

# ЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПАРОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ З ВНУТРІШНЬОЦИКЛОВОЮ ГАЗИФІКАЦІЄЮ ВУГІЛЛЯ

Вінницький національний технічний університет

*Виконано огляд літературної інформації по впровадженню технологій парогазових енергетичних установок з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля (ПГУ з ВГВ) у світі та Україні. Проведено розрахунки ПГУ з ВГВ з метою визначення енергетичної ефективності.*

**Ключові слова:** синтез-газ, паротурбінна установка, газифікація, парогазова установка, газотурбінна установка, газифікатор, вугілля, коефіцієнт корисної дії.

## Abstract

A review of literature information on the implementation of technologies of steam-gas power plants with intra-cycle gasification of coal (SGP with ICGC) in the world and in Ukraine was carried out. Calculations of a steam-gas plant with intra-cycle gasification of coal were carried out in order to determine the energy efficiency.

**Keywords:** synthesis gas, steam turbine plant, gasification, steam and gas plant, gas turbine plant, gasifier, coal, efficiency.

## Вступ

Сучасний період характеризується дефіцитом паливно-енергетичних ресурсів і електроенергії, підвищенням вимог до рівня викидів забруднювальних речовин. Одним із головних напрямків вирішення екологічних проблем в паливно-енергетичному комплексі є розробка екологічно-чистих технологій і процесів. Однією з таких технологій є внутрішньоциклова газифікація вугілля. За кордоном відома як Integrated gasification combined cycle (IGCC).

На даний час комерційні парогазові енергетичні установки з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля (ПГУ з ВГВ) є найбільш екологічно чистими в порівнянні з іншими вугільними ТЕС [1]. Для України є надзвичайно актуальним завданням впроваджувати екологічно чисті технології, оскільки викиди на ТЕС у нас на 77...99 % вищі, ніж середні показники в ЄС (рис.1) [2].

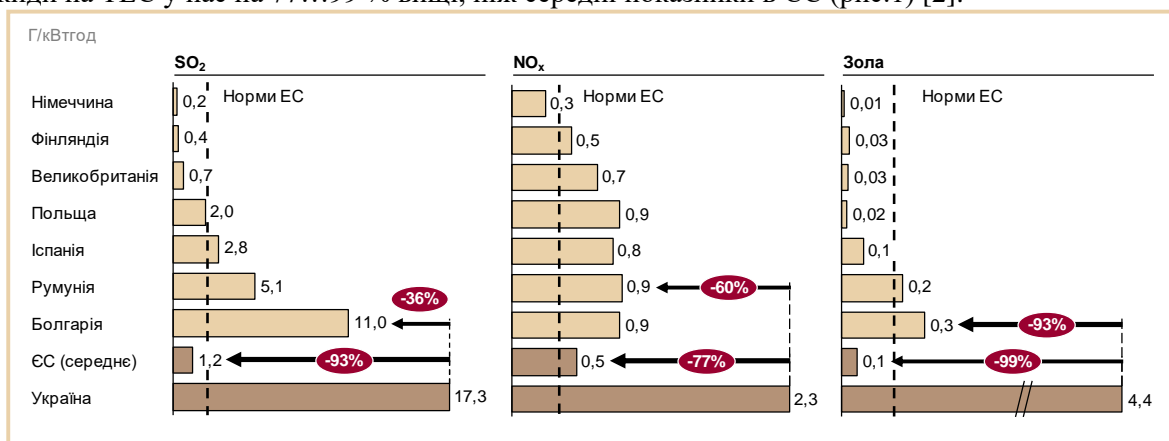


Рис. 1 Викиди шкідливих речовин великих теплових станцій (ЄС – 2006 р., Україна – 2009 р.) [2].

У роботі [3] вказано, що в Україні парогазові установки (ПГУ) не набули поширення. Встановлена електрична потужність кожної ПГУ (працюють на природному газі) становить від 20 до 150 МВт. На даний час в Україні не існує ПГУ з внутрішньоцикловою газифікацією твердого та рідинного видів

палива. В роботі [4] зазначено що застосування сучасних технологій спалювання вугілля показало, що при застосуванні шарового і пилевидного спалювання вугілля внутрішні втрати в котлоагрегаті складають 4% при загальному ККД до 33 %, киплячого шару – відповідно 8 і 42%, внутрішньоциклової газифікації – 16 і 55 %. Тобто у випадку застосування сучасних технологій спалювання вугілля підвищується загальний ККД установки, але одночасно зростають внутрішні втрати, капітальні і експлуатаційні затрати.

**Метою роботи** є оцінка енергетичної ефективності парогазової установки з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля.

### Результати дослідження

На рис. 2 показано принципову схему ПГУ з ВГВ. В ПГУ з ВГВ зберігається енергетична частина звичайних бінарних парогазових установок. До неї додається система газифікації вугілля і очищення, в якій виробляється очищений від сполук сірки і золи низько- (4–6 МДж/м<sup>3</sup>), середньокалорійний (8–12 МДж/м<sup>3</sup>), висококалорійний (більше 12 МДж/м<sup>3</sup>) горючий газ, придатний для спалювання в камерах згорання високотемпературних ГТУ.

Синтез-газ з реактора газифікації надходить у високотемпературну систему очищення.

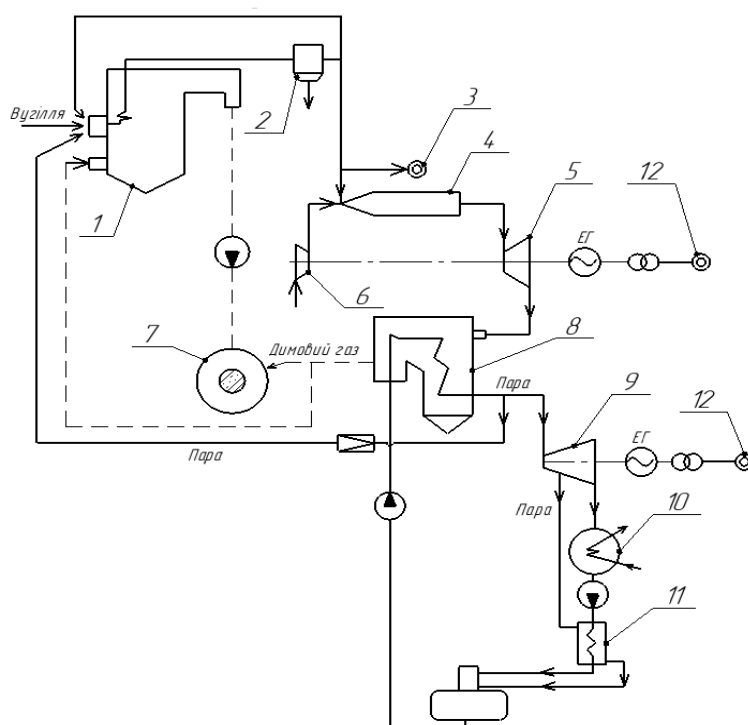


Рис. 2. Принципова теплова схема бінарної ПГУ

1 – реактор газифікації вугілля; 2 – високотемпературна система очищення синтез-газу; 3 – споживач синтез-газу; 4 – камера згорання ГТУ; 5 – газова турбіна ГТУ; 6 – компресор ГТУ; 7 – димова труба; 8 – котел-утилізатор; 9 – парова турбіна; 10 – конденсатор; 11 – система регенерації; 12 – споживачі електричної енергії.

Після очищення, частина синтез-газу надходить в камеру згорання газової турбіни, інша частина (20%) надходить до споживачів. Димові гази з ГТУ надходять в котел утилізатор. Вироблена пара частково надходить в реактор газифікації в якості дуття, більша частина надходить в конденсаційну турбіну. В газифікаторі здійснюється алотермічний процес.

Алотермічні газифікатори призначені для одержання газу з підвищеним вмістом водню порівняно з автотермічними газифікаторами. Непряме нагрівання призводить до отримання газу з високою теплою згорання, який не розбавлений азотом. Пара вводить з сировиною в реактор для прискорення реакцій газифікації і збільшення виходу водню.

Розрахунки виконано для таких початкових даних: температура синтез-газу перед газовою турбіною 1000 °С; електрична потужність ГТУ 70 МВт, міра підвищення тиску в компресорі 15. В пароту-

рбінній частині передбачена конденсаційна турбіна з початковим тиском 90 бар і тиском конденсації  $P_k = 0,05$  бар. Система регенерації включає підігрівник низького тиску при температурі живильної води 105 °С (яка характерна для бінарної ПГУ). 20 % отриманого синтез-газу надходить до споживачів. Характеристики вугілля: теплота згорання  $Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 23$  МДж/кг, вміст вуглецю в паливі становить  $C^{\text{с}} = 0,65$  кг/кг.вугілля.

Алгоритм розрахунку ПГУ з ВГВ такий: розрахунок ГТУ- ступені, розрахунок реактора газифікації, розрахунок ПТУ-ступені, узгодження показників ГТУ і ПТУ ступенів, оцінка енергетичної ефективності циклу. Розрахунки циклів ГТУ і ПТУ проведено за методиками [5].

В результаті розрахунків визначено, що температура газів на виході з газової турбіни становить  $T_4 = 449$  °С. Температура пари перед турбіною приймалась за рекомендаціями за такою формулою  $T_0 = T_4 - \delta t_0$ , де  $\delta t_0 = 10 \dots 20$  К,  $t_0 = 430$  °С. В результаті розрахунків визначено, що кількість синтез-газу, що необхідна для роботи ГТУ становить 8,6 кг/с, необхідна кількість вугілля на реактор 7,79 кг/с, електрична потужність ПТУ 19,7 МВт. Температура відхідних газів за котлом утилізатором 115 °С. Для розрахунку коефіцієнта корисної дії на основі даних літературного джерела [4] внутрішні втрати взято 15 %. Коефіцієнт корисної дії ПГУ 42 %.

### Екологічні показники роботи ПГУ з ВГВ

За екологічними показниками ТЕС України не відповідають нормативам, прийнятим в економічно розвинутих країнах. Наші ТЕС оснащені лише системами уловлювання твердих частинок. Наприклад, директивою ЄС 2001/80/ЄС для установок більше 300 МВт норми викидів для твердих частинок становлять 50 мг/м<sup>3</sup>, для SO<sub>2</sub> – 400 мг/м<sup>3</sup>, для NO<sub>x</sub> – 1300 мг/м<sup>3</sup>, в той час як реальні показники ТЕС України 400 – 3200 мг/м<sup>3</sup>, 600 – 9000 мг/м<sup>3</sup>, 400 – 1600 мг/м<sup>3</sup> відповідно [6].

ПГУ з ВГВ відрізняються високими екологічними показниками. В роботі [7] описано принцип дії ПГУ з ВГВ де відхідні гази після котла-утилізатора містили NO<sub>x</sub> 60–80 мг/м<sup>3</sup>, SO<sub>x</sub> 10–20 мг/м<sup>3</sup>, що суттєво менше, ніж при факельному спалюванні твердого палива. На демонстраційній установці Nacoso (IGCC цикл) потужністю 250 МВт від Mitsubishi Power, отримано такі екологічні показники: SO<sub>x</sub> = 8 ppm, NO<sub>x</sub> = 5 ppm при вмісті кисню в димових газах 16 %. Газифікація ускладнює і здорожчує процес виробництва енергії, але ця технологія є екологічно чистою, тому перспективною.

### Висновки

Проведено огляд літературної інформації по сучасних методах ефективного використання вугілля в якості джерела енергії. Проведено оцінку енергетичної ефективності парогазової установки з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля. Визначено, що коефіцієнт корисної дії розглянутої в роботі ПГУ з ВГВ становить 42 %. Газифікація ускладнює і здорожчує процес виробництва енергії, але ця технологія є екологічно чистою.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Дудник О. М. Застосування технологій парогазових установок з внутрішньоцикловою газифікацією твердого та рідинного видів палива у світовій енергетиці та перспективи їх впровадження в Україні / О. М. Дудник, Н. І. Дунаєвська // The problems of general energy. - 2019. - №3. - С. 37-44.
- [2] Енергетична стратегія України на період до 2030 року/ Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 1071. Режим доступу: <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf>
- [3] Патон Б. Перспективи розвитку вітчизняної парогазової технології / Б. Патон, А. Долінський, А. Халатов// Вісник НАН України. - 2009. - №4. - С. 3-10.
- [4] Кулин В. А. О замене угля на газ, полученный из угля, на тепловых электростанциях/ В. А. Кулин// Уголь Украины. - 2016. - №1. - С. 38-42.
- [5] Чепурний М. М. Технічна термодинаміка в прикладах і задачах (навчальний посібник). – Вінниця: ВНТУ, 2002. – 132 с.
- [6] Теплова енергетика - нові виклики часу / уклад. А. Акімов, за ред. П. Омеляновського, Й. Мисака. – Л. : НВФ "Українські технології", 2009. 660 с.
- [7] Ткаченко С.Й. Підвищення ефективності спалювання палива та охорона навколишнього середовища/ С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 58 с.
- [8] Mitsubishi Power. URL <https://power.mhi.com/products/igcc/>

**Боднар Лілія Анатоліївна** – к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ <https://orcid.org/0000-0001-9497-214X>, e-mail: [Bobnar06@ukr.net](mailto:Bobnar06@ukr.net)