

УДК 621.433.2

ПОКРАЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК НА БАЗІ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ З ТЕРМОХІМІЧНИМ МЕТОДОМ ОЧИСТКИ ЇХ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

Білека Б.Д.¹, докт. техн.наук, Скляренко Є.В.², канд. техн. наук

¹Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, borbi1937@gmail.com

²Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, SklyarenkoEV@Nas.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3952-6520>

<https://doi.org/10.31472/tpe.2.2024.11>

В статті викладено результати досліджень зниження викидів оксидів азоту і окису вуглецю, а також покращення теплових характеристик когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна (ГПД), з термохімічною технологією нейтралізації шкідливих компонентів його відпрацьованих газів, та котла – утилізатора. Експериментальні дослідження проведені на спеціальній лабораторній установці. Процес нейтралізації відбувається в шарі розжареного вуглецевого матеріалу і газовому середовищі, до складу якого входять: метан, водень і окис вуглецю, що дозволяє зменшити концентрацію, зокрема, оксидів азоту і окису вуглецю в 2.5...3 рази. Остаточна нейтралізація відпрацьованих газів двигуна і утилізація їх теплового потенціалу здійснюється у котлі – утилізаторі, що зменшує забруднення довкілля тепловими і шкідливими викидами.

The article presents the results of research into reducing emissions of nitrogen oxides and carbon monoxide, as well as improving the thermal characteristics of a cogeneration plant based on a gas piston engine (GPD), with thermochemical technology of neutralization of harmful components of its waste gases, and a boiler - a heat exchanger. Experimental studies were carried out at a special laboratory facility. The neutralization process takes place in a layer of red-hot carbon material and a gaseous environment, which includes: methane, hydrogen and carbon monoxide, which allows to reduce the nitrogen oxides and carbon monoxide concentration by 2.5...3 times. The final neutralization of the exhaust gases of the engine and utilization of their thermal potential is carried out in the boiler - recycler, which reduces environmental pollution by thermal and harmful emissions.

Бібл. 8, табл. 2, рис. 6.

Ключові слова: когенерація, термохімічна конверсія, нейтралізація шкідливих викидів.

Вступ. Підвищення ефективності паливовикористання є однією з найбільш актуальних задач, направлених на подолання проблем в енергетичному комплексі країни, які пов'язані з дефіцитом і скороченням природних запасів традиційних паливних ресурсів (природний газ, нафта, кам'яне вугілля) та постійним зростанням попиту і цін на них. В Україні посилення цих проблем є, також, наслідком низької ефективності використання енергетичного потенціалу палив. За оцінкою спеціалістів, у всьому ланцюгу енергокомплексу, коефіцієнт корисного використання паливно-енергетичних ресурсів складає близько 44%, що значною мірою, є наслідком суттєвого морального зносу енергетичного обладнання (ККД здебільш не перевищує 35 - 40 %), та його фізичного зносу (понад 90% відпрацювало гарантований ресурс роботи).

Постановка задачі. Вирішення проблеми підвищення ефективності використання палива є актуальним

не тільки в розрізі зниження питомих витрат палива на генерацію електроенергії, тепла, пари та інше, але й з екологічної точки зору – необхідність зниження викидів шкідливих компонентів в атмосферу, з продуктами їх згоряння.

Дієвим шляхом вирішення який широко впроваджується в багатьох країнах світу, є когенераційні технології виробництва кількох енергетичних продуктів в одному технологічному процесі, зокрема, теплової і електричної енергії. Наприклад, за даними наведеними в [1], на початок третього тисячоліття, частка когенераційних електрогенеруючих потужностей в енергетиці Данії становила близько 60%, Нідерландів – 43%, Фінляндії – 33%, Австрії – 25%. Ефективність таких технологій обумовлена тим, що вони спроможні забезпечувати загальний коефіцієнт використання енергетичного потенціалу палива на рівні 80...85% і вище, порівняно з ефективністю 35...44%, на електростанціях.

Тоді ж, не дивлячись на високу ефективність, когенераційні установки в Україні, виробляли не більше 7% електроенергії і то, здебільшого, на крупних ТЕЦ.

Сьогодні цей напрямок набуває особливої актуальності в силу надзвичайного стану централізованої енергетичної системи країни і частих порушень її роботи, що спонукає до більш широкого застосування електричних генераторів на базі теплових двигунів, зокрема для аварійного енергозабезпечення. Направду, в переважній більшості вони не обладнані системами утилізації теплової енергії двигуна, що зменшує їх ефективність, а вирішення екологічної проблеми (зокрема, знешкодження оксидів азоту NO_x і окису вуглецю CO , як найбільш токсичних) стає надзвичайно актуальною задачею.

Метою даної роботи є підвищення економічних і екологічних характеристик когенераційних установок на базі теплових двигунів, з використанням термохімічного методу нейтралізації шкідливих компонентів їх відпрацьованих газів.

Основний матеріал. Зараз серед відомих когенераційних систем на базі теплових двигунів (двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), газопоршневих двигунів (ГПД), газотурбінних установок (ГТУ)) широкого поширення набули установки, схеми яких наведені на рис.1.

Обладнання таких установок індивідуальними системами виробництва електроенергії і утилізації теплової енергії (рис.1а), надає їм певну мобільність та автономність, в якості резервного (аварійного) джерела електричної і теплової енергії.

Когенераційна ж схема, що наведена на рис 1б, є надбудовою до котла - утилізатора, чи іншої теплоенергетичної установки. Процес теплової

генерації, в такій схемі, відбувається шляхом спалювання вихідного палива котла 5, в суміші з відпрацьованими газами теплового двигуна 1, і утилізації всієї теплоти теплосприймаючими поверхнями котла.

Даний спосіб забезпечує найвищу ефективність використання вихідного палива і його економію, а також розширює технологічні можливості установок, за рахунок комплексного виробництва електроенергії, гарячої води і технологічної пари. Наявність пальника 6, дозволяє забезпечувати стабільність роботи і маневреність установки у визначених технологічних режимах, навіть при відключенні ГПД.

Когенераційні установки, в якості аварійного джерела електричної та теплової енергії, як правило, розміщують в населених пунктах, на промислових, комунальних та інших об'єктах, де встановлено підвищені екологічні вимоги.

Актуальність даної роботи, в першу чергу, обумовлена низькою ефективністю використання енергетичного потенціалу, палив, що використовуються в системах живлення різних типів теплових двигунів (Отто, Дизель, газопоршневих, газотурбінних). Так, із теплового балансу, наприклад, дизельного двигуна видно, що ефективна теплота становить всього 42...45%, а решта теплоти складають втрати: з охолоджувальною рідиною - 20...35%, з маслом - 2...4%, з відпрацьованими газами - 25...40%; втратами через обгороджуючі конструкції - 2...7% і до 5% складає теплота, яка не виділилась внаслідок неповного згоряння палива [2].

Утилізація ж цих теплових втрат, дозволяє не тільки підвищити економічність двигунів, але й зменшити забруднення довкілля тепловими викидами.

Разом з тим, теплові двигуни входять до переліку основних забруднювачів навколишнього середовища.

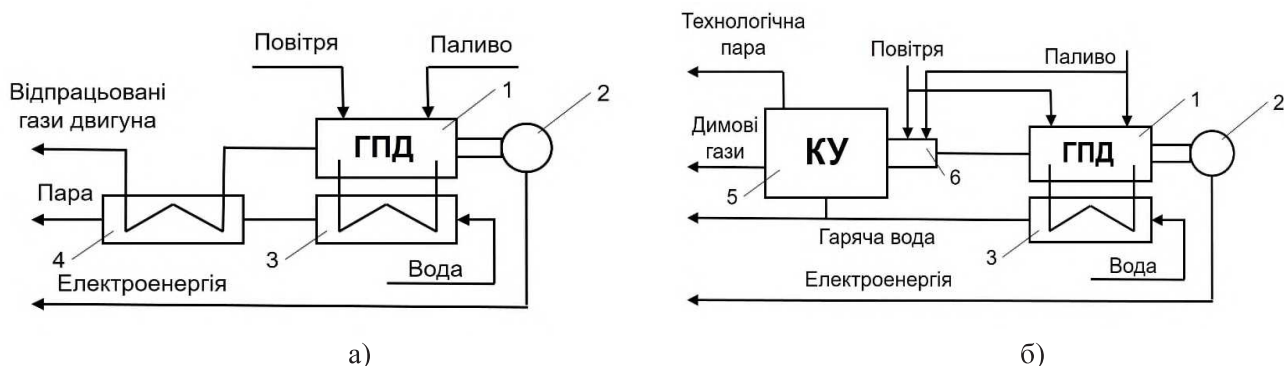


Рис. 1. Схеми когенераційних установок на базі двигунів внутрішнього згоряння:
 1 – двигун внутрішнього згоряння; 2 – електрогенератор; 3 – теплообмінник по охолоджувальній рідині; 4 – теплообмінник по відпрацьованим газам двигуна; 5 – котел-утилізатор (КУ); 6 – пальник

Наприклад, лише доля ДВЗ автомобільного транспорту в забрудненні навколишнього середовища крупних міст (де основними є бензинові і дизельні двигуни), складає більше 60% [3].

Внаслідок специфічних особливостей протікання процесу горіння палива в циліндрі двигуна (циклічність, недостача кисню і нерівномірність складу горючої суміші по об'єму камери згорання, зони з низькою температурою внаслідок контакту суміші з охолодженими стінками циліндра, пропуски запалювання, широкі межі навантажень на двигун та ін.), в складі відпрацьованих газів з'являються значні концентрації продуктів неповного згорання палива і масла (окис вуглецю CO, вуглеводні CH, твердий вуглець C, оксиди азоту NO_x, окисли сірки, альдегіди, бензопірен і ін.). Для прикладу, в табл.1 наведено порівняльний склад відпрацьованих газів, карбюраторних і дизельних ДВЗ [4]

На відміну від цих ДВЗ, у відпрацьованих газах газопоршневих двигунів (ГПД) та газотурбінних установок (ГТУ), базовим паливом яких є газове паливо, до шкідливих речовин, що викликають найбільш негативний вплив на довкілля і здоров'я людей належать оксиди азоту (NO_x) та оксид вуглецю (CO). Характер їх утворення є різним, і в значній мірі, залежить від концентрації окисника (кисню) в зоні реакції та температури процесу. Так, оксид вуглецю утворюється при згорянні паливо повітряної суміші з певною недостачею кисню і низькій температурі, при дисоціації двоокису вуглецю (CO₂) за високої температури, а також при пропусках запалювання суміші в окремих циклах.

В утворенні оксидів азоту (NO_x) (в основному це оксид азоту NO) приймає участь азот атмосферного

повітря і азот, що міститься у паливі, за умов наявності надлишкового кисню та високої температури в зоні горіння.

Так, в [5] приведені принципові схеми видозміни оксидів азоту, в залежності від температури :

- при нормальній температурі і наявності кисню:

$$\text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_5 \quad (1)$$

- при підвищенні температури цей процес проходить в зворотному напрямку:

$$\text{N}_2\text{O}_5(-1.2^\circ\text{C}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4(21.5^\circ\text{C}) \rightarrow \text{NO}_2(140^\circ\text{C}) \rightarrow \text{NO}(600^\circ\text{C}) \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2(1000^\circ\text{C}) \quad (2)$$

Крім того, на утворення оксидів азоту, значний вплив має час їх знаходження в реакційній зоні. В умовах же робочого процесу ДВЗ, на час реакції вплинути неможливо, оскільки він визначається, в основному, частотою обертання колінчатого валу двигуна.

На практиці, для знешкодження шкідливих компонентів відпрацьованих газів теплових двигунів, розглядаються наступні шляхи:

- застосування нових палив та присадок, при згорянні яких виділяється менше токсичних речовин;
- вплив на робочий процес (внутрішня нейтралізація);
- обладнання двигунів різними системами нейтралізації газів.

Під час вибору способу нейтралізації і оцінюванню його ефективності виходять з того, щоб забезпечити викиди токсичних речовин в допустимих нормах, за незначного впливу на потужність і економічність двигуна, а також при мінімальному підвищенні вартості силової установки.

Таблиця 1. Порівняльний склад відпрацьованих газів основних типів ДВЗ

Компоненти	Бензинові двигуни	Дизельні двигуни
Азот, %	74...77	76...78
Кисень, %	0.3...8	2...18
Пари води, %	3.0...5.5	0.5...4
Вуглекислий газ, %	5...12	1...10
Монооксид вуглецю, %	1...10	0.01...0.5
Оксиди азоту, %	0.1...0.5	0.001...4
Альдегіди (в перерахунку на формальдегіди), %	0...0.2	0...0.03
Вуглеводні, %	0.01...0.1	0.01...0.5
Сірчаний газ, %	0...0.002	0...0.03
Сажа, г/м ³	0...0.04	0.01...1.1
Бенз(а)пірен, г/м ³	До 0.00002	До 0.00001

Серед шляхів впливу на робочий процес (зменшення температури згоряння) для нейтралізації оксидів азоту та оксидів вуглецю, використовують рециркуляцію відпрацьованих газів (до 10 % об'єму свіжого заряду) в систему впуску двигуна, після їх охолодження. Хоча, необхідно зазначити, що це, як правило, призводить до зменшення потужності двигуна, збільшення витрат палива і концентрації CO, а також не завжди забезпечується зниження концентрації NO_x до допустимого рівня (500...550 мг/м³). Тому, для нейтралізації цих компонентів використовують інші методи: каталітичні, термічні, рідинні, фільтри, комбіновані та ін. Найбільшого поширення набули перші два методи.

В каталітичних нейтралізаторах, в ході хімічних реакції, вдається зменшити концентрацію газових компонентів токсичних речовин (CH і CO) до встановлених допустимих норм. Проте, при цьому, концентрація оксидів азоту практично не змінюється, або ж змінюється в незначних межах. Крім того, використання каталітичних методів нейтралізації ускладнюється значною вартістю застосованих каталізаторів.

Термічні ж методи нейтралізації передбачають «допалювання» відпрацьованих газів двигуна, наприклад, у топці котла, що дозволяє знешкодити лише горючі компоненти CO, CH і C. Оксиди ж азоту, що транзитом покидають топку котла з його димовими газами, потребують пошуку інших методів їх нейтралізації.

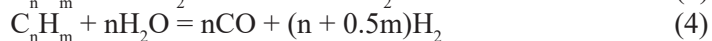
Експериментальні дослідження. Внаслідок багаторічних фундаментальних досліджень, направлених на підвищення ефективності використання вуглеводневих палив, що проводились в Інституті

технічної теплофізики НАН України, був розроблений і запропонований альтернативний підхід в розвитку когенераційних систем і підвищення їх економічних та екологічних характеристик.

На рис. 2 наведена принципова схема такої стаціонарної когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна (ГПД) з термохімічним пристроєм нейтралізації шкідливих компонентів відпрацьованих газів, та котла – утилізатора.

В наведеній схемі, нейтралізація шкідливих компонентів відпрацьованих газів двигуна, здійснюється у термохімічному пристрої 4, в шарі розжареного вуглецевого матеріалу і в газовому середовищі, до складу якого входять: метан, водень і оксид вуглецю. Наявність цих компонентів, в реакційній зоні, дозволяє зв'язати частину вільного кисню у відпрацьованих газах двигуна, що дозволяє запобігти утворенню оксидів азоту [5,6].

Зазначені компоненти відновлювального газу утворюються при конверсії вихідного палива (рівняння 3, 4), що подається в термохімічний пристрій 4, для підтримання оптимального температурного режиму процесу:



Крім того, вони є леткими генераторного газу при газифікації твердого палива (рівняння 5, 6), що завантажується в термохімічний пристрій 4. Там формується розжарений шар вуглецевого матеріалу (коковского залишку), де і проходять реакції окиснення вуглецю, а також реакції окиснення та відновлення інших компонентів, з поглинанням чи виділенням

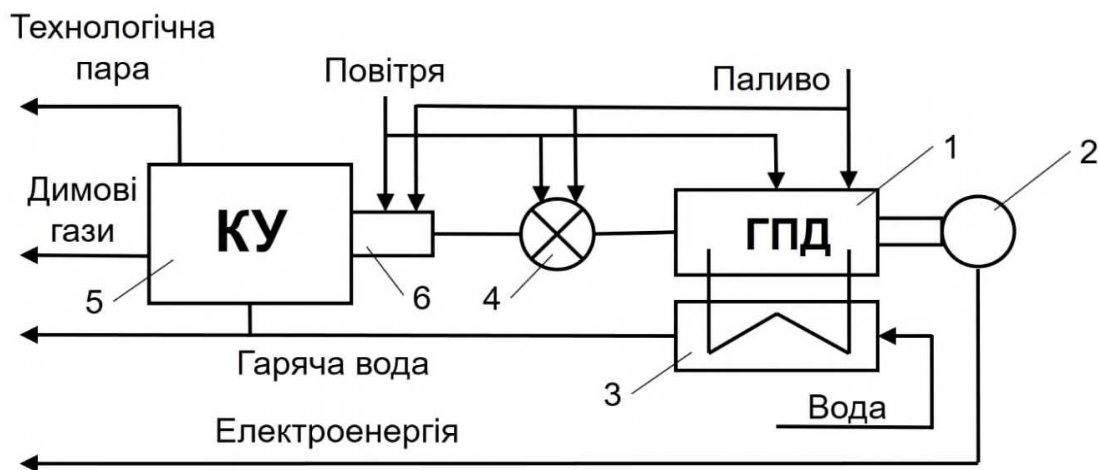


Рис. 2. Принципова схема когенераційної установки з термохімічним пристроєм нейтралізації шкідливих компонентів відпрацьованих газів:

1 – газопоршковий двигун (ГПД); 2 – електрогенератор; 3 – теплообмінник по охолоджувальній рідині; 4 – термохімічний пристрій; 5 – котел-утилізатор (КУ); 6 – пальник

теплової енергії, в МДж/кмоль [7]:



Наявність CO, H₂ і CH₄ в реакційній зоні, дозволяє не тільки зв'язати частину вільного кисню у відпрацьованих газах двигуна і запобігти утворенню оксидів азоту, але й провести нейтралізацію оксиду азоту і оксиду вуглецю, шляхом їх прямої взаємодії (наприклад, реакція 7).



Подальша нейтралізація відпрацьованих газів двигуна здійснюється в топці котла-утилізатора (КУ), де в суміші з повітрям, вони використовуються як окиснювач вихідного палива котла і зв'язування вільного кисню в цій суміші.

Ефективність запропонованого процесу, досліджувалася як аналітично, з використанням спеціалізованих комп'ютерних програм енергетичного спрямування [8], так і експериментально, на спеціальній лабораторній установці.

Так, в таблиці 2 наведено розрахункові дані ефективності знешкодження оксидів азоту в запропонованій когенераційній установці, де як окиснювач вихідного палива котла, використовують суміш відпрацьованих газів двигуна з повітрям.

Згідно даних, приведених в таблиці 2, лише зменшення вмісту кисню в паливно-повітряній суміші на 4.6% дозволяє зменшити емісію діоксиду азоту на 30% і скоротити витрати палива котла, на 2.2%.

Реалізація термохімічного процесу нейтралізації відпрацьованих газів двигуна в запропонованій установці здійснюється за рахунок теплоти відпрацьованих газів ГПД та теплоти екзотермічних реакцій, що проходять в шарі розжареного вуглецевого матеріалу. При недостатці цієї енергії, в пристрій додатково подається природний газ, який піддається частковій конверсії (реакції 3, 4).

На рис.3 наведено графіки кількості теплоти, яка необхідна для догрівання відпрацьованих газів, до визначеної температури нейтралізації.

Таблиця 2. Емісія діоксиду азоту і економія палива котла когенераційної установки, при використанні в ролі окиснювача палива суміші відпрацьованих газів ГПД і повітря

Температура суміші, К	Вміст кисню в суміші, %	Економія палива котла, %	Емісія діоксиду азоту, мг/м ³
318.5	20.39	0.57	1084
322.3	19.81	0.73	962
329	18.73	1.06	748
341.3	16.89	1.72	472
346.4	16.09	2.05	382
348.4	15.77	2.19	349

Експериментальна установка і результати досліджень. Ефективність даного способу знешкодження CO і NO_x досліджувалася на експериментальній лабораторній установці, схему якої представлено на рис.4.

Установка дозволяла, в широкому діапазоні температур (500...1000°C) моделювати, як продукти згоряння природного газу (який є базовим паливом для ГПД і ГТУ), з визначеним коефіцієнтом надлишку повітря (кисню), так і концентрацію CO та NO_x в їх складі.

Першочерговою задачею дослідження, було визначення впливу температури на нейтралізацію оксидів азоту в продуктах згоряння природного газу. Для прикладу, на рис.5 наведено результати досліджень впливу температури (в діапазоні 750...950°C), на процес термохімічного знешкодження оксидів азоту (NO_x) і оксиду вуглецю (CO).

В результаті проведених досліджень встановлено, що в діапазоні температур 750... 950°C, концентрація оксидів азоту зменшується в 2.5...3 рази, а концентрація оксиду вуглецю майже в 5 разів. При цьому, ефективність нейтралізації NO_x, в діапазоні розглянутих температур, змінюється не суттєво (в межах 10 %), що дозволяє проводити процес нейтралізації при температурі 750...780°C і менших енергетичних витратах.

На рис.6 наведено графіки знешкодження оксидів азоту NO_x і оксиду вуглецю CO при фіксованій температурі (820°C) та різній початковій концентрації NO, в продуктах згоряння природного газу. Можна припустити, що суттєве зниження концентрації CO є наслідком його вигорання та прямої участі в нейтралізації оксидів азоту, що є черговим доказом ефективності процесу.

Результати проведених досліджень, дають можливість зробити висновок про ефективність запропонованого способу нейтралізації шкідливих компонентів відпрацьованих газів ДВЗ, починаючи вже з нижнього значення розглянутих температур (750...780 °C), що зменшує теплові витрати на проведення самого процесу.

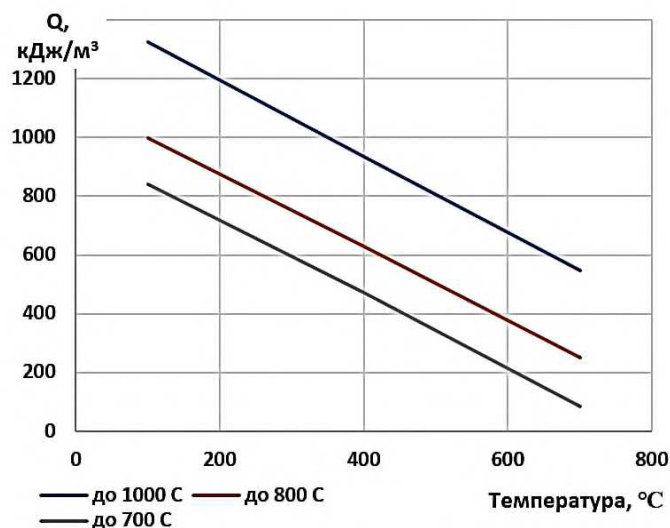


Рис. 3. Кількість теплоти, яка необхідна для догрівання відпрацьованих газів двигуна ($T_{вг}$) до визначеної температури їх нейтралізації

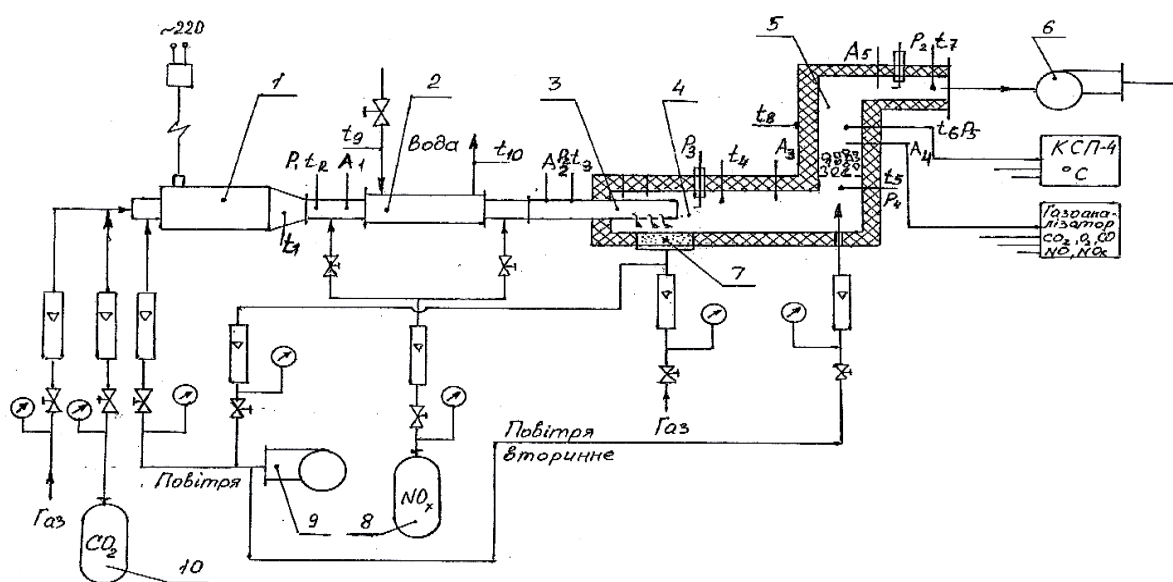


Рис. 4. Схема лабораторної експериментальної установки для дослідження термохімічного методу знешкодження CO і NO_x у продуктах згоряння природного газу:

- 1 – паливник допоміжний; 2 – холодильник; 3 – колектор продуктів згоряння; 4 – камера змішування;
 5 – камера допалювання; 6 – димосос; 7 – паливник; 8 – балон NO_x ; 9 – вентилятор;
 10 – балон CO ; t – точки вимірювання температури; p – точки вимірювання тиску;
 A – точки відбору проб газу

Подальші експериментальні дослідження, в напрямі визначення оптимальних концентрацій CO , H_2 і CH_4 , і їх індивідуального впливу на процес нейтралізації шкідливих компонентів, дозволять оптимізувати процес та отримати вихідні дані для конструювання когенераційної установки з високими економічними і екологічними характеристиками.

Використання у термохімічному пристрої твердого палива і його газифікації, дозволяє не тільки знешкодити шкідливі компоненти відпрацьованих газів двигуна, але й забезпечити часткове заміщення природного газу в ГПД, ГТУ та котлі-утилізаторі. Це дозволить розширити номенклатуру використовуваних палив і за-

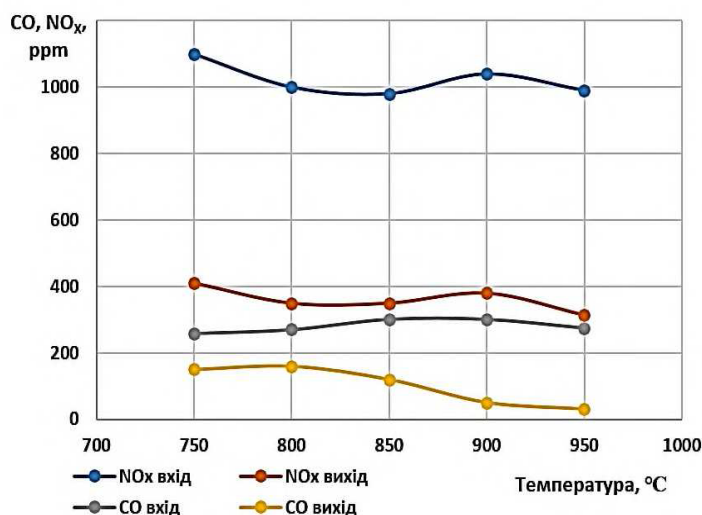


Рис. 5. Вплив температури на процес термохімічного знешкодження оксидів азоту (NO_x) і оксиду вуглецю (CO)

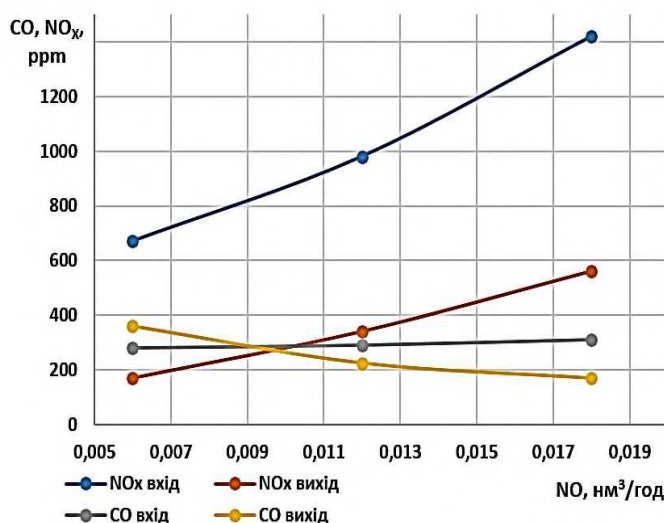


Рис. 6. Термохімічне (820°C) знешкодження оксидів азоту NO_x і оксиду вуглецю CO при різних концентраціях NO у вихідних продуктах згоряння природного газу

безпечити економію традиційних викопних палив, при відповідному зменшенні теплових і шкідливих викидів котла у довкілля.

Висновки

1. Використання термохімічних пристроїв в когенераційних установках на базі двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), газопоршневих (ГПД) і газотурбінних установок (ГТУ) дозволяє суттєво покращити їх економічні і екологічні характеристики, зокрема, зменшити концентрації оксидів азоту і оксиду вуглецю, у їх відпрацьованих газах, в 2.5...3 рази.

2. Ефективність термохімічного пристрою, в діапазоні розглянутих температур ($750\ldots 950^{\circ}\text{C}$), по нейтралізації NO_x , змінюється не суттєво (в межах 10 %), що дозволяє зробити висновок про стабільну ефективність процесу, та можливість його ведення при температурі $750\ldots 780^{\circ}\text{C}$.

3. Розміщення термохімічного пристрою перед котлом–утилізатором, з однієї сторони, змінює теплові характеристики когенераційної установки в сторону підвищення її теплових навантажень, а з іншої, підвищує маневрені можливості установки, забезпечуючи можливість незалежної зміни електричного і теплового навантаження.

4. Використання у термохімічному пристрої твердого палива і його газифікації, дозволяє не тільки знешкодити шкідливі компоненти відпрацьованих газів двигуна, але й забезпечити часткове заміщення природного газу в двигуні та котлі–утилізаторі, при відповідному зменшенні теплових і шкідливих викидів у довкілля.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Долінський А.* Когенерація — нові потужності для енергетики / А. Долінський, В. Клименко // Вісник Національної академії наук України. - 2002. - № 4.- С. 26-32. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnapu_2002_4_4

2. *Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И.* и др. Двигатели внутреннего сгорания // Теория поршневых и комбинированных двигателей. — М.: Машиностроение, 1988. — 372 с.

3. *Терентьев Г.А.* и др. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов / Г.А.Терентьев, В.М.Тюков, Ф.В.Смаль —М.: Химия, 1989. — 272 с.

4. *Говорущенко Н.Я.* Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. — М.: Транспорт, 1990. — 135 с.

5. Кузнецов И.Е. Защита воздушного бассейна от загрязнения вредными веществами химических предприятий / И.Е.Кузнецов, Т.М.Троицкая. — М.: Химия, 1979. — 344 с.

6. *Билека Б.Д., Кабков В.Я., Скляренко Е.В., Погожев В.Н.* Пути улучшения тепловых и экологических характеристик когенерационных установок с приводом от газотурбинных и газопоршневых двигателей// Б.Д. Билека, В.Я.Кабков, Е.В.Скляренко, В.Н.Погожев/ Авиационно — космическая техника и технология. — 2011. - №10 (87). — С.34 -37.

7. *Перелетов И.И., Бровкин Л.А., Розенгарт Ю.И.* и др.; Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки: Учеб. Для вузов /И.И. Перелетов, Л.А.Бровкин, Ю.И. Розенгарт и др.; Под редакцией А.Д.Клочникова. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 336 с.

8. *Котлер В.Р.* и др. Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций/ В.Р.Котлер и др. — М.: Химия, 1979. — 344 с.

THE IMPROVEMENT OF THE ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF COGENERATION PLANTS BASED ON HEAT ENGINES WITH THE THERMOCHEMICAL METHOD OF CLEANING THEIR EXHAUST GASES

Bileka B.D.¹, Sklyarenko E.V.²

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Marii Kapnist str, 2a, Kyiv, 03057, Ukraine

¹Dr. Sci. (Engin.), borbi1937@gmail.com.

²PhD (Engin.), SklyarenkoEV@Nas.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3952-6520>

<https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2024.11>

The article presents the results of research aimed at improving the economic and environmental characteristics of cogeneration plants based on heat engines (ICE, GPE, GTU), with a thermochemical device for the neutralization of harmful components of its waste gases, and a boiler-utilizer (BU). The neutralization process takes place in a layer of red-hot carbon material and a gaseous medium, which includes: methane, hydrogen and carbon monoxide.

The effectiveness of the proposed process was investigated both analytically, using specialized computer programs for energy management, and experimentally, by a special laboratory device, which made it possible to simulate in a wide range of temperatures (500...1000°C) how the products of natural gas combustion (the base fuel for the GPA and GTU), with a defined coefficient of excess air (oxygen), as well as the concentration of CO and NO_x in their composition.

The primary task of the experimental study was to determine the effect of temperature on the neutralization of nitrogen oxides and carbon monoxide in natural gas combustion products. The results of the studies (in the considered temperature range of 750...950°C) showed the possibility of reducing the concentration of nitrogen oxides by 2.5...3 times, and the concentration of carbon monoxide by almost 5 times. At the same time, it was established that the efficiency of NO_x neutralization at the considered temperature range does not change significantly (within 10%), which makes it possible to carry out the neutralization process at a temperature of 750...780°C and reduce the energy cost.

The final neutralization of the exhaust gases of the engine and the utilization of their thermal potential is carried out in the boiler-utilizer. The placement of the thermochemical device in front of the boiler-utilizer, on the one hand, changes the thermal characteristics of the cogeneration plant to direction of increasing its heat loads, and on the other hand, increases the maneuverability of the plant, providing possibility of independent change of electrical and thermal load. In addition, the use of solid fuel with its gasification in the device allows not only to neutralize the harmful components of the engine's exhaust gases, but also to provide a partial replacement of natural gas in the engine and the boiler - utilizer with a corresponding reduction of thermal and harmful emissions in to the environment.

References 8, figures 6, table 2.

Key words: cogeneration, thermochemical conversion, neutralization of harmful emissions

1. Dolinskyi A., Klymenko V. Koheneratsiia Novi potuzhnosti dlia enerhetyky. [Cogeneration new capacities for energy]. Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. 2002. № 4. P. 26-32. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2002_4_4 (in Uk.r)
2. Vyubov D.N., Ivashchenko N.A., Ivin V.I. et al. Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Internal combustion engines]. Teoriya porshnevnykh i kombinirovannykh dvigateley. M.: Mashinostroenie, 1988. 372 p (in Rus.).
3. Terentev G.A. Tyukov V.M., Smal F.V. Motornyie topliva iz alternativnykh syrevykh resursov [Motor fuels from alternative raw materials]. M.: Himiya, 1989. 272 p. (in Rus.).
4. Govoruschenko N.Ya. Ekonomiya topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobilnom transporte [Saving fuel and reducing toxicity in road transport]. M.: Transport, 1990. 135 p. (in Rus.).
5. Kuznetsov I.E., Troitskaya T.M. Zashchita vozduhnogo basseyna ot zagryazneniya vrednyimi veshchestvami himicheskikh predpriyatiy [Protection of the air basin from pollution by harmful substances from chemical plants] M.: Himiya, 1979. 344 p. (in Rus.).
6. Bileka B.D., Kabkov V.Ya., Sklyarenko E.V., Pogozhev V.N. Puti uluchsheniya teplovykh i ekologicheskikh harakteristik kogeneratsionnykh ustanovok s privodom ot gazoturbinnykh i gazoporshnevnykh dvigateley [The ways to improve the thermal and environmental characteristics of cogeneration plants driven by gas turbine and gas piston engines] Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. 2011. №10 (87). P.34 -37. (in Rus.).

7. *Pereletov I.I., Brovkin L.A., Rozengart Yu.I. et al. Vysokotemperaturnye teplotnologicheskie protsessy i ustanovki: ucheb. dlya vuzov [High-temperature thermal processes and devices: Textbook for universities] / Edited by A.D. Klochnikova. M.: Energoatomizdat, 1989. 336 p. (in Rus.).*

8. *Kotler V.R. et al. Metodicheskie ukazaniya po raschetu vyibrosov oksidov azota s dyimovymi gazami kotlov teplovyih elektrostansiy [Guidelines for calculating emissions of nitrogen oxides from flue gases of boilers of thermal power plants]. M.: Himiya, 1979. 344 p. (in Rus.)*

Отримано 06.02.2024

Received 06.02.2024

Прийнято до друку 11.04.2024

Accepted for publication 11.04.2024