

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМОКАТАЛІТИЧНИХ РЕАКТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

Сучасні термокаталітичні реактори для очищення газів повинні мати високу продуктивність і забезпечувати безперервність процесу. Для каталітичного очищення використовуються різні за способом взаємодії з каталізатором та функціональним призначенням апарати. Для підвищення енергоефективності термокаталітичних реакторів доцільно застосовувати альтернативні джерела енергії, зокрема, сонячні батареї. Враховуючи переваги сонячних батарей, зокрема, економічність, надійність, екологічність, доступність, довговічність, безпечність, ефективність та енергоощадність, запропоновано термокаталітичний реактор із сонячною батареєю, в якому за рахунок введення альтернативного джерела енергії, здійснюється процес нагрівання каталізатора, внаслідок чого збільшується ефективність очищення газових викидів.

Запропоновано рівняння теплового балансу, за яким можливо чітко встановити основні джерела надходження та витрати теплоти в термокаталітичному реакторі. Витрати теплоти на процес каталізу варто компенсувати за рахунок перетвореної енергії Сонця в сонячній батареї. Кількість енергії, що виробляється в сонячній батареї та залежить здебільшого від її потужності та інсоляції. Встановлення сонячних батарей збільшує енергоефективність термокаталітичних реакторів, що покращує процес очищення викидів та робить каталіз більш економічно доцільним, особливо в літній період року. Враховуючи характеристику викидів окремого джерела, можливо встановити необхідну кількість та потужність сонячних батарей для каталітичного реактора в кожному конкретному випадку.

Ключові слова: енергоефективність, термокаталітичний реактор, сонячна батарея.

Вступ

Термокаталітичні реактори широко застосовуються для очищення газових викидів [1, 2]. Вони відзначаються значною ефективністю, проте, для покращення їх роботи та збільшення ефективності із одночасним зменшенням енерговитрат доцільно застосовувати альтернативні джерела енергії. Сучасні термокаталітичні реактори потребують значних витрат енергії, компенсувати які можливо за рахунок використання енергії Сонця в сонячних батареях [1]. Використання сонячних батарей має свої переваги та недоліки. Проаналізувавши особливості застосування перетвореної сонячної енергії в термокаталітичних реакторах можливо підвищити їх енергоефективність та покращити процес каталізу.

Метою статті є обґрунтування застосування сонячних батарей як перспективного напрямку підвищення енергоефективності термокаталітичних реакторів.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Розглянути основні фактори, що впливають на процес очищення в термокаталітичних реакторах;
2. Створити конструктивну схему термокаталітичного реактора із сонячною батареєю;
3. Розробити рівняння теплового балансу термокаталітичного реактора і визначити ефективність та доцільність використання сонячних батарей, як джерела теплової енергії, для процесу очищення в термокаталітичних реакторах.

Основна частина

Основним фактором, що визначає швидкість каталітичної реакції в термокаталітичних реакторах, є енергія активації. Чим більша енергія активації, тим менше частинок мають в системі таку енергію і тим повільніше відбувається реакція. Якщо величина енергії активації значно менша енергії, яка необхідна для розірвання старих зв'язків, то вона частково компенсується енергією, що звільняється при створенні нових зв'язків [1].

Суттєво впливає на процес каталізу температура. Вона не тільки змінює швидкість каталізу, а й лімітує стадію процесу. При відносно низьких температурах, коли швидкість реакції мала порівняно зі швидкістю дифузії, концентрація реагуючих речовин та продуктів реакції зі збільшенням глибини пор зерен каталізатора зменшується несуттєво та близька до концентрації їх в газовому потоці. В цьому випадку процес каталізу протікає в кінетичній області. Ступінь використання внутрішньої поверхні наближається до одиниці і процеси переносу не впливають на швидкість хімічних перетворень. З підвищенням температури швидкість хімічної реакції збільшується. Одночасно

збільшується також швидкість дифузії. В цих умовах підвид реагуючих речовин шляхом дифузії, по всій глибині пор каталізатора. При певних температурах й настає момент, коли компонент вступає в хімічну реакцію ще до того, як він проникає на всю глибину в пори каталізатора. Відповідно, певна частина внутрішньої поверхні пор каталізатора із-за дефіциту вихідних речовин фактично не бере участі в каталізі і процес переходить в область внутрішньої дифузії. Ступінь використання внутрішньої поверхні каталізатора буде меншою одиниці. Швидкість каталізу в цьому випадку буде лімітуватися процесом перенесення речовини в мікропорах каталізатора. При подальшому збільшенні температури швидкість хімічної реакції ще більше збільшується [1].

Сучасні апарати для каталітичного очищення газів повинні мати високу продуктивність і забезпечувати безперервність процесу. Для каталітичного очищення газів використовуються різні за способом взаємодії з каталізатором та функціональним призначенням апарати.

Для підвищення енергоефективності термокаталітичних реакторів доцільно застосовувати альтернативні джерела енергії, зокрема, сонячні батареї. Незважаючи на недоліки сонячних батарей (перманентна залежність потужності від місцевих умов, часу доби і року, відносна вартість, маленький коефіцієнт корисної дії і чутливість до механічних пошкоджень), вони мають ряд суттєвих переваг, які спонукають до їх широкого застосування [3].

Переваги використання сонячних батарей:

1. Автономність.
2. Висока надійність.
3. Зниження витрат на теплоту, оскільки сонячна енергія безкоштовна.
4. Економія органічних видів палива (мазуту, нафти, газу, вугілля).
5. Скорочення викидів двоокису вуглецю.
6. Загальнодоступність і невичерпність джерела.
7. Відсутність проміжних фаз перетворення енергії.
8. Довговічність. Догляд за ними не вимагає від персоналу особливо великих знань і мінімального обслуговування.
9. Теоретично, повна безпека для навколишнього середовища (екологічно чисте джерело енергії) і людини (технічна безпека відповідає всім світовим стандартам).
10. Розповсюдження сонячних установок та широкий асортимент.

Враховуючи переваги сонячних батарей, їх ефективність та енергоощадність, запропоновано термокаталітичний реактор із сонячною батареєю, в якому за рахунок введення нових конструктивних елементів та зв'язків здійснюється процес перемішування та нагрівання каталізатора, внаслідок чого збільшується ефективність очищення газових викидів.

Поставлена задача досягається тим, що в термокаталітичний реактор із сонячною батареєю, який містить корпус, штуцери вводу газосировинної суміші і виводу продуктів реакції, газорозподільний пристрій та шар каталізатора, введено встановлений в середині корпусу вал із закріпленими на ньому з можливістю обертання лопатями, блок автоматичного управління, інвертор, сонячну батарею та штуцери підведення та відведення каталізатора. Газорозподільний пристрій виконаний у вигляді опорної газорозподільної решітки, що підігривається, до якої послідовно приєднані блок автоматичного управління, інвертор та сонячна батарея. Штуцер підведення газосировинної суміші та штуцер виводу продуктів реакції розташовані відповідно під та над газорозподільною решіткою, над якою вмонтовані штуцери підведення та відведення каталізатора.

На кресленні (рис. 1) представлена загальна схема запропонованого термокаталітичного реактора із сонячною батареєю [3].

Пристрій містить корпус 4, всередині якого на опорній газорозподільній решітці, виконаний із можливістю підігрівання 9 розміщено шар каталізатора 7, вал 3 та лопаті 5. В нижній частині корпусу 4 встановлено опорну газорозподільну решітку із можливістю підігрівання 9, під якою розміщено штуцер підведення забрудненого газу 1. Над опорною газорозподільною решіткою із можливістю підігрівання 9 вмонтовано штуцери підведення каталізатора 2 та виведення каталізатора 8. У верхній частині корпусу 4 розміщено штуцер виведення очищеного газу 6. До валу 3 приєднано послідовно блок автоматичного управління 10, інвертор 11 та сонячна батарея 12.

Термокаталітичний реактор працює наступним чином. Забруднений газ надходить в корпус 4 термокаталітичного реактора із сонячною батареєю через штуцер підведення забрудненого газу 1 та рухається крізь опорну газорозподільну решітку із можливістю підігрівання 9, після чого надходить в шар каталізатора 7 та видаляється через штуцер виведення очищеного газу 6. В конструкції корпусу 4 обертається вал 3 із лопатями 5. Шар каталізатора 7 надходить та видаляється з корпусу 4 за рахунок штуцерів підведення каталізатора 2 та виведення каталізатора 8. Підігрів опорної газорозподільної

решітки із можливістю підігрівання 9 здійснюється за рахунок струму, виробленого в сонячній батареї 12, що проходить через блок автоматичного управління 10 та інвертор 11. За недостатньої кількості струму із сонячної батареї 12 можливе підживлення струмом із мережі.

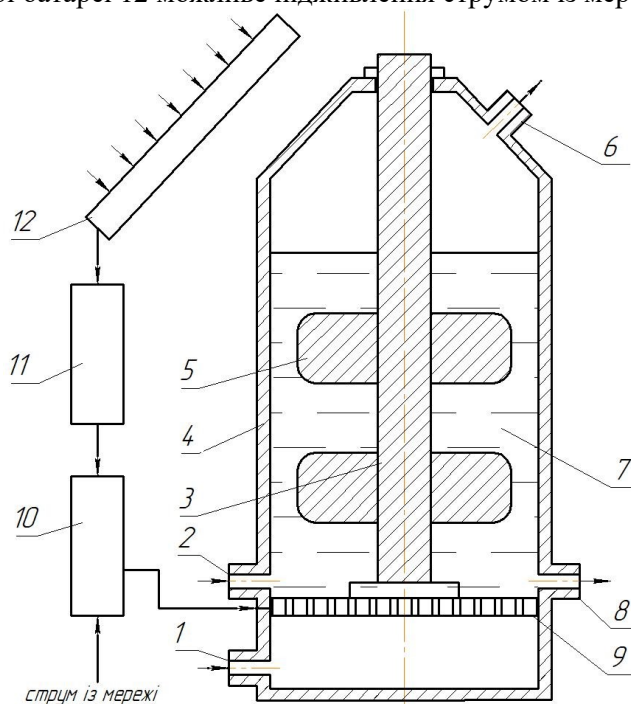


Рисунок 1 – Схема термокаталітичного реактора із сонячною батареєю

Очищення газових викидів з використанням термокаталітичного реактора із сонячною батареєю є ефективним та дозволяє зменшити споживання електроенергії від традиційних джерел, вартість якої збільшується [4].

З метою дослідження енергоефективності запропонованої конструкції термокаталітичного реактора із сонячною батареєю запропоновано рівняння теплового балансу:

$$Q_{сон} - Q_{втр} - Q_{нагр} = 0. \quad (1)$$

де $Q_{сон}$ – енергія, яка надходить від сонячної батареї, Вт;

$Q_{втр}$ – енергія, що витрачається через захисні огороження термокаталітичного реактора, Вт;

$Q_{нагр}$ – енергія, що затрачається на нагрів компонентів в термокаталітичному реакторі, Вт.

Кількість енергії, що виробляється сонячною батареєю, залежить від інсоляції $I_{сум}$, номінальної потужності сонячної батареї $P_{сб}$, коефіцієнта передачі електричного струму k та максимальної потужності інсоляції 1 м^2 земної поверхні $P_{інс}$ [5, 6].

$$Q_{сон} = \frac{I_{сум} \cdot P_{сб} \cdot k}{P_{інс}}. \quad (2)$$

Енергія, що витрачається через захисні огороження термокаталітичного реактора, залежить від коефіцієнта теплопровідності корпусу та утеплювача термокаталітичного реактора λ , термічного опору захисного огороження реактора R , площі огорожень реактора F , товщини корпусу реактора з утеплювачем δ та різниці температур всередині термокаталітичного реактора та ззовні Δt .

$$Q_{втр} = \frac{1}{R} \cdot F \cdot \Delta t = \frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot \Delta t. \quad (3)$$

Енергія, яка затрачається на нагрівання компонентів в термокаталітичному реакторі, залежить від фізичних властивостей компонентів c , їх кількості m та різниці температур ΔT

$$Q_{нагр} = c \cdot m \cdot \Delta T. \quad (4)$$

Для підтримання необхідної температури в термокаталітичному реакторі приймасмо сонячні батареї JA Solar JAM72S20-455/MR (Китай), потужністю 455 Вт (рис. 2) [7].

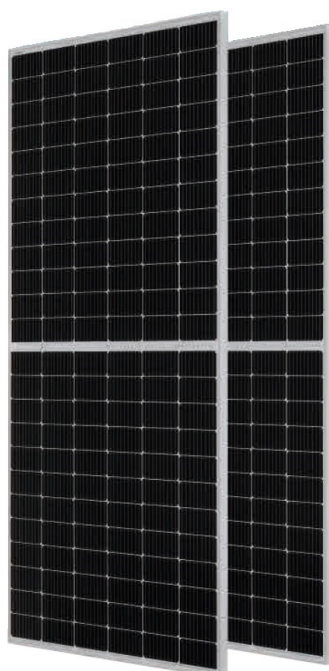


Рисунок 2 – Сонячні батареї JA Solar JAM72S20-455/MR

Дані для визначення кількості енергії, яку забезпечує сонячна батарея для процесу термокаталітичного очищення на прикладі м. Вінниці, наведено в таблиці 1 [8-10].

Таблиця 1

Надходження тепла від сонячної радіації на горизонтальну поверхню протягом року

Кількість сонячної енергії за місяць, кВт/м ²											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
32,1	56,7	88,2	117,6	155,7	159,0	154,8	140,4	96,3	59,1	33,0	27,0

За результатами математичного моделювання визначено кількість енергії, яку може надати сонячна батарея протягом року для нагрівання компонентів в термокаталітичному реакторі в м. Вінниця (табл. 2).

Таблиця 2

Надходження енергії від сонячної батареї в термокаталітичний реактор

Кількість енергії від сонячної батареї, кВт											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21,9	38,7	60,2	80,3	106,3	108,5	105,7	95,8	65,7	40,3	22,5	18,4

Наочно величину та зміну енергії, що можна отримати від сонячної батареї протягом року для термокаталітичного реактора, зображено на рис. 3.

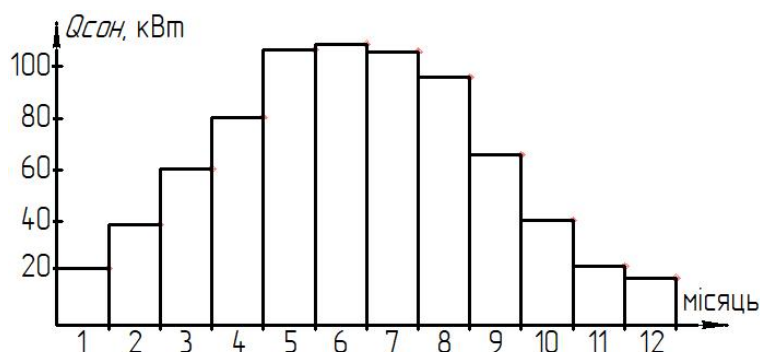


Рисунок 3 – Кількість енергії по місяцям для м. Вінниці від сонячної батареї JA Solar JAM72S20-455/MR

Як видно з рис. 3, найбільшу кількість енергії від сонячної батареї для забезпечення процесу в термокаталітичному реакторі можна отримати в літні місяці. В зимовий період, коли надходження

сонячної енергії зменшується, доцільно використовувати електроенергію від традиційних джерел. Застосування сонячних батарей суттєво знижує витрати на нагрівання компонентів суміші в термокаталітичному реакторі та дозволяє підвищити енергоефективність процесу очищення. Залежно від розмірів реактора, кількості компонентів в ньому та об'єму забрудненої суміші, що очищається, доцільно застосовувати кілька сонячних батарей.

Висновки

Одним із перспективних шляхів підвищення енергоефективності термокаталітичних реакторів є застосування альтернативних відновлювальних джерел енергії, зокрема сонячних батарей. Запропоновано термокаталітичний реактор із сонячною батареєю, який покращує процес очищення викидів методом каталізу та дозволяє зменшити споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів на цей процес. В результаті аналітичного моделювання встановлено, що сонячні батареї можуть якщо не повністю, то хоча б частково забезпечити термокаталітичний реактор теплотою, зокрема в літні місяці року. Володіючи інформацією про кожне конкретне джерело викиду та характеристику його викидів, можливо встановити необхідну кількість та потужність сонячних батарей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ратушняк Г.С. Теоретичні основи технології очищення газових викидів / Навч. пос. Вінниця: ВНТУ, 2002. 96 с.
2. Кузнецов Н.С. Оборудование для санитарной очистки газов / Справочник. К.: Техника, 1989. 304 с.
3. Патент 148252, МПК В01J 8/00. Термокаталітичний реактор із сонячною батареєю [Текст] / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна, О. Г. Лялюк, А. О. Лялюк (Україна). – № u 2021 00595, заявл. 12.02.2021, опубл. 21.07.2021, Бюл. № 29. – 4 с. : кресл.
4. Методи термічного очищення викидів: веб-сайт. URL: <http://um.co.ua/5/5-2/5-2745.html> (дата звернення 25.01.2022)
5. Расчет солнечных батарей: веб-сайт. URL: <https://energo.house/sol/raschet-solnechnyh-batarej.html> (дата звернення 31.01.2022)
6. Как рассчитать солнечные батареи: веб-сайт. URL: <https://www.termico-solar.com/kalkulyator/> (дата звернення 31.01.2022)
7. Солнечные батареи (панели, фотомодули): веб-сайт. URL: https://220volt.com.ua/solnechnye_stancii/komplektujushie/fotoelektricheskie_moduli/jasolar/ (дата звернення 31.01.2022)
8. Ратушняк Г. С., Кошчев І. А. Використання геліоустановок для термостабілізації процесу виробництва біогазу [Текст] / Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2014. № 1. С. 156-161.
9. Ратушняк Г. С., Анохіна К.В. Моделювання тепловтрат з біогазової установки в ході розміщення її в ґрунті [Текст] / Вісник Хмельницького національного університету, 2015. № 1(221). С. 84-88.
10. Ратушняк Г.С., Анохіна К.В., Кошчев І.А. Вплив температурних режимів ферментації та седиментаційних параметрів субстрату на продуктивність біогазової установки [Текст] / Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 2013. № 1. С. 61-64.

REFERENCES

1. Ratushnyak G.S. Teoretichni osnovi tekhnologii ochishchennya gazovih vikidiv / Navch. pos. Vinnicya: VNTU, 2002. 96 s.
2. Kuznetsov N.S. Oborudovanie dlya sanitarnoy ochistki gazov / Spravochnik. K.: Tekhnika, 1989. 304 s.
3. Patent 148252, MPK B01J 8/00. Termokatalitichnij reaktor iz sonyachnoyu batareeyu [Tekst] / G. S. Ratushnyak, K. V. Anohina, O. G. Lyalyuk, A. O. Lyalyuk (Ukraina). – № u 2021 00595, zayavl. 12.02.2021, opubl. 21.07.2021, Byul. № 29. – 4 s. : kresl.
4. Metodi termichnogo ochishchennya vikidiv: veb-sajt. URL: <http://um.co.ua/5/5-2/5-2745.html> (data zvernennya 25.01.2022)
5. Raschet solnechnyh batarej: veb-sajt. URL: <https://energo.house/sol/raschet-solnechnyh-batarej.html> (data zvernennya 31.01.2022)
6. Kak rasschitat' solnechnye batarei: veb-sajt. URL: <https://www.termico-solar.com/kalkulyator/> (data zvernennya 31.01.2022)
7. Solnechnye batarei (paneli, fotomoduli): veb-sajt. URL: https://220volt.com.ua/solnechnye_stancii/komplektujushie/fotoelektricheskie_moduli/jasolar/ (data zvernennya 31.01.2022)
8. Ratushnyak G. S., Koshchev I. A. Vikoristannya gelioustanovok dlya termostabilizacii procesu virobництва biogazu [Tekst] / Suchasni tekhnologii, materialy i konstrukcii v budivnictvi. 2014. № 1. S. 156-161.
9. Ratushnyak G. S., Anohina K.V. Modelyuvannya teplovtrat z biogazovoi ustanovki v hodi rozmishchennya її v rrunti [Tekst] / Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu, 2015. № 1(221). S. 84-88.
10. Ratushnyak G.S., Anohina K.V., Koshchev I.A. Vpliv temperaturnih rezhimiv fermentacii ta sedimentacijnih parametriv substratu na produktivnist' biogazovoi ustanovki [Tekst] / Suchasni tekhnologii, materialy i konstrukcii v budivnictvi, 2013. № 1. S. 61-64.

Ратушняк Георгій Сергійович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерних систем в будівництві, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: ratusnag@gmail.com

Анохіна Катерина Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем в будівництві, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: anokhina@vntu.edu.ua

G. Ratushnyak
K. Anokhina

WAYS TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF THERMOCATALYTIC REACTORS

Vinnytsia National Technical University

Modern thermocatalytic reactors for gas cleaning must have high productivity and ensure continuity of the process. For catalytic purification, devices with different methods of interaction with the catalyst and functional purpose are used. To increase the energy efficiency of thermocatalytic reactors, it is advisable to use alternative energy sources, in particular, solar panels. Taking into account the advantages of solar panels, in particular, economy, reliability, environmental friendliness, availability, durability, safety, efficiency and energy saving, a thermocatalytic reactor with a solar battery is proposed. emissions.

The equation of heat balance is proposed, according to which it is possible to clearly identify the main sources of heat inflow and outflow in a thermocatalytic reactor. Heat costs for the catalysis process should be compensated by the converted energy of the Sun in the solar cell. The amount of energy produced in a solar cell depends largely on its power and insolation. The installation of solar panels increases the energy efficiency of thermocatalytic reactors, which improves the process of cleaning emissions and makes catalysis more cost-effective, especially in the summer. Given the characteristics of emissions from a single source, it is possible to determine the required number and capacity of solar panels for a catalytic reactor in each case.

Key words: energy efficiency, thermocatalytic reactor, solar battery.

Ratushnyak Georgy – Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Engineering Systems at Building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: ratusnag@gmail.com

Kateryna Anokhina – Candidate of Technical Sciences, Associate of the Department of Engineering Systems at Building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: anokhina@vntu.edu.ua