

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 62-408, 62-43

ЦАПАР В. С., к.т.н., доцент; ЖУЧЕНКО О. А., д.т.н., професор; КОРОТИНСЬКИЙ А. П., асистент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ КОНЦЕНТРАТОРІВ СВІТЛОВОГО ПОТОКУ

Одним із найпоширеніших напрямків відновлювальної енергетики заснованих на безпосередньому використанні сонячного випромінювання є сонячна енергетика, а саме використання сонячних батарей. Незважаючи на вагомий внесок сонячної енергетики в енергетичний стан світу, продуктивність даного способу отримання енергії на невисокому рівні. Підвищення ефективності застосування сонячних батарей шляхом розробки та застосування автоматичної системи збільшення світлового потоку на поверхні панелі є важливим науково-практичним завданням.

У якості методів дослідження використовується імітаційне моделювання в середовищі ZEMAX.

В роботі проведено дослідження можливості застосування концентраторів світлового потоку для підвищення продуктивності сонячних панелей. Дослідження базується на визначенні оптимальної геометрії конусоподібних концентраторів. Розглядається можливість застосування п'яти особливих геометрій, а саме, два варіанта "багатогранного призмового конуса", "багатогранний дзеркальний конус" та два варіанта "дзеркальних воронок", що з застосуванням трека положення сонця дозволить збільшити продуктивність енергетичних установок. В результаті дослідження отримано, що застосування "багатогранного зеркального конуса" недоцільно в якості концентраторів, оскільки при його використанні значна кількість променів заломлюється таким чином, що рухаються в сторону протилежну до розташування сонячної панелі. При розміщенні джерела світла під кутом 90° та застосуванні "багатогранних призмових конусів" значна кількість променів залишається у воронці. Застосування геометрії "дзеркальна воронка" при розміщенні джерела світла під кутом 90° обумовлює найкраще фокусування променів на поверхні сонячної панелі. Особливістю даної геометрії є те, що при розташуванні джерела світла під кутом 45° зовсім відсутній світловий потік.

Запропонована геометрія концентратора - "дзеркальна воронка" разом із застосуванням трека положення джерела світла може бути використана при розробці автоматичної системи збільшення світлового потоку, а відтак підвищення продуктивності сонячних установок.

Ключові слова: сонячні батареї, концентратори, світловий потік.

DOI: 10.20535/2617-9741.3.2020.217901

© Цапар В. С., Жученко О. А., Коротинський А. П., 2020.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день значного поширення у всьому світі та Україні в тому числі, набула зелена енергетика, а саме використання сонячних батарей. В час альтернативної енергетики підвищення ефективності установок на базі сонячних батарей є важливою науковою та практичною задачею. Одним із особливостей роботи сонячних батарей є залежність їх продуктивності від світлового потоку, що потрапляє на робочу поверхню батареї. Застосування призми та лінзи особливої геометрії/конструкції, дозволяє сфокусувати світловий потік, а відтак, потенційно збільшити його в окремих точках. З вищесказаного випливає необхідність проведення дослідження можливості застосування конструкцій для збільшення світлового потоку з метою збільшення продуктивності роботи сонячних батарей.

Аналіз попередніх досліджень.

У роботі [1] сформувані вимоги до сучасних сонячних енергетичних установок та наведено перелік факторів, що впливають на ефективність роботи сонячних панелей. До категорії "найвагоміших" факторів впливу на роботу визначено: кут падіння сонячних променів на модуль, якість фотоелектричного елемента,

рівномірність освітлення, приріст температури фотоелемента, відбиття світлового променя від поверхні перетворювача, забруднення модуля, забруднення атмосфери.

У роботі застосували діаграму Парето, яка являє собою емпіричне правило, яке стверджує, що для багатьох явищ 80 відсотків наслідків спричинені 20 відсотками причин доведено, що невирішеною частиною наукової проблеми підвищення ефективності роботи сонячних панелей є кут падіння сонячних променів на модуль.

Матеріали статті [2] присвячені аналізу та підвищенню енергетичної ефективності технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики. У роботі наведено переваги та недоліки використання сучасних фотоелектричних систем. В роботі запропоновано шляхи підвищення ефективності фотоелементів та проведено експериментальні дослідження використання додаткових дзеркал на макетах сонячних фотопанелей, що підтверджує існування загально наукової проблеми підвищення ефективності роботи сонячних елементів.

У статті [3] розглядається спосіб V-подібної установки дзеркал щодо сонячної панелі. В статті зроблені висновки, що концепція сонячної панелі з концентраторами можлива і має потенціал, при цьому також дає значне підвищення продуктивності в порівнянні з існуючими фотоелектричними, що підтверджує існування загально наукової проблеми підвищення ефективності роботи сонячних елементів.

Робота [4] спрямована на дослідження різних конструкцій сонячних концентраторів; представлені основні характеристики різних концентраторів з точки зору економічної ефективності та технічної продуктивності, на підставі чого зроблено рекомендації по вибору конструкції сонячного концентратора.

За результатами аналізу та експертної оцінки факторів [5-6], якими оцінюється робота та ефективність фотоелемента, встановлюємо перелік основних параметрів, на які ми маємо змогу впливати.

З аналізу літератури зрозуміло, що проблема підвищення ефективності роботи сонячних елементів є досить актуальною на сьогоднішній день та не вирішеною в повному обсязі. Відомо, що одним із найважливіших параметрів, що впливають на роботу сонячної батареї, на які ми маємо змогу впливати є кут падіння променів, а тому необхідне подальше дослідження відзеркалюючих поверхонь, що здатні підвищити концентрацію світлового потоку на робочій поверхні сонячної батареї.

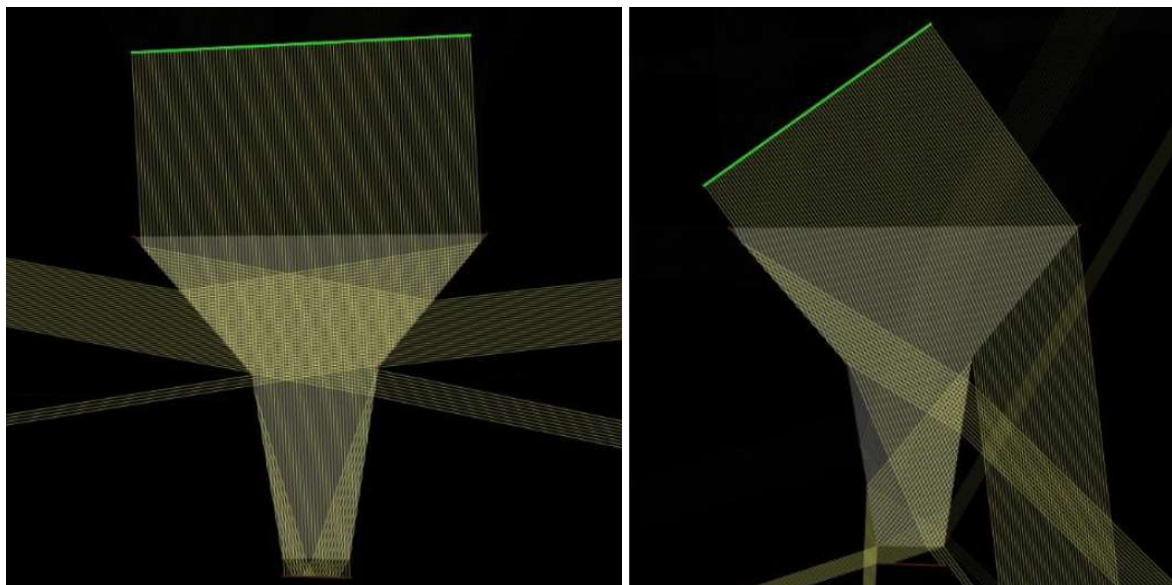
Метою даної роботи є дослідження різних типів геометрії конусоподібних концентраторів світлового потоку для визначення оптимальної.

Методика роботи. Дослідження проводяться шляхом порівняння результатів моделювання різної геометрії конусоподібних концентраторів світлового потоку при однакових початкових умовах в середовищі імітаційного моделювання ZEMAX.

Виклад основного матеріалу.

Застосування запропонованих конусоподібних концентраторів світла передбачається разом з трекерами положення сонця, відтак основним критерієм їх ефективності вважається максимізація світлового потоку на поверхні сонячних панелей при куті попадання сонячних потоків в 90° . В дослідженні для більш повної характеристики концентраторів розглядається випадок попадання сонячних потоків при 45° .

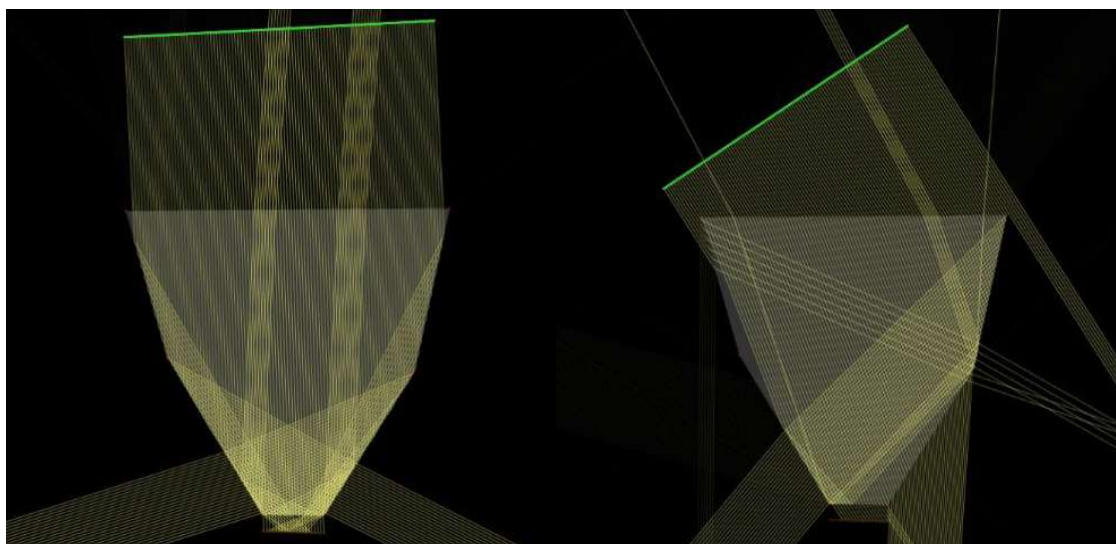
На рис. 1 наведено результати моделювання однієї з геометрій, а саме багатогранного призмового конуса, варіант 1. З результатів моделювання видно, що при розміщенні джерела світла під кутом близьким до 90° світловий потік заломлюється таким чином, що велика кількість променів залишається в воронці концентратора. При розміщенні джерела світла під кутом 45° отримано, що значна кількість променів після концентратора направлена не в сторону сонячної батареї.



1 – положення джерела світла під кутом 90° ; 2 – положення джерела світла під кутом 45° ;

Рис. 1 – Результати моделювання “багатогранного призмового конуса” варіант 1

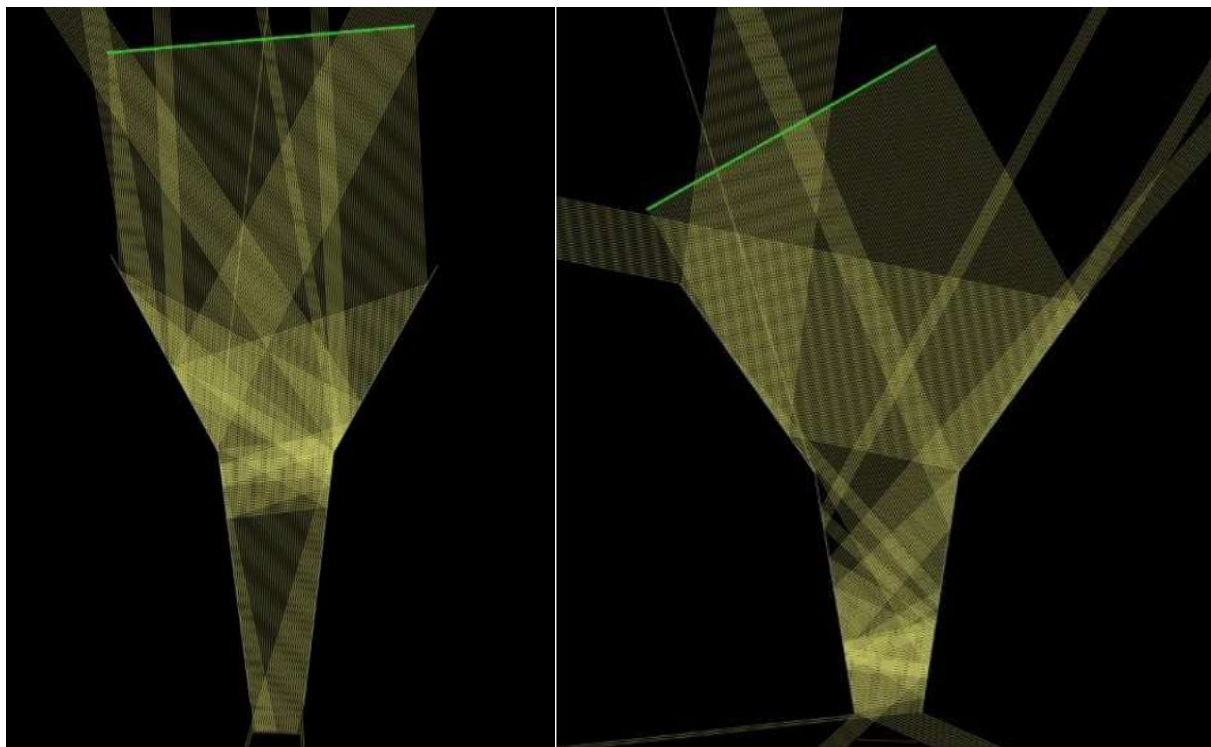
На рис. 2 наведено результати моделювання геометрій наступного варіанту багатогранного призмового конуса. Результати моделювання свідчать, що при розміщенні джерела світла під кутом близьким до 90° та під кутом 45° світловий потік заломлюється таким чином, що частина променів не тільки залишається у воронці концентратора а і віддзеркалюється в протилежну до розміщення сонячної батареї сторону, відтак значна кількість променів не досягає поверхні сонячної панелі. При розміщенні джерела світла під кутом 45° незначна кількість променів після концентратора направлена не в сторону сонячної батареї.



1 – положення джерела світла під кутом 90° ; 2 – положення джерела світла під кутом 45° ;

Рис. 2 – Результати моделювання “багатогранного призмового конуса” варіант 2

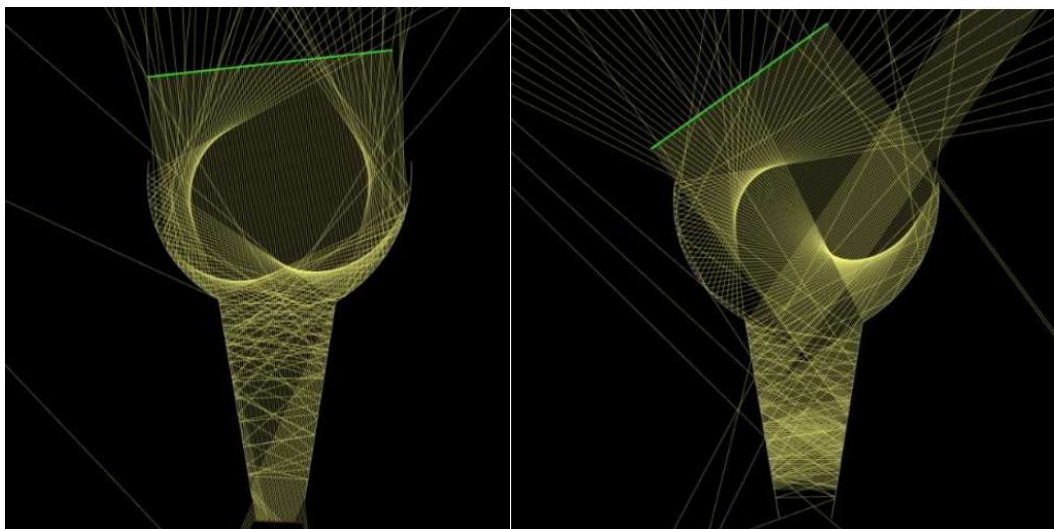
На рис. 3 наведено результати моделювання геометрій багатогранного зеркального конуса. Результати моделювання свідчать, що при розміщенні джерела світла під кутом близьким до 90° та під кутом 45° світловий потік заломлюється таким чином, що велика кількість променів не тільки залишається у воронці концентратора а і віддзеркалюється в протилежну до розміщення сонячної батареї сторону, відтак значна кількість променів не досягає поверхні сонячної панелі. Як і в попередньому випадку, при розміщенні джерела світла під кутом 45° значна кількість променів після концентратора направлена не в сторону сонячної батареї.



1 – положення джерела світла під кутом 90° ; 2 – положення джерела світла під кутом 45° ;

Рис. 3 – Результати моделювання “багатогранного зеркального конуса”

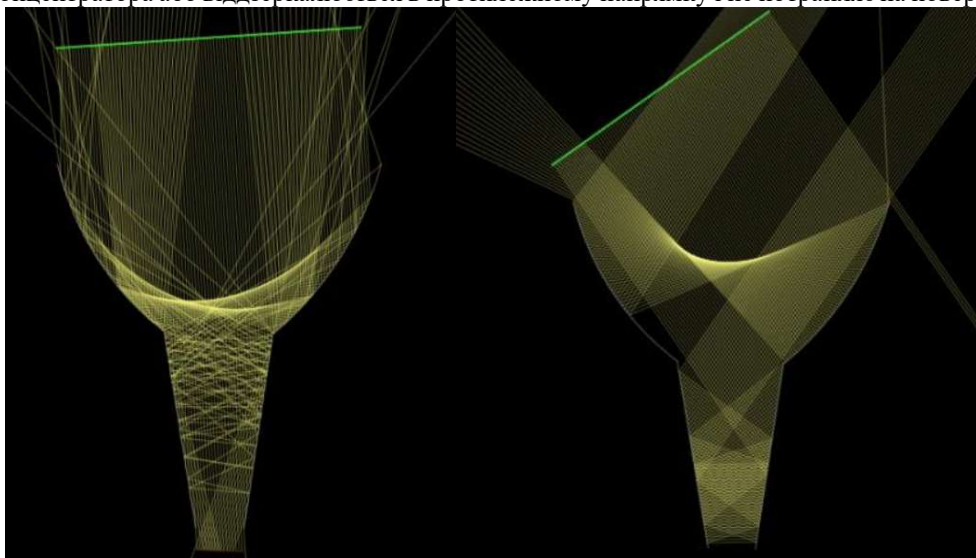
На рис. 4 наведено результати моделювання геометрій, а саме дзеркальна воронка варіант 1. З результатів моделювання видно велику кількість заломлення променів в порівнянні з іншими геометріями. Прослідковується наявність одиничних променів, що направлені в протилежну до сонячної батареї сторону. При розміщенні джерела світла під кутом 90° світловий основна частина світлового потоку спрямована на сонячну панель, незначна кількість променів відхиляється. При розміщенні джерела світла під кутом 45° основна частина світлового потоку залишається у воронці концентратора і не потрапляє на поверхню батареї.



1 – положення джерела світла під кутом 90° ; 2 – положення джерела світла під кутом 45° ;

Рис. 4 – Результати моделювання “дзеркальної воронки” варіант 1

На рис. 5 наведено результати моделювання геометрій, а саме дзеркальна воронка варіант 2. Як і в попередньому випадку видно велику кількість заломлення променів в порівнянні з іншими геометріями. Прослідковується збільшення кількості одиничних променів, що направлені в протилежну до сонячної батареї сторону, в порівнянні з попереднім дослідженням. При розміщенні джерела світла під кутом 90° світловий основна частина світлового потоку спрямована на сонячну панель, відсутні промені що відхиляються. При розміщенні джерела світла під кутом 45° основна частина світлового потоку залишається у воронці концентратора або віддзеркалюється в протилежному напрямку і не потрапляє на поверхню батареї.



1 – положення джерела світла під кутом 90° ; 2 – положення джерела світла під кутом 45° ;

Рис. 5 – Результати моделювання “дзеркальної воронки” варіант 2

Висновки. З результатів отримано, що використання геометрії багатогранного зеркального конуса недоцільно в якості концентраторів, оскільки при його використанні основна кількість променів заломлюється таким чином, що рухається в сторону протилежній до розташування сонячної панелі.

Застосування багатограних призмових конусів має ряд недоліків, а саме значна кількість променів залишається у воронці, а при розміщенні джерела світла під кутом 45° частина променів відхиляються.

Геометрія дзеркальна воронка має перевагу в фокусуванні променів при розміщенні джерела світла під кутом 90° , проте зовсім відсутній світловий потік після концентратора при розміщенні джерела під кутом 45° .

Враховуючи, що запропоновані концентратори будуть використовуватись з трекерами положення світла, то можна вважати що геометрія дзеркальна воронка забезпечує найкраще виконання поставленої задачі, а саме якісного фокусування світлового потоку в задану точку.

Перспективи подальших досліджень. В подальшому необхідно провести практичні дослідження запропонованих геометрій концентраторів, шляхом вимірювання світлових потоків на кінці концентратора фотоелементами різного типу.

Список використаної літератури

1. Хотян А.А., Розен В.П., Чермалих О.В., Чермалих О.В. Аналіз ефективності використання фотоелектричних модулів // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. № 4 С. 14-19.
2. Кожем'яко В. П., Домбровський В. Г., Жердецький В. Ф., Малиновський В. І., Притуляк Г. В. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики / *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. - 2011. - № 2. - С. 142-157.
3. Ахмедов Д. Ш., Ерёмин Д. И. Ягфарова Н. И., Кемешева Д. Г. Основные параметры солнечной панели с концентраторами / *Шестой технологический уклад: механизмы и перспективы развития* - 2015 г.
4. Рахматулин И.Р., Кирпичникова И.М. Перспективы использования различных конструкций солнечных концентраторов на территории Российской Федерации // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2017. Т. 21. № 2. С. 127-136.
5. Solar energy: [Electronic resource] - URL: <http://www.rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html#PHOTOVOLTAICS>
6. KENZHAEV Z. T. The Advantage and Disadvantages of Photoconverters / *Young Scientist*, 2017. №36. С. 3-5. URL <https://moluch.ru/archive/170/45596/>

Надійшла до редакції 01.10.2020

Tsapar V. S., Zhuchenko O. A., Korotynskiy A. P.

SIMULATION MODELING OF LIGHT FLOW CONCENTRATORS

One of the most common areas of recovered energy based on the direct use of solar radiation is solar energy, namely the use of solar panels. Despite the significant contribution of solar energy to the energy state of the world, the productivity of this method of energy production is low. Improving the efficiency of solar panels by developing and applying an automatic system to increase the light flow on the surface of the panel is an important scientific and practical task.

Simulation modeling in the ZEMAX environment is used as research methods.

The study of the possibility of using light flow concentrators to increase the productivity of solar panels. The study is based on determining the optimal geometry of cone-shaped concentrators. The possibility of using five special geometries is considered, namely, two variants of "multifaceted prismatic cone", "multifaceted mirror cone" and two variants of "mirror funnels", which with the use of the sun position tracker will increase the productivity of power plants. The study found that the use of "multifaceted mirror cones" is impractical as a concentrator, because when using it, a significant number of rays are refracted in such a way that they move in the opposite direction to the location of the solar panel. When placing the light source at an angle of 90 degrees and using "multifaceted prismatic cones", a significant number of rays remain in the funnel. The use of "mirror funnel" geometry when placing a light source at an angle of 90 degrees determines the best focusing of the rays on the surface of the solar panel. The peculiarity of this geometry is that when the light source is located at an angle of 45 there is no light flux.

The proposed geometry of the hub - "mirror funnel" together with the use of the tracker of the position of the light source can be used in the development of an automatic system to increase the luminous flux, and thus increase the productivity of solar installations.

Key words: solar panels, concentrators, light flow.

References

1. Khotyan, A.A., Rozen, V.P., Chermalikh, O.V., Chermalikh O.V., (2018) “Analysis of the efficiency of the use of photoelectric modules”, *Energetika: ekonomika, tekhnologiyi, ekologiya*, no 4, pp. 14-19.
2. Kozhem'yako, V. P., Dombrovskij, V. G., Zherdeczkij, V. F., Malinovs'kij, V. I., Pritulyak, G. V., (2011) “Analytical review of modern technologies of photovoltaic converters for solar energy”, *Optiko-elektronni informacziyno-energetichni tekhnologiyi*, no 2, pp. 142-157.
3. Akhmedov, D. Sh., Eryomin, D. I., Yagfarova, N. I., Kemesheva, D. G. (2015), “The main parameters of the solar panel with hubs”, *Shestoj tekhnologicheskij ukklad: mekhanizmy i perspektivy razvitiya*.
4. Rakhmatulin, I.R., Kirpichnikova, I.M., (2017), “Prospects for the use of various designs of solar concentrators in the Russian Federation”, *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, no 2, pp. 127-136.
5. Solar energy: [Electronic resource], URL: <http://www.rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html#PHOTOVOLTAICS>
6. Kenzhaev, Z. T. (2017), “The Advantage and Disadvantages of Photoconverters”, *Young Scientist*, no36, pp. 3-5, URL <https://moluch.ru/archive/170/45596/>

УДК 66.095.81

**ЖУЧЕНКО А.І., д. т. н., професор; ОНЩЕНКО В.О., асистент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ РЕАКТОРА ОКИСЛЕННЯ АМІАКУ В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА АЗОТНОЇ КИСЛОТИ

Використання азотної кислоти у різних галузях хімічного виробництва призводить до підвищення вимог до самого виробництва та економічної ефективності процесу. На даний момент відомо багато способів отримання азотної кислоти. В статті розглянутий спосіб контактного окислення аміаку на платино-родієвому каталізаторі, з подальшим виходом азоту на абсорбцію. Окислення аміаку виконують за різними технологіями, зокрема, шляхом неперервного окислення в секційному реакторі каталітичного типу на платино-родієвому каталізаторі.

Для автоматичного керування трьох секційним реактором треба знати механізми взаємодії аміачно-повітряної суміші (АПС) з каталізатором платино-родієвого типу. Математична модель, адекватна дійсному перебігу процесу окислення, дозволить забезпечити високу ефективність керування завдяки виконанню вимог до якості вихідного продукту та зменшенню економічних затрат на виробництво азотної кислоти.

Важливо створити математичну модель реакторного простору в шарі контакту, яка б давала адекватне відображення поведінки каталізатора у ньому при зміні властивостей аміачно-повітряної суміші та реакційного об'єму, що неперервно надходять у реактор. Відомі сучасні методи моделювання використовують узагальнений аналіз вхідної речовини і базуються на апроксимації експериментальних даних про характер протікання процесу окислення. В статті було сформовано математичну модель, яка описує поведінку реакційного простору в реакторі з урахуванням не стаціонарних умов, протікання процесу.

Запропоновано розглядати реактор з трьома шарами контакту, кожний шар як окремі об'єкти з окремими реакційними зонами контакту. Реакційний об'єм в реакторі формується як сукупність реакційних просторів, шарів контакту з потоком контакту. Властивості каталізатора, який знаходиться в шарі контакту, змінюються динамічно в результаті прояву не стаціонарності протікання процесу в часі.

Реактор окислення розглядається як явище, що передбачає наявність незліченої кількості випадкових мікропроцесів. Така вербальна модель дозволила визначити методи математичного моделювання, які доцільно використати при створенні моделі для системи керування. Розроблена модель дає уяву про взаємозв'язки між аміачно-повітряною сумішшю та каталізатором. Отримати передатні функції за