



*С. С. Лис, О. Г. Юрасова, Т. П. Коваленко*

*Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*

## РОЗРОБЛЕННЯ СПОСОБУ ГАЗИФІКАЦІЇ ПОДРІБНЕНОГО ВУГІЛЛЯ

В основу роботи поставлено завдання створити спосіб газифікації твердого подрібненого палива, в якому внаслідок єдності процесу напівкоксування вугілля і газифікації напівкоксу, зв'язаного спільним контуром циркуляції твердого теплоносія, забезпечують простоту управління процесом і його стійкість, а знешкодження шкідливих речовин, які утворюються у процесі напівкоксування палива, здійснюють допалюванням залишкових горючих речовин золи з надлишком повітря вище від стехіометричного значення. Поставлене завдання вирішують тим, що згідно з запропонованим способом газифікації твердого подрібненого палива, який полягає у попередньому підсушуванні та напівкоксуванні з подальшою газифікацією гарячого напівкоксу на паро-кисневому, або паро-повітряному дутті і очищенням генераторного газу від частинок коксу і золи, згідно з винаходом, здійснюють підсушування і напівкоксування палива у реакторі напівкоксування за рахунок тепла суміші гарячої золи і коксу, які виділяють з потоку генераторного газу під час його очищення, а гарячі гази і пари смол змішують з потоком гарячого генераторного газу для подальшої газифікації смол, напівкоксу, який отримують після напівкоксування палива, газифікують у циркулюючому псевдозрідженому шарі, а частинки золи, після газифікації напівкоксу, подають на допалювання залишкових горючих і термічного знешкодження шкідливих речовин з надлишком повітря вище стехіометричного. Єдність процесу напівкоксування вугілля і газифікації напівкоксу, зв'язаного спільним контуром циркуляції твердого теплоносія, забезпечує простоту управління процесом і його стійкість. Потік золи, після газифікації напівкоксу, направляють на допалювання залишкових горючих речовин та вогневого знешкодження шкідливих речовин (фенолів,  $\text{CaSO}_3$ , сірковуглецю та ін.). У процесі допалювання знешкоджують шкідливі хімічні сполуки, які утворилися на стадії напівкоксування і газифікації палива, захоплені зі золою (феноли, сірковуглець та ін.).

**Ключові слова:** газифікація твердого подрібненого палива; циркулюючий псевдозріджений шар; напівкоксування вугілля; газифікації напівкоксу.

### Вступ

Відомо чимало способів термічного перероблення твердого палива. Проте одним з найперспективніших є газифікація, тому що синтез-газ (який утворюється у процесі газифікації палива) можна використовувати як паливо для котлів комунальних котельень; для зріджування; як паливо (після охолодження і очищення) для двигуна внутрішнього згорання з метою отримання механічної або електричної енергії (з використанням когенераційної установки).

Для розуміння факторів, що впливають на перебіг реакцій процесу газифікації, потрібно ознайомитися з основними поняттями і законами кінетики хімічних реакцій, а також із застосуванням першого і другого законів термодинаміки, на основі яких визначаються теплові ефекти реакції [1, 2, 4, 6].

В основу роботи поставлено завдання розробити спосіб газифікації твердого подрібненого палива, в якому завдяки єдності процесу напівкоксування вугілля і

газифікації напівкоксу, зв'язаного спільним контуром циркуляції твердого теплоносія, забезпечують простоту управління процесом і його стійкість, а знешкодження шкідливих речовин, які утворюються у процесі напівкоксування і газифікації палива, здійснюють допалюванням залишкових горючих речовин золи з надлишком повітря вище від стехіометричного значення [1, 2, 4].

Тому розроблення способу газифікації спрямоване на підвищення ефективності та надійності процесу газифікації високозольного вугілля у псевдозрідженому шарі, що і представляє актуальність тематики цього дослідження.

*Об'єкт дослідження* – термохімічний процес перероблення подрібненого вугілля в газоподібне паливо.

*Предмет дослідження* – спосіб газифікації подрібненого вугілля в газоподібне паливо.

*Мета роботи* – розроблення способу газифікації подрібненого вугілля, в якому внаслідок єдності процесу напівкоксування вугілля та газифікації напівкоксу, зв'язаного спільним контуром циркуляції твердого теп-

### Інформація про авторів:

**Лис Степан Степанович**, канд. техн. наук, доц., кафедра теплоенергетики, теплових і атомних електричних станцій.

Email: lysss@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-7359-1177>

**Юрасова Оксана Георгіївна**, ст. викладач, кафедра теплоенергетики, теплових і атомних електричних станцій.

Email: oksjanchyk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9930-9152>

**Коваленко Тетяна Павлівна**, канд. хім. наук, доц., кафедра теплоенергетики, теплових і атомних електричних станцій.

Email: kovalenkotaniy@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6866-5979>

**Цитування за ДСТУ:** Лис С. С., Юрасова О. Г., Коваленко Т. П. Розроблення способу газифікації подрібненого вугілля. Науковий вісник НЛТУ України. 2021, т. 31, № 1. С. 89–92.

**Citation APA:** Lys, S. S., Yurasova, O. H., & Kovalenko, T. P. (2021). Development of method gasification of the ground up coal. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(1), 89–92. <https://doi.org/10.36930/40310115>

лоносія, забезпечують простоту управління процесом і його стійкість.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати теоретичні положення процесу термічного перероблення подрібненого вугілля у газоподібне паливо;
- розробити спосіб газифікації твердого подрібненого палива.

*Наукова новизна отриманих результатів дослідження* – розроблено спосіб газифікації подрібненого вугілля, який полягає у попередньому підсушуванні та напівкоксуванні з подальшою газифікацією гарячого напівкоксу на паро-кисневому, або паро-повітряному дутті і очищенням генераторного газу від частинок коксу і золи.

*Практична значущість результатів дослідження* – розроблений спосіб газифікації подрібненого вугілля можна використати в енергетичних установках для виробництва теплової та електричної енергії. Єдність процесу напівкоксування вугілля і газифікації напівкоксу, зв'язаного спільним контуром циркуляції твердого теплоносія, забезпечує простоту управління процесом і його стійкість. У процесі допалювання знешкоджують шкідливі хімічні сполуки, які утворилися на стадії напівкоксування і газифікації палива, захоплені зі золою (феноли, сірковуглець та ін.).

*Аналіз останніх досліджень та публікацій.* Відомий спосіб газифікації вугілля у псевдозрідженому шарі "Процес Вінклера" [1, 2, 4, 6], за допомогою якого здійснюється процес газифікації подрібненого твердого палива у псевдозрідженому шарі на парокисневому, або пароповітряному дутті. Спосіб газифікації одноступеневий, який добре зарекомендував себе під час газифікації бурого вугілля.

Однак під час газифікації багатого леткими речовинами кам'яного вугілля, у процесі нагрівання яких виділяється велика кількість смол, надійність роботи газогенераторів такого типу знижується через можливу агломерацію частин під час коксування виділеної смоли.

Відомий також спосіб газифікації вугілля [1, 2, 4, 6] у протитоковому багатоступеневому псевдозрідженому шарі з попередньою дегазацією вугілля гарячим неочищеним газом і напівкоксування гарячим неочищеним низькокалорійним генераторним газом, який після знепилення і відповідного очищення направляється споживачам (в котельну установку, або газову турбину). Спосіб відомий під назвою "Процес Вестінгауз" (прототип).

Використання у "процесі Вестінгауз" [6] попереднього напівкоксування вихідного палива полегшує проведення газифікації кам'яного вугілля, проте використання в ролі теплоносія для напівкоксування гарячого генераторного газу, для запобігання агломерації частинок потребує використання псевдозрідженого шару з великою масою інертного матеріалу відносно маси палива, що подається (відношення близько 100:1). Застосування газового теплоносія в поєднанні з багатоступінчастим псевдозрідженим шаром для проведення сушіння і напівкоксування ускладнює операцію управління процесом і знижує надійність роботи установок.

## Результати дослідження та їх обговорення

В основу поставлено завдання створити спосіб газифікації твердого подрібненого палива, в якому завдяки єдності процесу напівкоксування вугілля і газифікації напівкоксу, зв'язаного спільним контуром циркуляції

твердого теплоносія, забезпечують простоту управління процесом і його стійкість, а знешкодження шкідливих речовин, які утворюються у процесі напівкоксування і газифікації палива, здійснюють допалюванням залишкових горючих речовин золи з надлишком повітря вище від стехіометричного значення.

Поставлене завдання вирішується тим, що згідно зі запропонованим способом газифікації твердого подрібненого палива, який здійснюють шляхом попереднього підсушування і напівкоксування з подальшою газифікацією гарячого напівкоксу на паро-кисневому, або паро-повітряному дутті й очищенням генераторного газу від частинок коксу і золи, згідно з винаходом, здійснюють підсушування і напівкоксування палива у реакторі напівкоксування за рахунок тепла суміші гарячої золи і коксу, які виділяють з потоку генераторного газу під час його очищення, а гарячі гази і пари смол змішують з потоком гарячого генераторного газу для подальшої газифікації смол, напівкоксу, який отримують після напівкоксування палива, газифікують у циркулюючому псевдозрідженому шарі, а частинки золи, після газифікації напівкоксу, подають на допалювання залишкових горючих і термічного знешкодження шкідливих речовин з надлишком повітря вище стехіометричного.

Єдність процесу напівкоксування вугілля і газифікації напівкоксу, зв'язаного спільним контуром циркуляції твердого теплоносія, забезпечує простоту управління процесом і його стійкість. Потік золи, після газифікації напівкоксу, направляють на допалювання залишкових горючих речовин та вогневого знешкодження шкідливих речовин (фенолів,  $\text{CaSO}_3$ , сірковуглецю та ін.). У процесі допалювання знешкоджують шкідливі хімічні сполуки, які утворилися на стадії напівкоксування і газифікації палива, захоплені з золою (феноли, сірковуглець та ін.), а також доокислюють  $\text{CaSO}_3$  у нешкідливий і стабільний  $\text{CaSO}_4$  (гіпс).

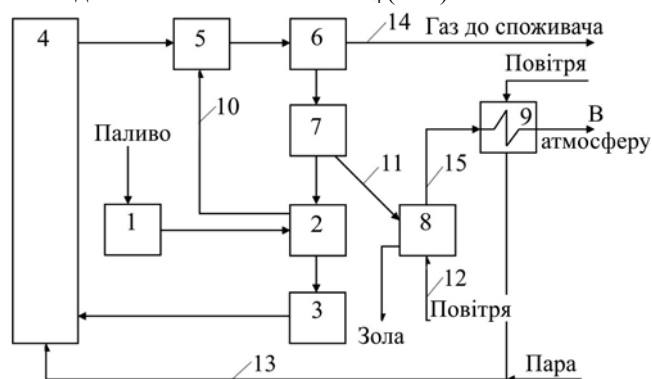


Рисунок. Принципова схема установки для реалізації способу газифікації подрібненого вугілля

На рисунку наведено принципову схему установки для реалізації способу газифікації подрібненого вугілля [5]. Установка складається з дозатора подрібненого палива 1, реактора напівкоксування 2, дозатора напівкоксу 3, газогенератора циркулюючого псевдозрідженого шару для газифікації напівкоксу 4, змішувача генераторного газу з газоподібними продуктами напівкоксування палива 5, циклона грубого очищення отриманого горючого газу від частинок золи і коксу 6, дільника потоку коксо-зольної суміші 7, пристрою для допалювання залишкових горючих речовин у золі 8, підігрівача газифікуючого агента, який подається в газогенератор 9; а також трубопроводу 10 передачі газоподібних про-

дуктів напівкоксовання з реактора 2 у змішувач 5, трубопроводу 11 передачі надлишку золи з дільника 7 у пристрій допалювання 8, трубопроводу 12 подачі повітря у пристрій допалювання, трубопроводу 13 подачі газифікуючого агента в газогенератор, трубопроводів 14 і 15 відповідно для відводу генераторного газу до споживача і продуктів згорання з пристрою допалювання 8 у підігрівач газифікуючого агента 9 і в атмосферу.

Спосіб газифікації твердого подрібненого палива здійснюють шляхом подачі подрібненого палива дозатором 1 в реактор напівкоксовання 2, куди надходить потік гарячих частинок коксу і золи – твердий теплоносій, виділений з потоку генераторного газу в циклоні 6, який пройшов дільник 7. Залежно від властивостей вугілля, яке подається на газифікацію, співвідношення маси твердого теплоносія і маси палива, що подається, змінюється в межах від 2:1 до 12:1. У процесі напівкоксовання без доступу повітря в реакторі 2 проходить спочатку випаровування вологи палива, а потім термодеструкція органічної маси палива з утворенням горючих вуглеводневих газів, парів смол і твердого залишку – напівкоксу. Суміш напівкоксу з твердим теплоносієм дозатором 3 подають на газифікацію в газогенератор 4 з циркулюючим псевдозрідженим шаром. У нижню частину газогенератора трубопроводом 13 подають потік газифікуючого агента (пара-кисень, або пара-повітря), підігрітого до необхідної температури в підігрівачі 9.

Газоподібні та пароподібні продукти термодеструкції органічної частини палива з реактора 2 трубопроводом 10 направляють у змішувач 5, в якому відбувається їх перемішування з більш гарячим газом, отриманим внаслідок газифікації напівкоксу. У зоні більш високих температур відбувається деструкція парів смол з утворенням газоподібних вуглеводнів і твердих вуглецевих частинок. Внаслідок підвищується теплота згорання газу газифікації напівкоксу. Далі потік гарячого газу проходить через циклон 6, в якому з нього виділяють тверді частинки недогазифікованого коксу і золи та направляють через дільник потоку 7 в реактор напівкоксовання 2 (основна частина), а надлишок трубопроводом 11 направляють у пристрій для допалювання 8. Частково знепилений у циклоні горючий газ направляють без додаткового очищення на спалювання, якщо споживачем є енергетичний котел, або на пристрій тонкого очищення, якщо споживачем є газова турбіна. У пристрої допалювання 8 допалюють залишкові горючі речовини золи, не прогазифіковані у газогенераторі 4. Допалювання відбувається в потоці повітря, яке подають трубопроводом 12. Газоподібні продукти згорання трубопроводом 15 направляють у теплообмінник 9. Золю виводять з циклу установки.

Допалювання горючих речовин золи проводять з надлишком повітря вище від стехіометричного значен-

ня, особливо якщо для зв'язування оксидів сірки використовують вапняк. У процесі допалювання знешкоджують шкідливі хімічні сполуки, які утворилися на стадії напівкоксовання і газифікації палива, захоплені зі золою (феноли, сірковуглець та ін.) [3, 5].

**Обговорення результатів дослідження.** Єдність процесу напівкоксовання вугілля і газифікації напівкоксу, зв'язаного спільним контуром циркуляції твердого теплоносія, забезпечує простоту управління процесом і його стійкість. Використання попереднього напівкоксовання, як показали досліди, в 2-3 рази збільшує активність напівкоксу під час проведення процесу газифікації порівняно з газифікацією термічно необробленого вугілля.

## Висновки

Розроблений спосіб газифікації подрібненого вугілля стосується теплової енергетики і, зокрема, газифікації твердого подрібненого палива та може бути використано в енергетичних установках для виробництва теплової та електричної енергії. Єдність процесу напівкоксовання вугілля і газифікації напівкоксу, зв'язаного спільним контуром циркуляції твердого теплоносія, забезпечує простоту управління процесом і його стійкість. У процесі допалювання знешкоджують шкідливі хімічні сполуки, які утворилися на стадії напівкоксовання і газифікації палива, захоплені зі золою (феноли, сірковуглець та ін.).

## References

1. Bijan Hejazi, John R. Grace, Xiaotao Bi, & Andrés Mahecha-Botero. (2017). Kinetic model of steam gasification of biomass in a bubbling fluidized bed reactor. *Energy Fuels. Canada*, 31(2), 1702–1711. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b03161>
2. Lys, S. S. (Ed.), Kravets, T. Yu., & Mysak, Y. S. (2018). *Hazyfikatsiia tverdogo palyva u sutsilnomu shari: monohrafiia*. Lviv: Rastr-7, 210 p. [In Ukrainian].
3. Lys, S. S. (Ed.). (2017). Termichne pereroblennia nyzkosortnykh palyv u hazopodibne palyvo dlia vykorystannia v teploenergetychnykh ustanovkakh. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(3), 145–147. <https://doi.org/10.15421/40270332>
4. Mingaleeva, G., Ermolaev, D., & Galkeeva, A. (Eds.) (2016). Physico-chemical foundations of produced syngas during gasification process of various hydrocarbon fuels. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18, 297–304. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-0988-8>
5. Mysak, Y. S., Lys, S. S., Kravets, T. Yu., & Kuzyk, M. P. (2020). Patent Ukrainy na vynakhid №120631, MPK C10J 3/54, C10V 53/04. Sposib hazyfikatsii tverdogo podribnenoho palyva.; Vlasnyk: Natsionalnyi universytet "Lvivska politekhnika"; Opubl. 10.01.2020, Biul. № 1, 2020. [In Ukrainian].
6. Shilling, G-D., (Ed.), Bonn, B., Kraus, U., & Islamov, S. R. (1986). *Gazifikatsiia uglia*. (Trans. from German). Moscow: Nedra, 175 p. [In Russian].

**S. S. Lys, O. H. Yurasova, T. P. Kovalenko**

*Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

## DEVELOPMENT OF METHOD GASIFICATION OF THE GROUND UP COAL

The work is based on the task of creating the method of solid crushed fuel gasification, which due to the unity of the process of semi-coking of coal and gasification of semi-coke bound by a common circuit of solid coolant, provides easy process control and stability, and neutralization of harmful substances and fues gasification, carried out by afterburning of residual combustible substances of ash with excess air above the stoichiometric value. The problem is solved by the fact that according to the proposed method of gasification of solid crushed fuel, which consists in pre-drying and semi-coking followed by gasification of hot semi-coke on steam-oxygen or steam-air blast and purification of generator gas from coke and ash particles according to the invention, is performed by

drying and semi-coking of fuel in a semi-coking reactor due to the heat of a mixture of hot ash and coke, which are released from the stream of gas generator during its purification, and hot gases and resin vapors are mixed with a stream of hot generator gas for further gasification of resins after semi-coking of the fuel, gasified in a circulating fluidized bed, and the ash particles, after gasification of the semi-coke, are fed to the afterburning of residual combustibles and thermal neutralization of harmful substances with excess air above the stoichiometric. The unity of the process of semi-coking of coal and gasification of semi-coke, connected by a common circuit of circulation of solid coolant, provides ease of process control and its stability. The ash stream, after gasification of semi-coke, is directed to the afterburning of residual combustible substances and fire neutralization of harmful substances (phenols,  $\text{CaSO}_3$ , carbon disulfide, etc.). In the process of afterburning, harmful chemical compounds formed at the stage of semi-coking and gasification of fuel captured with ash (phenols, carbon disulfide, etc.) are neutralized.

**Keywords:** solid crushed fuel gasification; circulating fluidized bed; semi-coking of coal; gasification of semi-coke.