

**МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ**

МАКСИМОВА Марія Олександрівна

УДК 514.18

**ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛЮ
ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕФЛЕКТОРА,
ЩО ДОЗВОЛЯЄ РОЗПОДІЛЯТИ ВІДБИТІ ПРОМЕНІ ЗА ЗАДАНИМ ЗАКОНОМ**

Спеціальність 05.01.01 –
Прикладна геометрія, інженерна графіка

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мелітополь – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: - кандидат технічних наук, доцент

Тормосов Юрій Михайлович,
завідувач кафедри механіки і графіки,
Харківський державний університет
харчування і торгівлі (м. Харків);

Офіційні опоненти: - **доктор технічних наук, професор**

Корчинський Володимир Михайлович,
завідувач кафедри електронних
засобів телекомунікацій,
Дніпропетровський національний університет
(м. Дніпропетровськ);

- кандидат технічних наук, доцент

Кирюшко Віктор Іванович,
завідувач кафедри геометричного
комп'ютерного моделювання,
Харківський національний
аерокосмічний університет (ХАІ)
(м. Харків).

Провідна установа: Національний аграрний університет,
кафедра нарисної геометрії та
інженерної графіки, (м. Київ)

Захист відбудеться "7" жовтня 2004 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради
К 18.819.02 у Таврійській державній агротехнічній академії за адресою:

72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, просп. Б.Хмельницького, 18.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Таврійської державної агротехнічної
академії за адресою:

72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, просп. Б.Хмельницького, 18.

Автореферат розісланий " 3 " вересня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,

кандидат технічних наук, доцент _____ В.М.Малкіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Становлення промислового потенціалу України є неможливим без досліджень у галузі ресурсозберігаючих технологій. Особливої значущості проблеми збереження матеріальних та енергетичних ресурсів набувають для виробництв, які супроводжуються значними витратами сировини та електроенергії при тепловій обробці виробів, обігріву об'єктів тощо. Для багатьох практичних впроваджень технологічно важливим є забезпечення рівномірного обігріву ділянки деякої поверхні. Конструктивні особливості більшості існуючих теплотехнічних установок не дозволяють одержувати рівномірний тепловий потік на теплоприймачі, що не дає змоги дотримуватися усіх вимог протікання відповідних технологічних процесів. Тому актуальною науково-прикладною задачею є розробка більш ефективного обладнання для теплового обігріву шляхом регулювання інтенсивності теплового потоку відповідно до наперед заданих параметрів. Перспективним із цієї точки зору видається удосконалення систем інфрачервоного (ІЧ) обігріву, які мають низку переваг у порівнянні з традиційними (конвективними) апаратами, а саме: більшу швидкість нагріву, економічність, нешкідливість для організму тощо. Основні труднощі при цьому пов'язані з проектуванням пристроїв для концентрування (фокусування) променевої теплової енергії, які називаються рефлекторами або відбивачами.

Центральним питанням розрахунку фокусуючих систем є вивчення впливу форми активної поверхні рефлектора на властивості фізичного поля, утвореного відбитими променями (поля температур, щільності теплового потоку і т.ін.).

Дослідження відбивальних властивостей поверхонь почалися ще у 19 столітті і знайшли своє відображення у класичних трудах французьких та німецьких геометрів: Малюса, Дюпена, Куммера та інших.

Вагомий внесок у розв'язання проблеми геометричного моделювання відбивальних систем було зроблено професором О.Л. Підгорним та його учнями: І.В.Волошиною, А.М.Висоцьким, О.Т.Дворецьким, І.І.Коваленком, Ю.В.Козаком, М.І.Снісаренком, Б.І.Черніковим та іншими вченими. Зауважимо, що в деяких з цих робіт застосовано переважно синтетичний підхід, що утруднює формалізацію розроблених моделей при складанні комп'ютерних алгоритмів.

Суміжні питання формоутворення технічних кривих та поверхонь розглядали В.О.Анпілогова, В.В.Ванін, Л.А.Вайнштейн, М.Герцбергер, С.М.Ковальов, В.Є.Михайленко, В.М.Найдиш, В.С.Обухова, А.В.Павлов, Н.І.Седлецька, І.А.Скидан та інші вчені.

Професором Л.М. Куценком створено науковий напрямок, який полягає у розв'язанні комплексу задач променевої природи на основі спеціальних геометричних моделей та інтерпретацій, зокрема, методу А-відображень. У роботах його учнів: О.Д. Мазуренко, Н.І. Середи, Г.В. Реви, С.В. Росохи та ін. отримано геометричні результати щодо конструювання відбивальних

систем та створено комплекси програм для моделювання перебігу променів у просторі конкретної відбивальної системи.

У роботах Ю.М.Тормосова, присвячених геометричному моделюванню та оптимізації конструкцій ІЧ-апаратів харчових виробництв, значну увагу приділено проектуванню відбивальних систем на базі розв'язання диференціальних рівнянь.

У більшості фокуруючих систем промислових ІЧ-обігрівачів рефлекторам надають однієї з класичних форм – параболічної. Дія таких відбивачів базується на оптичній властивості параболи: якщо розмістити джерело випромінювання у фокусі, то відбиті від параболи промені будуть розташовані паралельно її осі. Однак, як показує практика, ефективність таких відбивальних систем є невисокою. Відповідно актуальними є задачі геометричного моделювання відбивальних поверхонь із наперед заданими властивостями для обігріву технічних і технологічних об'єктів та створення алгоритмів моделювання перебігу відбитих променів для отримання можливості керування інтенсивністю променевого теплового потоку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась відповідно до плану наукових робіт кафедри механіки і графіки Харківського державного університету харчування та торгівлі за темою 17-04-06Б (0104U002588) „Моделювання теплообміну випромінюванням в апаратах ІЧ - обробки харчових продуктів”.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є розробка математичного опису профілю циліндричного відбивача із заданими властивостями та методу визначення форми й розташування відбивачів, які зможуть забезпечити рівномірний розподіл відбитих променів на теплоприймачі.

Об'єктом дослідження є явище відбиття теплових променів від рефлектора за законом Декарта - Снеліуса.

Предметом дослідження є метод геометричного моделювання рефлектора із заданими властивостями та подальшою оптимізацією форми й розташування відбивачів.

Методи дослідження: елементи аналітичної та прикладної геометрії, диференціального обчислення та обчислювальної математики, а також елементи комп'ютерної графіки у середовищі математичного процесора Maple.

Для досягнення мети у дисертації поставлені такі **основні задачі:**

- зробити огляд методів розрахунку відбивальних систем;
- запропонувати метод моделювання рефлектора із заданими властивостями засобами математичного пакета Maple;
- запропонувати спосіб визначення раціональних параметрів синусоїдальних відбивачів та їх розташування у теплотехнічній системі для забезпечення рівномірного розподілу променів на теплоприймачі.

-розв'язати низку тестових прикладів із відомими або прогнозованими результатами для перевірки вірогідності запропонованого методу;

-впровадити метод при конструюванні рефлекторів для обігрівальних приладів.

Наукову новизну роботи складають:

-опис керуючої розподілом відбитих променів функції (РВП-функції), яка задає закон розподілу відбитих променів на лінійному теплоприймачі;

-метод визначення форми профілю рефлектора з наперед заданими властивостями шляхом розв'язання спеціального диференціального рівняння;

-спосіб раціонального конструювання форми та розташування синусоїдальних відбивачів з врахуванням технологічних вимог.

Вірогідність та обґрунтованість одержаних результатів підтверджується графічними зображеннями „картини” розподілу відбитих променів для тестових прикладів, результатами проведеного експерименту та розрахунками реальної відбивальної системи в процесі впровадження методу в практику.

Практичне значення одержаних результатів. Викладені в дисертації результати досліджень є теоретичною основою для практичного використання інформаційного забезпечення при проектуванні відбивальних систем на основі сучасних математичних пакетів. Одержані результати дозволяють створювати та впроваджувати в технологічну практику алгоритми профілювання відбивальних систем із заданими властивостями в залежності від виду технологічного процесу. Графічна інформація допоможе приймати обґрунтовані рішення при конструюванні рефлекторів. Результати роботи впроваджені при конструюванні відбивальних систем обігрівальних приладів на підприємстві АОЗТ „Українські мотори”, що підтверджується довідкою про використання запропонованої методики.

Особистий внесок здобувача. Особисто автором виконано теоретичні дослідження та складено алгоритми для моделювання відбивальної системи з наперед заданими властивостями та визначення раціональних параметрів форми й розташування синусоїдальних відбивачів.

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

-V міжнародній конференції з математичного моделювання (м. Херсон, 2002 р.);

-міжнародній конференції „Сучасні проблеми геометричного моделювання” (м. Львів, 2003 р.);

-науковому семінарі кафедри нарисної геометрії та графіки НТУ „ХПІ” під керівництвом А.М. Краснокутського (м. Харків 2002 - 2004 р.);

-науковому семінарі кафедри механіки і графіки ХДУХТ під керівництвом Ю.М. Тормосова (м. Харків 2004 р.);

-науковому семінарі кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки ТДАТА під керівництвом В.В. Найдиша (м. Мелітополь 2004 р.).

Публікації. За результатами досліджень у фахових виданнях, які рекомендовано ВАК України, опубліковано 9 робіт, з них 5 статей - одноосібно.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури із 118 найменувань та додатків. Робота містить 120 сторінок основного тексту та 75 рисунків.

ЗМІСТ РОБОТИ.

Вступ містить загальну характеристику роботи. Обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі досліджень. Показано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** розглянуто геометричні аспекти конструювання відбивальних систем. Найбільш поширеними підходами до моделювання відбивальних систем є методи математичної фізики, конструктивно-синтетичні методи, теорія математичних бильярдів, графо-аналітичні та інші методи. Обґрунтовано доцільність застосування графо-аналітичного методу для проектування відбивальних систем. Виконано огляд результатів дисертаційних досліджень, присвячених профілюванню відбивачів. Визначено основні задачі, що виникають у процесі конструювання відбивальних систем: геометричне моделювання *сім'ї відбитих променів, фронтів відбитих хвиль (еквірефлектів)* та *катакаустик* відбитих променів. Обґрунтовано необхідність геометричного моделювання перебігу променів при проектуванні відбивальних систем. Можливість візуального контролю при комп'ютерній реалізації моделювання перебігу променів дозволяє забезпечити раціональне проектування відбивальних систем та оперативне усунення помилок. Наведено приклади доцільності геометричного моделювання перебігу променів у прецизійних відбивальних системах еліптичного та бінапівеліптичного типів; розглянуто метод розрахунку параболічної антени, що забезпечує рівномірну інтенсивність та співфазність потоку відбитих від неї променів.

Запропоновано спосіб моделювання відбитих променів у синусоїдальних відбивальних системах. Профіль за формою синусоїди був обраний завдяки тому, що виготовлення таких систем є технологічно простим та низьковитратним. Якщо джерело променів розмістити в точці квазіфокуса синусоїди $y = 0,7072 (1 - \cos x)$ таким чином, що ордината джерела променів буде на рівні кінців фрагмента синусоїди, то, у силу двоїстості, відбиті синусоїдою промені розташуються “майже паралельно” осі Оу (рис. 1).

Відбиті від синусоїди промені
при $k = 0.7072$

Катакаустики синусоїди
 $y = 0.7072 (1 - \cos x)$

Рис. 1.

Другий розділ дисертації присвячено питанням складання алгоритмів для розрахунку відбивальних систем.

Рис. 2. Схема
відбивальної системи.

На рис. 2 зображено перетин нормальною площиною елементів відбивальної системи, яка складається з джерела випромінювання 2 (трубчастий ТЕН); теплоприймача 1 (смуга на площині) та циліндричного відбивача 3. Передбачається, що елементи теплопередачі є необмеженими у напрямку нормалі площини рисунка, а діаметром ТЕНа можна знехтувати. Побудуємо систему падаючих на відрізок осі Ox променів, що надходять з точкового

джерела з однаковим кутовим кроком (рис. 3). Припустимо, що отримано певний розподіл відбитих від рефлектора променів на цьому ж відрізку (рис 4). Рівномірний обігрів відрізка можна забезпечити у тому випадку, якщо закони перетину променів прямого та відбитого випромінювань з віссю Ox будуть взаємно оберненими.

Рис. 3. Схема прямого
опромінювання

Рис. 4. Схема відбитого
опромінювання

Таким чином, необхідно мати змогу керувати розподілом відбитих від рефлектора променів за наперед заданим законом.

Розглянемо схему відбивальної системи та її характерні точки: S (джерело), P (точка відбиття прямого променя від рефлектора) і T (точка перетину відбитого променя з віссю Ox) (рис. 5).

Утворюємо нову систему координат. По горизонталі відкладемо абсцису точки P падіння променя на рефлектор x_P , а по вертикалі - абсцису точки T падіння відбитого променя на вісь $Ox - x_T$. Графік отриманої залежності визначає функцію W (рис. 6), яка є ключовим елементом для визначення форми відбивача і названа **керуючою розподілом відбитих променів функцією** (керуюча РВП- функція).

Рис. 5. Три характерні для відбивальної
системи точки

Рис. 6. Відповідність між
точками x_P та x_T

Відбиті від профілю рефлектора у точці з координатами $(x; y(x))$ промені, можна визначити за допомогою ортотоміки:

$$x_{Ort}(x) = 2y' \frac{H + xy' - y}{1 + y'^2}; \quad y_{Ort}(x) = 2 \frac{Hy'^2 - xy' + y}{1 + y'^2} - H. \quad (1)$$

Ці рівняння дозволяють отримати координати точки зустрічі відбитого променя з теплоприймачем:

$$x_T = x + \frac{y y'^2 + 1}{H - y y'^2 - 1} \frac{x - 2y y' y'x - y + Hy'}{2xy'}. \quad (2)$$

Нехай потрібний закон розподілу відбитих променів на осі Ox визначається функцією $W(x)$. Тоді для опису відбивача, який реалізує цей закон, маємо диференціальне рівняння:

$$x + \frac{y y'^2 + 1}{H - y y'^2 - 1} \frac{x - 2y y' y'x - y + Hy'}{2xy'} = W(x). \quad (3)$$

Для опису форми профілю рефлектора $y = y(x)$, що забезпечить на осі Ox закон розподілу відбитих променів згідно з функцією $W(x)$, необхідно розв'язати задачу Коші для диференціального рівняння з початковою умовою $y(0) = \text{const}$.

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{Wx + y^2 - yH - x^2 \pm \sqrt{U}}{2yx + WH - Hx - Wy}, \quad (4)$$

де (4) є розв'язком рівняння (3) відносно похідної y' .

Знак перед радикалом у формулі (4) вибирається так, щоб у результаті розв'язання визначався профіль рефлектора для додатних значень параметра x .

Повертаючись до розв'язання задачі рівномірного опромінювання відрізка, встановимо закон розподілу точок перетину прямого випромінювання з віссю Ox , який описується функцією $V(x)$. Графік функції $V(x)$ будується наступним чином: по вертикальній осі відкладаємо абсциси точок перетину променів із віссю Ox , а по горизонтальній - номери відповідних променів (рис. 7). Враховуючи, що закони перетину променів прямого та відбитого випромінювань з віссю Ox мають бути взаємно оберненими, графік керуючої

РВП-функції буде симетричним графіку функції $V(x)$ щодо бісектриси кута, який утворюють напрямки відповідних осей (рис. 8).

Ці графіки можна описати за допомогою редактора формул *TbCurv2d* функціями $\sqrt{x} = 0,8 + 0,15V$ та $W = 6,67\sqrt{x} - 5,33$.

Рис. 7. Графік функції $V(x)$
“прямого” опромінення

Рис. 8. Графік функції $W(x)$
“відбитого” опромінення

Розглянуто тестовий приклад розв’язання оберненої задачі променевого теплообміну. В якості керуючої РВП-функції обрано функцію $W=x$ (рис. 9). Розв’язуємо диференціальне рівняння:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{10y^2 - 10Hy + x - \sqrt{U}}{10xy - y + H}, \quad (5)$$

де $U = 100y^2 + 1x^2 + 100y^4 - 200Hy^3 + 100H^2 + 1y^2 + H^2 - 2Hy$

з початковою умовою $y(0)=50$. Для аналізу розв’язку побудуємо поле ізоклін диференціального рівняння, з якого видно, що розв’язок належить цьому полю (рис. 10).

Побудуємо ортотоміку, яка у даному випадку є прямою (рис. 11), та систему відбитих променів (рис. 12). Рівняння профілю рефлектора, описаного за допомогою пакету *TbCurve*, має вигляд: $y = 50 - 0,0124x^2$. Це рівняння параболи, що було доведено й аналітичним способом.

Перевірку отриманого розв’язку виконано на основі обчислення похідної, порівняння її аналітичного та “машинного” уявлення та визначення абсолютної похибки. Результати свідчать про прийнятне наближення.

На рис. 13 наведено схему відбивальної системи, яка забезпечує рівномірний нагрів смуги площини при початкових умовах:

$y_0=18$; $S(0, 15)$.

Однією з важливих переваг запропонованого методу є можливість опису кривої

Рис. 13 Система променів,
відбитих від рефлектора.

–відбивача з врахуванням закону, за яким здійснюється розподіл відбитих променів на осі Ox . Певним недоліком можна вважати деяку громіздкість виразу для диференціального рівняння (4) та наявність у ньому знака радикала, що іноді ускладнює обчислювальний процес.

У розділі 2 розглянуто ще один спосіб розрахунку форми кривої-відбивача з точковим джерелом випромінювання. Задача полягає у визначенні такої форми відбивальної кривої, яка б забезпечила потрапляння усіх відбитих променів у задану точку площини на основі складання та розв’язання більш простого диференціального рівняння. Точка $K(0, z_K)$ визначає конкретний відбивач серед множини можливих відбивачів. Вважатимемо, що форму відбивача можна описати рівнянням $z = z(x)$. Для складання диференціального рівняння, якому задовольняє функція $z(x)$, визначимо три вектори, що характеризують процес відбиття: вектор

нормалі до відбивальної кривої $\vec{n} = \left\{ \frac{\partial z}{\partial x}, -1 \right\}$, вектор, що падає на відбивальну криву

$\vec{ST} = x, z - H$, та вектор, який за напрямком є оберненим щодо відбитого променя

$\vec{AT} = x - a, z$. На основі рівності косинусів кутів α та β одержуємо тотожність:

$$\frac{x \frac{\partial z}{\partial x} + H - z}{\sqrt{x^2 + (z - H)^2}} = \frac{(x - a) \frac{\partial z}{\partial x} - z}{\sqrt{(x - a)^2 + z^2}}, \quad (6)$$

або, після спрощень, маємо шукане диференціальне рівняння:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{(H - z) \sqrt{(x - x_A)^2 + z^2} - z \sqrt{x^2 + (z - H)^2}}{(x - x_A) \sqrt{x^2 + (z - H)^2} - x \sqrt{(x - x_A)^2 + z^2}}. \quad (7)$$

Розглянемо варіант розрахунку відбивальної системи з параметрами $H = 5$; $z_k = 5$; $x_A = x$; $a = -10$; $b = 10$; $N = 30$. H – ордината джерела променів S ; z_k – ордината точки K ; x_A – абсциса точки-приймача відбитого променя; a та b – межі зміни величин x , для яких можна визначити відбивальну криву; N – дискретність інтервалу $[a, b]$ при обчисленні поліному

$$u := -0.1229621732 \cdot 10^{-10} x^6 - 0.4718591022 \cdot 10^{-12} x^5 + 0.2732564502 \cdot 10^{-8} x^4 + 0.5951944430 \cdot 10^{-10} x^3 - 0.05000022103 x^2 - 0.1566611690 \cdot 10^{-8} x + 5.000000055$$

Графік абсолютної похибки свідчить, що в результаті виконання програми одержано *точний опис кривої*. Пояснити це можна особливістю прикладу, яка полягає у тому, що в якості „точки приймача” обрана вісь Ox , на що вказує тотожність $x_A = x$. В результаті врахування

тотожності $x_A = x$ диференціальне рівняння (7) суттєво спрощується і набуває вигляду

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{z - \sqrt{x^2 + z^2}}{x}.$$

Розв'язання диференціального рівняння (7) дозволяє визначити на

площині еліпсоподібну або параболічноподібну відбивальну криву, яка проходить через наперед задану точку (рис. 14).

Рис. 14. Поле ізоклін і відбивальна крива.

Перевага цього способу, порівняно з попереднім, полягає у повністю автоматизованому отриманні розв'язку задачі. При цьому немає необхідності використовувати інше програмне забезпечення під час обчислення.

У **третьому розділі** описано проведення експерименту для перевірки теоретичних досліджень та представлено аналіз його результатів, а також розглянуто спосіб раціонального конструювання форми та розташування системи синусоїдальних відбивачів. Наведено приклад впровадження розглянутого способу. Для перевірки коректності запропонованих методик створено експериментальну установку (рис.15).

Рис. 15. Схема та вигляд експериментальної установки.

Робота установки базується на оптичному методі, який дозволяє визначати розподіл енергії, що пропускає опромінений аркуш паперу за допомогою фотографування та подальшої комп'ютерної обробки отриманої інформації. Запропонована установка дає можливість здійснювати експеримент, змінюючи взаємне розташування випромінювача, рефлектора й опроміненої поверхні та використовуючи рефлектори з профілями різної форми.

Проведено кілька серій досліджень для різних форм відбивача та розташування випромінювача і отримано фотографії опроміненої поверхні (рис. 16).

Рис. 16. Фотографії зображення на екрані опроміненої поверхні для двох варіантів спрофільованих відбивачів.

Результати комп'ютерної обробки фотографій - перетворення зображень у поле інтенсивності теплового потоку – наведено на рис.17. Таким чином, теоретичні розрахунки мають експериментальне підтвердження.

Рис. 17. Розподіл інтенсивності теплового потоку на поверхні екрану для двох варіантів спрофільованих відбивачів

Запропоновано метод визначення раціональних параметрів форми та розміщення синусоїдальних відбивачів. На рис. 18 зображено схему теплотехнічної системи для обігріву приміщення. Форма відбивача задається шириною відбивача s та амплітудою k синусоїди, що його

створює. Параметри c , k та відстань між відбивачами d можуть легко варіюватися в реальних умовах. Треба визначити форму відбивачів та розміщення їх відносно один одного таким чином, щоб забезпечити рівномірний розподіл відбитих променів на теплоприймачі.

Рис. 18. Схема системи обігріву приміщення

Наведемо алгоритм знаходження кращого варіанта розповсюдження тепла по поверхні теплоприймача.

Спочатку визначаємо місця зустрічі відбитого та прямого променів із поверхнею теплоприймача. Далі знаходимо розподіл щільності енергії по поверхні теплоприймача. Для цього ділимо поверхню на елементарні площадки. Потім обчислюємо енергію що падає на кожну

елементарну площадку $E_n = \sum_{i=k}^1 \frac{1}{S_i^2 * E_{\perp}} E_t$. І нарешті, здійснюємо вибір параметрів, при яких

рівномірність нагрівання теплоприймача є кращою. Критерієм рівномірності обрана сума модулів різниць між енергією, що падає на елементарні площадки, та середньою енергією E_{cp} :

$$K_p = \sum_{n=1}^m |E_n - E_{cp}|.$$

Зауважимо, що середня енергія обчислюється за формулою $E_{cp} = \frac{N * E_{\perp}}{m}$ за умови, що усі промені падають на теплоприймач рівномірно під прямим кутом.

Розрахунок оптимальних параметрів відбивача зроблено у такий спосіб. З певним дискретним кроком призначався діапазон зміни параметрів, усередині якого знаходилися декілька екстремумів критерію рівномірності. Далі діапазон варіацій зменшувався й усередині нового діапазону знаходився новий екстремум. Порівняння коефіцієнта нерівномірності для варіантів a та b (рис.18) показує, що розташуванням відбивачів можна домогтися підвищення рівномірності у декілька разів. Запропонований спосіб дозволяє вибирати розташування та форму відбивачів ще на стадії проектування. Очевидно, що розроблена методика може бути застосована для одержання розподілу температурного поля, характер якого обумовлений вимогами конкретного технологічного процесу. Методику впроваджено на підприємстві АОЗТ „Українські мотори” для оптимізації обігріву цеху з нерівномірним розподілом робочих місць, площа якого складає майже 1000 м². Створення комфортних умов праці в зимовий період у цеху здійснюється за допомогою інфрачервоної системи променевого опалення. Система складається з циліндричних труб-випромінювачів та відбивачів. Оскільки в цеху обладнання розміщено в два ряди, то кількість відбивачів є обмеженою. Температурне поле в такій системі має бути таким, щоб на робочих місцях

дотримувалася комфортна для працюючих температура, а нагрів обладнання був незначним. Вводячи вихідні незалежні та керовані дані з врахуванням заданих обмежень до програми оптимізації, отримуємо різні варіанти конструкцій опалювальної системи. Переважним виявився варіант, зображений на рис. 19 а.

$a = 20 \text{ м}, b = 5 \text{ м}$, границі зміни параметрів $1 < c < 2, 1 < d < 3, 0.2 < k < 0.4$.

$a = 20 \text{ м}, b = 5 \text{ м}$, границі зміни параметрів $1 < c < 2, 1 < d < 3, 0.2 < k < 0.4$.

Рис. 18. Варіанти раціонального розташування відбивачів.

Рис. 19. Обраний варіант розташування відбивачів $c=0.5 \text{ м}, k=0.76 \text{ м}, d=11.2 \text{ м}$.

Після монтажу інфрачервоної системи променевого опалення в цеху (рис. 19б) проведено контрольні заміри температури на робочих місцях та місцях розташування обладнання, які показали, що отримані результати задовольняють вимогам даного технологічного процесу. Тому доцільним є використання запропонованого підходу при проектуванні та оптимізації конструкцій опалювальних систем.

ВИСНОВКИ

Дисертація присвячена розробці методів і алгоритмів опису профілю циліндричного відбивача із заданими властивостями та методу раціонального конструювання форми та розташування синусоїдальних відбивачів, які зможуть забезпечити рівномірний розподіл відбитих променів на теплоприймачі.

Одержані наступні науково-практичні результати:

1. Огляд та всебічний аналіз методів проектування відбивальних систем дозволили *визначити* основні задачі, що виникають при проектуванні таких систем, та *обґрунтувати* доцільність геометричного моделювання перебігу променів.

2. Введення поняття *керуючої РВП-функції* забезпечило можливість отримання необхідного закону розподілу відбитих променів на осі Ox та стало ключовим елементом при розв'язанні задачі визначення форми профілю відбивача.

3. Запропонований *метод* моделювання відбивальної системи з наперед заданими властивостями дає змогу проектувати ІЧ-обладнання з врахуванням вимог технологічних процесів.

4. Розроблений *спосіб* розрахунку форми кривої-відбивача з точковим джерелом випромінювання забезпечує потрапляння відбитих променів у задану точку площини, що підвищує можливості керування інтенсивністю теплового потоку в теплотехнічних системах.

5. Запропонований *спосіб* визначення раціональних параметрів форми та розташування синусоїдальних відбивачів дозволяє ще на стадії проектування забезпечити необхідний розподіл променів на теплоприймачі.

6. Вірогідність одержаних результатів *підтверджено* побудовою за допомогою ЕОМ графічних зображень поля ізоклін диференціального рівняння, ортотоміки та системи відбитих променів для тестових прикладів, а також шляхом проведення фотоексперименту.

7. *Впровадження* результатів роботи виконано на підприємстві АОЗТ „Українські мотори” (завод „Поршень”, м.Харків) при проектуванні відбивальних поверхонь опалювальної системи. Реалізація підтверджується довідкою про використання запропонованої у роботі методики.

Основні положення дисертації опубліковано у таких роботах:

1. *Максимова М.О.* Побудова ізоліній рівних запізнень відбитих звуків// Сучасні проблеми геометричного моделювання. Збірка праць міжнародної науково-практичної конференції.-Харків.-2001.-С.171-174.

2. *Тормосов Ю. М., Максимова М.О.* Про циліндричний відбивач, який забезпечить рівномірне нагрівання смуги площини// Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. – 2001. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Т.12. – С. 71-75.

Здобувач розробив алгоритм розподілу відбитих променів від циліндричного відбивача.

3. *Тормосов Ю. М., Максимова М.О.* Властивості синусоїди як відбивача променів тепла// Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. – 2001. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Т.14. – С. 108-112.

Здобувач запропонував раціональне взаємне розташування джерела випромінювання та синусоїдального циліндричного відбивача.

4. *Тормосов Ю.М., Костенко С.М., Максимова М.О.* Геометричне моделювання теплообміну випромінюванням// Стратегічні напрямки розвитку підприємств харчових виробництв і торгівлі: Тези доповідей міжнародної науково-методичної конференції, присвяченої 35-річчю академії/ Редкол.: О.І.Черевко (відпов. ред.) та ін.; Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування.-Харків, 2002.- С.170-172.

Здобувач зробив огляд можливих методів розрахунку теплообміну.

5. *Максимова М.А., Новиков А. А. , Макаров П. А.* Геометрическое моделирование математического бильярда в треугольном сечении пирамиды Хеопса// Геометричне та комп'ютерне моделювання. Збірник наукових праць. - Харків: ХДАТОХ. - 2002. - Вип. 1. – С.55-59.

Здобувач розробив математичне забезпечення алгоритму трасування бильярдної кулі у багатокутнику.

6. *Максимова М.А.* Оптимизация формы и размещения синусоидальных отражателей тепловых лучей// Вестник Херсонского Государственного Технического Университета. – Херсон. – 2002. – Вып. 2(15). – С.301-304.

7. *Максимова М.О.* Визначення геометричних параметрів відбивальної системи у залежності від відомої форми відбивача// Сучасні проблеми геометричного моделювання. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції.-Львів.-2003.- С. 172-176.

8. *Максимова М.А.* Определение формы плоской отражательной кривой, концентрирующей лучи в заданной точке// Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць. - Харків: НТУ “ХПІ”.-2004.-вип. 1.-С. 93-100.

9. *Максимова М.О.* Геометричне моделювання відбивальних систем з різними формами рефлектора// Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції. - Харків. - 2004.- С. 262-268.

Максимова М.О. Визначення профілю циліндричного рефлектора, що дозволяє розподіляти відбиті промені за заданим законом. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.01 - Прикладна геометрія, інженерна графіка. - Таврійська державна агротехнічна академія, Мелітополь, Україна, 2004.

Дисертація присвячена розробці методу визначення форми профілю циліндричного відбивача, який дає можливість розподіляти відбиті від нього промені за наперед заданим законом. Дослідження проводилися з метою профілювання відбивальної поверхні, яка забезпечує „рівномірне” нагрівання теплоприймача. Одержано математичний опис профілю рефлектора у залежності від заданих умов опромінення. Розроблено метод визначення раціональної форми та розміщення синусоїдальних рефлекторів у теплотехнічній системі. Головні результати досліджень є наступними: опис керуючої РВП-функції, яка задає закон розподілу відбитих променів; опис у аналітичному вигляді профілю циліндричного рефлектора; розрахунок та комп’ютерна реалізація раціонального розміщення синусоїдальних відбивачів спільно з аналізом „рівномірності” розподілу енергії по поверхні теплоприймача. Результати роботи було впроваджено на підприємстві АОЗТ „Українські мотори” (завод „Поршень”, м. Харків) при проектуванні відбивальних поверхонь опалювальної системи. Реалізація підтверджується довідкою про використання запропонованої у роботі методики. Матеріали дисертації також використовуються в учбовому процесі Національного технічного університету „ХПІ” у навчальному курсі „Геометричне моделювання явищ та процесів”.

Ключові слова: інфрачервоне випромінювання, керуюча функція, профіль рефлектора, циліндричний відбивач, раціональне конструювання.

Максимова М. А. Определение профиля цилиндрического рефлектора, позволяющего распределять отраженные лучи в соответствии с заданным законом. — Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05. 01. 01. — Прикладная геометрия, инженерная графика. — Таврическая государственная агротехническая академия, Мелитополь, Украина, 2004.

Диссертация посвящена разработке метода определения формы профиля цилиндрического отражателя, который дает возможность распределять отраженные от него лучи по заранее заданному закону. Исследования проводились с целью профилирования отражательной поверхности, обеспечивающей “равномерное” нагревание теплоприемника. Получено математическое описание профиля рефлектора в зависимости от заданных условий облучения. Разработан метод определения рациональной формы и размещения синусоидальных отражателей в теплотехнической системе. Основными результатами исследований являются: описание управляющей распределением отраженных лучей функции

(РОЛ-функции), предназначенной для описания на оси Ox закономерности распределения отраженных лучей; аналитическое описание профиля цилиндрического рефлектора; расчет и компьютерная реализация рационального размещения синусоидальных отражателей относительно друг друга, совместно с анализом “равномерности” распределения энергии на поверхности теплоприемника. Управляющая РОЛ-функция позволяет задавать равномерный закон распределения лучей на теплоприемнике при условии, что известна функция для описания закона распределения точек прямого излучения. Равномерный нагрев поверхности ожидается в том случае, если законы пересечения лучей прямого и отраженного излучения с осью Ox будут взаимно обратными. Приведены формулы, по которым можно вычислить координаты точки встречи отраженного луча с теплоприемником. Составлено дифференциальное уравнение, решение которого дает возможность описать искомый профиль отражателя. Рассмотрен способ расчета формы плоского рефлектора, который обеспечивает попадание всех отраженных лучей в заданную точку. После решения более простого чем в предыдущем способе дифференциального уравнения, получаем описание формы отражателя в виде полинома. Результаты подтверждены как аналитически, путем вычисления абсолютных погрешностей при сравнении соответствующих производных, так и экспериментально. Решена задача обеспечения равномерного нагрева теплоприемника при использовании нескольких отражателей. Для расчета использован рефлектор синусоидального профиля. Предложен способ определения оптимальной формы и взаимного размещения отражателей в системе. Расчет рациональных параметров отражателя происходит по следующей схеме: назначается диапазон изменения параметров, в середине которого находятся несколько экстремумов критерия равномерности; далее диапазон вариаций суживается, и в середине нового диапазона определяется новый экстремум. Разработанный метод позволяет выбрать необходимые параметры отражателя еще на стадии проектирования. Результаты работы внедрены на предприятии АОЗТ “Украинские моторы” (завод “Поршень” г. Харьков) при проектировании отражательных поверхностей отопительной системы. Реализация подтверждена справкой об использовании предложенной в работе методики. Материалы диссертации также применяются в учебном процессе Национального технического университета “ХПИ” в учебном курсе “Геометрическое моделирование явлений и процессов”.

Ключевые слова: инфракрасное излучение, управляющая функция, профиль рефлектора, цилиндрический отражатель, рациональное конструирование.

Maximova M. A. Definition of a cylindrical reflector profile that allows distributing the reflected rays according to the preset law. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05. 01. 01 – applied geometry, engineering graph. – Tavria State Agrotechnical Academy, Melitopol, Ukraine, 2004.

The thesis is devoted to a method of definition of a cylindrical reflector profile, which enables to distribute the rays reflected from it according to the preset law. The researches were carried out with the purpose of reflective surface profiling that provides proportional heating of the heat receiver. Images and the description of a reflectors profile depending on given parameters are received. Also the method of definition of rational parameters of a sinusoid wave reflectors and their disposing regarding each other were developed. During work there were obtained results, which have scientific and practical value. To main outcomes of a thesis it is necessary to refer the description of controlling RRD-function which shows the law of distribution of the reflected rays; the description of an analytical aspect of a cylindrical reflector profile, and also construction of the image of rational disposing of reflectors regarding each other together with the analysis of "equal" energy distribution on a surface of the heat receiver. Results of work were applied at a Company “ Ukrainian motors ” (the factory "Porshen" Kharkov) during designing reflective surfaces of heating system, which is confirmed by the certificate on use of the technique, offered in the work. The materials of a thesis also were used in educational process of National technical university during a training course “ Geometrical modelling of the phenomena and processes ”.

Keywords: infrared radiation, controlling RRD-function, a profile of the cylindrical reflector, rational designing.