

УДК 544.478.12

РОЗРОБКА КАТАЛІТИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ТЕПЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ АЕРОЗОЛЬНОГО НАНОКАТАЛІЗУ

Король Д.Р., Філіпс Т.Ч, Кудрявцев С.О.

DEVELOPMENT OF CATALYTIC HEAT GENERATOR VIA AEROSOL NANOCATALYSIS TECHNOLOGY

Korol D.R., Philips T. C., Kudryavtsev S.O.

У статті розглянуті існуючі каталітичні генератори тепла (КГТ), їх переваги та недоліки. Було створено лабораторну установку – КГТ – з використанням технології аерозольного нанокаталізу. Розглянуто вплив технології аерозольного каталізу на вміст діоксиду вуглецю в газах окиснення, що виходять з КГТ. Показані результати, що відображають ефективність установки КГТ і впливу технології аерозольного нанокаталізу на процес згоряння палива. Визначені основні відмінності термічного окиснення та каталітичного процесу. Зроблені пропозиції щодо подальших досліджень КГТ і їх вдосконалення з використанням аерозольних наночастинок каталізатору.

Ключові слова: аерозольний нанокаталіз, КГТ, ізопропіловий спирт, каталітична система, віброзріджений шар

Введення. Спалювання твердих, рідких і газоподібних палив в каталітичних генераторах тепла (КГТ) є ефективним і екологічно чистим способом отримання теплової енергії. Актуальність цього обумовлена сучасними тенденціями розвитку паливно-енергетичного комплексу, які складаються в переході від централізованого тепло- і електропостачання до комбінованого, яке включає в себе автономні енергетичні установки різної теплової потужності. Каталітичне безполуменеве спалювання є ефективним енерго- та ресурсозберігаючим способом використання твердого, рідкого і газоподібного палива. У цьому способі окиснення палива відбувається на поверхні каталізатору при відносно низькій температурі. При цьому забезпечується максимальна конверсія палива в продукти повного окиснення і знижуються викиди шкідливих речовин.

Мета роботи - дослідження впливу технології аерозольного нанокаталізу на процеси окиснення палива в установці КГТ.

Вибір напрямку досліджень. В статті були розглянуті і проаналізовані сучасні наукові розробки КГТ [1-4], які мають ряд недоліків, а саме:

- складність в конструкції КГТ;
- висока вартість каталізатора;

- за наявності в деяких варіантах КГТ водяної сорочки можливі проблеми з регулюванням потужності цього КГТ;

- вивантаження частини суміші каталізатора і інертного матеріалу або повна заміна гранул каталізатора і інертного матеріалу;

- деякі КГТ розраховані на окиснення тільки газоподібного палива;

- висока вартість конструкції апарату;

- зношення каталізатора, а в деяких випадках наявність специфічних добавок до каталізатора, таких як платина або оксид церію. Технологія аерозольного нанокаталізу дозволяє вирішити частину з цих недоліків, домогтися позитивного економічного ефекту, при цьому зберігаючи прийнятну екологічну складову.

Аналітичний огляд. Протягом 24 років постійно проводять системні дослідження технології. Перші роботи були виконані колективом Сєвєродонецького технологічного інституту (СТІ), а потім системні дослідження проводили в інституті ДНДПІ «Хімтехнологія» (м. Сєвєродонецьк). В даний час роботи продовжують проводити в Східноукраїнському національному університеті ім. В. Даля на кафедрі хімічної інженерії та екології

Спочатку технологія аерозольного нанокаталіза була реалізована в апараті з рухом каталітичної системи в режимі псевдозрідженого шару (ПЗШ). Цей процес називається аерозольним нанокаталізом в псевдозрідженому шарі (AnCFB - Aerosol nanoCatalysis with Fluidized Bed). В даному процесі механохімічна активація каталізатора здійснювалася за рахунок псевдозрідження диспергуючого матеріалу. У цьому варіанті технологія вимагала значних витрат реагентів і дотримання вузьких газодинамічних режимів.

На наступному етапі розвитку технології AnC було запропоновано проводити дослідження на установках з віброударним або віброзрідженим ша-

ром (ВЗШ), де механохімічна активація каталізатору здійснюється за рахунок вертикальних зворотно-поступальних рухів реактора і каталітичної системи, що знаходиться всередині нього [5]. Процес був названий аерозольним нанокаталізом в віброзрідженому шарі (AnCVB - Aerosol nanoCatalysis with Vibrating Bed). Потужність такого реактора виявилась вищою, ніж у реактора з ПЗШ., Технологія ВЗШ дала нові можливості управління кінетикою процесів [6].

В цілому, запропонована технологія AnC забезпечила:

- наявність в реакторі аерозолу каталізатора;
- каталітичну систему, що включає каталізатор і постійно диспергируючий його матеріал (переважно діаметром 1-2 мм і кулястої форми);
- постійну механохімічну активацію поверхні наночастинок з підвищенням і підтримкою високої активності каталізатора;
- збільшення швидкості хімічної реакції в до 10^6 разів в розрахунку на масу каталізатора та адекватне зниження концентрації каталізатора до $0,3\text{-}5 \text{ г/м}^3$ реакційного обсягу;
- зменшення обсягу реактора в 2-10 разів;
- рівна доступність для реагентів поверхні каталізатора;
- можливість каталітичної взаємодії газів з твердими і смолоподібними реагентами.

Результати експерименту та їх обговорення.

Експериментальна установка (рис. 1) складається з реактора 1, який містить в собі сітку для запобігання випаданню каталізатора. З реактора по лінії відводу 8 відводяться гази окислення. Температура реактора 1 контролюється за допомогою термопари, для якої в реакторі зроблена кишенька 3, і регулюється за допомогою електропідігрівача 2, який представляє з себе ніхромову спіраль з керамічними вставками, яка має кільцеву форму і рівномірно підігріває реактор. Магнітний вібропристрій 6 - електромагнітна котушка, яка забезпечує зворотно-поступальний рух реакторної частини. За допомогою блоку управління 4 є можливість варіювати такі параметрами як температура процесу і частота коливання реакторної частини. Через лінії 5 і 7 в реактор подається повітря і ізопропіловий спирт за допомогою компресора і дозатора відповідно

Порядок роботи установки наступний. Спочатку живлення. Потім калібрують ротаметр і дозатор для отримання коректних значень витрати повітря і спирту відповідно. Після калібрування включається компресор і за допомогою ротаметра регулюється кількість необхідного повітря. За компресором включається дозатор, який подає з певною витратою основне паливо - ізопропіловий спирт. Потрапляючи в реактор, між молекулами спирту і повітря відбувається хімічна взаємодія на поверхні каталізатору. Гази окислення відводяться по лінії з реактора.

Температура процесу 400°C . Частота коливання реакторної частини - 3 Гц. Каталітична система складається з скляних кульок (диспергуючого матеріалу) і вільного каталізатора - Fe_2O_3 . Приготування відбувається за стандартною методикою [7].

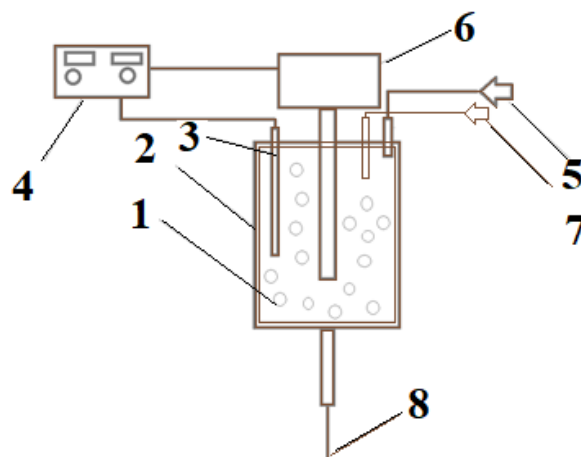


Рис. 1. Схема лабораторної установки.

1 – реактор з інертним матеріалом і каталізатором всередині, 2 – електричний обігрівач, 3 – кишенька для термопари, 4 – блок управління, 5 – лінія подачі повітря за допомогою компресора, 6 – магнітний вібропристрій, 7 – лінія подачі ізопропілового спирту за допомогою дозатора, 8 – лінія відведення газів окислення

Першочерговим завданням стояв доказ перебігу саме каталітичних процесів в реакторі подібного типу, а також стійкості показників у часі. Вимірюваним параметром - функцією відгуку для процесу окислення ізопропілового спирту є об'ємна частка вуглекислого газу в газовій пробі. Відбиралися проби при подачі сировини в: пустий реактор; реактор, заповнений тільки диспергуючим матеріалом; реактор з каталітичною системою;

Дані експериментів представлені на малюнках 2-4:

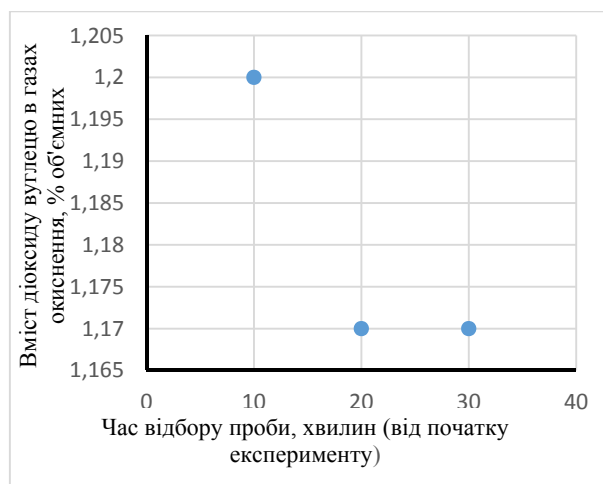


Рис. 2. Залежність об'ємної частки CO_2 від часу відбору проби в порожньому реакторі

Протягом цієї серії експериментів частота коливань реакторної частини склала 3 Гц. З те-ням часу (після 20-ї хвилини) результати стали стабільними. Вміст діоксиду вуглецю в газах окислення при цьому становив 1,17% об'ємних.

На малюнку 3 представлені дані відбору проб CO_2 з реактора, заповненого тільки диспергуючим матеріалом:

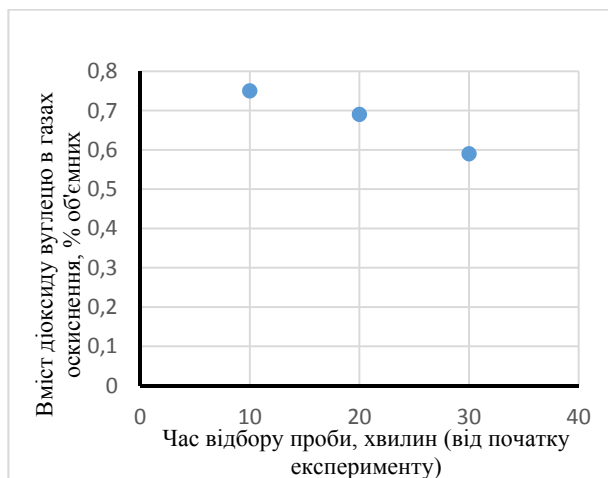


Рис. 3. Залежність об'ємної частки CO_2 від часу відбору проби в порожньому реакторі з диспергуючим матеріалом

В даному випадку вміст діоксиду вуглецю в газах окиснення зафіксований на рівні 0,6-0,7% об'ємних, що менше, ніж в пустотілому реакторі. Це можна пояснити інтенсивним перемішуванням сировини та продуктів реакції, в той час, як в пустому реакторі гази рухаються в режимі, близькому до ідеального витискання.

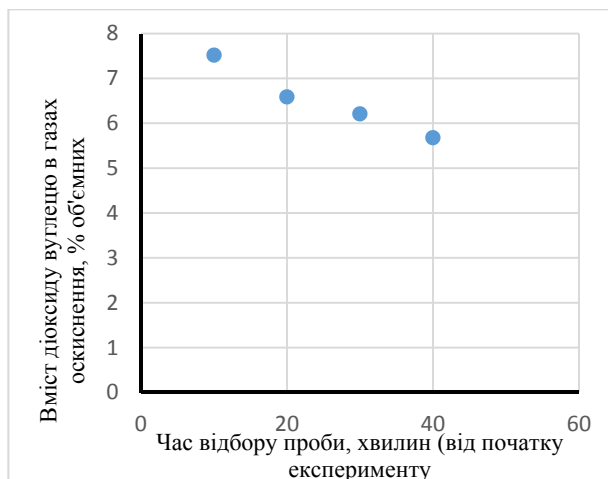


Рис. 4. Залежність об'ємної частки CO_2 від часу відбору проби в порожньому реакторі з диспергуючим матеріалом

На рисунку 4 наведено вміст діоксиду вуглецю в газах окиснення при проведенні процесу в реакторі, заповненому каталітичною системою. Після 20-ї хвилини від початку експерименту вміст становить біля 6%, що в 5,1 разів вище, чим в термічному процесі (рис. 2) і в 10 разів вище, чим в реакторі заповненому виключно диспергуючим матеріалом. Таким чином було доведений перебіг саме каталітичних реакцій в умовах технології аерозольного наноката-

лізу. На наступних етапах досліджень планується вивчення впливу температур, інтенсивності механохімічної активації та надлишку повітря на швидкість та селективність окиснення. Кінцевою метою є створення основ технології каталітичного генератора тепла з використанням аерозольного нанокаталізу.

Висновки

Обґрунтовано доцільність проведення досліджень в напрямку створення каталітичних генераторів тепла з використанням технології аерозольного нанокаталізу. Наведено переваги даного методу перед іншими способами отримання теплової енергії

Експериментально доведено, що вміст діоксиду вуглецю в газах окиснення (а також і швидкість хімічних реакцій) при проведенні процесу в реакторі, заповненому каталітичною системою в 5,1 разів вище, чим в термічному процесі, і в 10 разів вище, чим в реакторі заповненому виключно диспергуючим матеріалом, що свідчить про ефективність застосування аерозольного нанокаталізу.

Література

1. <https://patents.google.com/patent/RU2406954C1>
2. <https://patents.google.com/patent/RU2626043C1>
3. <https://patents.google.com/patent/RU2380612C1>
4. <https://patents.google.com/patent/EP0398658A2>
5. Глікiна І.М. Основи технології аерозольної нанокаталітичної переробки органічних сполук у віброзрідженому шарі. // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук., Львів. 2005. 20 с.
6. Гликин М.А. Аэрозольный нанокатализ. Изучение процесса крекинга n-пентана до олефинов / Гликин М.А., Кудрявцев С.А., Гликiна И.М., Мамедов Б.Б. // Химична промисловість України. – 2005. - №4. – С. 30-38.
7. Кудрявцев С.А. Основы технологии получения бензиновой фракции и этилена аэрозольным нанокатализом. Дисс... канд. техн. наук: 05.17.07. / Кудрявцев Сергей Александрович – Львов. – 2006. – 160 с.

References

1. <https://patents.google.com/patent/RU2406954C1>
2. <https://patents.google.com/patent/RU2626043C1>
3. <https://patents.google.com/patent/RU2380612C1>
4. <https://patents.google.com/patent/EP0398658A2>
5. Glikina I.M. Osnovy tekhnologii aerosolnoji nanokatalitychnoji pererobky organichnykh spoluk u vibrozrizenomu shari. // Avtoreferat disertacii na zdobuttja naukovoogo stupenya kandidata technichnykh nauk., Lviv. 2005. 20 p.
6. Glikin M.A. Aerosolnyj nanokataliz. Izuchenije processa krekinga n-pentana do olefinov / Glikin M.A., Kudryavtsev S.A., Glikina I.M., Mamedov B.B. // Khimichna promislivost Ukrainy. -2005. - №4. – P. 30-38.
7. Kudryavtsev S.A. Osnovy tekhnologii poluchenija benzinovoj frakcii i etilena aerosolnym nanokatalysom. Diss.. k.t.n.: 05.17.07. / Kudryavtsev S.A.-Lvov.-2006.- 160 p.

**Король Д.Р., Филипс Тобенна, Кудрявцев С.А.
Разработка каталитического генератора тепла с
применением технологии аэрозольного нанокатализа**

В статье рассмотрены преимущества каталитических генераторов тепла (КГТ) перед другими способами сжигания топлива. Описана созданная лабораторная установка – КГТ с использованием технологии аэрозольного нанокатализа. Рассмотрено влияние технологии аэрозольного нанокатализа на содержание диоксида углерода в газах окисления. Определены основные отличия термического и каталитического процесса в условиях аэрозольного нанокатализа. Предложены дальнейшие шаги по развитию исследований в направлении создания основ технологии КГТ с использованием аэрозольного нанокатализа.

Ключевые слова: аэрозольный нанокатализ, КГТ, изопропиловый спирт, каталитическая система, вибро-ожигенный слой

**Korol D. R., Phillips Tobenna, S. O. Kudryavtsev
Development of a catalytic heat generator using aerosol
nanocatalysis technology**

Catalytic free-flowing combustion is an effective energy- and resource-saving way of using solid, liquid and gaseous fuels. In this method, the oxidation of fuel occurs on the surface of the catalyst at a relatively low temperature. This ensures maximum conversion of fuel into products of complete oxidation and reduces emissions of harmful substances. The purpose of the work is to investigate the influence of aerosol nano-catalysis technology on the processes of oxidation of fuel in the unit of catalytic heat generator. A laboratory unit was

created and a series of experiments were conducted to determine the differences in the course of thermal and catalytic transformations. The expediency of conducting research in the direction of creation of catalytic heat generators using aerosol nano-catalysis technology is substantiated. The advantages of this method before other methods of obtaining thermal energy are given. It has been experimentally proved that the content of carbon dioxide in the gases of oxidation (as well as the rate of chemical reactions) during the process in a reactor filled with the catalytic system is 5,1 times higher than in the thermal process and 10 times higher than in the reactor filled exclusively dispersant. This is indicated the effectiveness of aerosol nanocatalysis.

Keywords: aerosol nanocatalysis, CHG, isopropyl alcohol, catalytic system, vibro-spill layer, heat

Король Данило Романович – студент кафедри Хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля

Філіпс Тобенна Чімдіаді – аспірант кафедри хімічно інженерії та екології Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля

Кудрявцев Сергій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інженерії СНУ ім. В. Даля, sergeykudryavtsevsnu@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

Стаття подана 30.11.2018