

АНОТАЦІЯ

Тутова О.В. Підвищення ефективності газифікації високозольного вугілля на основі встановлення закономірностей формування енергетичного оптимуму процесу. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – «Теплоенергетика». – Український державний університет науки і технологій, Дніпро, 2026.

У дисертаційній роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності є суттєвими для вирішення актуальної науково-технічної задачі, яка полягає у підвищенні ефективності газифікації високозольного вугілля на основі встановлення закономірностей формування енергетичного оптимуму процесу за результатами узгодженого дослідження температури, складу, теплоти згоряння та питомого виходу генераторного газу при зміні параметрів окисника, з урахуванням впливу мінеральної складової палива, екологічних характеристик генераторного газу та ексергетичної ефективності схем термохімічної переробки.

У роботі встановлено, що процес газифікації високозольного вугілля має чітко виражену область енергетично раціональних режимів, яка формується при коефіцієнті витрати окисника близько 0,3–0,32. Показано, що зміна коефіцієнта витрати окисника приводить до формування трьох характерних режимних областей, а саме області недостатньої окислювальної забезпеченості з наявністю непрореагованого вуглецю, області раціональних режимів та області надлишкового окислення. У першій області обмежувальним фактором є недостатнє перетворення палива, у третій зростання вмісту CO_2 і H_2O та зниження частки горючих компонентів генераторного газу. Встановлено, що використання логарифмічного показника $\lg((\text{CO}+\text{H}_2)/\text{CO}_2)$ дозволяє отримати стійкий критерій оцінки режиму газифікації.

Вперше встановлено, що коефіцієнт витрати окисника є визначальним неперервним керувальним параметром процесу газифікації високозольного вугілля, зміна якого зумовлює узгоджену трансформацію температури процесу, складу окисника, теплоти згоряння, складу та питомого виходу генераторного газу, причому енергетично оптимальний режим для всіх досліджених умов формується при коефіцієнті витрати окисника 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.

Важливим результатом роботи є запропонований інтегральний енергетичний показник, що одночасно враховує питомий вихід генераторного газу та його нижчу теплоту згоряння. Показано, що цей показник має чітко виражений максимум при коефіцієнті витрати окисника 0,3 для всіх досліджених умов, незважаючи на протилежний характер зміни його складових, а саме зростання виходу газу та зниження його теплотворної здатності при збільшенні подачі окисника. Максимальні значення інтегрального енергетичного показника становлять 17,2–18,1 МДж/кг вугілля залежно від вмісту кисню в окиснику. Встановлено, що повітряна газифікація при оцінці за інтегральним енергетичним показником не є принципово енергетично слабкою. Незважаючи на нижчу теплоту згоряння повітряного генераторного газу, його більший вихід забезпечує сумарний енергетичний результат того самого порядку, що і при кисневій газифікації.

Сумісний аналіз температури процесу та інтегрального енергетичного показника показав, що зі збільшенням коефіцієнта витрати окисника температура зростає монотонно і не має максимуму в області енергетичного оптимуму. Отже, раціональний режим газифікації відповідає не максимальній температурі, а області її достатності, за якої досягається найбільше значення сумарного енергетичного виходу генераторного газу.

У дисертації досліджено показано, що підігрів окисника виконує переважно функцію, що інтенсифікує, посилюючи вже сформовані

закономірності, тоді як вміст кисню в окиснику є більш визначальним та формує відновлювально-окислювальний склад генераторного газу. Підвищення температури в дослідженому діапазоні від 273 К до 1273 К сприяє збільшенню відношення CO/CO_2 на 20 %, але не призводить до аналогічного зростання $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$, тобто температурний фактор є більш сприятливим для формування вуглецевої відновлювальної складової газу, ніж водневої.

Встановлено, що зі збільшенням температури підігріву окисника показник $\lg((\text{CO}+\text{H}_2)/\text{CO}_2)$ зростає для всіх досліджених складів окисника та показано, що ступінь збагачення окисника киснем є більш визначальним фактором формування температурного рівня та складу генераторного газу, ніж температура його підігріву.

Окремий блок досліджень присвячено впливу мінерально-хімічних компонентів палива на перебіг газифікації високозольного вугілля. Встановлено, що підвищення вмісту Na_2O у вугіллі зумовлює монотонне зниження температури газифікації як за повітряного, так і за кисневого дуття. Для повітряної газифікації сумарне зниження температури становить близько 100 К, а для кисневої - 200–250 К. Для повітряної газифікації збільшення вмісту Na_2O від 2 до 16 % супроводжується зростанням сумарного вмісту $\text{CO}+\text{H}_2$ майже на 40 %, тоді як вміст $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$ зменшується приблизно на 16 %, що свідчить про підвищення відновлювального потенціалу та енергетичної цінності генераторного газу. Для кисневої газифікації аналогічна тенденція також встановлена, але її вираженість менша. Одержані результати дають підстави розглядати Na_2O як важливий фактор інтенсифікації газифікаційних перетворень, особливо за повітряної газифікації, де його вплив на співвідношення між відновлювальними та більш окисненими компонентами проявляється найвиразніше. У цьому випадку натрійвмісна мінеральна складова сприяє формуванню генераторного газу з вищим відновлювальним потенціалом і кращими енергетичними характеристиками, що є суттєвим для досягнення енергетичного оптимуму процесу.

Встановлено також, що зі збільшенням вмісту Na_2O у вугіллі монотонно зростають концентрації HCl , NaCl і KCl у продуктах газифікації, а в генераторний газ переходить 54–71 % натрію і 61–69 % хлору від їх вмісту у вихідному паливі. Для умов газифікації хлор доцільно розглядати як компонент сольового комплексу мінеральної частини солоного вугілля, що визначає форми перебування Na , K і самого Cl у газовій фазі та впливає на розподіл хімічних форм елементів у системі. Його технологічне значення проявляється через утворення HCl і летких хлоридів лужних металів, підвищення корозійної активності газового середовища, зростання схильності до утворення відкладень та ускладнення умов очищення генераторного газу.

Дослідження впливу добавки Fe показало, що введення заліза в кількостях 0,02 і 0,04 кг/кг не спричиняє істотної зміни температури газифікації та не зміщує положення температурного оптимуму, але забезпечує помірне підвищення значення інтегрального енергетичного показника та згладжування максимуму відповідної залежності від коефіцієнта витрати окисника.

У дисертації встановлено узгоджені закономірності формування сірко- та азотовмісних компонентів генераторного газу при газифікації високосольного вугілля в умовах одночасного варіювання температури 1273–2473 К, вмісту кисню в окиснику 21–100 % та коефіцієнта витрати окисника 0,2–0,5. Показано, що утворення екологічно небезпечних домішок визначається не дією окремого параметра, а зміною окислювально-відновного стану системи. Вперше показано, що коефіцієнт витрати окисника є основним параметром керування формами зв'язування сірки та азоту в генераторному газі. При його значеннях менше 0,3 переважають відновні умови, за яких сірка і азот переходять у форми H_2S , COS , SH , CN_2 та HCN . У діапазоні 0,3–0,35 формується перехідна область, що характеризується інтенсивною перебудовою складу газу, зникненням частини проміжних сірко- та азотовмісних сполук і максимальним утворенням окремих сірковмісних компонентів. При подальшому збільшенні коефіцієнта витрати окисника

посилюється утворення SO_2 , SO та NO , що відповідає переходу до більш окислювального режиму. 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. Це дозволяє формалізувати вибір режимів газифікації з урахуванням екологічних вимог до складу генераторного газу.

Окремий розділ роботи присвячено ексергетичному аналізу комбінованих схем термохімічної переробки вугілля. Виконано системне порівняльне ексергетичне дослідження комбінованих схем у єдиному методологічному полі, що дозволило зіставити пряме згоряння вугілля та багатостадійні схеми за загальним ексергетичним ККД, ККД за одержанням фізичної ексергії, ККД за одержанням хімічної ексергії та рівнем ексергетичних втрат. Для двостадійної схеми «повітряна газифікація – згоряння генераторного газу» встановлено наявність оптимуму загального ексергетичного ККД. За відсутності охолодження генераторного газу максимальне значення ККД досягається при температурі генераторного газу 1273–1373 К і становить близько 63 %, тоді як попереднє охолодження генераторного газу до 393 К зміщує оптимум у область 1373–1573 К з підвищенням ККД до 65 %. За сукупністю ексергетичних, технологічних та екологічних критеріїв найбільш доцільною є схема повітряної газифікації з подальшим згорянням генераторного газу та його попереднім охолодженням.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні підходу до комплексного оцінювання енергетичної ефективності процесу газифікації на основі спільного використання критерію $\lg((\text{CO}+\text{H}_2)/\text{CO}_2)$ та інтегрального енергетичного показника. Отримані результати створюють основу для побудови режимних карт газифікації високосольного вугілля за коефіцієнтом витрати окисника, температурою процесу, вмістом кисню в окиснику та складом генераторного газу. Вони можуть бути використані при налагодженні, оптимізації та експлуатаційному супроводі газифікаційних процесів, а також при обґрунтуванні вимог до очищення генераторного газу та

виборі технологічно й ексергетично доцільних схем його подальшого використання.

Ключові слова: вугілля, газифікація, окисник, генераторний газ, коефіцієнт витрати окисника, термохімічна конверсія, енергетичний оптимум, енергоефективність, термодинамічне моделювання, мінерально-хімічні компоненти, сірко- та азотовмісні сполуки, екологічна ефективність, енергетичні технології, ексергетичний аналіз

Список публікацій здобувача

Публікації, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

- включених до наукометричної бази Scopus або Web of Science із квантилем Q1 і Q2:

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>

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>

- включених до наукових фахових видань України категорії «Б»:

1. 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>

2. 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>

3. 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>

- які засвідчують апробацію матеріалів дисертації на наукових конференціях та семінарах:

1. 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>

2. 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>

3. 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-eba2c303bbc2/content>

4. 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

5. 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%>

6. 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. Мірошниченко та ін. Харків : НТУ «ХПІ», С. 45-48. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/65109>

ABSTRACT

Tutova O.V. Improvement of high-ash coal gasification efficiency based on establishing regularities in the formation of the process energy optimum. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 144 – «Heat and Power Engineering». – Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, 2026

The thesis presents new scientifically substantiated results which, taken together, are significant for solving an urgent scientific and technical problem. This problem consists in increasing the efficiency of high-ash coal gasification based on establishing the regularities of formation of the energy optimum of the process according to the results of a coordinated study. This includes the study of the temperature, composition, heating value, and specific yield of syngas under variation of oxidizer parameters. This considers the influence of the mineral component of the fuel, the environmental characteristics of the syngas, and the exergy efficiency of thermochemical treatment schemes.

The work establishes that the gasification process of high-ash coal has a clearly defined region of energetically rational modes, which is formed at an oxidizer consumption coefficient of about 0.3–0.32. It is shown that a change in the oxidizer consumption coefficient leads to the formation of three characteristic operating

regions. Namely they include the region of insufficient oxidizer supply with the presence of unreacted carbon, the region of rational modes, and the region of excessive oxidation. In the first region, the limiting factor is insufficient fuel conversion. In the third region, it is the increase in the CO₂ and H₂O content and the decrease in the fraction of combustible components of the syngas. It is established that the use of the logarithmic indicator $\lg((\text{CO}+\text{H}_2)/\text{CO}_2)$ makes it possible to obtain a stable criterion for assessing the gasification mode.

For the first time, it has been established that the oxidizer consumption coefficient is determining continuous control parameter of the high-ash coal gasification process. Its variation causes a coordinated transformation of the process temperature, oxidizer composition, heating value, composition, and specific yield of syngas. At the same time, the energetically optimal mode for all studied conditions is formed at an oxidizer consumption coefficient of 0.3–0.32. The position of the maximum does not shift with an increase in the oxygen content in the oxidizer, which confirms the quasi-universal character of the optimal region with respect to the oxidizer consumption coefficient.

An important result of the work is the proposed integral energy indicator, which simultaneously considers the specific yield of syngas and its lower heating value. It is shown that this indicator has a clearly defined maximum at an oxidizer consumption coefficient of 0.3 for all studied conditions, despite the opposite character of changes in its components. Namely it is the increase in gas yield and the decrease in its heating value with increasing oxidizer supply. The maximum values of the integral energy indicator are 17.2–18.1 MJ/kg of coal, depending on the oxygen content in the oxidizer. It is established that air gasification, when assessed by the integral energy indicator, is not fundamentally weak in terms of energy. Despite the lower heating value of air syngas, its higher yield provides a total energy result of the same order as in oxygen gasification.

The combined analysis of the process temperature and the integral energy indicator showed that, with an increase in the oxidizer consumption coefficient, the temperature increases monotonically and has no maximum in the region of the

energy optimum. Therefore, the rational gasification mode corresponds not to the maximum temperature, but to the region of its sufficiency, at which the highest value of the total energy yield of syngas is achieved.

The thesis shows that oxidizer heating mainly performs an intensifying function, strengthening the already formed regularities, whereas the oxygen content in the oxidizer is more determining and forms the reduction–oxidation composition of the syngas. An increase in temperature in the studied range from 273 K to 1273 K promotes an increase in the CO/CO₂ ratio by 20% but does not lead to a similar increase in H₂/H₂O. This means that the temperature factor is more favorable for the formation of the carbon-based reducing component of the gas than for the hydrogen-based one.

It has been established that, with an increase in the oxidizer heating temperature, the indicator $\lg((\text{CO}+\text{H}_2)/\text{CO}_2)$ increases for all studied oxidizer compositions. It is also shown that the degree of oxygen enrichment of the oxidizer is a more determining factor in the formation of the temperature level and composition of syngas than its heating temperature.

A separate block of research is devoted to the influence of the mineral and chemical components of the fuel on the gasification of high-ash coal. It has been established that an increase in the Na₂O content in coal causes a monotonic decrease in the gasification temperature under both air and oxygen gasification. For air gasification, the total temperature decrease is about 100 K, while for oxygen gasification it is 200–250 K.

For air gasification, an increase in the Na₂O content from 2 to 16% is accompanied by an increase in the total CO+H₂ content by almost 40%, whereas the CO₂+H₂O content decreases by approximately 16%. This indicates an increase in the reducing potential and energy value of the syngas. For oxygen gasification, a similar tendency is also established, but it is less pronounced.

The obtained results provide grounds to consider Na₂O as an important factor in the intensification of gasification transformations, especially under air gasification. There its influence on the ratio between reducing and more oxidized

components is most clearly expressed. In this case, the sodium-containing mineral component promotes the formation of syngas with a higher reducing potential and better energy characteristics, which is significant for achieving the energy optimum of the process.

It has also been established that, with an increase in the Na_2O content in coal, the concentrations of HCl , NaCl , and KCl in the gasification products increase monotonically, and 54–71% of sodium and 61–69% of chlorine, relative to their content in the initial fuel, pass into the syngas. Under gasification conditions, chlorine should be considered as a component of the salt complex of the mineral part of saline coals. This determines the forms of occurrence of Na, K, and Cl itself in the gas phase and affects the distribution of chemical forms of elements in the system. Its technological significance is manifested through the formation of HCl and volatile alkali metal chlorides, an increase in the corrosive activity of the gas environment, a higher tendency to deposit formation, and the complication of syngas cleaning conditions.

The study of the influence of Fe addition showed that the introduction of iron in amounts of 0.02 and 0.04 kg/kg does not cause a significant change in the gasification temperature and does not shift the position of the temperature optimum. However, it provides a moderate increase in the value of the integral energy indicator and smoothing of the maximum of the corresponding dependence on the oxidizer consumption coefficient.

The thesis establishes coordinated regularities in the formation of sulfur- and nitrogen-containing components of syngas during high-ash coal gasification under simultaneous variation of temperature in the range of 1273–2473 K, oxygen content in the oxidizer from 21 to 100%, and oxidizer consumption coefficient from 0.2 to 0.5. It is shown that the formation of environmentally hazardous impurities is determined not by the action of a separate parameter, but by the change in the oxidation–reduction state of the system.

For the first time, it is shown that the oxidizer consumption coefficient is the main parameter for controlling the forms of sulfur and nitrogen binding in syngas.

At its values below 0.3, reducing conditions prevail, under which sulfur and nitrogen pass into the forms H_2S , COS , SH , CN_2 , and HCN . In the range of 0.3–0.35, a transition region is formed. It is characterized by intensive restructuring of the gas composition, disappearance of part of the intermediate sulfur- and nitrogen-containing compounds, and maximum formation of individual sulfur-containing components. With a further increase in the oxidizer consumption coefficient, the formation of SO_2 , SO , and NO is intensified, which corresponds to the transition to a more oxidizing mode.

The possibility of using the integral indicator $\lg[(\text{H}_2\text{S}+\text{COS}+\text{SH})/(\text{SO}_2+\text{SO})]$ as a criterion for the distribution between reducing and oxidizing forms of sulfur is substantiated. This makes it possible to formalize the selection of gasification modes with consideration of environmental requirements for the syngas composition.

A separate section of the work is devoted to the exergy analysis of combined schemes of coal thermochemical treatment. A systematic comparative exergy study of combined schemes was performed within a unified methodological framework. This made it possible to compare direct coal combustion and multistage schemes by total exergy efficiency, efficiency of physical exergy production, efficiency of chemical exergy production, and the level of exergy losses.

For the two-stage scheme “air gasification –syn gas combustion”, the presence of an optimum of total exergy efficiency was established. Without syngas cooling, the maximum efficiency is achieved at a syngas temperature of 1273–1373 K and is about 63%, whereas pre-cooling of syngas to 393 K shifts the optimum to the range of 1373–1573 K with an increase in efficiency to 65%. According to the set of exergy, technological, and environmental criteria, the most reasonable scheme is air gasification followed by syngas combustion with its pre-cooling.

The practical significance of the obtained results consists in the development of an approach to the comprehensive assessment of the energy efficiency of the gasification process based on the joint use of the criterion $\lg((\text{CO}+\text{H}_2)/\text{CO}_2)$ and the integral energy indicator. The obtained results create a basis for constructing operating maps of high-ash coal gasification according to the oxidizer consumption

coefficient, process temperature, oxygen content in the oxidizer, and syngas composition. They can be used in the adjustment, optimization, and operational support of gasification processes, as well as in substantiating requirements for syngas cleaning and selecting technologically and exergy-reasonable schemes for its further use.

Keywords: coal, gasification, oxidizer, syngas, oxidizer consumption coefficient, thermochemical conversion, energy optimum, energy efficiency, thermodynamic modeling, mineral and chemical components, sulfur- and nitrogen-containing compounds, environmental efficiency, energy technologies, exergy analysis

List of publications of the applicant

Publications, in which are published the main scientific results of thesis:

- indexed by the database Scopus or Web of Science with Q1 or Q2 quartile ranking:

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>

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>

- published in scientific professional journals of Ukraine, category B:

1. 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>

2. 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>

3. 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>

- publications that confirm the approbation materials of thesis:

1. 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>

2. 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>

3. 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-eba2c303bbc2/content>

4. 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

5. 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

6. 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>