

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

АНІСІМОВ Костянтин Віталійович

УДК 514.18

**ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СІМ'Ї КРИВИХ З
УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ПОПЕРЕДНІХ ЕЛЕМЕНТІВ НА
НАСТУПНІ**

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

Київ – 2011

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі нарисної геометрії та графіки Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Шомак Ольга Вікторівна,
завідувач кафедри геометричного моделювання
та комп'ютерної графіки
Національного технічного університету
"Харківський політехнічний інститут"

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Пугачов Євген Валентинович,
професор кафедри архітектури
Національного університету водного господарства
та природокористування (м. Рівне);

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Кужуруза Дмитро Володимирович,
вчений секретар Національного університету
цивільного захисту України (м. Харків)

Захист відбудеться «01» червня 2011 р. 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 ознайомитися в бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою:

03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31

Автореферат розісланий "27" квітня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. А. Бондар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з важливих напрямків розвитку прикладної геометрії є створення способів та геометричних моделей прогнозування об'єктів і процесів, які змінюються у часі та просторі.

Ефективний підхід, що може бути покладений в основу таких способів, полягає у побудові елементів сім'ї кривих складної геометричної форми. В задачах геометричного моделювання гетерогенних процесів ці криві виступають як геометричні моделі ліній розділу фаз розвитку процесу. До зазначених задач відносять і задачу геометричного моделювання контурів вигорання рослинного матеріалу під час лісових пожеж. Ця задача має істотне прикладне значення для розробки систем цивільного захисту населення від лісових пожеж, що завдають величезні і часто непоправні збитки природно-екологічним і матеріальним ресурсам України. Вище наведене обумовлює потребу в створенні теоретичної бази такої експертної системи, яка на основі мінімуму вхідної оперативної інформації давала б короткострокові прогнози.

Одним із перспективних методів досліджень формоутворення сімей кривих як геометричних моделей контурів вигорання рослинного матеріалу при лісових пожежах є метод геометричного моделювання, розвинутий у роботах Л. М. Куценка, О. В. Шоман, А. В. Роміна, С. В. Васильєва та інших. Поняття "лісова пожежа" було абстраговано у вигляді поняття "гетерогенна система", тобто як система станів речовин, де процес горіння вже відбувається і де ще не відбувся, а межу розділу станів речовин було названо *контуром вигорання*. В поняттях прикладної геометрії під "контуром вигорання" розуміли "елемент сім'ї кривих" в геометричній моделі поширення лісової пожежі.

З позицій прикладної геометрії, у зазначених роботах контури вигорання вважалися паралельними кривими, для опису яких використовувалися R-функції, нормальні рівняння, диференціальні рівняння ейконала тощо. Крім того, було розроблено математичний апарат імідажевої екстраполяції, який полягає у синтезі екстрапольованого зображення (іміджу) на основі кількох вхідних зображень, що передували стану процесу в момент моделювання. Тобто за кількома фотознімками району пожежі, зробленими в певні моменти часу, пропонувалося отримати прогнозоване зображення контуру пожежі.

Але згадані результати мають певний недолік – при розрахунках не враховувався вплив попередніх контурів вигорання (геометрична форма яких була відомою) на наступні контури вигорання (геометричну форму яких необхідно було визначити). Легко показати, що за великої кривини контуру вигорання ігнорування цього фактора спотворює геометричну форму наступних контурів.

У роботах з прикладної геометрії Л. М. Куценка, О. В. Шоман, В. М. Попова і Д. В. Кукурузи розроблено спосіб оцінки величини теплового променевого потоку за допомогою методу сфери одиничного радіуса, який можна використати для реалізації взаємного впливу контурів вигоряння.

Таким чином, актуальними є дослідження, пов'язані з розробкою способу врахування впливу попередніх елементів сім'ї кривих, що відповідають контурам вигоряння, геометрична форма яких є відомою, на наступні елементи цієї сім'ї, що відповідають контурам вигоряння, геометричну форму яких необхідно визначити. Наочно це можна показати за допомогою мнемонічної схеми, за якою на даний момент часу на миттєвому контурі вигоряння маємо "стіну" певної висоти, поверхня якої випромінює тепло. На основі методу сфери одиничного радіуса можна побудувати графік розподілу значень локальних кутових коефіцієнтів у зоні майбутніх контурів вигоряння і за допомогою цього графіка скоригувати форму цих контурів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано згідно з тематичним планом проведення бюджетних науково-дослідних робіт Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" (НТУ "ХПІ") в рамках науково-дослідної роботи "Визначення геометричних інваріантів променевої теплопередачі" (№ державної реєстрації 0106U005529), де здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає у розробці способу складання алгоритму розрахунку контурів вигоряння з урахуванням впливів попередніх контурів, характеристики яких визначаються методом сфери одиничного радіуса.

Для досягнення поставленої мети у дисертації поставлено такі *задачі*:

- виконати огляд методів геометричного моделювання сім'ї кривих, які відповідають розвитку контурів гетерогенного типу;
- розробити спосіб прогнозування геометричної форми контуру гетерогенного типу з урахуванням впливів попередніх контурів, характеристики яких визначаються методом сфери одиничного радіуса;
- розвинути графоаналітичний спосіб визначення периметра контуру однозв'язної неопуклої фігури для довільного кута її повороту на площині;
- розвинути метод сфери одиничного радіуса за умови, що приймачем тепла є не площина, а поверхня;
- дослідити різні варіанти елементів випромінювачів тепла (прямокутник, еліпс, еліпсоїд);
- результати впровадити у практику для використання в процесі моделювання та прогнозування лісових пожеж, та у навчальний процес.

Об'єктом дослідження є елементи сім'ї ліній, на геометричну форму яких шляхом передачі тепла променевим способом впливають інші елементи цієї сім'ї.

Предметом дослідження є спосіб складання алгоритму розрахунку геометричної форми елементів сім'ї ліній, вплив на які інших елементів сім'ї можна визначити за допомогою кутових коефіцієнтів випромінювання.

Методи досліджень: основні положення прикладної геометрії та чисельних методів, аналітичної геометрії, елементи теорії обвідних параметричних сімей, теорії апроксимації кривих, використання комп'ютерної графіки.

Теоретичною базою досліджень стали роботи провідних вітчизняних та закордонних вчених:

– в галузі теорії геометричного моделювання та використання геометричних методів: Ю. І. Бадаєва, В. В. Ваніна, О. Т. Дворецького, С. М. Ковольова, Ю. М. Ковальова, В. М. Комяк, В. М. Корчинського, Л. М. Куценка, В. Є. Михайленка, А. В. Найдиша, В. М. Найдиша, В. М. Несвідоміна, С. Ф. Пилипаки, О. Л. Підгорного, А. М. Подкоритова, В. О. Плоского, Є. В. Пугачова, В. Л. Рвачова, К. О. Сазонова, І. А. Скідана, О. В. Шоман, В. П. Юрчука та ін.;

– в галузі моделювання лісових пожеж: Г. А. Доррера, Е. Н. Валендика, Н. П. Курбатського та ін.

Наукова новизна одержаних результатів. Дисертацію присвячено розробці способу геометричного моделювання контурів вигоряння з урахуванням впливів попередніх контурів, характеристики яких визначаються методом сфери одиничного радіуса, де:

– *вперше* запропоновано спосіб геометричного моделювання класу контурів вигоряння гетерогенного типу з урахуванням впливів попередніх контурів, характеристики яких визначаються методом сфери одиничного радіуса;

– *розвинуто* графоаналітичний спосіб визначення периметра контуру вигоряння для обмеженої однозв'язної неопуклої фігури, що не залежить від кута її повороту на площині;

– *удосконалено* спосіб визначення локальних кутових коефіцієнтів випромінювання для фігур загального положення, що розташовані не на координатних площинах (варіант похилого рельєфу);

– *дістав подальшого розвитку* спосіб "іміджевої" екстраполяції для прогнозування геометричної форми контуру вигоряння з використанням нелінійних залежностей.

Вірогідність та обґрунтованість результатів дисертації базується на математичному доведенні тверджень, на аналітичних перетвореннях, комп'ютерній реалізації тестових прикладів, впровадженні у практику.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному. Викладені в дисертації результати досліджень дозволяють створювати геометричні моделі, які дають уявлення про розвиток гетерогенного процесу з урахуванням геометричних умов випромінювання. Алгоритми та програми реалізації створеної геометричної моделі прийнятні для практичного використання під час прогнозування на короткий термін.

Результати дисертаційної роботи впроваджено: в Головному управлінні МНС України у Харківській області щодо моделювання та прогнозування лісової пожежі та коригування вимог до організаційно-технічних заходів із попередження та ліквідації лісових пожеж; в ДП "Чугуєво-Бабчанський лісгосп" щодо візуального моделювання фронтів вигорання з урахуванням променевої складової процесу лісової пожежі; в навчальний процес НТУ "ХП" під час розробки курсів з дисциплін "Геометричне моделювання явищ і процесів", "Теорія геометричного моделювання", "Математичні методи моделювання в наукових дослідженнях" для підготовки бакалаврів за напрямом "Комп'ютерні науки" і спеціалістів за спеціальністю "Інформаційні технології проектування".

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, що складають наукову новизну роботи, одержані особисто здобувачем. Особисто здобувачем виконані теоретичні дослідження з корекції екстрапольованих кривих, що відповідають контурам вигорання, а також складені алгоритми обчислення локальних та інтегральних ККВ та розроблені версії робочих програм.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідались і обговорювались на засіданнях Харківської міської секції графіки під керівництвом проф. Ю. М. Тормосова (м. Харків, 2007–2010 рр.), IV, V і VI Кримських науково-практичних конференцій "Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн" (м. Сімферополь, 2007–2009 рр.), Другій україно-російській науково-практичній конференції "Сучасні проблеми геометричного моделювання" (м. Харків, 2007 р.), Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні проблеми геометричного моделювання" (м. Луцьк, 2008 р.), IX Міжнародній науково-практичній конференції "Актуальні проблеми геометричного моделювання" (м. Мелітополь, 2008 р.), міжвузівських наукових аспірантських семінарах з прикладної геометрії під керівництвом проф. О. Л. Підгорного (КНУБА, м. Київ, 2008–2009 рр.), науковому семінарі з прикладної геометрії під керівництвом проф. А. В. Найдиша (ТДАТУ, м. Мелітополь, 2009 р.), VI Міжнародній науково-практичній конференції "Геометричне моделювання та комп'ютерні технології: теорія, практика, освіта" (м. Харків, 2009 р.),

Міжнародній науково-практичній конференції "Геометричне моделювання та комп'ютерний дизайн" (м. Одеса, 2010 р.).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 7 роботах, з них 7 – без співавторів, 7 робіт у виданнях, які рекомендовано ВАК України.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який включає 140 найменувань, та додатків. Робота містить 138 сторінок тексту та 72 рисунки.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, показано наукову новизну, а також викладено основні наукові та практичні результати, що були отримані під час виконання роботи. Наведено дані щодо апробації та публікації результатів дослідження.

У **першому розділі** здійснено огляд основних літературних джерел, присвячених дослідженню галузей та теорії гетерогенних систем. Показано, що задачу моделювання гетерогенного процесу можна співвіднести з геометричним моделюванням паралельних множин. Це моделювання доцільно здійснити за допомогою сім'ї паралельних (еквідистантних) складних за формою кривих.

Огляд геометричних моделей паралельних множин проведено на основі робіт Л. М. Куценка, О. В. Шоман, А. В. Роміна, С. В. Васильєва, а також В. М. Попова і Д. В. Кукурузи.

Для застосування на практиці необхідно мати саме опис роздільної лінії, адже її геометрична форма може перетворюватися внаслідок того, що на границі розділу середовищ їх фізико-хімічні властивості змінюються у часі. Особливістю гетерогенної реакції є те, що вона характеризується наявністю на площині або у просторі двох різновидів множин – там, де реакція вже відбулася і де вона ще не спостерігалася. Також зазначена реакція потребує явного прояву роздільної лінії або поверхні, яка розмежовує ці множини. Головною задачею є прогнозування форми роздільної поверхні у наперед визначений момент часу. Наголошено, що у гетерогенних системах, які розглядаються, особливу увагу слід приділити звільненій під час реакції енергії по периметру роздільної лінії, яка залежить від геометричної форми цієї лінії, що, у свою чергу, може впливати на подальший розвиток процесу.

Частка впливу звільненої енергії на подальший розвиток гетерогенного процесу в деяких випадках може бути значною. При розрахунках променевого потоку тепла, який надходить з елементарної

площинки dA і спрямований до поверхні B , задача зводиться до обчислення локальних кутових коефіцієнтів випромінювання (ККВ). За визначенням з теорії променевого теплообміну, локальний ККВ обчислюється як відношення потоку випромінювання, що вивільнюється з площинки dA і надходить до поверхні B , до всього потоку, що випромінюється площиною dA у півсферу.

Вибір методу обчислення локальних ККВ визначає ефективність всього алгоритму в цілому. Пряме інтегрування рівнянь потоків енергії для одержання значень ККВ можливе лише у простих випадках. Для реальних систем теплообміну найчастіше використовуються графічні методи, які спираються на метод сфери одиничного радіуса.

Проведений огляд показав, що не дослідженими залишаються питання геометричного моделювання зміни геометричної форми елементів сім'ї кривих, вплив на які попередніх елементів сім'ї визначається через урахування кутових коефіцієнтів випромінювання у часі теплового потоку від умовної "стіни".

У **другому розділі** складено алгоритм розрахунку еквідистант для складних за геометричною формою кривих на основі методу сфери одиничного радіуса.

Зважаючи на прикладний зміст роботи, пов'язаний з розрахунком елементів сім'ї кривих, запропоновано реалізувати алгоритм наступним чином. Фронт гетерогенного процесу розглядається як абстрактну "стіну" (рис. 1), яку розбивають на комірки. Комірки, які складають поверхню "стіни" фронту пожежі, – це випромінювачі, а рослинний матеріал характеризують комірки-приймачі. Залежно від типу рослинного матеріалу комірки можуть бути різними за геометричною формою.

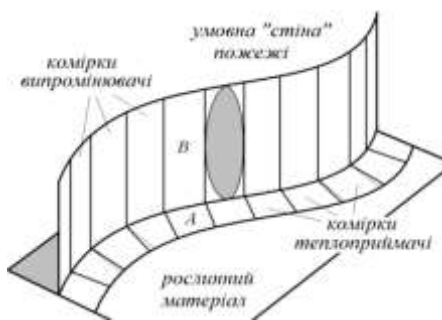


Рис. 1. Умовна "стіна" фронту пожежі

Із теорії променевого теплообміну відомо, що геометричну форму і взаємне розташування тіл, що беруть участь в теплообміні, характеризує ККВ. Знаходження інтегрального ККВ здійснюють за формулою:

$$F_{A-B} = \frac{1}{A} \iint_{AB} \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\pi r^2}, \quad (1)$$

де α – кут між вектором нормалі до ділянки A та вектором, направленим від центра ділянки A до центра ділянки B ; β – кут між вектором нормалі до ділянки B та вектором, направленим від центра ділянки B до центра ділянки A ; r – відстань між центрами ділянок.

Геометричні схеми обчислення інтегральних і локальних ККВ розглянуто у двох випадках (рис. 2 і 3): на горизонтальній координатній площині та не на координатних площинах (варіант похилого рельєфу).



Рис. 2. Схема лісової пожежі на горизонтальній площині



Рис. 3. Схема лісової пожежі при похилому рельєфі

Для визначення локальних ККВ застосовуємо опис радіально-паралельної проекції (RP-проекції) еліпса та аналітичні формули для циліндра і прямокутника. На площині, яка характеризує комірку-приймач, будується гістограма розподілу локальних ККВ. В результаті одержуємо масив значень локальних ККВ, на базі якого здійснюється розрахунок інтегрального ККВ.

Для розрахунку локальних кутових коефіцієнтів випромінювання між еліпсом і прямокутником застосовуємо параметричні рівняння еліпса:

$$\begin{aligned} x(t) &= p; \\ y(t) &= a \cdot \cos(t) + q; \\ z(t) &= b \cdot \sin(t) + b; \end{aligned} \quad (2)$$

де p і q – декартові координати.

Тоді параметричні рівняння радіально-паралельних проекцій цього еліпса приймають вигляд

$$z_{RP} = \frac{z(t)}{\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2 + z(t)^2}}, \quad y_{RP} = \frac{y(t)}{\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2 + z(t)^2}}. \quad (3)$$

Відповідно, локальний ККВ дорівнює:

$$F_{A-dB} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (z_{RP} \dot{y}_{RP} - \dot{z}_{RP} y_{RP}) dt. \quad (4)$$

У результаті обчислень локальних куткових коефіцієнтів одержуємо гістограму їх розподілу (рис. 4), де x і y – координати точки на площині, а z – значення локального ККВ.

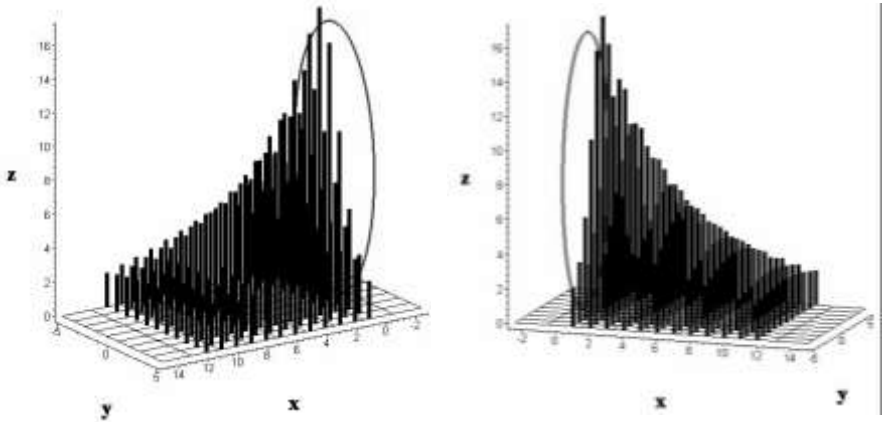


Рис. 4. Гістограма розподілу локальних куткових коефіцієнтів на площині xy

Інтегральний ККВ, що характеризує випромінювання циліндричної поверхні на горизонтальну площину, визначається за геометричною схемою "циліндр – елементарна площадка" за формулою:

$$F_{12,H} = \frac{B-1/s}{\pi\sqrt{B^2-1}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(B+1)s-1}{(B-1)(s+1)}} - \frac{A-1/s}{\pi\sqrt{A^2-1}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(A+1)(s-1)}{(A-1)(s+1)}}, \quad (5)$$

де $s = \frac{L}{R}$, $h = \frac{H}{R}$, $A = \frac{h^2 + s^2 + 1}{2s}$, $B = \frac{s^2 + 1}{2s}$; H – висота циліндра; R – радіус основи циліндра; L – відстань від центра основи циліндра до точки, де визначається локальний ККВ.

На рис. 5 наведено гістограму розподілу локальних ККВ від поверхні циліндра по горизонтальній площині.

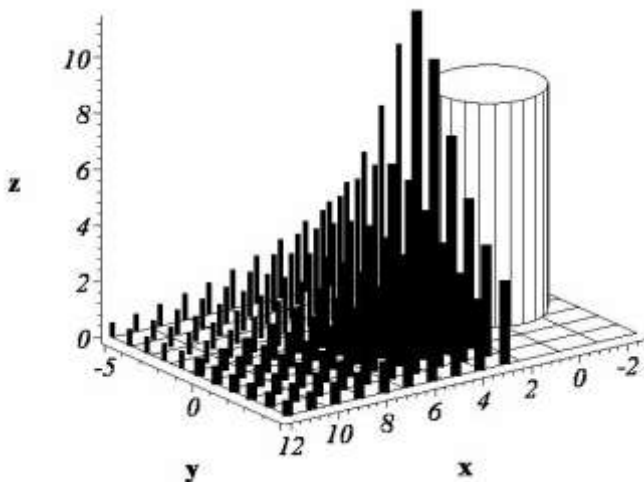


Рис. 5. Гістограма розподілу локальних ККВ по горизонтальній площині

У випадку з похилим рельєфом значення ККВ знаходяться за умови розташування комірки-випромінювача (ділянки площини, обмеженої еліпсом) не на координатній площині. Як відомо, на практиці цій ситуації відповідає значне посилення впливу променевої складової на коміркі-приймачі, що сприяє більш інтенсивному поширенню гетерогенного процесу, що, в свою чергу, характеризується більшим підсушуванням рослинного матеріалу, який вступає в горіння.

Для розрахунку локальних ККВ для комірки, обмеженої еліпсом і розташованої на нахилений площині, будемо використовувати параметричний опис еліпса:

$$\begin{aligned}
 x(t) &= p - 2 \cdot b \cdot \sin(\beta), \\
 y(t) &= a \cdot \cos(t) + q, \\
 z(t) &= b \cdot \sin(t) \cdot \cos(\beta) + b,
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

де p і q – декартові координати; β – кут нахилу площини, на якій розташований еліпс.

Обчислення RP-проекції еліпса, розташованого на нахилений площині, визначається за формулами (3). На рис. 6 і 7 наведено гістограми розподілів локальних ККВ залежно від кута нахилу площини, де розташований еліпс, до горизонтальної координатної площини. В одних і тих самих точках значення ККВ буде більше, якщо кут нахилу менше.

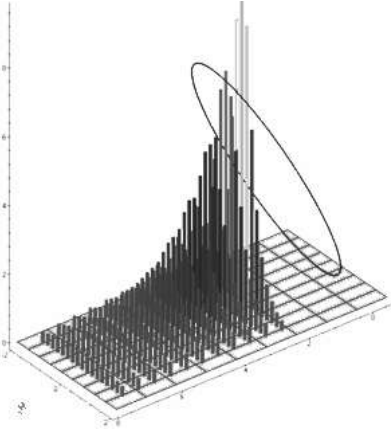


Рис. 6. Гістограма для випадку розташування комірки, обмеженої еліпсом, на нахиленій площині

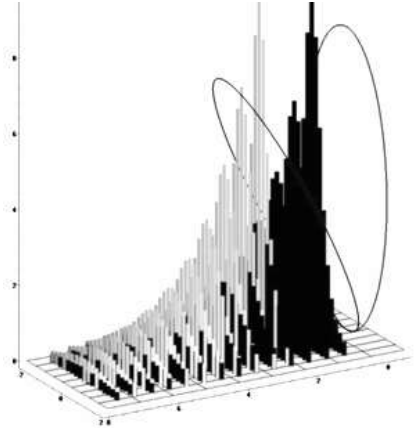


Рис. 7. Порівняльна гістограма

Якщо розглядати не окрему комірку-випромінювач, а певну ділянку абстрактної "стіни" пожежі, то розподіл значень локальних ККВ по горизонтальній площині від кількох комірок матиме вигляд, як на рис. 8.

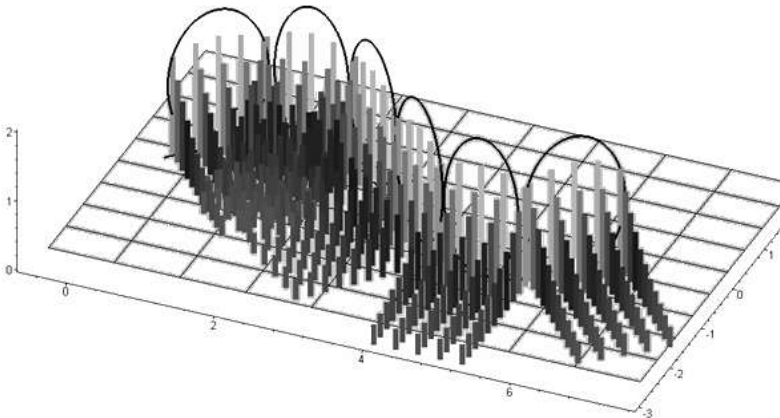


Рис. 8. Розподіл локальних ККВ перед абстрактною "стіною" пожежі

В прогнозах моделей для визначення геометричної форми контурів вигорання бажано мати можливість корегувати модель з урахуванням променевої складової гетерогенного процесу. Тут частка променевої енергії також характеризується ККВ. Лінія контуру розглядається як сукупність ділянок. Із середин відрізків, що апроксимують відповідні ділянки,

встановлюються вектори нормалей однакої довжини та в результаті визначаються ділянки ламаної, що паралельні вихідним (рис. 9).

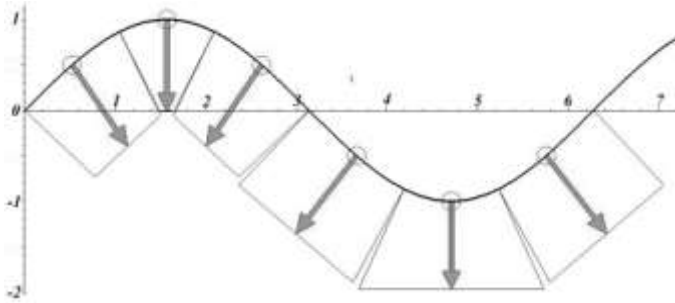


Рис. 9. Ділянка контуру

На основі масиву значень локальних ККВ визначається інтегральний ККВ. При цьому можна виділити кілька випадків (рис. 10). Ділянка площини з концентрацією енергії (рис. 10, *a*) характеризується більшими значеннями локальних ККВ; ділянка площини з розсіюванням енергії (рис. 10, *б*) – меншими значеннями локальних ККВ. Звідси матимемо, відповідно, більше і менше значення інтегральних ККВ. Слід зауважити, що геометрична форма ділянок, яку визначено за результатами обчислень ККВ, відповідає феноменологічному опису наведених випадків.

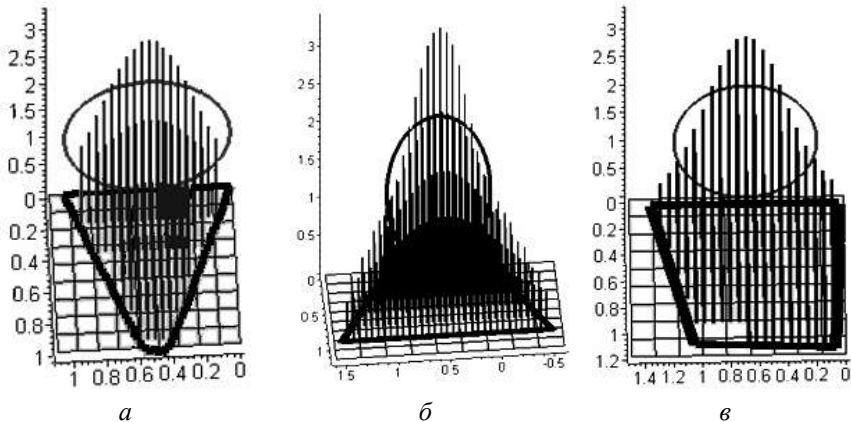


Рис. 10. Розподіл локальних ККВ на різних площадках

Коригування геометричної форми контурів з урахуванням впливу частки променевої енергії здійснюється шляхом співвідношення значень інтегрального ККВ та площі ділянки, на яку впливає випромінювання:

$$c = \frac{F}{S}, \quad (7)$$

де F – інтегральний кутовий коефіцієнт; S – площа ділянки перед лінією контуру пожежі.

Зрозуміло, що чим більше променевої енергії концентрується на ділянках, тим інтенсивніше буде підсушуватися рослинний матеріал.

Таким чином, коригування здійснюється завдяки коефіцієнту, який впливає на вектор поширення пожежі (рис. 11):

$$V_{res} = V \cdot c. \quad (8)$$

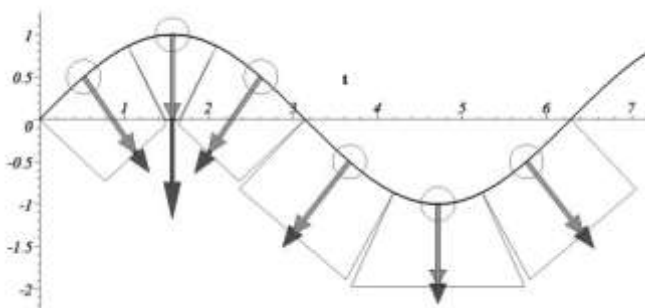


Рис. 11. Розподіл векторів нормалей (світлі) та векторів коригування (темні)

У **третьому розділі** розглядаються способи геометричного моделювання прогнозованого контуру гетерогенного процесу, які здійснюються шляхом апроксимації функції екстраполяції у вигляді аналітичних описів контурів. Суть "іміджевої" екстраполяції полягає в одержанні $(N+1)$ -го зображення контуру вигорання, яке б логічно випливало із заданої послідовності N зображень попередніх контурів.

При цьому вважається, що вузловими елементами є зображення, описані рівняннями у невяному вигляді, і що вплив на результат екстраполяції може здійснюватися за допомогою спеціального параметра k . Метод іміджевої екстраполяції полягає у відшуванні значення функції в деякій точці за межами доступного інтервалу та встановленні цієї функції за її значеннями у вузлових точках інтервалу. При цьому у слова "значення функції" вкладено поняття "корені функції", тобто множини точок, в яких

функція набуває нульового значення. Також передбачається, що точка розташована від інтервалу не далі, ніж максимальний крок дискретизації цього інтервалу.

З попередніх досліджень відомо твердження щодо опису екстрапольованої кривої. Нехай маємо N рівнянь $\{F_i(x, y) = 0\}$, які є описом послідовності вузлових кромок вигорання в момент часу $t = t_i$.

Тоді екстрапольовану криву в момент часу $t = t_N$ можна описати рівнянням:

$$F_{N+1}(x, y) \equiv F_N(x, y) + \frac{\sum_{i=1}^{N-1} t^k (F_{i+1}(x, y) - F_i(x, y))}{\sum_{i=1}^{N-1} t^k (t_{i+1} - t_i)} = 0. \quad (9)$$

Вибираючи функцію екстраполяції, що описує геометричну модель гетерогенного процесу, зауважимо, що квадратична екстраполяція точніше описує майбутні результати прогнозування. В роботі вперше запропоновано нелінійну (квадратичну) "іміджеву" екстраполяцію з урахуванням ряду припущень, згідно з якими екстраполяційна функція є безперервною та гармонічною в усій області екстраполяції. Тобто сама шукана функція та її частинні похідні за будь-якої просторової координати до другого порядку включно є безперервними у всій області екстраполяції. Також вважаємо, що поведження екстраполяційної функції добре коректується за квадратичним законом. Квадратична екстраполяція, в порівнянні з екстраполяційними формулами більш високих порядків, значно простіше реалізована; крім того, підвищення порядку екстраполяції функції призводить до значного погіршення стійкості результатів прогнозування.

Шукану функцію можна розкласти в ряд Тейлора в околиці фіксованої точки:

$$f(x) = f(x)|_{x=x_0} + f'(x)|_{x=x_0} (x - x_0) + \frac{1}{2} f''(x)|_{x=x_0} (x - x_0)^2 + \sum_{i=3}^{i=\infty} \frac{1}{i!} f^{(i)}(x)|_{x=x_0} (x - x_0)^i. \quad (10)$$

Відомо, що у ряді Тейлора i -й додаток розкладання (10) за абсолютною величиною менше $(i - 1)$, що складається, й більше $(i + 1)$ додатка. Починаючи з i -го, складається остаток, що до ряду $O(h^i)$ вносить похибку порядку $(x - x_0)^i$:

$$f(x) = f(x)|_{x=x_0} + f'(x)|_{x=x_0} (x - x_0) + \frac{1}{2} f''(x)|_{x=x_0} (x - x_0)^2 + O(h^3); \quad (11)$$

$$f(x) = f(x)|_{x=x_0} + f'(x)|_{x=x_0} (x - x_0) + \frac{1}{2} f''(x)|_{x=x_0} (x - x_0)^2; \quad (12)$$

$$f(x+h) = f(x)|_{x=x_0} + f'(x)|_{x=x_0} (x+h-x_0) + \frac{1}{2} f''(x)|_{x=x_0} (x+h-x_0)^2; \quad (13)$$

$$f(x-h) = f(x)|_{x=x_0} + f'(x)|_{x=x_0} (x-h-x_0) + \frac{1}{2} f''(x)|_{x=x_0} (x-h-x_0)^2; \quad (14)$$

$$f'(x) = \frac{f_{n+1} - f_{n-1}}{2h}. \quad (15)$$

Склавши попарно формули (13) і (14), з отриманих виразів знайдемо значення часток похідних першого і другого порядку за координатами:

$$f''(x) = \frac{f_{n+1} - 2f_n + f_{n-1}}{2h^2}. \quad (16)$$

Підставляємо (15) і (16) до (12) і приймаємо $x = x_0 - 2h$. Тоді

$$\begin{aligned} f(x-2h) = f(x-h) + \frac{f(x) - f(x-2h)}{2h} (-2h) + \\ + \frac{f(x-2h) - 2f(x-h) + f(x)}{2h^2} (-2h)^2. \end{aligned} \quad (17)$$

Далі для зручності викладу зробимо заміну:

$$f(x-2h) \equiv f_{n-1}; \quad f(x-h) \equiv f_n; \quad f(x) \equiv f_{n+1}.$$

Тоді вираз (17) набуватиме вигляду

$$\begin{aligned} f_{n-1} = f_n + f_{n-1} - f_{n+1} + 2f_{n-1} - 4f_n + 2f_{n+1}; \\ f_{n-2} = -3f_n + 3f_{n-1} + f_{n+1}. \end{aligned}$$

Результуюча формула квадратичної екстраполяції матиме вигляд

$$f_{n+1} = 3f_n - 3f_{n-1} + f_{n-2}. \quad (18)$$

В результаті застосування формули (10) було одержано результати екстраполяції контуру за попередніми чотирма вихідними контурами (рис. 12).

Розвинуто метод зворотної іміджевої екстраполяції, запропоновано його нову реалізацію, розроблено конкретні етапи, які необхідно здійснити для комп'ютерної реалізації методу.

Для оцінки периметра фронту пожежі при подальшому визначенні оперативної ситуації беруться дані фотознімків, зроблених під час розвідки з літака чи супутника. Фронт пожежі представлено замкненим контуром, що складається з множин ліній на площині. Далі для розв'язання задачі оцінки периметра використано положення з теорії геометричних ймовірностей.

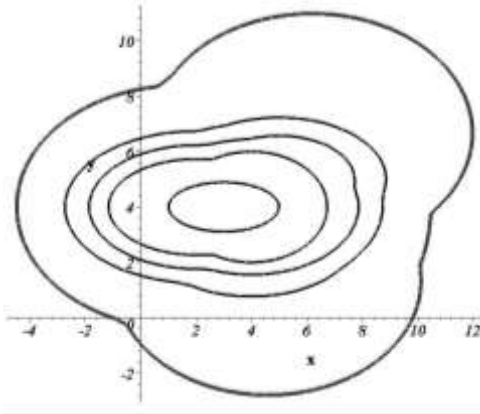


Рис. 12. Побудова прогнозованого контуру вигорання за допомогою квадратичної екстраполяції

Лема (Ж. Бюффон). Якщо на площині задано множину паралельних прямих із кроком a , то значення виразу $p = 2d/\pi a$ дорівнює ймовірності того, що розміщений на площині випадковим чином відрізок довжини $d < a$ перетне одну з прямих.

Лема (Л. Сантало). Якщо на площині задано паралельні прямі з кроком a , а також задано замкнену криву довжини L , і k дорівнює кількості точок перетину прямих і кривої, то виконується тотожність $k = 2L/\pi a$.

Далі розглянуто наближений метод обчислення периметра фігури, оснований на одному з положень теорії геометричних ймовірностей (задачі Ж. Бюффона). Нехай для фігури G , заданої на площині (наприклад, засобами телевізійної техніки), одержано її растрове зображення.

Використовуючи інформацію, надану зображенням, необхідно обчислити довжину L периметра ∂G фігури G .

Згідно з методом розв'язання задачі Бюффона на площині необхідно задати множину паралельних прямих із кроком a . Тоді значення виразу $p = 2d/\pi a$ дорівнює ймовірності того, що розміщений на площині випадковим чином відрізок довжини $d < a$ перетне одну з прямих. В інтегральній геометрії доводиться, що ця модель дозволяє обчислити наближене значення числа π шляхом випадкового "кидання" N разів відрізка на площину, розліновану паралельними прямими. Якщо в n разів з цих кидань відрізок перетне одну паралельну лінію, то $p' = n/N$ буде оцінкою ймовірності p , а $\pi' = 2d/ap'$ буде наближеним значенням числа π . У випадку $d = a = 1$ маємо $\pi' = 2N/n$.

Але значення числа π відоме. Тому на підставі формули ймовірності $p = 2d/\pi a$ можна обчислити наближене значення довжини L кривої. Якщо на площині задано замкнену криву довжини L , і k дорівнює кількості точок перетину паралельних прямих і кривої, то буде виконуватися тотожність $k = 2L/\pi a$.

З цієї тотожності маємо формулу для наближеного обчислення довжини кривої:

$$L = k\pi a / 2. \quad (19)$$

В роботі досліджено похибку; показано, що для підвищення точності обчислень значення a повинно бути мінімальним.

На рис. 13 наведено приклад розрахунку периметра контуру пожежі.

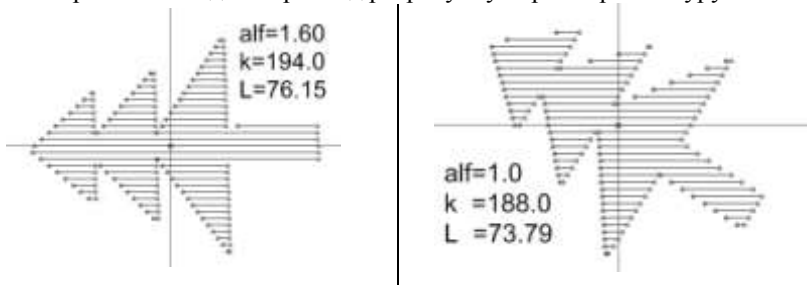


Рис. 13. Зображення растрової фігури при різних кутах її повороту

Використання векторно-функціональних моделей дозволяє істотно підвищити точність опису динаміки контуру вигорання, в порівнянні з найбільш досконалими способами опису, що існують на даний момент. Підвищення точності досягається за рахунок використання в якості вхідних даних континуально розподілених параметрів ландшафту, що задаються просторово.

ВИСНОВКИ

Дисертацію присвячено розробці способу геометричного моделювання контурів вигоряння, як сім'ї кривих, з урахуванням впливів попередніх контурів, характеристики яких визначаються методом сфери одиничного радіуса.

Значення для науки полягає у розвитку способів геометричного моделювання формоутворення складних за формою кривих як геометричних моделей ліній розділу в системах гетерогенного типу.

Значення для практики полягає у скороченні термінів та підвищенні точності моделювання сім'ї кривих, що належать до класу графічних проявів фаз розвитку гетерогенної системи речовин, за умови врахування впливу кутових коефіцієнтів випромінювання від "умовної стіни" (фронт) на комірки-приймачі.

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

1. Здійснено огляд методів геометричного моделювання сім'ї кривих як моделей розвитку контурів гетерогенного типу, з якого випливає необхідність створення комплексного підходу до моделювання графічних проявів фаз розвитку гетерогенної системи речовин.

2. Розроблено спосіб прогнозування геометричної форми контуру, за умови врахування геометричних інваріантів випромінювання від "умовної стіни" на комірки-приймачі, що дозволило наблизитися до адекватного опису результатів геометричного моделювання кромки вигоряння при лісових пожежах.

3. Розвинуто графоаналітичний спосіб визначення в часі миттєвих периметрів для обмеженої однозв'язної неопуклої фігури незалежно від кута її повороту на площині, що дозволяє уникнути етапу визначення миттєвих площ. Це додало необхідних параметрів для оцінки якості геометричного моделювання кромки вигоряння при лісових пожежах.

4. Удосконалено спосіб визначення локальних ККВ для фігур, розташованих не на координатних площинах, що дозволило розраховувати геометричні інваріанти випромінювання для випадків похилого рельєфу.

5. Розвинуто спосіб іміджевої екстраполяції для прогнозування геометричної форми розвитку контурів гетерогенного типу з використанням нелінійних залежностей, що дозволило розширити коло графоаналітичних методів для геометричного моделювання кромки вигоряння при лісових пожежах.

6. Складено програми наочного моделювання сім'ї паралельних множин за умови врахування ККВ від "умовної стіни" випромінювання на комірки-приймачі, що дозволило розробити першу чергу пакета програм автоматизованого моделювання кромки вигоряння при лісових пожежах.

7. Розроблено прийнятний для практичного застосування у системах комп'ютерного прогнозування алгоритм графічного представлення контурів вигорання лісової пожежі у зазначені моменти часу.

8. Результати впроваджено в ГУ МНС України у Харківській області, в ДП "Чугуєво-Бабчанський лісгосп" Харківської області та у навчальний процес НТУ "ХПІ".

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Анісімов К.В. Короткий огляд проблем теплообміну / К. В. Анісімов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2007. – Вип. 78. – С. 190–194.

2. Анісімов К.В. Раціональний метод комп'ютерних обчислень кутових коефіцієнтів випромінювання / К. В. Анісімов // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛДТУ, 2008. – Вип. 22. – Ч. 2. – С. 14–18.

3. Анісімов К.В. Загальні принципи розрахунків кутових коефіцієнтів випромінювання із застосуванням методу описаної сфери / К. В. Анісімов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – Вип. 4. – Т. 39. – С. 134–142.

4. Анісімов К.В. Визначення кутових коефіцієнтів між видимими ділянками поверхонь / К. В. Анісімов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2008. – Вип. 80. – С. 180–184.

5. Анісімов К.В. Геометричне моделювання променевої теплопередачі при прогнозуванні фронтів вигорання лісової пожежі / К. В. Анісімов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2009. – Вип. 82. – С. 300–306.

6. Анісімов К.В. Особливості прогнозування контуру вигорання при лісових пожежах / К. В. Анісімов // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2009. – Вип. 23. – С. 203–208.

7. Анісімов К.В. Визначення локальних кутових коефіцієнтів при моделюванні пожежі за умови змінного рельєфу / К. В. Анісімов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2010. – Вип. 84. – С. 67–72.

АНОТАЦІЇ

Анісімов К.В. Геометричне моделювання сім'ї кривих з урахуванням впливу попередніх елементів на наступні. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.01 – прикладна геометрія, інженерна графіка. – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, 2011.

Дисертацію присвячено новому розв'язанню задачі геометричного моделювання еквідистант для складних за формою кривих (як графічного представлення контурів вигорання), з урахуванням впливів попередніх кривих, характеристики яких визначаються методом сфери одиничного радіуса. При застосуванні даного способу фронт гетерогенного процесу подається як абстрактну "стіну", яку розбито на комірки, що дає змогу моделювати процес з визначенням геометричних інваріантів випромінювання. Комірки, які складають поверхню "стіни", – випромінювачі, а рослинному матеріалу відповідають комірки-приймачі. Залежно від різних умов задачі комірки можуть бути різними за геометричною формою. В роботі удосконалено спосіб визначення локальних кутових коефіцієнтів випромінювання для фігур, розташованих не на координатних площинах (випадок похилого рельєфу). Розроблено спосіб "іміджевої" екстраполяції для прогнозування геометричної форми контуру гетерогенного типу із використанням нелінійних залежностей. На основі запропонованих геометричних моделей розроблено спосіб прогнозування геометричної форми контуру, за умови врахування геометричної складової променевої теплопередачі. Розвинуто графоаналітичний спосіб визначення периметра контурів вигорання рослинного матеріалу для обмеженої однозв'язної неопуклої фігури для довільного кута її повороту на площині. Результати впроваджено в ГУ МНС України у Харківській області, в ДП "Чугуєво-Бабчанський лісгосп" Харківської області та у навчальний процес НТУ "ХПІ".

Ключові слова: геометричне моделювання, сім'я кривих, контур вигорання, кутовий коефіцієнт випромінювання, іміджева екстраполяція.

Анисимов К.В. Геометрическое моделирование семейства кривых с учетом влияния предыдущих элементов на последующие. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.01 – прикладная геометрия, инженерная графика. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина, 2011.

Диссертация посвящена новому решению задачи геометрического моделирования еквідистант для сложных по форме кривых (как графического представления контуров выгорания), с учетом влияния предыдущих кривых, характеристики которых определяются методом сферы единичного радиуса.

С точки зрения прикладной геометрии, одним из важных направлений является решение задач прогнозирования контуров гетерогенного процесса. Данная задача имеет существенное прикладное значение для систем гражданской защиты населения от лесных пожаров.

Для качественного и количественного анализа прогноза распространения лесного пожара необходимо разработать базовую методологию для создания современных технологий и систем принятия решений на основе интерпретирования геометрических моделей. Это позволит создать системы, которые на основе минимума входящей оперативной информации давали бы краткосрочный прогноз, а также оценку возможной площади возгорания и периметр геометрической кромки пожара.

При применении предложенного способа фронт гетерогенного процесса представляется как абстрактная "стена", которая разбита на ячейки, что дает возможность моделировать процесс с нахождением геометрических инвариантов излучения. Ячейки, из которых состоит "стена", – излучатели, а растительному материалу соответствуют ячейки-приемники. В зависимости от разных условий задачи ячейки могут быть разной геометрической формы. В работе усовершенствован способ определения локальных угловых коэффициентов излучения для фигур, расположенных не на координатных плоскостях (случай наклонного рельефа). Разработан способ "имиджевой" экстраполяции для прогнозирования геометрической формы контура гетерогенного типа с использованием нелинейных зависимостей. На основе предложенных геометрических моделей разработан способ прогнозирования геометрической формы контура с учетом геометрических инвариантов лучевой теплопередачи. Получил развитие графоаналитический способ определения периметра контуров выгорания растительного материала для ограниченной односвязной невыпуклой фигуры для произвольного угла ее поворота на плоскости.

Корректирование геометрической формы контура с учетом значений угловых коэффициентов излучения (УКИ) выполняется путем соотношения интегрального УКИ и площади поверхности, на которую падает излучение. На практике большее значение УКИ соответствует большему подсушиванию растительного материала и большей интенсивности процесса горения.

В работе впервые предложена нелинейная (квадратичная) "имиджевая" экстраполяция с учетом ряда допущений, согласно которым экстраполяционная функция является непрерывной и гармоничной во всей области экстраполяции. Предполагается, что поведение экстраполяционной функции хорошо корректируется с квадратичным законом. Квадратичная экстраполяция, в сравнении с экстраполяционными формулами более высоких порядков, приводящими к значительным погрешностям устойчивости результатов прогнозирования, гораздо проще реализована.

Результаты внедрены в ГУ МЧС Украины в Харьковской области, в ГП "Чугуево-Бабчанский лесхоз" Харьковской области и в учебный процесс НТУ "ХПИ".

Ключевые слова: геометрическое моделирование, семейство кривых, контур выгорания, гетерогенный процесс, угловой коэффициент излучения, имиджевая экстраполяция.

Anisimov K.V. Geometrical modeling of a family of curves taking into account influence previous elements on the following. – The Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a specialty 05.01.01 – applied geometry, engineering graphics. – Kyiv National University of Building and Architecture, Kyiv, Ukraine, 2011.

Dissertation is devoted to the new solution task of geometrical modelling of equidistant curve with difficult on a form curves, on the method of sphere of single radius as a graphic display of reactions of heterogeneous type.

At application of this method front of heterogeneous process is given as an abstract wall which is broken on barns, that enables to present a process as different geometrical invariants of radiation. Barns which are included in the wall of fire – emitters, and vegetable material is characterized by barns-receivers. Depending on different terms barns can be different at geometrical a form. The method of determination of local angular coefficients of radiation is improved for figures, located not on co-ordinate planes (variant of sloping relief). The method of "imaginary" extrapolation is developed for prognostication of geometrical form of edge of heterogeneous processes with the use of nonlinear dependences. On the basis of the offered geometrical models the method of prognostication of geometrical form of type of edge is developed on condition of account of geometrical constituent of radial heat transfer. It is developed graph-analytic method of determination the perimeter of edges of burning down of vegetable material for the limited oncoherent unprotuberant figure.

Keywords: geometrical modeling, family of curves, contour of burning out, heterogeneous process, angular coefficient of radiation, imaginary extrapolation.

Підписано до друку 18.04.2011 р. Формат 60x84 1/16. Папір Captain.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 1,3.
Обл.-вид. арк. 1,0. Наклад 100 прим. Зам. №

Видавничий центр НТУ "ХП".
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ "ХП". 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

