

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Тутової Олени Валеріївни

на тему «Підвищення ефективності газифікації високозольного вугілля на основі встановлення закономірностей формування енергетичного оптимуму процесу», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика»

Публічна презентація наукових результатів дисертації та її обговорення здійснювалось на засіданні кафедри «Енергетичних систем та енергоменеджменту» ННІ «Дніпровського металургійного інституту» Українського державного університету науки і технологій (протокол № 23 від «18» травня 2026 р.).

1. Актуальність теми дисертації.

Актуальність теми дисертаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності використання вугільної сировини в умовах енергетичного переходу, декарбонізаційної політики та потреби раціонального залучення наявної сировинної бази України. Особливе значення має високозольне вугілля, традиційне спалювання якого супроводжується підвищеними енергетичними втратами, значним утворенням мінерального залишку, ускладненням газоочищення та зниженням ефективності паливовикористання.

Перспективним напрямом використання такої сировини є газифікація, яка забезпечує кероване термохімічне перетворення вугілля з одержанням генераторного газу. Водночас ефективність цього процесу не може бути обґрунтовано оцінена лише за окремими показниками – температурою, складом газу, його теплоотою згоряння або ступенем перетворення палива. Визначальним є комплексний взаємозв'язок між температурним режимом, параметрами окисника, виходом, складом і енергетичними характеристиками газу, що формує енергетичний оптимум процесу.

Недостатня вивченість закономірностей формування такого оптимуму, особливо для високозольного вугілля з урахуванням впливу мінеральної складової, обмежує можливості науково обґрунтованого вибору раціональних режимів газифікації. Крім того, практичне значення має встановлення умов, за яких енергетична доцільність процесу поєднується зі зменшенням утворення сірко- та азотовмісних компонентів генераторного газу і полегшенням його подальшого очищення.

Таким чином, дисертаційне дослідження, спрямоване на встановлення закономірностей формування енергетичного оптимуму газифікації високозольного вугілля з урахуванням режимних параметрів, впливу мінеральної складової, екологічних обмежень та енергетичної ефективності процесу, є актуальним і має важливе наукове та практичне значення для енергетичної галузі.

Тему дисертації затверджено на засіданні вченої ради Українського державного університету науки і технологій протокол № 3 від 20.12.2022 р. та уточнено рішенням вченої ради ННІ «Дніпровський металургійний інститут» протокол № 7 від 15.04.2026 р.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана відповідно до наукових напрямів кафедри енергетичних систем та енергоменеджменту Українського державного університету науки і технологій. Робота є частиною досліджень, що проводились у рамках держбюджетної теми: «Наукове обґрунтування процесів активації вуглецевмісних матеріалів з метою прискорення «зеленого» переходу» № 0124U000385, проекту German Corporation for International Cooperation (GIZ)/SECO «Promotion of energy efficiency and implementation of the European Energy Efficiency Directive in Ukraine» (2024-2025pp.), проекту ETH Zürich «Research and quantitative scenario modelling and data-driven assessments of post-war infrastructure decarbonization pathway» (2022-2024), у виконанні яких здобувач брав участь як співвиконавець.

3. Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше встановлено, що коефіцієнт витрати окисника є визначальним неперервним керувальним параметром процесу газифікації високозольного вугілля, а реакція основних характеристик процесу на його зміну має стійку тристадійну структуру. Вперше для

досліджених умов показано, що енергетичний оптимум процесу газифікації відповідає значенням коефіцієнта витрати окисника близько 0,3-0,32, при цьому положення максимуму не зміщується зі збільшенням вмісту кисню в окиснику, що підтверджує квазіуніверсальний характер оптимальної області за коефіцієнтом витрати окисника.

2. Вперше запропоновано інтегральний енергетичний показник процесу газифікації високозольного вугілля та встановлено, що цей показник має чітко виражений максимум при коефіцієнті витрати окисника близько 0,3 для всіх досліджених умов, а його значення становить 17,2-18,1 МДж/кг вугілля залежно від вмісту кисню в окиснику, що підтверджує, що повітряна газифікація не є принципово енергетично слабкою.

3. Отримало подальший розвиток уявлення про вплив мінерально-хімічних компонентів вугілля на формування генераторного газу та встановлено, що підвищення вмісту Na_2O є двоїтим фактором процесу, а саме одночасно сприяє зниженню температурного рівня газифікації на 100-250 К та підвищенню вмісту горючої складової газу на 10-40%, але разом з тим посилює перехід хлору та лужних елементів у газову фазу у вигляді HCl , NaCl і KCl , що звужує технологічно допустиму область реалізації енергетичного оптимуму.

4. Набули подальшого розвитку закономірності формування сірко- та азотовмісних компонентів генераторного газу при газифікації високозольного вугілля в умовах одночасного варіювання основних параметрів процесу та вперше встановлено, що коефіцієнт витрати окисника визначає узгоджену зміну форм зв'язування як сірки, так і азоту, причому перехід від відновних до окислювальних форм реалізується при значенні коефіцієнта витрати окисника 0,3-0,32. Вперше обґрунтовано можливість використання інтегрального показника $\lg[(\text{H}_2\text{S}+\text{COS}+\text{SH})/(\text{SO}_2+\text{SO})]$ як критерію розподілу між відновними та окислювальними формами сірки в процесі газифікації.

5. Отримали подальший розвиток уявлення про ексергетичну ефективність комбінованих схем термохімічної переробки вугілля та вперше встановлено наявність оптимуму загального ексергетичного ККД двостадійного процесу газифікації вугілля з подальшим спалюванням генераторного газу. Показано, що попереднє охолодження генераторного газу до 393 К зміщує оптимум температури в область 1373-1573 К і підвищує ККД до 65% порівняно з 63 % без охолодження.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

Теоретичне значення результатів роботи полягає в розвитку наукових уявлень про закономірності процесу газифікації високозольного вугілля як багатопараметричної термохімічної системи, для якої енергетично раціональний режим визначається не окремими показниками, а їх узгодженою зміною. У роботі встановлено, що коефіцієнт витрати окисника є визначальним неперервним керувальним параметром процесу та встановлено існування енергетичного оптимуму в області значень 0,3–0,32. Запропоновано інтегральний енергетичний показник, який поєднує питомий вихід генераторного газу та його нижчу теплоту згоряння і тим самим розширює теоретичні підходи до оцінювання енергетичної ефективності газифікації. Отримали подальший розвиток наукові уявлення про вплив мінерально-хімічних компонентів палива на формування температурного режиму, складу генераторного газу та меж реалізації енергетичного оптимуму, а також про закономірності утворення сірко- та азотовмісних компонентів генераторного газу в умовах одночасної зміни основних параметрів процесу. Розвинуто теоретичні положення щодо ексергетичної ефективності комбінованих схем термохімічної переробки вугілля та обґрунтовано роль фізичної і хімічної ексергії у формуванні загальної термодинамічної досконалості таких схем.

Практичне значення результатів роботи полягає в розробленні підходу до комплексного оцінювання енергетичної ефективності процесу газифікації високозольного вугілля на основі спільного використання критерію $\lg((\text{CO}+\text{H}_2)/\text{CO}_2)$ та інтегрального енергетичного показника, що враховує питомий вихід генераторного газу і його нижчу теплоту згоряння. Отримані результати створюють основу для побудови режимних карт газифікації високозольного вугілля за коефіцієнтом витрати окисника, температурою процесу, вмістом кисню в окиснику та складом генераторного газу і можуть бути використані при налагодженні, оптимізації та експлуатаційному супроводі процесів газифікації в реальних умовах.

Практичне значення роботи також полягає у формуванні рекомендацій щодо вибору екологічно доцільних режимів газифікації високозольного вугілля з урахуванням закономірностей утворення сірко- та азотовмісних компонентів генераторного газу. Запропонований показник $\lg[(H_2S+CO+SH)/(SO_2+SO)]$ може бути використаний як розрахунковий критерій для вибору режимів, що забезпечують зменшення утворення небажаних газоподібних сполук, полегшують подальше очищення генераторного газу та сприяють зниженню екологічно небезпечних викидів.

5. Використання результатів досліджень.

Розроблені у дисертаційній роботі підходи до побудови режимних карт газифікації високозольного вугілля та практичні рекомендації щодо вибору екологічно доцільних режимів процесу передано для подальшого використання до Департаменту житлово-комунального господарства та будівництва Дніпропетровської обласної військової адміністрації, що підтверджено листом № 2205/0/112-26 від 05.05.2026 р.

Матеріали дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі кафедри енергетичних систем та енергоменеджменту Українського державного університету науки і технологій при викладанні дисциплін для студентів спеціальності G4 «Енерговиробництво».

6. Особистий внесок здобувача.

У дисертаційній роботі не використано наукові результати та положення співавторів, які не належать здобувачу особисто. Основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації, що виносяться на захист і становлять зміст дисертації, отримані автором особисто або за його безпосередньої участі. Здобувачем самостійно виконано теоретичне обґрунтування, розрахункові дослідження, аналіз, узагальнення та інтерпретацію отриманих результатів.

7. Оцінка мови та стилю дисертації.

Дисертаційна робота має чітку й логічно побудовану структуру та складається зі вступу, п'яти розділів з висновками до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел із 135 найменувань і двох додатків. Основна частина дисертації викладена на 161 сторінці, містить 68 рисунків і 5 таблиць; загальний обсяг роботи становить 182 сторінки.

Матеріал дисертації викладено державною мовою, послідовно, логічно та з дотриманням вимог наукового стилю. Використана термінологія відповідає предметній галузі теплоенергетики, термохімічної переробки твердого палива та газифікації вугілля. Дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України до дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії.

8. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

Матеріали дисертації опубліковані у 11 друкованих роботах, у тому числі 2 – у виданнях, що індексуються у міжнародних науково-метричних базах Scopus або Web of Science із квантилем Q1 і Q2, 3 – у наукових фахових виданнях України категорії «Б», 6 – у матеріалах праць і тез науково-технічних конференцій.

1. Pinchuk, V., **Tutova, O.**, Kuzmin, A., Pinchuk, S., Sharabura, T. A., & Chemerinskiy, M. (2026). Energy-optimal excess oxidizer ratio and activation effects in coal gasification. *International Journal of Energy for a Clean Environment*, 27(3), 1-18. <https://doi.org/10.1615/InterJEnerCleanEnv.2025061343>. *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні експериментальних досліджень газифікації вугілля, аналіз та узагальнення отриманих даних.*

2. Tröndle, T., Melnyk, O., **Tutova, O.**, Porieva, V., Neumann, F., Staffell, I., & Patt, A. (2024). Rebuilding Ukraine's energy supply in a secure, economic, and decarbonised way. *Environmental Research Infrastructure and Sustainability*, 4(3), 031002. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad6738>. *Особистий внесок здобувача: аналіз наукової літератури, що висвітлює сучасну роль вугілля у світовому паливно-енергетичному балансі, прогнозування сценаріїв відбудови енергопостачання України, написання тексту статті та підготовка до друку.*

3. **Тутова, О. В., & Пінчук, В. О.** (2026). Термодинамічний аналіз формування енергетичного оптимуму газифікації вугілля. *Modern Problems of Metallurgy*, (29), 304-316. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.2026.01.20>. *Особистий внесок здобувача: виконання теоретичних досліджень закономірностей процесу газифікації вугілля, обговорення та інтерпретація експериментальних даних.*

4. **Тутова, О. В., & Пінчук, В. О.** (2026). Керування утворенням сірко- та азотовмісних компонентів як основа екологічної оптимізації газифікації вугілля. Системні технології, 3(164), 246-258. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-164-2026-20>. *Особистий внесок здобувача: теоретичні дослідження закономірностей утворення сірко- та азотовмісних сполук при газифікації вугілля, систематизація даних, написання тексту статті та підготовка до друку.*

5. **Тутова, О. В., & Пінчук, В. О.** (2026). Дослідження ексергетичної досконалості двостадійної схеми термохімічної переробки вугілля. Системні технології, 2(163), 227-237. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-2-163-2026-21>. *Особистий внесок здобувача: системне порівняльне ексергетичне дослідження комбінованих схем термохімічної переробки вугілля, аналіз та узагальнення отриманих даних, написання тексту статті та підготовка до друку.*

6. Pinchuk V., **Tutova O.**, Pinchuk S. (2023). Research of mode and design parameters of roller cooler for dry cooling of liquid slag. *Materials and Metallurgy : 16th International Symposium of Croatian Metallurgical Society. Metalurgija. Vol. 62, № 3-4. p. 492.* <https://hrcak.srce.hr/file/434355>. *Особистий внесок здобувача: участь у дослідженнях параметрів роликів охолоджувачів для утилізації фізичного тепла золотого розплаву після спалювання вугілля, апробація результатів на конференції.*

7. Пінчук В. О., Чемеринський М. С., **Тутова О. В.** (2024). Дослідження процесу газифікації солоного вугілля України. Сучасні технології переробки паливних копалин : тези доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції, 17-18 квітня 2024 р. / уклад. Д. В. Мірошніченко. Харків : НТУ «ХПІ», С. 37-40. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/79046>. *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні експериментальних досліджень газифікації вугілля, аналіз та узагальнення отриманих даних, апробація результатів на конференції.*

8. Пінчук В. О., **Тутова О. В.** (2025). Дослідження попередньої термічної активації вугілля. Сучасні технології переробки паливних копалин : тези доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції, 16-17 квітня 2025 р. / уклад. Д. В. Мірошніченко. Харків : НТУ «ХПІ», С. 77-80. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/e5437926-b3cd-4b76-a747-eba2e303bbc2/content>. *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні експериментальних досліджень термічної активації вугільної сировини, систематизація даних, апробація результатів на конференції.*

9. **Тутова О. В.,** Пінчук В. О. (2023). Дослідження механічної активації вугілля України різних стадій метаморфізму. Молода академія- 2023 : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених. Дніпро : УДУНТ, Т. 1. С. 131. URL: https://nmetau.edu.ua/file/tom_1_23.pdf. *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні експериментальних досліджень механічної активації вугільної сировини, систематизація даних, апробація результатів на конференції.*

10. Пінчук В. О., Кузьмін А. В., **Тутова О. В.** (2023). Formation of trace elements during high-temperature coal gasification. Теорія та практика раціонального використання традиційних та альтернативних паливо-мастильних матеріалів : матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Київ : Центр учбової літератури, С. 29-30. https://aemk.kpi.ua/wp-content/uploads/2023/11/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA-%D1%82%D0%B5%D0%B7_%D0%BE%D1%81%D1%82.pdf. *Особистий внесок здобувача: теоретичні дослідження закономірностей розподілу мікроелементів при газифікації вугілля, систематизація даних, апробація результатів на конференції.*

11. Пінчук В. О., **Тутова О. В.,** Пінчук С. А. (2023). Технологія комплексної переробки низькосортного вугілля і відходів вуглезбагачення. Сучасні технології переробки паливних копалин : тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції, 11-12 квітня 2023 р. / оргком.: Д. В. Мірошніченко та ін. Харків : НТУ «ХПІ», С. 45-48. URL:

<https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/65109>. *Особистий внесок здобувача: участь у розробці схеми комплексного використання вугілля, розрахункове дослідження ефективності запропонованої схеми, апробація результатів на конференції.*

9. Апробація результатів дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на 6 наукових конференціях: IX Міжнародній науково-технічній конференції «Теорія та практика раціонального використання традиційних та альтернативних паливо-мастильних матеріалів», НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», (Київ, Україна), 03-07.07.2023р.; VI Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології переробки паливних копалин», НТУ «Харківський політехнічний інститут» (Харків, Україна), 11-12.04.2023 р.; 16 th International Symposium of Croatian Metallurgical Society «Materials and metallurgy», Croatian metallurgical society (Zagreb, Croatia), 20-21.04.2023 р.; VII Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології переробки паливних копалин», НТУ «Харківський політехнічний інститут» (Харків, Україна), 17-18.04.2024 р.; Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених «Молода академія 2023», (Дніпро, Україна), 16-25.05.2023р.; VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології переробки паливних копалин», НТУ «Харківський політехнічний інститут» (Харків, Україна), 16-17.04.2025 р.

10. Дані про відсутність текстових запозичень та порушень академічної доброчесності.

Під час виконання дисертаційної роботи здобувач дотримувався принципів академічної доброчесності. Дисертацію перевірено на наявність текстових запозичень із використанням відповідного програмного забезпечення. За результатами перевірки та аналізу матеріалів дисертації не виявлено ознак академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації.

ВИСНОВОК

Вважати, що дисертаційна робота Тутової Олени Валеріївни на тему «Підвищення ефективності газифікації високозольного вугілля на основі встановлення закономірностей формування енергетичного оптимуму процесу», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 «Теплоенергетика», **відповідає** вимогам Наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами, внесеними згідно з Наказом МОН України № 759 від 31.05.2019) та пп. 6-8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024).

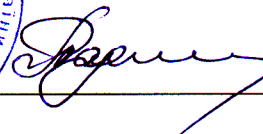
Дисертація «Підвищення ефективності газифікації високозольного вугілля на основі встановлення закономірностей формування енергетичного оптимуму процесу» Тутової Олени Валеріївни **рекомендується** для подання до розгляду та захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

Головуючий на засіданні наукового семінару, завідувач кафедри енергетичних систем та енергоменеджменту, к.т.н., доцент



Андрій УСЕНКО

Підпис доцента Андрія Усенка засвідчує



Вчений секретар УДУНТ

Тетяна РАДКЕВИЧ