

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВОСКРЕСЕНСЬКА СВІТЛАНА МИКОЛАЇВНА

УДК 514.18

**МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКІВ ВІДБИТИХ І ЗАЛОМЛЕНИХ СОНЯЧНИХ
ПРОМЕНІВ ПРИ РІВНОМІРНОМУ РОЗПОДІЛІ ЕНЕРГІЇ СТОСОВНО
СТВОРЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ**

05.01.01 – прикладна геометрія, інженерна графіка

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національній академії природоохоронного та курортного будівництва (НАПКБ) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник:

- доктор технічних наук, професор
ДВОРЕЦЬКИЙ Олександр Тимофійович, завідувач кафедри геометричного та комп'ютерного моделювання Національної академії природоохоронного та курортного будівництва, професор.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор
СЕРГЕЙЧУК Олег Васильович, кафедра архітектурних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури, професор;
- кандидат технічних наук, доцент
МАРТИНОВ В'ячеслав Леонідович, завідувач кафедри інженерної і комп'ютерної графіки Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського, доцент.

Захист відбудеться «12» квітня 2012 року о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.06 у Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою:
03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою:
03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розісланий «12» березня 2012 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради _____ О.А. Бондар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Швидке зростання енергоспоживання є однією з найбільш характерних особливостей технічної діяльності людства в другій половині ХХ – ХХІ століття. Розвиток енергетики до недавнього часу не зустрічав принципових труднощів. Збільшення виробництва енергії відбувалося в основному за рахунок збільшення видобутку нафти і газу. Однак енергетика виявилася першою великою галуззю світової економіки, яка зіткнулася із ситуацією виснаження своєї традиційної сировинної бази. Однією з причин цієї кризи стала обмеженість копалин енергетичних ресурсів. Їх залишилося зовсім небагато – нафти і газу вистачить на $20 \div 30$ років, а вугілля – на $200 \div 300$ років. Світові проблеми енергозабезпечення викликані не тільки виснаженням запасів викопних джерел енергії, але також і постійним зростанням енергоспоживання. Тільки за останні 100 років людство витратило енергоносіїв більш, ніж за усю власну багатотисячолітню історію. Тому зараз усе важче зберегти високий темп розвитку енергетики шляхом використання лише традиційних викопних джерел енергії. У зв'язку з цим останнім часом стала все більш інтенсивно розвиватися сонячна енергетика. Відповідно до статистичних даних Міністерства промисловості та енергетики Криму потенціал сонячної енергетики оцінюється в $32 \cdot 10^9$ МВт/рік, а річний технічно досяжний потенціал відповідно 1,82 млрд кВт•год/рік. Щорічний обсяг сумарного сонячного випромінювання на поверхню землі складає $795 \cdot 10^{15}$ кВт. Цей ресурс сонячної енергії можна співвіднести з обсягом споживання палива, який дорівнює $95,8 \cdot 10^{12}$ кВт•год. У Криму споживана кількість енергії близько 3905,4 млн кВт•год, а генерація енергії за рахунок відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) 43,71 млн кВт•год. Загальна пікова потужність сонячних електростанцій на сьогодні складає 7,5 МВт. За рахунок власних джерел покривається лише 10..12 % потреб Кримського регіону в електроенергії, причому тільки 1..2 % з них – внесок ВДЕ. Незважаючи на той факт, що лише частина випромінюваної сонячної енергії може бути перетворена, абсолютно очевидно, що існує більш ніж достатній резерв сонячної енергії для задоволення всього світового попиту, за умови, що будуть розв'язані супутні технологічні проблеми.

Основною проблемою, що перешкоджає прискореному впровадженню в енергетику геліоустановок, є низький коефіцієнт корисної дії (ККД) фотоперетворювачів при великих займаних площах. При використанні концентраторів установки, що перетворюють сонячне проміння на теплову та електричну енергію, займають значно меншу площу порівняно з плоскими установками. Якщо застосовувати фотоелементи (ФЕ) в якості приймачів сонячного проміння, то воно перетворюється безпосередньо на електричну енергію без проміжних перетворень і додаткового устаткування, наприклад, газо- або паротурбін. У зв'язку з концентрацією сонячного проміння потрібна значно менша кількість ФЕ, ніж при використанні плоских сонячних батарей (СБ). Оскільки вартість ФЕ досить висока, особливо при порівнянні з традиційною енергетикою, системи, що концентрують з фотоелектричним перетворенням (СКзФП) можуть

зменшити витрати на отримання електричної енергії.

Ще одним важливим фактором для розробки даної теми є екологічна безпека. У процесі роботи в атмосферу не виділяється ніяких шкідливих речовин, на відміну від традиційної енергетики, наприклад, теплоелектростанцій, що працюють на вугіллі (викиди становлять: CO₂ – 121,963 т/ТДж; SO₂ – 138 т/ТДж; NO_x – 0,225 т/ТДж). На частку сектора енергетики на сьогодні припадає 15 % від загального обсягу викидів від стаціонарних джерел, що ставить його на третє місце щодо забруднення навколишнього середовища після металургії та хімічної промисловості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

У процесі написання роботи була прийнята участь у якості виконавця у двох держбюджетних наукових темах:

- 2008 р., тема «Підвищення ефективності нетрадиційних джерел енергії в умовах територіального розміщення в Автономній Республіці Крим», шифр 2706, № держ. реєстрації 0107U000772, НАПКБ (розділ 2 заключного звіту «Підвищення ефективності використання поновлюваних джерел енергії для теплопостачання і гарячого водопостачання в різних регіонах АР»);

- 2009 – 2010 рр., тема «Розробка технічних пропозицій і схем розподіленої генерації в системах енергопостачання об'єктів з поновлюваними джерелами енергії», шифр 2904, № держ. реєстрації 0109U003043, НАПКБ (розділ 3 проміжного звіту «Підвищення ефективності поновлюваних джерел енергії»).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка теоретичної та аналітичної бази для моделювання СКзФП, які забезпечують рівномірний розподіл сонячної енергії на приймачеві – СБ.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні *задачі*:

- провести теоретичні дослідження теплової та електричної ефективності концентраторів сонячного проміння з фотоелектричним перетворенням;
- здійснити геометричне моделювання приймача сонячного проміння СКзФП з рівномірним розподілом енергії Сонця;
- змодельовати, аналітично описати і розрахувати відбивач сонячного проміння СКзФП з рівномірним розподілом енергії Сонця;
- провести геометричний та аналітичний опис квазіфокальних точок і ліній заломленого потоку;
- розробити теоретичну базу для використання ефекту заломлення при концентрації сонячного випромінювання на приймачеві – ФЕ;
- розробити методику обчислення температури приймача СКзФП при його охолодженні;
- провести експериментальне дослідження характеристик СКзФП зі змодельованим відбивачем проміння.

Об'єктом дослідження є розподіл сонячного проміння СКзФП по поверхні приймача.

Предметом дослідження є спосіб моделювання елементів СКзФП, які ефективно перетворюють сонячне проміння безпосередньо на електричну енергію.

Методи дослідження. Використано комплексний підхід, який об'єднує теоретичні та експериментальні дослідження: елементи диференціальних рівнянь, теорії променевої теплопередачі та фотоперетворення, оптики, а також елементи комп'ютерної графіки в середовищі AutoCAD, Excel і Maple, проведення дослідів на експериментальних стендах. Застосовуються також положення прикладної геометрії та обчислювальної математики.

Теоретичною базою для досліджень є роботи вчених:

- у галузі фотоелектричних перетворень сонячного проміння: Андрєєва В.М., Раушенбаха Г., Колпуна М.М., Фаренбруха А., Конеченкова А.Є., Лідоренко М.С. та інших;
- у галузі експлуатації, класифікації систем, що концентрують, та їх проектування, у тому числі моделювання процесів відображення від різних поверхонь: Даффі Дж., Андрєєва В.М, Гріліхеса В.А., Вейнберга В.Б., Західова Р.А., Стребкова Д.С., Тверьяновича Е.В., Дворецького О.Т., Куценка Л.М., Козак Ю.В., Максимової М.О., Сафонова В.А., Середи Н.І. та інших;
- у галузі будівельної фізики та інсоляційних розрахунків: Даффі Дж., Підгорного О.Л., Мартинова В.Л., Заприводи В.І., Пугачова Є.В., Чернігова Б.І., Сергейчука О.В., Орла С.І., Шоман О.В., Немирівського І.О., Кривенко О.В., Борисова Б.Г., Волошиної І.В. та інших;
- у галузі моделювання систем, що відображують з наближенням до рівномірного розподілом сонячного проміння: Аннабердиева Е., Кудряшова В.С., Стребкова Д.С., Смирнова О.В. та інших;
- у галузі дослідження властивостей поверхонь, що віддзеркалюють, і теорії квазіфокальних точок і ліній при відображенні променів: Підгорного О.Л., Козак Ю.В., Дворецького О.Т., Денисової Т.В. та інших;
- у галузі моделювання процесів заломлення променів різними середовищами: Підгорного О. Л., Коваленка І.І., Слісаренка Н.І. та інших.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

Вперше:

- запропоновано форму дискретного приймача СКЗФП, яка забезпечує рівномірний розподіл на ньому сонячної енергії при відображенні променів;
- створено та запатентовано геометричну модель, наведено аналітичний опис дискретного відбивача СКЗФП, що забезпечує рівномірний розподіл енергії на приймачеві – СБ, а також проведено експериментальне дослідження фізичної моделі;
- запропоновано форму дискретного приймача, яка забезпечує рівномірний розподіл потоку променів, заломлених плоско-опуклою лінзою, що виготовляється на основі поверхні обертання, на приймачеві – СБ.

Дістала подальший розвиток:

- теорія використання квазіфокальних точок і ліній для відбитого потоку сонячного проміння, зокрема розроблено методику геометричного та аналітичного опису квазіфокальних точок і ліній заломленого потоку.

Наукову новизну роботи підтверджено патентом України на корисну модель.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

1. Змодельований приймач СКзФП дозволяє отримати рівномірний розподіл сонячного проміння по поверхні розташованих на ньому ФЕ. Це, у власну чергу, сприяє збільшенню ККД системи в цілому за рахунок збільшення вихідних параметрів фотоперетворювачів. У той самий час застосування систем, що концентрують, для фотоелектричного перетворення призводить до зниження споживання дорогих напівпровідникових матеріалів та зменшення займаних площ для отримання даної потужності, а, отже, до здешевлення.

2. Змодельований дискретний відбивач СКзФП, на який було отримано патент України на корисну модель, дозволяє рівномірно розподіляти сонячне проміння по приймачеві – СБ. Це призводить до збільшення вихідної потужності та зниження ризику руйнування окремих ФЕ. Запропонована модель дозволяє отримати слабokonцентрувальні системи, у яких коефіцієнт концентрації залежить від числа встановлених плоских відбивачів.

3. Розроблений спосіб визначення квазіфокальних точок і ліній заломленого потоку дозволяє виявити в заломленому потоці сонячного проміння область з максимальною інтенсивністю, що сприяє знаходженню найбільш оптимального розташування приймача – ФЕ. Дана теорія також може бути використана в інших сферах, де застосовуються лінзи.

4. Теоретична база щодо застосування заломлення в СКзФП на основі квазіфокальних точок і ліній дозволяє використовувати лінзи більш простої геометричної форми, які відповідно простіші у виготовленні, ніж лінзи Френеля.

5. Використання охолодження в СКзФП дозволяє отримати, крім електричної енергії, теплову, що призводить до збільшення загального ККД та підвищення ефективності роботи ФЕ.

6. Результати роботи були впроваджені в Кримському територіальному управлінні «МТС Україна», м. Сімферополь (КТУ «МТС Україна») і фірмі «КТК», м. Севастополь, про що отримані відповідні акти. Формами реалізації є запропоновані моделі СКзФП та рекомендації щодо удосконалення за допомогою концентраторів.

Теоретичне значення одержаних результатів полягає у розробці методик моделювання СКзФП з рівномірним розподілом енергії на приймачеві, способів виявлення квазіфокальних точок і ліній заломленого потоку для поверхонь обертання і плоско-опуклих лінз та методики розрахунку температури ФЕ з урахуванням конвективних втрат, обсягу нагрітої води.

Вірогідність наукових результатів та основних висновків підтверджено складанням аналітичних описів у середовищі Maple, а також експериментально.

Особистий внесок здобувача.

Основні наукові результати, які наведені в дисертаційній роботі, отримані автором за період навчання в аспірантурі з 2006 до 2010 р.

Експериментальні дослідження проводилися особисто. Дисертація є самостійним дослідженням і оформлена у вигляді рукопису. Конкретна участь автора підтверджується низкою особистих публікацій [2–5, 7, 8, 11, 13, 14] та у співавторстві, відповідно [1, 6, 9, 10, 12, 15, 16], регулярною апробацією на міжнародних

і регіональних конференціях.

Внеском здобувача в роботу є наступні основні положення, представлені до захисту:

- методика геометричного моделювання та розрахунку дискретного відбивача СКзФП, що забезпечує рівномірний розподіл сонячного випромінювання по приймачеві, на якому розташовуються ФЕ;
- спосіб моделювання дискретного приймача з рівномірним розподілом відбитого потоку;
- методика розрахунку температури ФЕ і кількості відведеного теплоносієм тепла з урахуванням конвективних втрат у слабokonцентрувальних установках;
- експериментальні дані дослідження змодельованого дискретного концентратора;
- розвиток теорії квазіфокальних точок і ліній для заломленого лінзами потоку;
- методика вивчення заломленого лінзами потоку для виявлення розташування приймача, заснована на теорії квазіфокальних точок і ліній, а також моделювання для цього випадку дискретного приймача.

Внесок співавторів спільних публікацій міститься в обговоренні наукових ідей і результатів комп'ютерної реалізації геометричних моделей. Отримані під час проведення роботи теоретичні та практичні результати викладені в основних публікаціях.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на:

- внутрішньовузівських конференціях НАПКБ у 2005, 2010 рр.;
- VII і X Міжнародних конференціях «Відновлювана енергетика XXI століття», що проводились в Криму на базі Інституту відновлюваної енергетики НАНУ в 2006, 2009, 2010 рр.;
- Міжнародних конференціях з прикладної геометрії та інженерної графіки «Сучасні проблеми геометричного моделювання» в м. Мелітополь в 2007, 2008, 2009, 2011 рр.;
- V, VI і VII Міжнародних конференціях «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія та дизайн», що проводились в Криму в 2008, 2009, 2010 рр.;
- III конференції молодих вчених «Биосфера XXI века» у м. Севастополь в 2009 р.;
- VII Міжнародній науково-практичній конференції «Геометричне моделювання і комп'ютерний дизайн», що проводилась у м. Одеса в 2010 р.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 14 наукових праць (статті [1 – 14]) і 2 патенти [15, 16] України, з них 9 без співавторів, усі в фахових виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із переліку умовних позначень та скорочень, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 145 найменувань і 3 додатків.

Робота містить у собі 191 сторінку, з них 160 сторінок основної частини, у тому числі 105 рисунків і 5 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкривається сутність наукової проблеми та її актуальність. Також сформульовано мету та задачу дослідження, показано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача. Наведено схеми, які відображають структуру виконання роботи і використання для цього теоретичного матеріалу.

Перший розділ має аналітичний характер. У ньому розглянуто різноманіття існуючих на сьогодні систем, що концентрують, які призначені як для отримання теплової енергії, так і електричної, а також їх ефективність. Основне функціональне призначення систем, що концентрують, – підвищення щільності потоку сонячного проміння до рівня, що забезпечує його ефективне перетворення на енергію необхідного виду. Вони складаються з приймача і концентратора. Під приймачем мають на увазі елемент системи, де відбувається поглинання радіації та перетворення її на інший вид енергії. Концентратор являє собою оптичну систему, яка направляє потік проміння на приймач.

У роботі наведені формули для інсоляційного розрахунку і методики моделювання потоків відбитих і заломлених променів. Описано визначення квазіфокальних точок і ліній для різних поверхонь, що відбивають. Наведено принцип роботи ФЕ. При створенні СКзФП необхідно враховувати, що збільшення температури ФЕ і нерівномірність розподілу енергії по приймачеві – СБ призводять до погіршення вихідних параметрів і зниження ККД. Також розглянуті дослідження зі створення систем з розподілом енергії, близьким до рівномірного. Наведені приклади існуючих установок, але не всі вони враховують обумовлені фактори, а, отже, можна і потрібно провести вдосконалення і розробку нових моделей.

Другий розділ присвячений моделюванню систем, що концентрують, з відображенням променів, які можуть забезпечити рівномірність розподілу сонячного проміння по приймачеві – СБ. Причому в роботі запропоновано два варіанти: з дискретним приймачем і з дискретним концентратором (відбивачем). Було прийнято, що системи є слідкуючими. У першому випадку для параболоциліндричного відбивача приймач, загальна форма якого нагадує контури самого концентратора, складатиметься з окремих пластин з ФЕ, що мають різну орієнтацію в просторі (рис. 1). Рівняння кривої, що проходить через середини відрізків ламаної на рис. 1

$$y_N = \frac{p}{2} - \frac{x_N}{\operatorname{tg}(\Sigma\beta_i + \frac{\beta_N}{2})}, \quad (1)$$

де p – відстань від директриси до фокуса параболи ($p/2$ – відстань від нижньої точки концентратора до фокуса);

$$(\Sigma\beta_i + \frac{\beta_N}{2}) = \arcsin\left(\frac{N \cdot S}{R_{fN}}\right) - \text{кут нахилу відображеного променя до оптичної осі};$$

S – ширина однієї ділянки апертури концентратора, поділеної на N однакових частин;

N – номер ділянки при розрахунку від оптичної осі;

R_f – відстань від фокуса до точки поділу двох сусідніх ділянок концентратора.

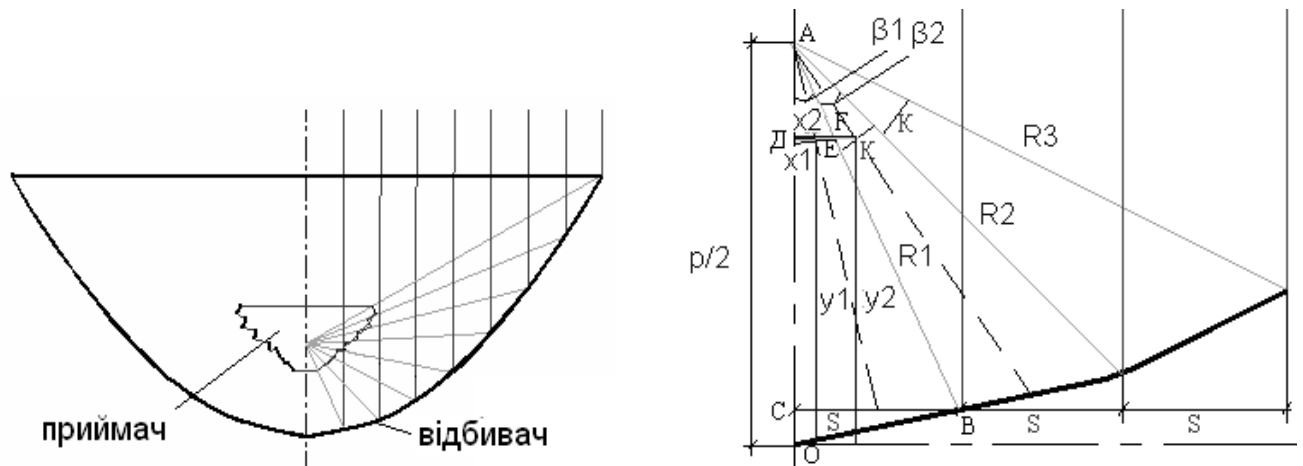


Рис. 1. Моделювання дискретного приймача

Для параболоциліндричних концентраторів отримана та проаналізована залежність коефіцієнта концентрації та температури від кута розкриття. Також проведено порівняння для плоского і циліндричного приймачів. При значеннях до 55° вигідніше використовувати циліндричні приймачі, після – плоскі.

Розглянуто вплив кута нахилу і розміру плоского відбивача на коефіцієнт концентрації. При нормальному падінні променів, чим більший кут нахилу, тим більшою повинна бути ширина дзеркал. При відхиленні променів коефіцієнти концентрації зменшуються. Але для великих кутів нахилу відбивачів до СБ зміна розміру менш виражена. Для моделювання дискретного концентратора використовувалися плоскі дзеркала. Причому їх ширина d_i і кут нахилу α_i розраховуються за формулами таким чином, щоб усе падаюче проміння рівномірно розподілялось по поверхні приймача з шириною b_{CB} – СБ, паралельної падаючим променям внаслідок стеження за сонцем. Кут нахилу першого відбивача α_1 вибирається (обґрунтовано, що краще $20 - 30^\circ$), другого і третього

$$\sin 2\alpha_2 = \frac{2 \sin 2\alpha_1}{\sqrt{1 + 8 \sin^2 \alpha_1}}, \quad (2)$$

$$\sin 2\alpha_3 = \frac{(1 + \sqrt{1 + 8 \sin^2 \alpha_1}) \cdot \sin 2\alpha_2}{\sqrt{4 \cdot \sin^2 \alpha_2 + (1 + 8 \cdot \sin^2 \alpha_1) + 4 \cdot \sin^2 \alpha_2 \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \sin^2 \alpha_1}}}, \text{ і т. д.}, \quad (3)$$

а ширина рахується за допомогою виразу:

$$d_i = 2 \cdot b_{CB} \cdot \sin \alpha_i. \quad (4)$$

Результат моделювання за алгоритмом (рис. 2) зображений на рис. 3.

Коефіцієнт концентрації кожного окремо взятого відбивача менший за одиницю, але загальний у сумі дасть деяке значення >1 , яке залежить від числа ділянок N і початкового кута α_1 . Плоска конструкція приймача спрощує створення системи охолодження.

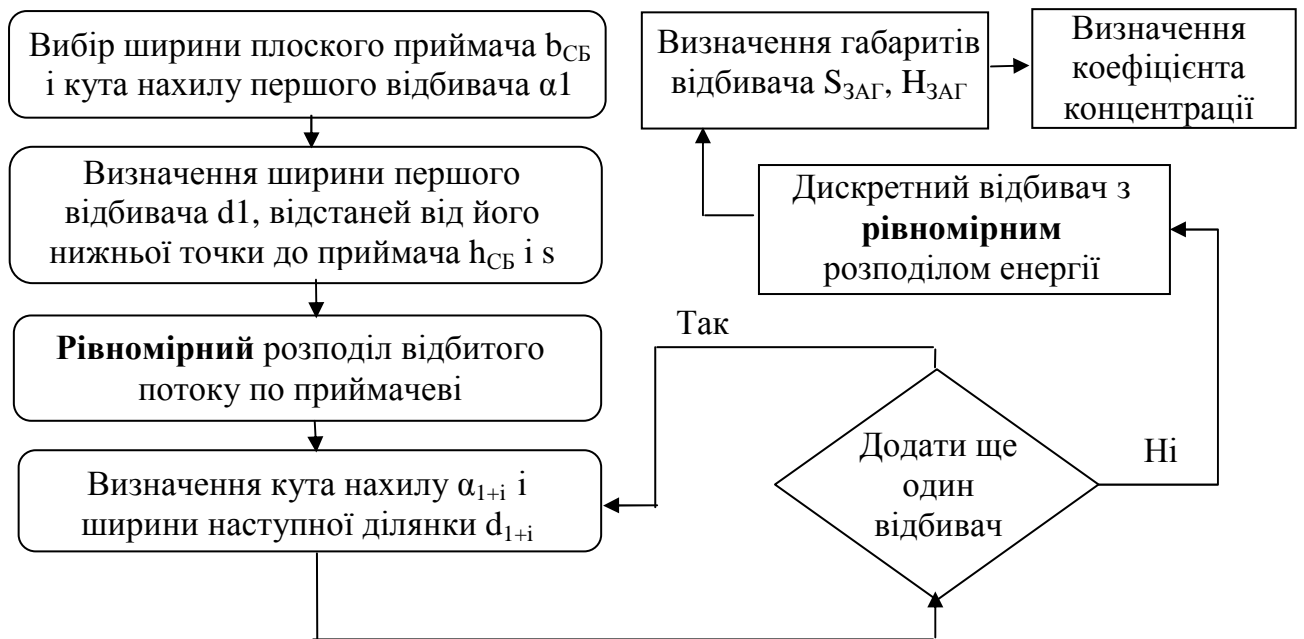


Рис. 2. Алгоритм моделювання дискретного відбивача

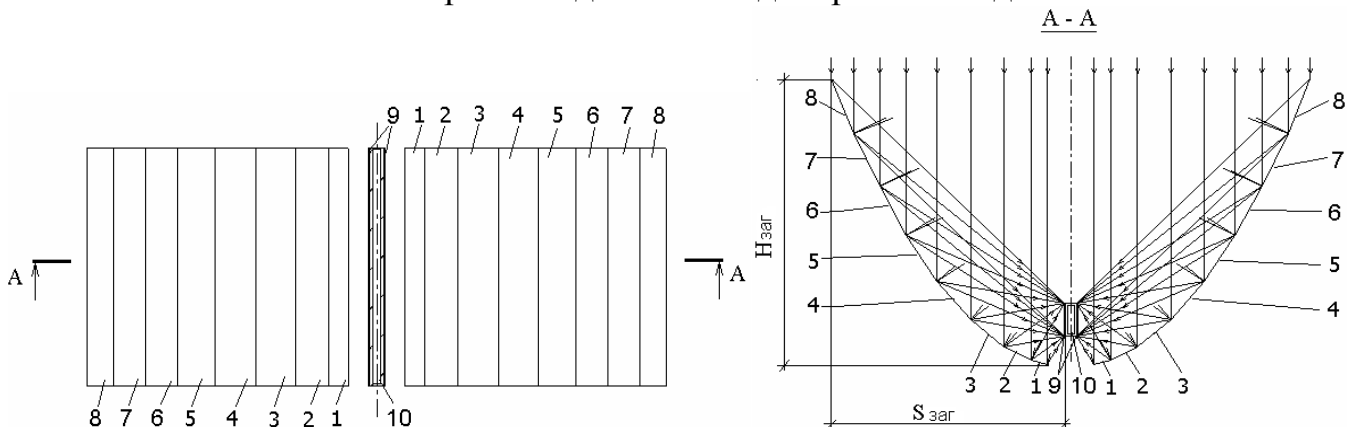


Рис. 3. Дискретний концентратор

У програмі Maple було здійснено комп'ютерну реалізацію моделі. Відповідно, розрахунок проводився для кута $\alpha_1 = 200$, $b_{CB} = 80$ і $N = 8$.

У **третьому** розділі описано методику графічного та аналітичного визначення положення квазіфокальних точок і ліній для поверхонь заломлення і плоско-опуклих лінз, створених на основі поверхонь обертання. Таким чином, можна виявити, у якій зоні розташування приймача стане найбільш ефективним. Квазіфокальною точкою при ламанні поверхнею називається одна з двох граничних точок на подвійній кривій поверхні заломлених променів уздовж твірної (лінія кривини), поблизу якої зосереджена основна частка енергії. Квазіфокальною лінією поверхні заломлених променів називається однопараметрична множина квазіфокальних точок.

Для довільного випадку (рис. 4), заданого функціональною залежністю, показано заломлення падаючого в точку А променя. Радіус кривини в даній точці ОА. AF' , відповідно, заломлений промінь. Точка F є квазіфокальною в разі відображення променя від поверхні. Отримано такі співвідношення. Відстань від точки А до F' при зламі світла:



Рис. 4. Квазіфокальні точки при зламї та відображенні сонячного променя поверхнею обертання

$$AF' = \frac{OA \cdot \sin(\psi)}{\sin(\psi - \chi)}, \quad (5)$$

де ψ – кут падіння;

χ – кут заломлення.

Відстань від вершини конуса нормалей O до квазіфокальної точки F' при зламї світла:

$$OF' = \frac{OA \cdot \sin(\chi)}{\sin(\psi - \chi)}. \quad (6)$$

Відстань між квазіфокальною точкою F при відображенні та квазіфокальною точкою F' при зламї:

$$FF' = \frac{AF' \cdot \sin(\psi + \chi)}{\sin(2\psi)} = \frac{OA \cdot \sin(\psi) \cdot \sin(\psi + \chi)}{\sin(\psi - \chi) \cdot \sin(2\psi)}. \quad (7)$$

Координати квазіфокальної точки:

$$x_{\max} = OF' \cdot \sin(i) \quad \text{і} \quad z_{\max} = z_0 - OF' \cdot \cos(i), \quad (8)$$

де i – кут між падаючими сонячними променями і площиною ZOY .

Квазіфокальною точкою потоку заломлених лінзою променів називається одна з двох граничних точок на падаючому промені, що проходить через середину перетину лінзи, поблизу якої зосереджена основна частка сонячної енергії.

Для поверхонь і плоско-опуклих лінз механізм визначення квазіфокальних точок різний, тому виявлені залежності між їх координатами. Координата $x_{\text{пер}}$ для лінзи може бути знайдена за формулою

$$x_{\text{пер}} = \frac{(z_{\text{pp}} - z_{\text{p1}}) \cdot \text{tg}(\chi_2) + x_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{y_1}{x_{\max} - x_1}\right)^2 + 1}}{\sqrt{\left(\frac{y_1}{x_{\max} - x_1}\right)^2 + 1} + \text{tg}(\chi_2) \cdot \text{tg}(i)}, \quad (9)$$

де χ_2 – кут заломлення нижньою поверхнею;

x_1 і y_1 – координати точки перетину заломлених променів верхньою поверхнею лінзи з нижньою поверхнею;

z_{p1} і z_{pp} – координати z перерізу та нижньої поверхні лінзи,

а апліката має менше значення для лінзи, порівняно з поверхнею заломлення на величину

$$\Delta z = \left(\frac{x_{\max}}{\text{tg}(\psi_2)} - \frac{x_{\text{пер}}}{\text{tg}(\arcsin(\frac{n_2}{n_1} \cdot \sin(\psi_2)))} \right), \quad (10)$$

де ψ_2 – кут нахилу променів, заломлених верхньою поверхнею лінзи, до вертикальної осі;

n_1 і n_2 – показники заломлення першого та другого середовища.

Були отримані квазіфокальні точки і лінії (рис. 5) за допомогою комп'ютерної реалізації розробленого алгоритму (рис. 6). Показано зміну положення і форми квазіфокальних ліній, залежно від кута нахилу падаючого на лінзу проміння.

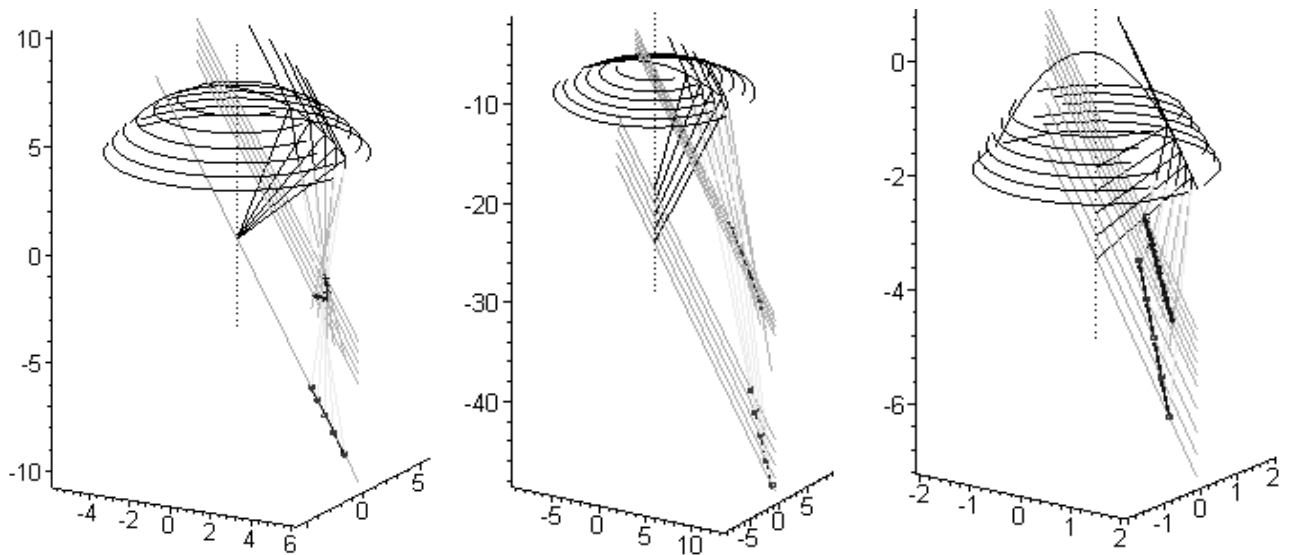


Рис. 5. Квазіфокальні лінії для плоско-опуклих лінз, виготовлених на основі:
а). сфери; б). гіперboloїда обертання; в). параболоїда обертання



Рис. 6. Алгоритм визначення квазіфокальних точок

У четвертому розділі описано механізм визначення рівномірності розподілу заломленого сонячного проміння на приймачеві. Розглянуто циліндричну поверхню та лінзи з різними перерізами. Для поверхні проведено порівняння між плоским приймачем та у вигляді ортотоміки. У другому випадку розподіл енергії більш рівномірний, тобто з максимальною відзнакою на 0,52 одиниць замість 3,97. Але необхідно врахувати, що конструктивно даний варіант більш складний у виготовленні, особливо у зв'язку з розміщенням ФЕ. Для циліндричних лінз з перетинами у вигляді частини кола, еліпса і параболи при розміщенні плоского приймача на однаковій відстані від верхньої та нижньої меж поділу середовищ (при однаковій апертурі) найбільші коефіцієнти концентрації спостерігаються для частини кола та еліпса, відповідно. Ці самі перетини забезпечать більш рівномірний розподіл енергії по плоскому приймачеві.

Крім циліндричних, у роботі розглядаються плоско-опуклі лінзи на основі поверхонь обертання. Для них розроблено алгоритм графічного та аналітичного опису нерівномірності сконцентрованого на плоскому приймачеві проміння. Конгруенція потоку падаючого на лінзу випромінювання була розбита на окремі квадрати 1×1 , тобто з однаковою інтенсивністю. Далі отримані зображення цих квадратів на січну приймальну площину, наприклад, $z = x \cdot \tan(i) - 2$ (рис. 7). Периферійні області відрізняються за площами приблизно в 9 разів, а центральні вісім областей мають меншу відзнаку, тобто в гіршому випадку приблизно в 2 рази. Залежно від положення січної площини, а, отже, і приймача, можна отримати більші чи менші значення площ і коефіцієнтів концентрації. Координати квазіфокальної точки з максимальним значенням аплікати (2,82; 0; -1,43). Розташування приймача – СБ нижче за рівень -1,43 не є доцільним, що обумовлено накладенням окремих пучків заломленого потоку та відсутністю впорядкованої структури.

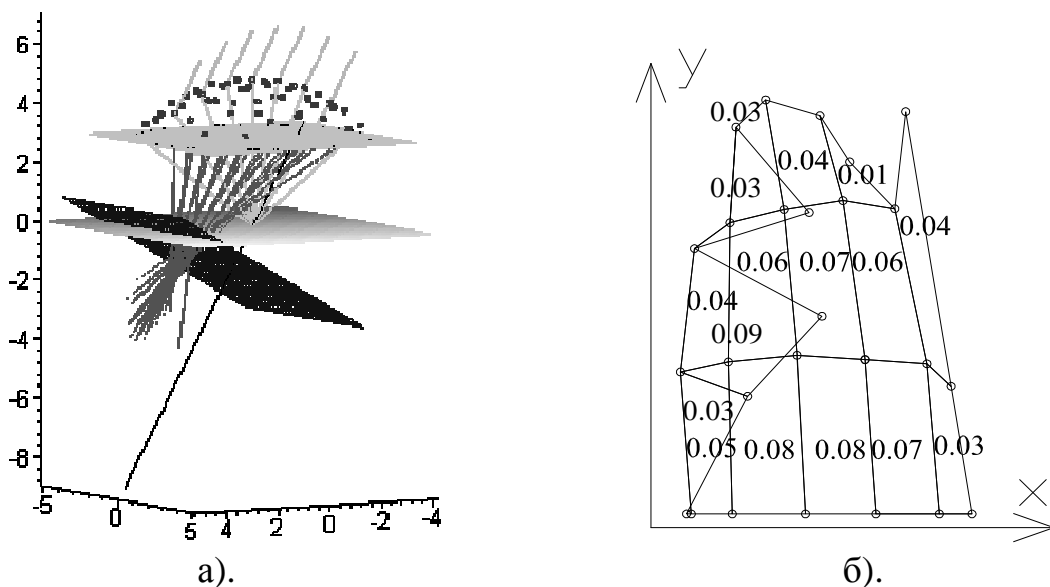


Рис. 7. Заломлення падаючих сонячних променів лінзою, виготовленою на основі сфери (а), та площі зображень для приймача, перпендикулярного подвійній кривій при $z = x \cdot \text{tg}(i) - 2$ (б)

У роботі запропоновано і реалізовано в програмі Maple дві методики моделювання дискретних приймачів, що забезпечують більш рівномірний розподіл енергії. На підставі отриманих результатів (рис. 7, б), вибирається вихідний чотирикутник, а решта зі зміною розмірів та форми переміщуються вниз або вгору вздовж заломленого потоку так, щоб їх площі зрівнялися (рис. 8, а). Максимальна різниця склала 1,65 %. Зсув обчислюється за формулою:

$$z'_{sm} = -\frac{x_{nk}}{\operatorname{tg}(90^\circ + i)} - \left\{ zll_{nk} + \frac{[q_{nk} - x_{nk}] \cdot (zpp - zll_{nk})}{(q_{nk} - xl_{nk})} \right\}, \quad (11)$$

де q і zll – координати точок перетину заломлених лінзою променів з площиною XOZ (площиною симетрії лінзи);

xl – координата точки перетину заломлених верхньою поверхнею лінзи променів з нижньою поверхнею;

x – значення координати перетину заломленого лінзою променя з ділянкою дискретного приймача;

n – індекс, що позначає належність параметра до заломлених променів з меншим значенням абсциси для сторони однієї ділянки приймача;

k – індекс, що позначає належність параметра до сторони ділянки приймача з меншими значеннями координат y .

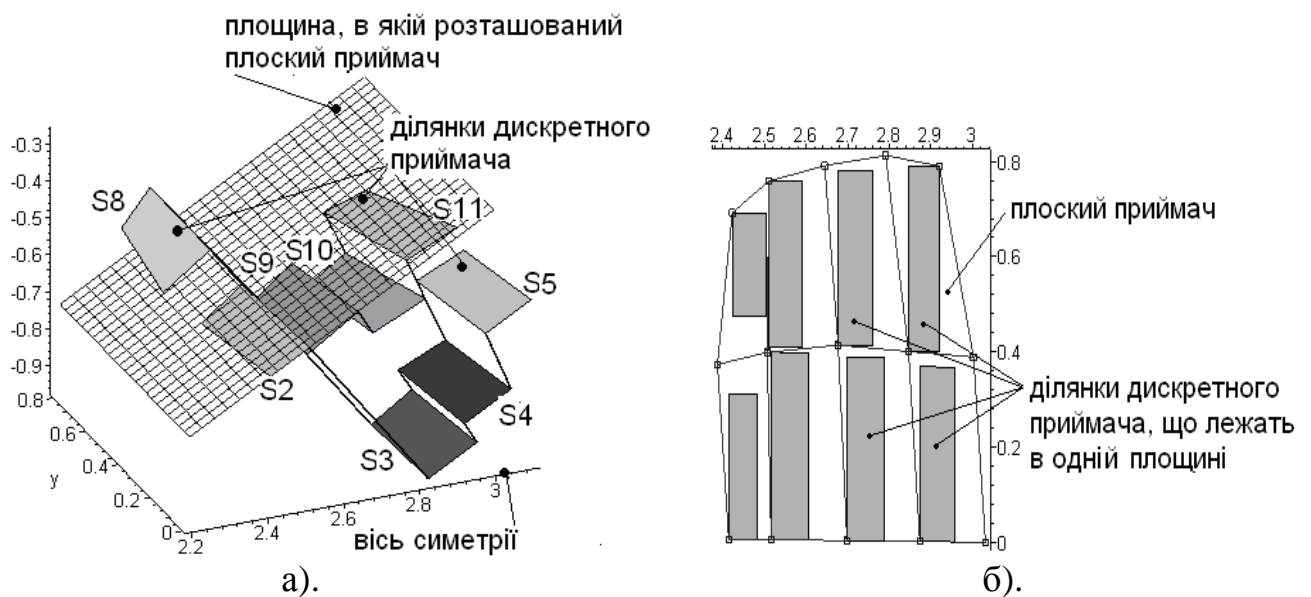


Рис. 8. Дискретний приймач з різними рівнями ділянок (а) і з ділянками, що лежать в одній площині (б)

Друга методика полягає в тому, що в один з чотирикутників на рис. 7, б з меншою різницею абсцис вписується прямокутник з максимально можливою площею. Далі, з урахуванням різниці щільності проміння на кожній ділянці, проводиться розрахунок площ і координат інших прямокутників. При цьому всі вони лежатимуть в одній площині (рис. 8, б), але між ними виникають зазори. Наявність зазорів можна використовувати для отримання теплової енергії. Розподіл

проміння по дискретному приймачеві при цьому рівномірний, але його площа в два рази менша за площу плоского приймача.

Проведено експериментальне дослідження параметрів відбивача (рис. 9), змодельованого у другому розділі. Геометричний коефіцієнт концентрації дорівнює 5. Вимірювання інтенсивності падаючого проміння (рис. 10) проводилося для горизонтального приймача, під час стеження за сонцем і при концентрації. Причому сконцентрований потік сонячних променів визначався за центром ФЕ і чотирма кутами з подальшим підрахунком середнього значення. Це дозволило визначити, що він дійсно рівномірний (розбіжність менша за 4%). При концентруванні інтенсивність, порівняно з горизонтальною поверхнею, збільшилась у 2,55 раза.

У режимі без навантаження потужність при концентрації сонячного проміння максимум у 4,75 раза вища за потужність, що виробляється горизонтальним ФЕ, та у

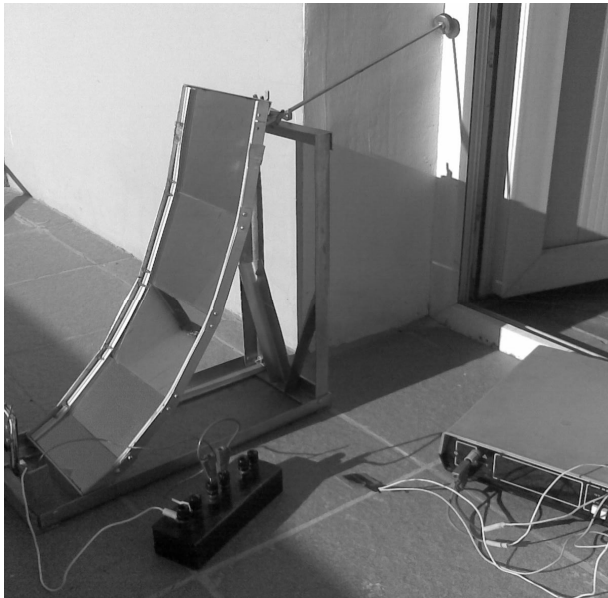


Рис. 9. Модель дискретного відбивача

2,69 вища за значення при спостереженні за сонцем (рис. 11). Аналогічно, при підключенні навантаження цифри склали 3,34 і 2,2. ККД ФЕ при концентрації збільшився до двох разів у режимі без навантаження і до 1,5 раза під навантаженням, порівняно з горизонтальним розташуванням.

У роботі також запропоновано спосіб визначення температури поверхні фотоелементів і кількості охолоджуваної до необхідного рівня води, що враховує конвективні тепловтрати, проведено розрахунок і показані результати для конкретного прикладу.

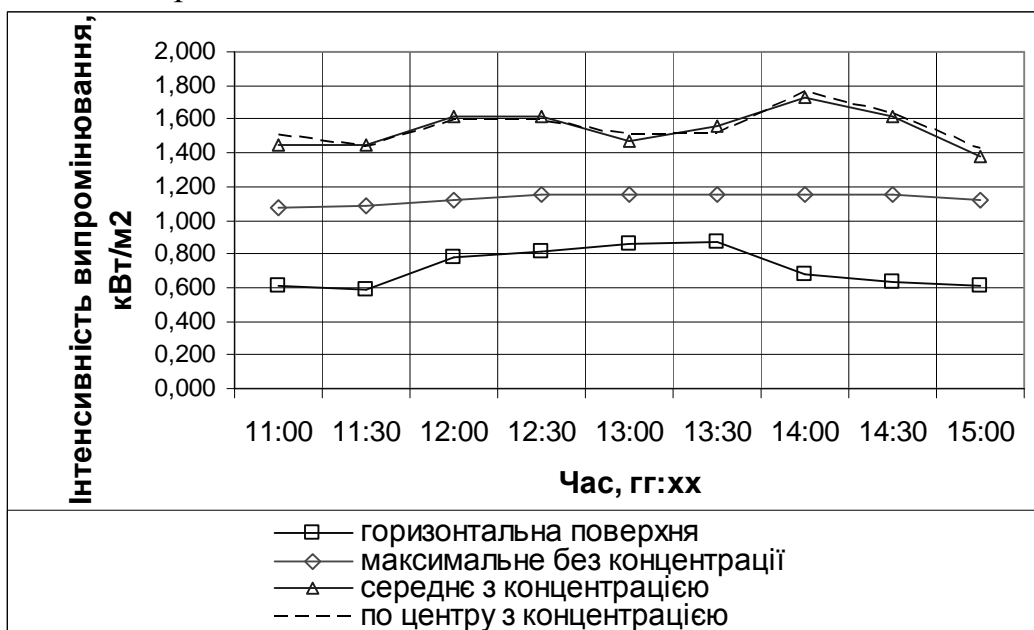


Рис. 10. Залежність інтенсивності сонячного випромінювання від часу

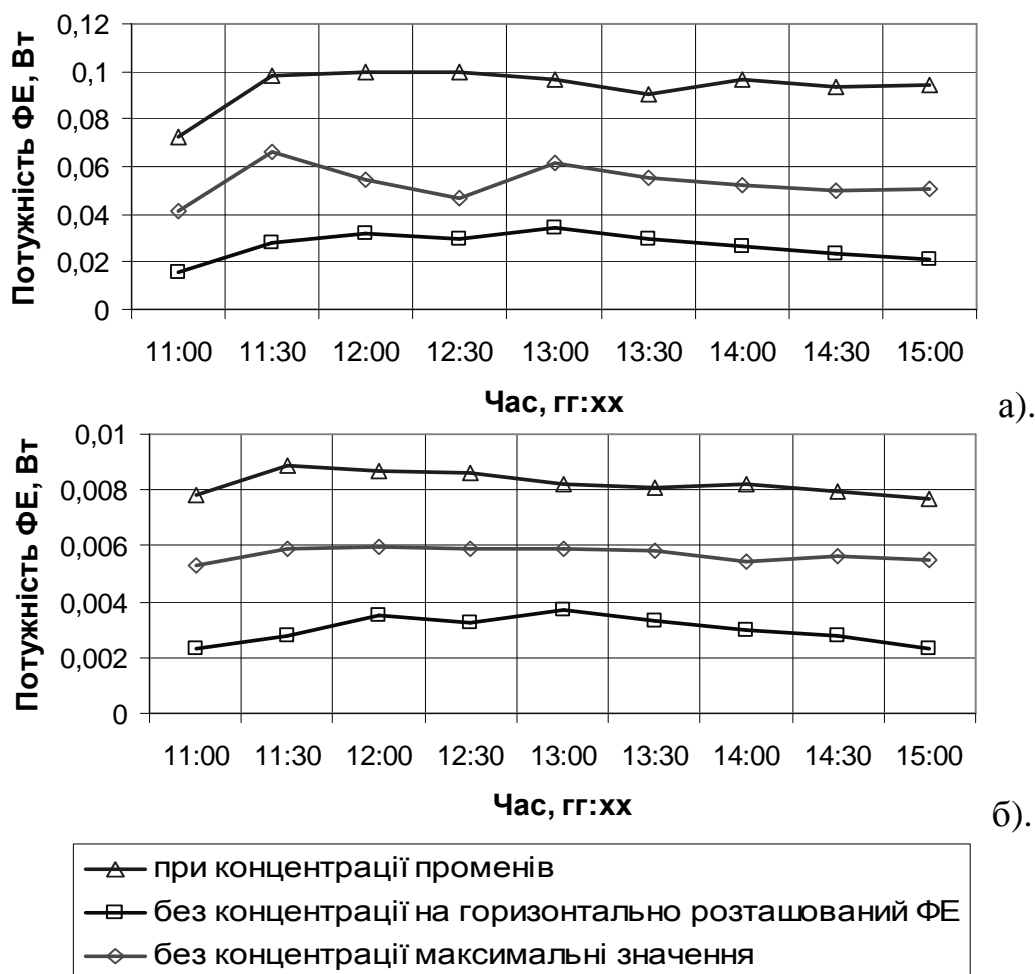


Рис. 11. Зміна потужності ФЕ: а). без навантаження; б). з навантаженням

ВИСНОВКИ

Метою дослідження є розробка теоретичної та аналітичної бази для моделювання СКзФП, які забезпечують рівномірний розподіл сонячної енергії на приймачеві – СБ.

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове розв'язання наукової задачі, що виявляється в моделюванні СКзФП, які забезпечують рівномірний розподіл сонячної енергії на приймачеві – СБ. Це необхідно для підвищення ККД систем. Нерівномірність освітлення призводить до погіршення вихідних параметрів СБ, а у зв'язку з тим, що ціна їх досить велика, а ефективність при низьких значеннях щільності падаючого проміння мала, то таке моделювання, відповідно, підвищує економічну доцільність використання не тільки систем, що концентрують, але і фотоперетворювачів.

Значення для науки: дістав подальшого розвитку спосіб визначення квазіфокальних точок і ліній. Розроблені методики моделювання дискретних приймачів та відбивача СКзФП, що забезпечують рівномірний розподіл енергії на приймачеві. Наведено методику визначення температури ФЕ в СКзФП і кількості води, яку можна нагріти при їх охолодженні, що враховує конвективні втрати тепла.

Значення для практики: розроблено алгоритм і програму визначення квазіфокальних точок і ліній при заломленні сонячних променів, що дозволить виявити зони розміщення приймачів, в яких вони уловлюватимуть більшу частину енергії. Запропоновано алгоритми моделювання дискретних приймачів і відбивача, що сприяють збільшенню рівномірності розподілу сонячного проміння та проведено експериментальні дослідження цього відбивача.

При цьому отримані результати, що мають науково-практичну цінність:

1. Аналіз попередніх досліджень показав, що застосування СКзФП може підвищити ККД, зменшити площу, що займають СБ, і кількість необхідних ФЕ, що, відповідно, призведе до зниження вартості системи сонячного електропостачання. Проблемами, які потребують вирішення в даному випадку, будуть: необхідність враховувати форму відбивача і приймача для кожного окремо взятого випадку у зв'язку з різними здатностями до концентрування і зміною форми та розміру зони, яка сприймає випромінювання при руху сонця по небосхилу; підвищення температури приймача призводить до зниження вихідної потужності, що вимагає передбачити систему охолодження; нерівномірність розподілу потоку відбитого або заломленого сонячного проміння сприяє виходу з ладу та зменшенню вихідних параметрів деяких окремо взятих ФЕ, а, отже, і всієї системи в цілому.

2. Змодельований дискретний приймач рівномірно сприймає відбиті промені. Він складається з окремих ділянок рівної ширини, що мають різну орієнтацію в просторі, на цих ділянках розташовуються ФЕ. Це дозволяє отримати найкращі вихідні параметри фотоелектричної системи: струм, напругу і потужність, – унаслідок того, що параметри кожного окремого ФЕ розрізняються незначно і не виникає "бар'єру" для струму у вигляді менш освітлених елементів.

3. Змодельовано дискретний концентратор, що складається з окремих дзеркал однакової довжини, але різної ширини і кутом нахилу до осі, паралельної падаючому потоку проміння. Ширина і кути нахилу визначаються за допомогою розрахунку, що забезпечує рівномірний розподіл потоку сонячного проміння на приймачеві – СБ. Коефіцієнт концентрації в цьому випадку знаходиться підсумовуванням значень, які було одержано від окремих дзеркал. Складено програму в середовищі Maple, що полегшує розрахунок. На дану модель отримано патент України. Конструкція приймача у вигляді трубки, по один або два боки якої кріпляться ФЕ, призначена для відбору тепла теплоносієм, що підвищує загальний ККД СКзФП.

4. Розроблено методику графоаналітичного моделювання процесів заломлення сонячних променів поверхнями обертання і плоско-опуклими лінзами на їх основі, а також розрахунку координат квазіфокальних точок. Таким чином, може бути розв'язане завдання щодо вибору оптимальних параметрів, форми і положення приймача, що уловлює максимальну кількість проміння.

5. Запропоновано методику визначення нерівномірності розподілу сонячного проміння по поверхні плоского приймача при концентрації за допомогою плоско-опуклих лінз. Складено відповідну програму в Maple. Розташування площини приймача нижче за квазіфокальну точку з максимальним значенням координати z

призводить до відсутності впорядкованої структури потоку. Змодельовано дискретний багаторівневий приймач, що складається з чотирикутників різних розмірів і форми, який відповідно до проведеного аналізу забезпечує нерівномірність близько 1,67 %, у той час, як плоский при тих самих умовах – 50 %. Це дозволяє збільшити ККД систем, що концентрують, коли заломлені промені збираються на ФЕ. Крім того, змодельовано дискретний приймач, який складається з прямокутників, що лежать в одній площині, якій забезпечує рівномірний розподіл енергії. Оскільки частина площі не зайнята ФЕ, то таким чином збільшується площа охолоджуючої конструкції, що сприяє отриманню теплової енергії.

6. Проведено випробування моделі дискретного концентратора з геометричним коефіцієнтом концентрації, що дорівнює 5. ККД ФЕ при концентрації збільшився у 2 рази у режимі без навантаження і у 1,5 раза під навантаженням порівняно з горизонтальним розташуванням. Це зумовлено збільшенням потужності до 4,75 без навантаження і до 3,34 раза з навантаженням, відповідно, та інтенсивності сонячного випромінювання на приймачеві до 2,55 раза. При спостереженні за сонцем ККД буде більшим, ніж при горизонтальному розташуванні приймача, але меншим, ніж при використанні концентратора. СКЗФП забезпечує рівномірне опромінення приймача сконцентрованим відбитим потоком.

7. За результатами роботи отримані акти впровадження в Кримському територіальному управлінні «МТС Україна», м. Сімферополь (КТУ «МТС Україна») і фірмі «КТК», м. Севастополь.

Подальший розвиток досліджень можна вести в напрямку визначення нових геометричних форм відбивачів, здатних забезпечити рівномірність розподілу сонячного проміння. Також за допомогою теорії квазіфокальних точок і ліній доцільно шукати нові форми приймачів заломленого сонячного потоку, у тому числі й для отримання теплової енергії. Як показали дослідження, конструкція може бути у вигляді ортотоміки, тому необхідний механізм її визначення для різних лінз.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Воскресенская С.Н. Анализ систем получения электроэнергии с помощью фотоэлектрических установок/ Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н.// Строительство и техногенная безопасность: сб. науч.тр. Вып. 10. – Симферополь, 2005. – С. 179–184.

Особисто автором: проведено аналіз росту використання фотоелектричних систем, наведені параметри системи перетворення змінного струму на постійний.

2. Воскресенская С.Н. Моделирование приемника концентратора с фотоэлементами при равномерном распределении энергии солнца/ Воскресенская С.Н.// Відновлювальна енергетика ХХІ століття: сб. науч.тр. – АР Крим, пос. Миколаївка, 2006. – С. 96 – 99.

3. Воскресенская С.Н. Геометрическое моделирование дискретного концентратора с равномерным распределением энергии на плоском приемнике/ Воскресенская С.Н.// Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Випуск 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Том 35. – Мелітополь, 2007. – С. 136–143.

4. Воскресенская С.Н. Деление кривой на участки равной длины с использованием программы MAPLE/ Воскресенская С.Н.// Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Випуск 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Том 38. – Мелітополь, 2008. – С. 122-129.

5. Воскресенская С.Н. Использование преломления в концентрирующих установках с фотоэлементами в качестве приемника/ Воскресенская С.Н.// Прикладна геометрія та інженерна графіка. Випуск 80. – К.: КНУБА, 2008. – С. 339–342.

6. Воскресенская С.Н. Квазифокальные точки поверхностей преломлённых лучей/ Дворецкий А.Т., Воскресенская С.Н.// Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Мелітополь, 2009. – Вип. 4, том 44. – С. 52 –58.

Особисто автором: розроблена методика геометричного та аналітичного опису квазифокальних точок і ліній при заломленні сонячних променів поверхнями обертання.

7. Воскресенская С.Н. Использование концентраторов солнечного излучения для индивидуальных потребителей/ Воскресенская С.Н.// Биосфера XXI века: сб. науч.тр. – Севастополь, 2009 – С. 92 – 94.

8. Воскресенская С.Н. Аналитическое описание квазифокальных точек преломленного потока для поверхностей вращения/ Воскресенская С.Н.// Прикладна геометрія та інженерна графіка. Випуск 82. – К.: КНУБА, 2009. – С. 330 – 334.

9. Воскресенская С.Н. Охлаждение фотоэлементов, размещенных на приемнике в концентрирующих солнечных установках/ Воскресенская С.Н., Бекиров Э.А.// Відновлювана енергетика. – 2009. – № 4 (19), Київ. – С. 25 – 29.

Особисто автором: розроблена методика визначення температури поверхні фотоперетворювачів, яка враховує конвективні тепловтрати, та обсягу охолоджуваної до потрібного температурного рівня води.

10. Воскресенская С.Н. Влияние формы приемника концентрирующей установки на коэффициент концентрации и температуру/ Воскресенская С.Н., Кузнецов П.Н.// Актуальные проблемы архитектуры, строительства и энергосбережения: сб. науч. тр. – Симферополь, 2010. – С. 100 – 104.

Особисто автором: проаналізовано вплив кута розкриття відбивача на ступень концентрації та температуру в фокальній плямі, а також на плоскому та циліндричному приймачеві.

11. Воскресенская С.Н. Квазифокальные точки поверхностей преломленных лучей двумя границами раздела сред линз/ Воскресенская С.Н.// Прикладна геометрія та інженерна графіка. Випуск 84. – К.: КНУБА, 2010. – С.134 – 138.

12. Воскресенская С.Н. Особенности применения концентрирующих установок в фотоэлектрических системах/ Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н.// Відновлювальна енергетика XXI століття: сб. науч.тр. – АР Крим, 2010. – С. 165–167.

Особисто автором: наведені переваги при використанні концентраторів з фотоелектричним перетворенням, а також фактори, які перешкоджають їх впровадженню; спосіб обчислення параметрів плоских відбивачів, і ширини відбивачів, що направляють промені на приймач, при русі сонця по небосхилу.

13. Воскресенская С.Н. Применение линз, созданных на основе поверхностей вращения, для концентрации солнечного излучения на фотоэлементах/Воскресенская С.Н.//

Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Київ, 2010.–Вип. 86.–С. 311 – 315.

14. Воскресенская С.Н. Моделирование дискретного приемника – фотобатареи в потоке преломленных линзой лучей/ Воскресенская С.Н.// Технічна естетика і дизайн: Міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 8.–К.: Віпол, 2011.–С. 69–74.

15. Пат. 40023 Україна, МПК⁷ F24J2/00. Сонячний трубчастий вакуумований колектор/ Воскресенська С. М., Муровський С.П., Муровська Г.С., Мех Д.В.; заявник і патентовласник Національна академія природоохоронного і курортного будівництва. – № u200811353; заявл. 19.09.2008; опубл. 25.03.2009, Бюл. №6. – 3 с., іл.

Особисто автором: розроблено модель сонячного трубчастого вакуумованого колектора з фотоелементами, яка забезпечить крім теплової енергії, ще й теплову.

16. Пат. 45399 Україна, МПК⁷ F24J2/06. Концентратор сонячної батареї/ Воскресенська С.М., Дворецький О.Т.; заявник і патентовласник Національна академія природоохоронного і курортного будівництва. – № u200905356; заявл. 28.05.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21. – 12 с., іл.

Особисто автором: розроблена геометрична модель концентратора та проведено її аналітичний опис.

АНОТАЦІЯ

Воскресенська С.М. Моделювання потоків відбитих і заломлених сонячних променів при рівномірному розподілі енергії стосовно створення фотоелектричних систем. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка. – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2012.

Дисертаційна робота присвячена розробці теоретичних основ геометричного моделювання процесів віддзеркалення і заломлення сонячних променів у системах, що концентрують з фотоелектричним перетворенням.

Запропоновано два методи здобуття рівномірності розподілу сонячного проміння при віддзеркаленні від різних поверхонь: шляхом моделювання дискретного приймача і дискретного відбивача. Для другого випадку проведено комп'ютерну реалізацію, теоретичне та експериментальне дослідження роботи отриманої моделі. На неї отриманий патент України.

Отримала подальший розвиток теорія використання квазіфокальних точок і ліній шляхом розробки алгоритмів їх моделювання та аналітичного опису для потоку сонячних променів, заломлених поверхнями та плоско-опуклими лінзами на основі поверхонь обертання.

Розроблено алгоритм графічного та аналітичного опису нерівномірності сконцентрованого на плоскому приймачеві випромінювання для плоско-опуклих лінз, створених на основі поверхонь обертання. Запропоновані та реалізовані в програмі Maple дві методики моделювання дискретних приймачів.

Результати роботи були впроваджені в Кримському територіальному управлінні «МТС Україна», м. Сімферополь і фірмі «КТК», м. Севастополь, про що

отримані відповідні акти.

Ключові слова: система, що концентрує, фотоелектричне перетворення, приймач, відбивач, квазіфокальна точка, квазіфокальна лінія, лінза.

АННОТАЦІЯ

Воскресенская С.Н. Моделирование потоков отраженных и преломленных солнечных лучей при равномерном распределении энергии применительно к созданию фотоэлектрических систем. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.01 – Прикладная геометрия, инженерная графика. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, 2012.

Диссертационная работа посвящена разработке теоретических основ геометрического моделирования процессов отражения и преломления солнечных лучей в концентрирующих системах с фотоэлектрическим преобразованием. В работе обобщены сведения о принципе работы и классификации существующих концентрирующих систем для получения тепловой и электрической энергии. Повышение температуры приемника – солнечной батареи, состоящей из отдельных фотоэлементов, и неравномерность распределения солнечного излучения по его поверхности, приводит к ухудшению выходных параметров. Анализ показал необходимость создания таких новых эффективных концентрирующих систем с фотоэлектрическим преобразованием, в которых были бы учтены эти факторы.

В работе предложено два способа получения равномерности распределения солнечного излучения при отражении от различных поверхностей: путем моделирования дискретного приемника и дискретного отражателя. Для первого случая выполнена разработка теоретических основ моделирования, получено уравнение кривой, проходящей через середины отрезков ломаной, ограничивающей приемник. Для второго случая приведен графо-аналитический алгоритм моделирования дискретного отражателя, состоящего из плоских зеркал, имеющих различную ширину и угол наклона отражателей. Проведена его компьютерная реализация в программе Maple, а также теоретическое и экспериментальное исследование работы полученной модели. На нее получен патент Украины.

Получила дальнейшее развитие теория использования квазифокальных точек и линий путем разработки алгоритмов их моделирования и аналитического описания для потока солнечных лучей, преломленных поверхностями и плосковыпуклыми линзами на основе поверхностей вращения. Это позволяет выявить в преломленном потоке область с максимальной интенсивностью, что способствует определению наиболее оптимального расположения приемника. Для поверхностей и плосковыпуклых линз механизм определения квазифокальных точек различен. Выполнена компьютерная реализация разработанных алгоритмов.

Разработан алгоритм графического и аналитического описания неравномерности сконцентрированного на плоском приемнике излучения для плосковыпуклых линз, созданных на основе поверхностей вращения. Предложены и

реализованы в программе Maple две методики моделирования дискретных приемников. Первая заключается в размещении отдельных участков на различных уровнях по отношению к одной плоскости. При этом все участки имеют разную форму четырехугольников и размеры. Вторая методика заключается в размещении разных по размерам прямоугольных участков приемника в одной плоскости. Причем они вписываются в четырехугольники, являющиеся изображениями квадратов с одинаковой интенсивностью падающего солнечного излучения на плоскость, расположенную в преломленном потоке, поэтому между участками есть зазоры. Наличие зазоров можно использовать для получения тепловой энергии.

При работе над диссертацией принято участие в качестве исполнителя в двух госбюджетных научных темах. Результаты работы были внедрены в Крымском территориальном управлении ПраО «МТС Украина», г. Симферополь и фирме «КТК», г. Севастополь, о чем получены соответствующие акты.

Ключевые слова: концентрирующая система, фотоэлектрическое преобразование, приемник, отражатель, квазифокальная точка, квазифокальная линия, линза.

SUMMARY

Voskresenska S.N. Modeling of streams of the reflected and refracted sun rays at uniform distribution of the energy with reference to creation of the photo-electric systems. – Manuscript.

The dissertation for a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.01.01 – Applied geometry, engineering graphic. Kiev national university of building and architecture, Kiev, 2012.

The dissertational work is sanctified to development of theoretical bases of geometrical modeling of the processes of reflection and refraction of the sun rays in concentrating systems with photo-electric transformation.

It is offered two methods of reception of uniform distribution of the sunlight at reflection from various surfaces: by modeling of the discrete receiver and a discrete reflector. For the second computer realization of algorithm, theoretical and experimental researches of work of the received model are conducted. On it the patent of Ukraine is received.

The theory of use of the quasifocal points and lines by working out of algorithms of their modeling and the analytical description for a stream of the sun rays refracted by surfaces and flat – bulging lenses on the basis of surfaces of rotation is improved.

The algorithm of the graphic and analytical description of non-uniformity of the radiation concentrated on the flat receiver for the flat – bulging lenses created on the basis of surfaces of rotation is developed. It is offered and is realized in program Maple two techniques of the modeling of discrete receivers.

Results of the work have been introduced in the Crimean territorial administration «MTS Ukraine», Simferopol and firm "КТК", Sevastopol about what corresponding certificates are received.

Keywords: Concentrating system, photo-electric transformation, receiver, reflector, quasifocal point, quasifocal line, lens.