінальний бібліометричний аналіз динаміки та структури публікаційної активності, виділено ключові наукові напрями. На основі огляду

наявних розробок визначено актуальні підходи до інтенсифікації процесів газифікації.

Другий розділ присвячений вивченню термохімічної сутності підземної газифікації. Розкрито закономірності взаємодії вуглецевмісних речовин з компонентами дуття та механізми протікання основних реакцій. У рамках розділу наведено експериментальні результати щодо впливу конструктивних параметрів підземного газогенератора та режимів його роботи на інтенсивність газоутворення і формування складу генераторного газу.

У третьому розділі наведено результати аналітичних досліджень щодо можливості інтенсифікації підземної газифікації шляхом застосування зовнішнього магнітного поля. Обґрунтовано механізм його впливу, пов'язаний з інтеркомбінаційними переходами молекул кисню і води з синглетного в триплетний стан в просторово неоднорідному магнітному полі, що підвищує реакційну здатність окиснювальних компонентів і активізує термохімічні перетворення.

Четвертий розділ представляє чисельне CFD-моделювання процесів спалювання вуглецевмісної сировини в каналі вугільного пласта, де визначено просторово-часову еволюцію температурних полів, оцінено умови формування та стійкості високотемпературної зони окислення, встановлено закономірності утворення та перенесення продуктів згоряння. Отримані результати дали змогу кількісно описати тепломасообмін і динаміку розвитку фронту окиснення в умовах підземної газифікації.

П'ятий розділ висвітлює результати дослідження когазифікації вугілля та біомаси в реакційному каналі підземного газогенератора. Показано вплив складу дуття і частки введеної біомаси на інтенсивність основних реакцій і на формування складу генераторного газу. Логічно визначені часові інтервали стабільної роботи газогенератора з урахуванням матеріально-теплового балансу, що забезпечують енергоефективність і стійкість процесу.

Шостий розділ зосереджений на технологічних аспектах реалізації підземної когазифікації, а саме обґрунтовані параметри керованого посування вогневого вибою, виконана багатокритеріальна оцінка придатності вугільних пластів до когазифікації та сформовані науково вивірені рекомендації щодо промислового впровадження технології.

Зміст дисертації відповідає заявленій назві, а сукупність отриманих наукових і практичних результатів, спрямованих на розвиток технології підземної когазифікації вугілля з орієнтацією на отримання водню, цілком відповідає паспорту спеціальності 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин.

Результати дисертаційної роботи опубліковано у 82 наукових працях, у тому числі: 31 стаття у журналах, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science, з яких 11 відносяться до кватилів Q1-Q2; 13 статей у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються наукометричними базами

даних Scopus та/або Web of Science; 6 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; 18 тез доповідей у матеріалах всеукраїнських і міжнародних конференцій. Публікаційна активність здобувача, зокрема кількість наукових праць у яких висвітлено основні результати дисертаційного дослідження, є достатньо високою та повністю відповідає чинним вимогам Міністерства освіти і науки України.

#### 5. Значення роботи для науки та практики та суспільства

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей протікання термохімічних процесів когазифікації вугілля, що враховують вплив складу вуглецевмісної сировини, типу дуття, параметрів високотемпературної зони окислення та зовнішніх фізичних впливів на тепловий баланс, кінетику реакцій і стабільність роботи геореакторної системи.

Практична цінність отриманих результатів полягає у визначенні оптимальних параметрів реалізації підземної когазифікації вугілля, спрямованої на підвищення виходу водню, що стало підґрунтям для розробки методик і рекомендацій щодо ефективного керування процесами термохімічного перетворення вугілля в генераторний газ. Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальні програми підготовки бакалаврів та магістрів з дисциплін: «Фізико-хімічна геотехнологія», «Інноваційні технології розробки родовищ корисних копалин», «Спеціальні способи добування корисних копалин» у НТУ «Дніпровська політехніка».

Розрахунки показують, що впровадження технології підземної когазифікації вугілля з орієнтацією на отримання водню забезпечує прогнозований економічний ефект у вигляді доходу від реалізації генераторного газу до 175,9 млн грн у розрахунку на один газогенератор.

#### 6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами ретельного опрацювання дисертаційної роботи та аналізу звіту перевірки на наявність запозичень встановлено відсутність порушень принципів академічної доброчесності. Використання праць інших авторів здійснено коректно. Наведено належні посилання та оформлено цитування відповідно до вимог.

#### 7. Дискусійні положення та зауваження по роботі:

1. З опису експериментальної стендової установки (рис. 2.5, с. 114 дисертації) не зрозуміло, яким чином відображались породи покрівлі пласта та моделювався їх вплив на підземний газогенератор?

2. Імовірно технічна помилка – діяльність проф. О. В. Колоколова віднесена до

кінця 19 ст., замість, вочевидь, 20 ст. (с. 162 дисертації).

3. Представляється дискусійним твердження (с. 162 дисертації), що утворення фізичних полів для електромагнітного нагрівання вугільного пласта буде більш економічним, ніж отримання кисню для дуттьових сумішей при підземній газифікації вугілля. Більш того, енергія, витрачена на попереднє підвищення температури вугільного пласта до 350-400<sup>0</sup>С на відстань до 80 м може спричинити витрати, які перебільшать отриманий ефект від інтенсифікації процесу підземної газифікації вугілля, що вплине на загальну конкурентоздатність технології.

4. У роботі, на відміну від лабораторної установки (рис. 3.4, с. 157 дисертації), недостатньо чітко розкрито конструкцію й параметри «магнітного бака» для промислового застосування намагнічування дуття.

5. З роботи не зрозуміло, протягом якого часу діє активація реагентів при намагнічуванні парокисневого дуття і чи вистачає цього часу для транспортування дуття з поверхні до вогневого вибою?

6. У підрозділі «3.3.1 Постановка проблеми електромагнітного нагрівання вугільного масиву» потрапив матеріал щодо сутності методу CRIP (контроль точки подавання дуття), проте зв'язок цього прогресивного методу з електромагнітним нагріванням масиву в цьому підрозділі не пояснено.

7. Моделюванням доведене стале зростання швидкості посування вогневого вибою зі збільшенням довжини реакційного каналу (рис. 6.4, с. 321 дисертації), проте не розкрита причина цієї залежності та максимальна (або оптимальна) довжина реакційного каналу, де буде спостерігатися зростання швидкості посування (особливо при застосуванні намагнічування дуття, рис. 6.4-б).

Наведені зауваження мають переважно уточнювальний характер і не впливають на рівень наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів. Вони не порушують логіку викладу, не знижують цілісності структури роботи та не ставлять під сумнів обґрунтованість сформульованих висновків, а отже, не змінюють загальної позитивної оцінки дисертаційного дослідження. У цілому дисертація є самостійною, завершеною науковою роботою, в якій основні положення, рекомендації та висновки є актуальними, достовірними і належним чином аргументованими.

## 8. Загальний висновок

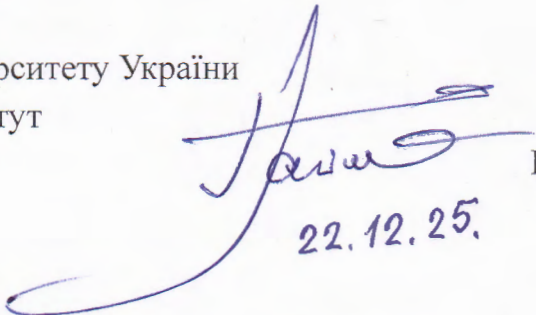
Дисертаційна робота Лозинського Василя Григоровича є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішено нову актуальну наукову проблему з розробки наукових основ воднево-орієнтованої підземної когазифікації вугілля, які ґрунтуються на закономірностях зміни параметрів термохімічних процесів у реакційному каналі при формуванні високотемпературної зони окислення підземного газогенератора, що дає можливість інтенсифікувати вигазовування вугільних пластів і є підґрунтям для подальшого розвитку термохімічного способу перетворення вуглецевмісної сировини в наземних газогенераторних установках замкненого циклу.

Робота вирізняється виразною науковою новизною та значним прикладним потенціалом. Це підтверджується належною аргументацією теоретичних положень, достовірністю результатів експериментальних досліджень, а також реальними перспективами практичного використання запропонованих розробок у діяльності підприємств гірничодобувної галузі. Запропоновані підходи та технічні рішення спрямовані на підвищення ефективності підземної когазифікації вугілля з орієнтацією на збільшення виходу водню.

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 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 року №1197.

На підставі вищезазначеного вважаю, що Лозинський Василь Григорович заслуговує на присудження ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин.

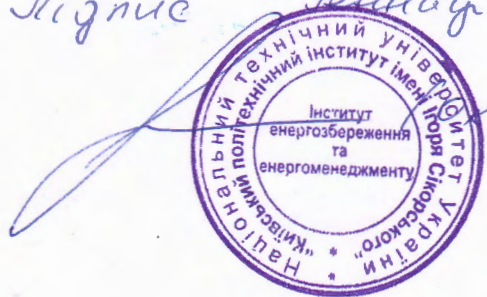
Офіційний опонент:  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри геоінженерії  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»



Геннадій ГАЙКО

22.12.25.

Зігнус Геннадій Гайко повірено:



Геннадій Гайко (СНС БОВК)  
22.12.25

Відгук отриманий 23.12.2025  
Вч. секр. А. 08.08.2025



Петльованний