

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

МОСТОВЕНКО ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 514.18

ГЕОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ФІЗИЧНИХ ПОЛІВ

Спеціальність 05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант - доктор технічних наук, професор
Ковальов Сергій Миколайович,
Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ) МОН України, професор кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки;

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Куценко Леонід Миколайович,
Національний університет цивільного захисту (м. Харків) МОН України, професор кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки;

доктор технічних наук, професор
Аушева Наталія Миколаївна,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (м. Київ) МОН України, професор кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем;

доктор технічних наук, професор
Несвідомін Віктор Миколайович,
Національний університет біоресурсів та природокористування України (м. Київ) МОН України, професор кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну.

Захист відбудеться «__» _____ 2021 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.06 у Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, КНУБА, Вчена рада університету, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, Київ, Повітрофлотський проспект, 31, КНУБА

Автореферат розіслано «__» _____ 2021 р.

**Учений секретар
спеціалізованої вченої ради**

О.А. Бондар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дисертаційну роботу присвячено розвитку методології прикладної геометрії у напрямках розширення інструментарію геометричного моделювання фізичних процесів та явищ на основі створення нової узагальненої геометричної моделі фізичних полів, зокрема утворення енергетичних полів при випромінюванні енергії різноманітними джерелами з урахуванням поглинання та відбиття енергії різними перешкодами, а також наочному відображенню і дослідженню багатovidів фізичної природи, які неможливо наочно уявити без геометричної моделі, що є актуальними проблемами як прикладної геометрії, так і інших наукових та технічних галузей.

На сучасному етапі розвитку країни особливого значення набувають задачі енергозаощадження. Такі задачі виникають при проектуванні опалення приміщень, штучного освітлення. Задачами іншого типу є задачі, що пов'язані з розповсюдженням звукової енергії. З одного боку, – це задачі врахування акустичних особливостей при проектуванні приміщень громадських споруд, таких як театри, кінотеатри, концертні зали тощо. З іншого боку, акустичні особливості потрібно враховувати для зменшення негативного впливу шуму.

Комплекс таких задач можна розв'язувати на основі геометричного моделювання фізичних полів. В існуючих публікаціях такі моделі базувались на інтерполяції експериментальних даних виміру потенціалів фізичного поля у різних точках. При цьому вплив відстаней від джерел енергії до точок фізичного поля враховувався опосередковано через експериментальні виміри. Тому геометричне моделювання фізичних полів з прямим урахуванням впливу відстаней від джерел енергії до точок поля є задачею актуальною.

Такі геометричні моделі можуть основою для розв'язання задач оптимального розміщення джерел енергії для отримання певних заданих потенціалів енергії в заданих точках простору або для отримання фізичного поля з максимально рівномірним розповсюдженням енергії по заданій площі або по заданому об'ємі. Розв'язання таких задач дозволяє при заданих параметрах знаходити варіант максимального енергозбереження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконано на кафедрі нарисної геометрії та інженерної графіки Київського національного університету будівництва і архітектури, згідно державної бюджетної теми кафедри архітектурних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури «Методологія удосконалення процедури відбору проектних рішень» (ДР № 0116U002981).

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.01.01 - «Прикладна геометрія, інженерна графіка» у частині п.1 «... створення та розвиток теоретичних основ прикладної геометрії та розширення її операційних можливостей» - відповідає змісту розділів 2, 3, 4, 5, 6; п. 4 «Конструктивне та комп'ютерне дослідження геометричних багатovidів різної природи та розмірності (кривих, поверхонь, конгруенцій, польових структур тощо) у просторах різної вимірності» - відповідає змісту розділів 2, 3, 4, 5, 6.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розширення засобів прикладної геометрії за рахунок нової узагальненої методологічної геометричної моделі фізичних полів різної природи з урахуванням впливу відстаней від джерел енергії до точок поля та особливостей як джерел енергії, так і середовища розповсюдження енергії.

Для досягнення мети поставлено та вирішено такі завдання:

1. Провести критичний аналіз літератури у напрямках геометричного моделювання об'єктів, процесів та явищ; виявити чинники, які потрібно враховувати при створенні узагальненої геометричної моделі енергетичних полів.
2. Розробити теоретичні основи інтерполяції точок у просторі довільного числа вимірів із урахуванням впливу відстаней між заданими точками і поточними точками інтерполянта.
3. Запропонувати спеціалізований геометричний апарат для визначення параметрів впливу відстаней між заданими і поточними точками інтерполяції.
4. Запропонувати спосіб мінімізації похибок при обчисленні параметра впливу відстаней між заданими і поточними точками інтерполяції.
5. Розробити методологічну модель фізичного поля, що породжується лінійними та площинними джерелами енергії, на основі їх дискретного уявлення.
6. Узагальнити наочну модель фізичних полів у вигляді множини ізоповерхонь.
7. Визначити в енергетичному полі з площинними екранами зони прямого попадання енергії від джерела, відбитої енергії, та енергії, що проникає крізь екран у різних сполученнях.
8. Розглянути окремі випадки відбиття енергії від паралельних або взаємно перпендикулярних екранів.
9. Показати можливість врахування в узагальненій геометричній моделі експериментально визначених параметрів поля для врахування відсутніх у ній фізичних параметрів видів енергії і середовища.
10. Розробити спеціалізовану методику відновлювання параметрів джерел енергії за заданими потенціалами окремих точок поля.
11. Показати можливість використання узагальненої методологічної геометричної моделі для оптимізації параметрів фізичного поля при різних критеріях оптимізації.

Об'єктом досліджень є фізичні поля, які породжуються точковими, лінійними та площинними джерелами різноманітних типів енергії (світлова, звукова, теплова тощо).

Предметом дослідження є узагальнена геометрична модель фізичних полів, яка дозволяє враховувати відстані від точок поля до джерел енергії.

Методи досліджень. *Теоретичною базою* для даного дослідження стали: теорія інтерполяції (розділ 1, 2), методи геометричного моделювання (розділ 1-6), методи математичного програмування (розділ 3-6), методи теорії оптимізації (розділ 6), а також теоретичні основи прикладної, аналітичної, багатовимірної, диференціальної, дискретної геометрії (розділ 1-6).

При розробці геометричних моделей у прикладах виконувались розрахунки у середовищі MathCad. Усі рисунки виконано за допомогою графічного редактора AutoCad.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці нової узагальненої методологічної геометричної моделі фізичних полів різної природи з урахуванням відстаней між точками фізичного поля та джерелами енергії.

У роботі вперше:

- розроблено теоретичні основи інтерполяції точок у просторах різної вимірності з урахуванням відстаней між заданими точками і точками інтерполянта;
- розроблено принципи дискретної інтерполяції і точок у просторах різної вимірності;
- розроблено дві геометричні схеми для визначення параметра, що враховує вплив відстаней від заданих до поточних точок в задачах інтерполяції та від точок фізичного поля до джерел енергії при моделюванні фізичних полів;
- розроблено узагальнену математичну модель фізичних полів різної природи з урахуванням впливу відстаней від точок фізичного поля до точкових, лінійних та площинних джерел енергії;
- розроблено концепцію визначення максимального числа різних зон фізичного поля при точкових, лінійних та площинних джерелах енергії за наявності прямокутного екрана;
- доведено властивість гіперсфери у просторах довільного числа вимірів, за якою гіперсферу можна розглядати, як геометричне місце точок, сума квадратів відстаней від яких до довільного скінченного числа точок є величиною сталою;

Удосконалено:

- методологію врахування впливу відбиваючих і поглинаючих екранів на розподіл енергії у просторі;
- спосіб одновимірної гіперболічної екстраполяції точок на площини;

Отримали подальший розвиток:

- наочне уявлення енергетичних полів у вигляді множини ізоперхонь;
- врахування відбиття та поглинання енергії плоскими екранами при визначенні потенціалів точок енергетичного поля;
- врахування експериментально визначених параметрів окремих точок фізичного поля при відновленні його параметрів;
- оптимізація параметрів фізичних полів при заданих критеріях.

Обґрунтованість і достовірність одержаних результатів наукових положень та висновків, сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечується конкретністю постановки задач, застосуванням адекватного математичного апарату. Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів підтверджується результатами обчислень численних тестових прикладів та результатами впроваджень.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає у можливості визначення оптимального способу розміщення джерел енергії потрібної потужності для досягнення потрібного потенціалу енергії у конкретних точках простору, форма якого наближена до реального приміщення:

1. Оптимальне розміщення штучних джерел освітлення мінімальної сумарної потужності для досягнення заданих параметрів освітлення приміщення;
2. Оптимальне розміщення нагрівальних або охолоджувальних приладів мінімальної потужності для забезпечення заданої температури у приміщенні;

3. Оптимальне розміщення відбиваючих та поглинаючих екранів для забезпечення заданих параметрів розповсюдження звуку.

Запропонований підхід до оптимізації параметрів енергетичних полів, а також до розрахунку потенціалу енергії довільної точки фізичного поля використано у навчальному процесі на кафедрі залізобетонних та кам'яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури при вивченні дисципліни «Спеціальні залізобетонні конструкції будівель і споруд» для студентів, що навчаються за спеціалізацією «Промислове та цивільне будівництво», а також при виконанні магістерських робіт (№ 14-1.9/1037).

Узагальнену теорію геометричного моделювання енергетичних полів прийнято до впровадження у ТОВ «ДАХСЕРВІС» для визначення потенціалів енергії в окремих точках теплового поля, що виникає під дахом, які можуть бути враховані серед інших параметрів при пошуку оптимальної форми даху складної форми (№ 27 від 31.08.21).

Результати дисертаційного дослідження прийнято до впровадження у Державному підприємстві «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва» Мінрегіону України при розв'язанні задачі оптимального розміщення джерел енергії мінімальної потужності для максимально можливого рівномірного прогріву бетону при виробництві залізобетонних конструкцій (№ 22-08 від 30.08.21).

Дослідження прийнято до впровадження в ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського» для оптимізації параметрів температурних полів, що виникають при виробництві металевих конструкцій, яке дозволяє мінімізувати негативні їх наслідки не тільки на самі металеві конструкції, а й на оточуючого середовище при їх виготовленні.

Особистий внесок здобувача. Усі положення, що виносяться на захист і складають наукову новизну дисертаційної роботи, отримано особисто здобувачем. У публікаціях за участю співавторів результати, що належать здобувачеві, вказано у списку публікацій здобувача за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи доповідались, обговорювались і здобули позитивну оцінку на шести міжнародних науково-практичних конференціях та семінарах, інформацію щодо яких наведено у списку опублікованих праць [28-33].

Публікації. Основні теоретичні положення, висновки і результати, отримані у процесі дослідження, опубліковано у 33 наукових працях, з яких: 9 – у міжнародних виданнях та виданнях, що належать до науково-метричних баз, 17 – у виданнях, що належать до переліку фахових видань, 6 – у матеріалах науково-практичних конференцій, 1 – у додаткових публікаціях.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з анотацій, списку праць здобувача, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи становить 326 сторінок, що містить 94 рисунки та 42 таблиці. Додатки розміщено на 42 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, освітлено сучасний стан та значущість проблеми; висвітлено теоретичну та інформаційну базу досліджень; показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами; сформульовано мету роботи і завдання дослідження; визначено об'єкт і предмет дослідження; висвітлено методи досліджень, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків. Наведено відомості про впровадження отриманих результатів у практику

проектування, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію результатів дослідження, публікації, структуру та обсяг дисертації

У Розділі 1 «Огляд та критичний аналіз існуючих методів інтерполяції та геометричного моделювання фізичних процесів та явищ» проаналізовано різні трактовки процесу геометричного моделювання об'єктів, процесів та явищ. Більшість вчених розглядають геометричну модель як різновид загально математичної моделі. Математичною моделлю є наближене описання будь-якого класу об'єктів, процесів або явищ оточуючого світу, яке виражено за допомогою математичної символіки. Математичною є абстрактна модель, яку побудовано засобами математики. Суттєвою особливістю геометричної моделі у загальній теорії математичного моделювання є її наочність. Саме тому багато досліджень теорії геометричного моделювання пов'язано з відображенням геометричної моделі на площині.

Процес геометричного моделювання визначається певною послідовністю дій. На наш погляд, найбільш повно таку послідовність сформулював професор М.М. Рижов:

- 1) визначення параметрів, адекватних цілям моделювання і залежностей між ними;
- 2) геометрична інтерпретація визначених параметрів;
- 3) вибір геометричної фігури з множини фігур, які визначаються таким самим числом параметрів і такими самими залежностями між параметрами;
- 4) конструювання геометричної фігури за принципами параметричної геометрії;
- 5) аналітичне або графічне уявлення фігур як геометричної моделі;
- 6) визначення системи і послідовності дослідження геометричної фігури;
- 7) ретрансформація отриманих геометричних властивостей та характеристик моделі у відповідній властивості та характеристики об'єкта.

Логічним продовженням геометричного моделювання є перехід до комп'ютерної реалізації геометричної моделі.

Деякі методи як загально математичного, так і геометричного моделювання, широко використовуються для розв'язання багатьох різноманітних прикладних задач. Такі методи набули самостійного розвитку у вигляді окремих теорій. До них, зокрема, відносяться методи інтерполяції та методи дискретного геометричного моделювання.

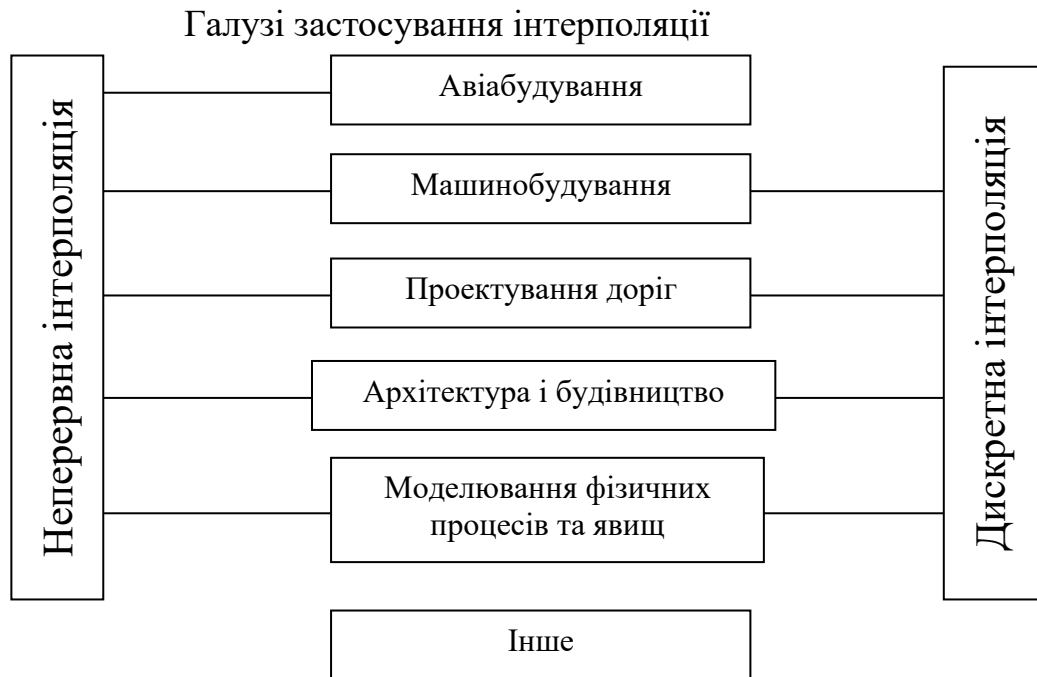
При геометричному моделюванні об'єктів можна порівняти форму об'єкта з формою моделі. Геометричні моделі фізичних процесів та явищ відрізняються від моделей об'єктів тим, що наочно уявити суть процесу або явища можна тільки на геометричній моделі. Тому такі моделі займають особливе місце у геометричних дослідженнях.

У роботі за різними ознаками систематизовано результати досліджень багатьох авторів в області геометричного моделювання фізичних явищ: 1) за практичним призначенням; 2) за типом енергії; 3) за джерелами енергії; 4) за явищами відбиття, заломлення та розсіювання енергії; 5) за наочним моделюванням фізичних полів ізолініями, ізоповірхнями та силовими лініями. У проаналізованих роботах не розглядалися задачі узагальнення отриманих результатів для

моделювання фізичних полів різної природи при різних джерелах випромінювання енергії з урахуванням відстаней від точок поля до джерел енергії.

Як було зазначено вище, у процесі розвитку теорії математичного та геометричного моделювання виникли методи інтерполяції, які з часом набули самостійного розвитку у вигляді окремої теорії. Але прямий зв'язок між теорією інтерполяції та методами моделювання залишився. З геометричної точки зору, інтерполяція у просторах довільної вимірності найчастіше розглядається як проведення багатовиду через окремі точки з можливим заданням відповідних похідних у заданих точках.

Схема 1



Оскільки існує дуже багато публікацій, пов'язаних з задачами інтерполяції, то для їх аналізу потрібна систематизація за різними ознаками, серед яких можуть бути:

- вимірність результату інтерполяції;
- вимірність простору у якому виконується інтерполяція;
- тип інтерполянта;
- сукупність вихідних даних (умова задачі);
- властивості геометричного образу, що моделюється;
- призначення результату інтерполяції тощо.

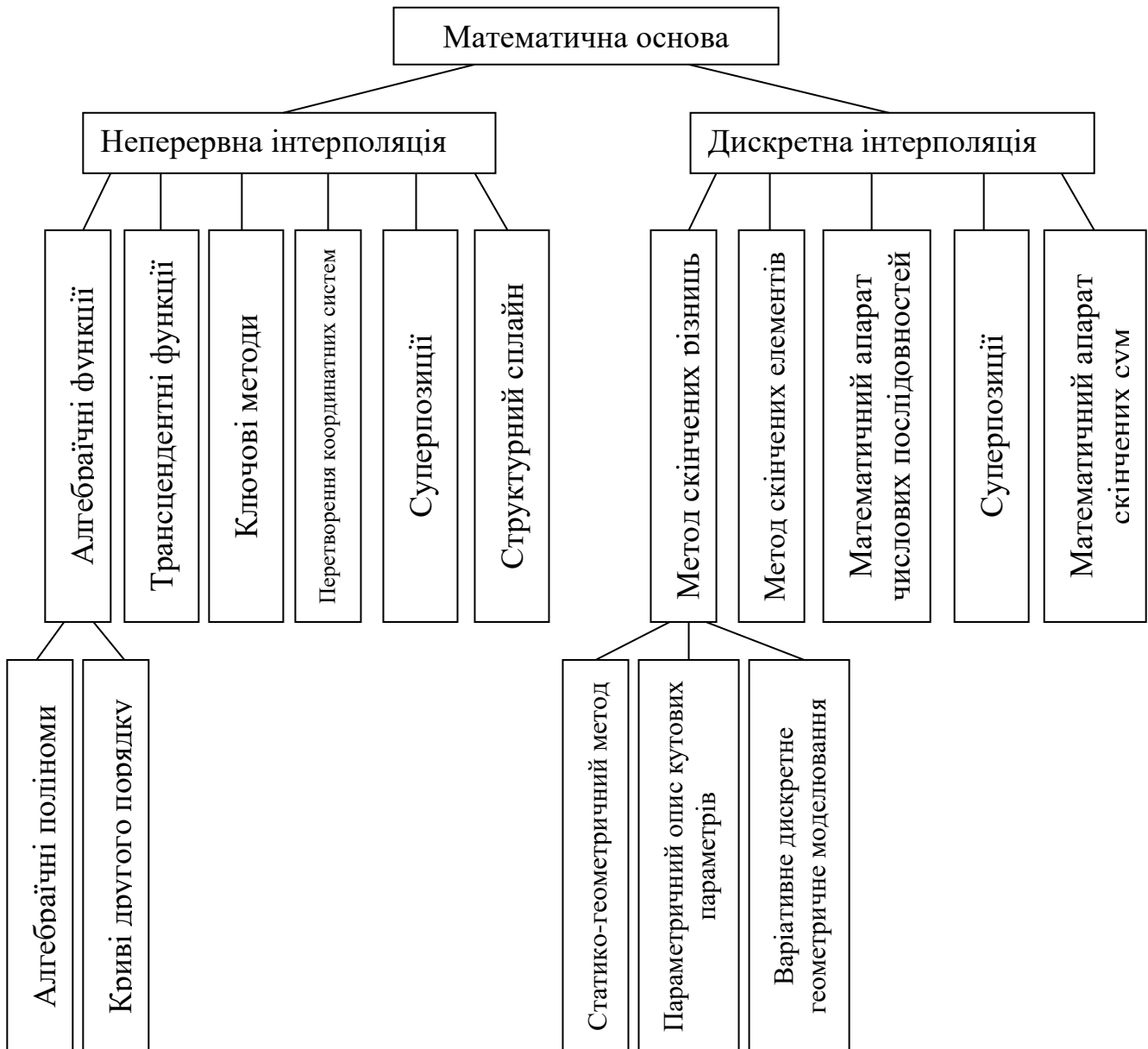
Розрізняють також інтерполяцію неперервну та дискретну. Результатом неперервної інтерполяції у багатовимірних просторах є суцільні або складені багатовиди. Результатом дискретної інтерполяції є дискретні точкові каркаси багатовиду.

На схемі 1 наведено галузі застосування як неперервної, так і дискретної інтерполяції.

У багатьох відомих публікаціях вибір способу інтерполяції пов'язується з особливостями базового математичного апарату (схема 2).

Слід зазначити, що вибір математичної основи способів інтерполяції у відомих публікаціях далеко не завжди обґрунтовано постановкою практичних задач. Серед розглянутих публікацій немає жодної, де прямо враховується вплив параметрів заданих точок, а саме відстані від них до поточної точки інтерполянта на її параметр. Саме така інтерполяція може бути основою моделювання різноманітних енергетичних полів, де задані точки є точковими джерелами енергії.

Схема 2



У Розділі 2 «Інтерполяція точок з урахуванням впливу відстаней від заданих точок до поточних точок інтерполянта на його форму» розглянуто методи інтерполяції, які можуть бути основою геометричного моделювання енергетичних полів. При геометричному моделюванні енергетичних полів виникають дві основні задачі:

1. за відомими потенціалами окремих точок поля відновити потенціали інших точок поля;

2. за заданими джерелами енергії (за заданими параметрами положення і потужностями) визначити потенціал довільної точки поля з урахуванням відстаней від точок поля до джерел енергії.

Першу задачу можна розв'язати методом дискретної інтерполяції за допомогою системи скінчено-різницевого рівнянь, що пов'язують між собою координати суміжних точок дискретно представленого багатовиду.

Відомо, що задача дискретної інтерполяції точок на площині з рівномірним кроком розв'язується за допомогою системи скінчено-різницевого рівнянь, що пов'язують між собою ординати суміжних точок дискретно представленної кривої (ДПК):

$$y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1} + P_i = 0, \quad (1)$$

де P_i – умовне зовнішнє навантаження на i -тий вузол.

Число рівнянь системи (1) повинно дорівнювати числу ординат невідомих вузлів, але воно завжди дорівнює $m-2$, а число невідомих ординат дорівнює $m-n-2$, де m – число вузлів ДПК, n – число заданих проміжних вузлів. Число рівнянь системи (1) і число невідомих можна зрівняти за рахунок невідомих параметрів P_i умовного зовнішнього навантаження. Дискретна функція ДПК не має зламу, якщо дискретна функція розподілу умовного навантаження P_i не має перепаду. Тому пропонується розподіл зовнішнього навантаження P_i формувати за принципом утворення ДПК, вводячи додаткові параметри Q_i (рис. 1):

$$P_{i-1} - 2P_i + P_{i+1} + Q_i = 0. \quad (2)$$

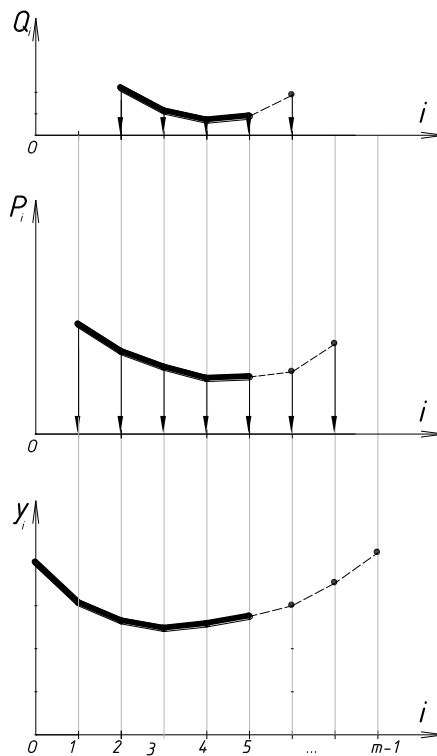


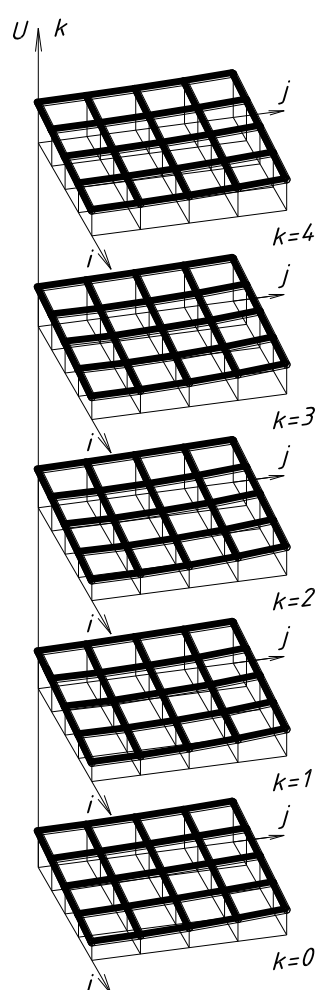
Рис. 1 Формування ДПК під дією умовних навантажень (розроблено автором)

Число параметрів Q_i завжди можна зменшити до необхідного числа за рахунок рівнянь типу:

$$Q_i = Q_{i+1}. \quad (3)$$

Число рівнянь (1), (2) і (3) об'єднаної системи повинно дорівнювати числу невідомих параметрів y_i , P_i та Q_i . Розв'язання такої об'єднаної системи дозволяє визначати ординати всіх невідомих вузлів. Розроблений принцип інтерполяції точок на рівномірній сітці можна узагальнити на n -вимірну сітку зі сталим кроком.

Дискретна інтерполяція точок методом скінчених різниць має безпосередній зв'язок з чисельним розв'язанням диференціальних рівнянь із заданими крайовими умовами і так само потребує задання крайових умов. При одновимірній дискретній інтерполяції крайовими умовами є координати першої і останньої точки ДПК. Двовимірна інтерполяція передбачає задання координат всіх вузлів границі



визначеної зони, включаючи першу і останню точки кожної лінії границі зони. При тривимірній інтерполяції крайовими умовами є двовимірні сітки, що обмежують об'ємну тривимірну сітку. Нарешті інтерполяція на n -вимірній сітці потребує задання координат вузлів $(n-1)$ -вимірних крайових умов. Якщо не всі вузли зазначених крайових умов є заданими, потрібно почергово виконувати одновимірну, двовимірну, тривимірну, ..., $(n-1)$ -вимірну інтерполяцію точок, де, як мінімум, повинна бути заданою n -на координата кожного початкового і кінцевого вузла одновимірних елементів крайових умов.

На рис. 2 наведено приклад багатовиду як результату дискретної інтерполяції 21 заданої точки на рівномірній тривимірній сітці у чотиривимірному просторі.

Неперервна інтерполяція точок з урахуванням впливу координат заданих точок на координати поточних точок потребує аналітичної формалізації цього впливу. Задамо умову, у відповідності до якої вплив координати заданої точки на координату нескінченно близької до заданої точки дорівнює одиниці, а вплив заданої точки на нескінченно віддалену дорівнює нулю. При цьому зі збільшенням зазначеної відстані коефіцієнт t впливу повинен монотонно зменшуватися від одиниці до нуля.

Рис. 2 Тривимірна дискретна інтерполяція у чотиривимірному просторі (розроблено автором)

Пропонується дві схеми для визначення параметра t впливу відстані l від поточних точок інтерполянта до заданих точок на результат інтерполяції. За схемою I (рис. 3) величина параметра t змінюється від нуля (точка A) при $l \rightarrow \infty$ до одиниці (точка B) при $l=0$ (точка C). При заданих точках

A , B і C центр S перспективної відповідності між точками осей Ol і Ot завжди визначає прямокутник (або квадрат) $OAES$ сталої площі $s=c^2$. Тоді:

$$t = \frac{s}{s+l}. \quad (4)$$

Якщо призначити межі зміни величини l (CF) від нуля до l_{\max} (рис. 4), то точка A ($t=0$) буде відповідати відстані $CF(l_{\max})$, а точка B ($t=1$) відповідає відстані $l=0$. У цьому випадку ряди точок Ot і Ol можуть бути на паралельних носіях (схема II). Це значно спрощує аналітичний вираз параметра t :

$$t = \frac{l_{\max} - l}{l_{\max}}. \quad (5)$$

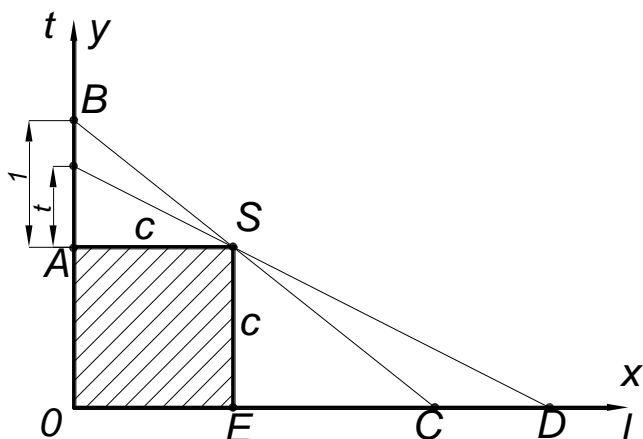


Рис. 3 Схема I у прямокутній системі координат
(розроблено автором)

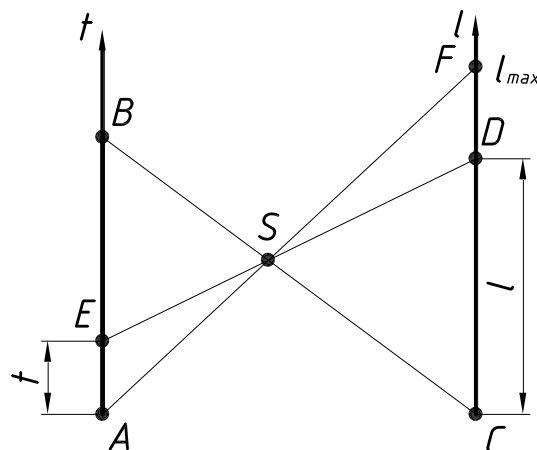


Рис. 4 Схема II з обмеженням параметра l
(розроблено автором)

Для збільшення числа параметрів залежності величини t від відстані l пропонується відстань l задавати як параболічну функцію:

$$f(l) = a_1 l + a_2 l^2 + a_3 l^3 + \dots + a_n l^n. \quad (6)$$

Функція $f(l)$ повинна мати відповідні обмеження, які сформульовано у дисертації.

Тоді формули (4) і (5) відповідно набувають вигляду:

$$t = \frac{s}{s + f(l)}; \quad (7)$$

$$t = \frac{l_{\max} - f(l)}{l_{\max}}. \quad (8)$$

На рис. 5 показано узагальнену схему для визначення параметра t , яка об'єднує дві зазначені схеми.

Шукана координата U довільної точки інтерполянта за заданими рештою її координатами визначається за формулою:

$$U = \sum_{i=1}^m U_i t_i k_i, \quad (9)$$

де коефіцієнти k_i визначаються з умови проходження інтерполянта через задані точки.

У дисертації проаналізовано результати одновимірної, двовимірної, тривимірної інтерполяції точок, якщо $f(l) = a_1 l + a_2 l^2$.

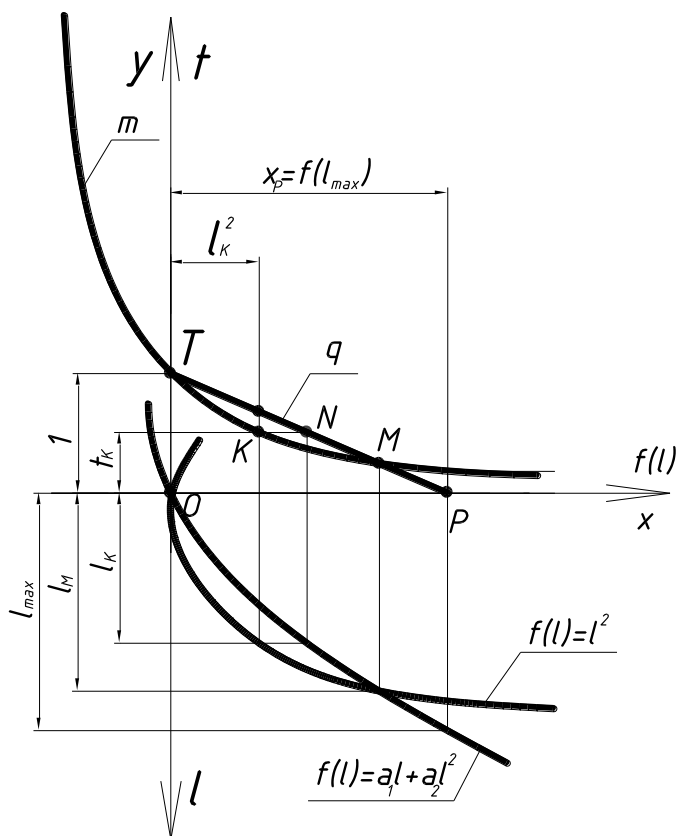


Рис. 5 Узагальнена схема для визначення параметра t (розроблено автором)

У задачах дискретного моделювання, наприклад, при вирішенні диференціальних рівнянь методом скінчених різниць, точність результату розв'язання задачі залежить від кроку дискретизації. Якщо крок дискретизації h представити як деяку величину (довжину), розділену на n частин $h = \frac{l}{n}$, то при $n \rightarrow \infty$ $h \rightarrow 0$. Цю залежність наближено можна уявити у вигляді рівносторонньої гіперболи:

$$y = \frac{c^2}{2(x+p)} + q, \quad (10)$$

де c - довжина дійсної півосі гіперболи;

p, q - координати центра гіперболи.

Гіпербола (10) має три вільних параметри p, q і c , що дозволяє проводити її через три точки, які є результатами трьох розв'язань задачі при різному кроці. Ордината горизонтальної асимптоти гіперболи (10) наближено відповідає розв'язанню задачі при $h \rightarrow 0$.

Точність отримання результату можна підвищити за рахунок збільшення числа задалегідь визначених розв'язань задачі, для чого потрібно збільшити число вільних параметрів кривої. Включення додаткових параметрів екстраполяції пропонується за рахунок додаткової параболі у системі координат xOn (рис. 6):

$$x = a_1(n - n_1) + a_2(n^2 - n_1^2) + a_3(n^3 - n_1^3) + \dots + a_m(n^m - n_1^m), \quad (11)$$

де m - число коефіцієнтів параболі.

При підстановці (11) до (10) отримаємо функцію з додатковими параметрами a_i , яка дозволяє більш точно визначати асимптоту кривої, що відповідає задачі при $h=0$.

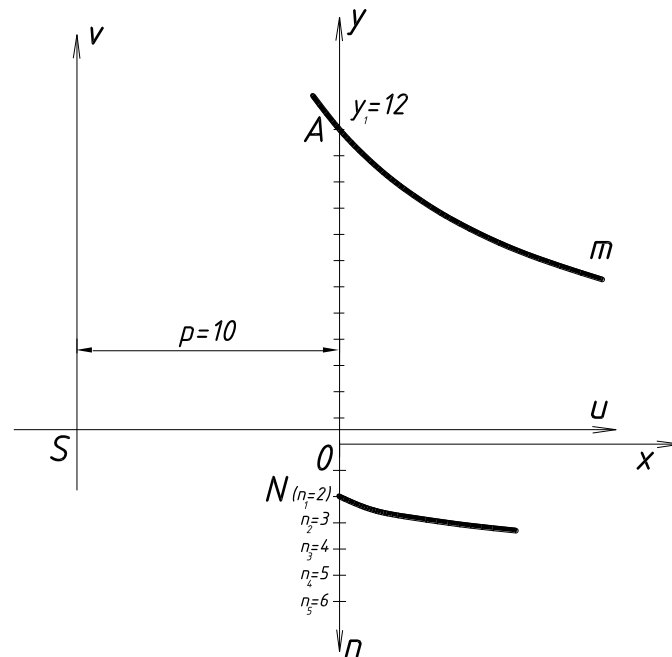


Рис. 6 Включення додаткових параметрів екстраполяції за рахунок додаткової параболи (розроблено автором)

У Розділі 3 «Геометричне моделювання фізичних полів» запропоновано дві узагальнені геометричні моделі фізичних полів з урахуванням впливу відстані від точок поля до джерел енергії. Запропоновані моделі спираються на результати досліджень розділу 2, а саме використано дві розроблені у цьому розділі схеми для визначення параметра t .

Потенціал енергії у довільній точці поля, яке породжується одним точковим джерелом енергії, визначається за формулами:

За схемою I

$$U = \frac{U^* \cdot s}{s + f(l)}; \quad (12)$$

За схемою II

$$U = \frac{U^* [l_{\max} - f(l)]}{l_{\max}}, \quad (13)$$

де U^* - потужність точкового джерела енергії;

s - стала величина;

l - відстань від точки поля до точкового джерела енергії.

Дослідження показали, що результати моделювання фізичних полів при визначенні параметра t за різними схемами при тих самих вихідних умовах істотно розрізняються. Показано, що за допомогою встановлення відповідності між функціями $f(l)=a_1l+a_2l^2$ в обох схемах, можна суттєво зменшити такі розбіжності до 9%.

У дисертації прийнято функцію $f(l)=a_1l+a_2l^2$, що дозволяє, з одного боку, включити у модель додаткові параметри a_1 і a_2 для врахування особливостей середі фізичного поля, а з іншого боку – при $a_1=0$ отримати відомий випадок, коли потенціал поля зменшується зі збільшенням квадрата відстані від точки поля до джерела енергії.

Потенціал енергії поля, що породжується кількома точковими джерелами енергії, визначається як сума потенціалів у поточній точці поля, які породжуються кожним з цих джерел:

За схемою I

$$U = s \left(\frac{U_1^*}{s + a_1 l_1 + a_2 l_1^2} + \frac{U_2^*}{s + a_1 l_2 + a_2 l_2^2} + \dots + \frac{U_n^*}{s + a_1 l_n + a_2 l_n^2} \right); \quad (14)$$

За схемою II

$$U = \frac{U_1^* (l_{\max} - a_1 l_1 - a_2 l_1^2) + U_2^* (l_{\max} - a_1 l_2 - a_2 l_2^2) + \dots + U_n^* (l_{\max} - a_1 l_n - a_2 l_n^2)}{l_{\max}}. \quad (15)$$

При визначенні потенціалу енергії точки поля за схемою I отримаємо більш точний результат, ніж за схемою II, але при розв'язанні різноманітних задач степінь координат точок поля збільшується із збільшенням числа джерел енергії, що суттєво впливає на можливість розв'язання задачі. Якщо потенціал енергії визначається за схемою II точність результату зменшується, але степінь координат точок поля не залежить від числа джерел енергії.

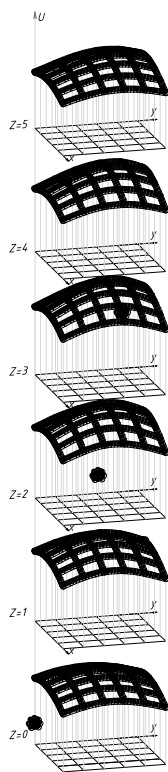


Рис. 7 Геометрична модель енергетичного поля за схемою I (розроблено автором)

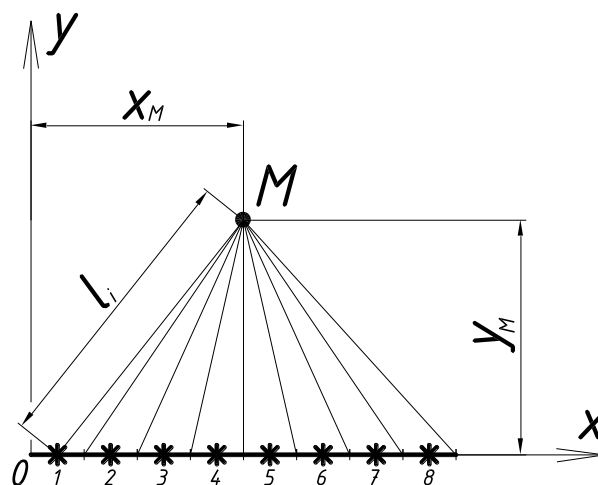


Рис. 8 Дискретизація лінійного джерела енергії (розроблено автором)

На рис. 7 показано приклад чотиривимірного багатовиду, який є геометричною моделлю фізичного поля, що породжується трьома джерелами енергії.

Лінійне джерело енергії можна уявити дискретно як множину n точкових джерел (рис. 8). Тоді потенціал довільної точки M енергетичного поля дорівнює:

$$U_i = \frac{U^*}{n} \cdot \sum_{m=1}^n t_m, \quad (16)$$

де m – номер ланки при дискретизації лінійного джерела енергії.

На рис. 9 показано приклад багатовиду енергетичного поля, яке породжується лінійним джерелом енергії за схемою I (ліва частина) і за схемою II (права частина).

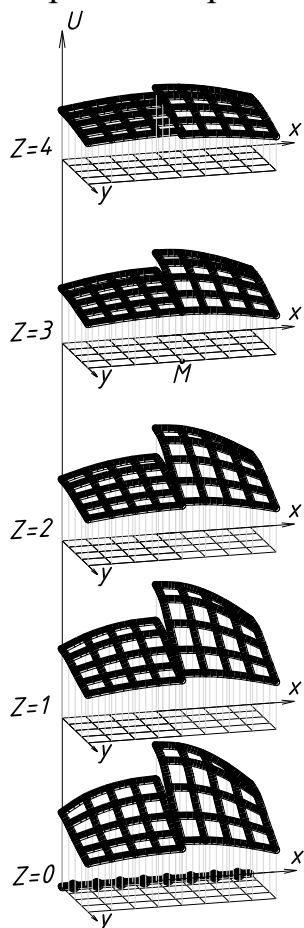


Рис. 9 Геометричні моделі енергетичного поля з лінійним джерелом енергії (розроблено автором)

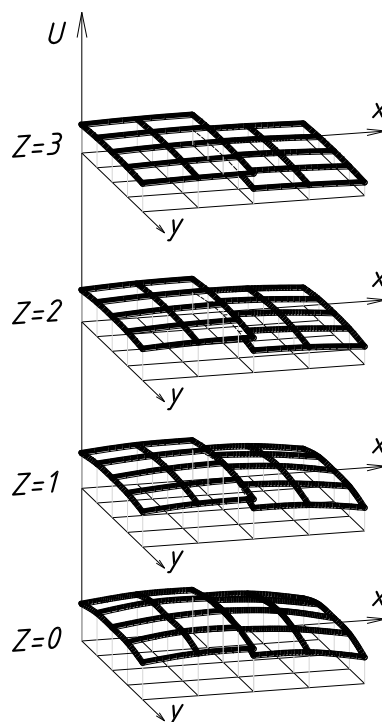


Рис. 10 Геометрична модель енергетичного поля від площинного джерела енергії при різних функціях $f(l)$ (розроблено автором)

За аналогією з лінійним джерелом енергії площинне джерело енергії розглядається дискретно у вигляді прямокутника зі сторонами $m \times n$ лінійних одиниць. Центр кожної клітини розбиття приймається за точкове джерело енергії. Тоді потенціал енергії у довільній точці M поля обчислюється за формулою:

$$U_i = \frac{U^*}{m \cdot n} \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^n t_{p,q}, \quad (17)$$

де U^* - потужність площинного джерела енергії;

p, q - нумерація клітин сітки розбиття площинного джерела енергії з одиничним кроком;

m, n - числа кроків розбиття джерела енергії;

На рис. 10 показано приклади багатовидів, які є моделями енергетичних полів з площинним джерелом енергії, у площині xOy , якщо параметр t розраховано за схемою I при $f(l)=a_1l$ (ліворуч) і $f(l)=a_2l^2$ (праворуч).

У Розділі 4 «Наочне уявлення енергетичних полів» розглянуто наочне уявлення енергетичних полів у вигляді ізоперхонь, на які розшаровується багатовид. Зокрема, енергетичне поле на площині можна розшарувати на однопараметричну множину ізоліній.

Якщо параметр t визначається за схемою I, то узагальнена формула для визначення потенціалу довільної точки енергетичного поля на площині має вигляд:

$$U = s \cdot \sum_{i=1}^n \frac{U_i^*}{s + a_1 \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + a_2 [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]}, \quad (18)$$

де s - стала величина;

U^* - потужність точкового джерела енергії;

i - номер точкового джерела енергії;

x, y - координати поточної точки енергетичного поля;

x_i, y_i - координати i -того джерела енергії;

a_1, a_2 - додаткові параметри, які дозволяють варіювати величину t .

Якщо величину U вважати сталою, то вираз (18) є рівнянням ізолінії енергетичного поля.

Якщо параметр t визначається за схемою II, то рівняння ізолінії приймає вигляд:

$$U = \sum_{i=1}^n \left[U_i^* - \frac{a_1 \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + a_2 [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]}{a_1 x_p + a_2 x_p^2} \right], \quad (19)$$

де $x_p = l_{\max}$ - максимально допустима відстань від точки поля до точкового джерела енергії.

Очевидно, що при одному джерелі енергії ізолініями на площині з однаковими потенціалами будуть концентричні кола з центром у точковому джерелі енергії і радіусом відповідно:

За схемою I

$$R' = l = \frac{-a_1 + \sqrt{a_1^2 - \frac{4a_2 s \cdot (U^* - U)}{U}}}{2a_2}; \quad (20)$$

За схемою II

$$R'' = l = \frac{-a_1 + \sqrt{a_1^2 - 4a_2 (U^* - U) \cdot x_p}}{2a_2}. \quad (21)$$

Силowymi лініями у даному випадку є пучок прямих з центром колових ізоліній.

При двох однакових за потужністю точкових джерелах енергії, якщо параметр t визначається за схемою I, ізолініями є пучок кривих четвертого порядку. Якщо параметр t обчислюється за схемою II при двох однакових за потужністю точкових джерелах енергії, ізолініями є еліпси:

$$\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} + \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} = 2a, \quad (22)$$

де a - довжина більшої півосі еліпса.

У цьому випадку ізолінії і силові лінії утворюють відому ортогональну сітку софокусних еліпсів і гіпербол.

Якщо число точкових джерел енергії більше двох, а параметр t визначається за схемою II при $f(l)=l$, ізолінії є плоскими кривими, які можна вважати узагальненням поняття еліпса:

$$\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} + \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} + \dots + \sqrt{(x-x_n)^2 + (y-y_n)^2} = a, \quad (23)$$

де a - стала величина.

На рис. 11, як приклад, показано чотирифокусний «еліпс».

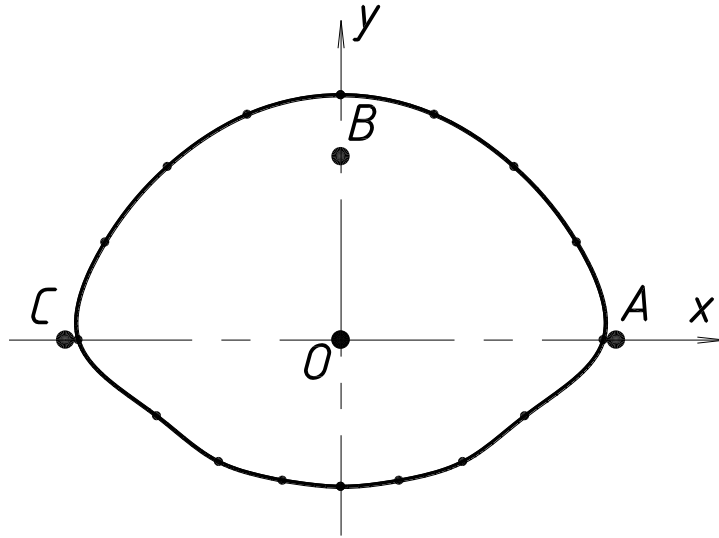


Рис. 11 Крива, яка є геометричним місцем точок, сума відстаней від яких до чотирьох заданих точок є величиною сталою (розроблено автором)

Енергетичне поле у тривимірному просторі є чотиривимірним багатовидом, який наочно представляється дискретною множиною ізоповерхонь однакових потенціалів:

За схемою I

$$U = s \cdot \sum_{i=1}^n \frac{U_i^*}{s + a_1 \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2} + a_2 [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2]}, \quad (24)$$

За схемою II

$$U = \sum_{i=1}^n \left[U_i^* - \frac{a_1 \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2} + a_2 [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2]}{a_1 x_P + a_2 x_P^2} \right]. \quad (25)$$

де U - заданий потенціал точок поля однієї ізоповерхні;

U_i^* - потужність i -того джерела енергії;

s - стала величина;

n - число точкових джерел енергії;

x_i, y_i, z_i - координати точкових джерел енергії;

a_1, a_2 - додаткові параметри функції $f(l)$;

$x_P = l_{\max}$ - обмеження дії джерел енергії.

На рис. 12 показано приклад розшарування багатовиду на однопараметричну множину ізоповерхонь енергетичного поля, якщо параметр t визначається за схемою I при $f(l)=l^2$.

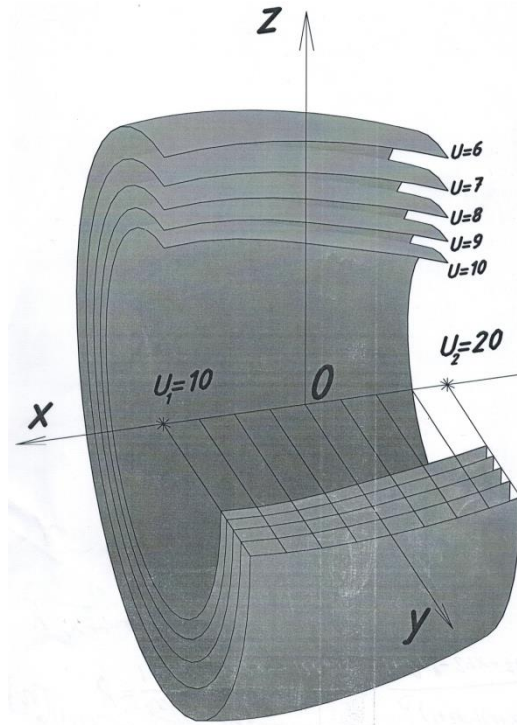


Рис. 12 Ізоповерхні рівних потенціалів енергетичного поля з двома точковими джерелами енергії (розроблено автором)

В окремих випадках при двох точкових джерелах енергії, якщо параметр t визначається за схемою II, ізоповерхнями енергетичного поля будуть поверхні другого порядку. Зокрема, якщо $f(l)=a_1l$, то ізоповерхнями є софокусні еліпсоїди обертання, фокусами яких є точкові джерела енергії. Силкові лінії енергетичного поля, які є ортогональними до множини ізоповерхонь (еліпсоїдів обертання), є перерізами софокусних двопорожнинних гіперболоїдів обертання площинами пучка з віссю, що проходить через фокуси цих поверхонь.

Якщо енергетичне поле утворюється при n точкових джерелах однакової потужності, а функція $f(l)=a_2l^2$, то формула для підрахунку потенціалу довільної точки поля приймає вигляд:

$$U = U^* \left\{ n - \frac{a_2}{x_P} \cdot \sum_{i=1}^n [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2] \right\}. \quad (26)$$

де U^* - потужність кожного із заданих точкових джерел енергії;

n - число заданих джерел енергії;

$x_P = l_{\max}$ - обмеження дії джерела енергії;

a_2 - параметр функції $f(l)$;

x_i, y_i, z_i - координати i -того джерела енергії.

Аналізуючи рівняння (26) можна побачити, що воно є рівнянням сфери. Узагальнюючи це рівняння на багатовимірний простір, можна сформулювати дві цікаві властивості гіперсфери.

Властивість 1. Гіперсферу (сферу, коло) можна розглянути як геометричне місце точок, сума квадратів відстаней від яких до m заданих точок є величиною сталою:

$$l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 + \dots + l_i^2 + \dots + l_m^2 = l, \quad (27)$$

де l - задана стала величина;

l_i - відстань від довільної точки гіперсфери до i -тої заданої точки;

m - число заданих точок.

Координати центра гіперсфери:

$$x_S = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m}; y_S = \frac{\sum_{i=1}^m y_i}{m}; z_S = \frac{\sum_{i=1}^m z_i}{m}; \dots v_S = \frac{\sum_{i=1}^m v_i}{m}, \quad (28)$$

де $x_i, y_i, z_i, \dots, v_i$ - координати заданих точок;

m - число заданих точок.

Радіус гіперсфери:

$$r = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^m x_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^m y_i\right)^2 + \dots + \left(\sum_{i=1}^m v_i\right)^2}{m^2} - \frac{\sum_{i=1}^m (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 + \dots + v_i^2) - l}{m}}. \quad (29)$$

Властивість 2.

Довільні коефіцієнти k_i при відстанях l_i впливають на параметри гіперсфери, не змінюючи тип поверхні:

$$k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2 + k_3 l_3^2 + \dots + k_i l_i^2 + \dots + k_m l_m^2 = l. \quad (30)$$

При цьому координати центра визначаються за формулами:

$$x_S = \frac{\sum_{i=1}^m k_i x_i}{\sum_{i=1}^m k_i}; y_S = \frac{\sum_{i=1}^m k_i y_i}{\sum_{i=1}^m k_i}; z_S = \frac{\sum_{i=1}^m k_i z_i}{\sum_{i=1}^m k_i}; \dots v_S = \frac{\sum_{i=1}^m k_i v_i}{\sum_{i=1}^m k_i}. \quad (31)$$

Радіус:

$$r = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^m k_i x_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^m k_i y_i\right)^2 + \dots + \left(\sum_{i=1}^m k_i v_i\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^m k_i\right)^2} - \frac{\sum_{i=1}^m [k_i (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 + \dots + v_i^2)] - l}{\sum_{i=1}^m k_i}}. \quad (32)$$

Для визначення ізоповерхонь енергетичного поля при лінійному і площинному джерелах енергії пропонується так само, як і у розділі 3, дискретизація цих джерел. Тоді формули (16) і (17) при заданій величині U_M є рівняннями ізоповерхні поля, що утворюється відповідно при лінійному та площинному джерелах енергії.

Для уточнення результатів обчислень координат точок ізоповерхні пропонується використання способу дискретної екстраполяції ряду обчислень, який було описано у розділі 2. Зокрема, у роботі наведено приклади побудови ізоповерхонь при поділі лінійного джерела на 1, 2, 3 і 4 частини, а площинного джерела енергії – на 1, 4 та 9 частин з послідуною екстраполяцією отриманих результатів. Приклад однієї ізоповерхні ($U=16$ ум. од.) енергетичного поля від площинного джерела енергії потужністю 50 ум. од. у вигляді квадрата 6×6 лін. од., яке розміщено у площині xOz показано на рис. 13.

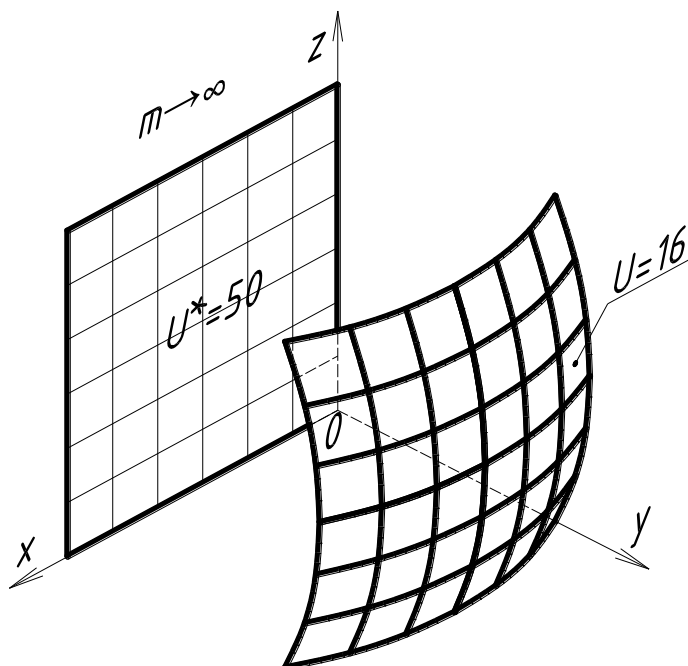


Рис. 13 Ізоповерхня енергетичного поля з площинним джерелом енергії (за схемою I) (розроблено автором)

Розділ 5 «Моделювання енергетичних полів з урахуванням відбиттів і поглинання енергії прямокутними екранами». В залежності від фізичних властивостей екрана він може енергію поглинати, пропускати або відбивати. Прикладами таких перешкод можуть бути стіни приміщення, або будь-які об'єкти як в інтер'єрі, так і в екстер'єрі. Розподіл енергії на відбиту, поглинуту і таку, що екран пропускає, залежить не тільки від властивостей самого екрана, а і від типу енергії. Наприклад, скляні вікна або двері майже повністю пропускають світлову енергію, але затримують звукову і теплову енергії. У концертних або театральних залах влаштовують спеціальні екрани, які максимально поглинають звукову енергію і майже не відбивають її, але відбивають світло. Різноманітні дзеркала майже повністю відбивають світло тощо. Тому питання розподілу енергії у просторі при наявності екранів є важливим як в архітектурному проектуванні, так і у багатьох інших галузях.

У роботі прийнято променевий принцип розповсюдження енергії, за яким, як правило, будуються геометричні моделі фізичних процесів. Тому такі фізичні явища як дифракція, інтерференція тощо, які мають відношення до хвильової теорії розповсюдження енергії, не розглядались.

Площина заданого екрана поділяє простір на дві частини: зона M і зона N . З урахуванням складових частин енергії за наявності екрана маємо дві формули для підрахунку потенціалу у довільній точці поля відповідно перед екраном (у зоні M) і за екраном (у зоні N) при заданих точкових джерелах енергії:

$$U_{x,y,z}^M = \sum_{i=1}^m U_i^M t_i^M + r \cdot \sum_{i=1}^m U_i^M t_i^{M'} + p \cdot \sum_{j=1}^n U_j^N t_j^N; \quad (33)$$

$$U_{x,y,z}^N = p \cdot \sum_{i=1}^m U_i^M t_i^M + \sum_{j=1}^n U_j^N t_j^N + r \cdot \sum_{j=1}^n U_j^N t_j^{N'}; \quad (34)$$

$$p + r < 1,$$

де $U_{x,y,z}^M, U_{x,y,z}^N$ – потенціали точок відповідно у зонах M і N фізичного поля;

U_i^M, U_j^N – потужності точкових джерел енергії, які розміщено відповідно у зонах M і N ;

t_i, t_j – параметри, що враховують відстані від точок поля до точкових джерел енергії або відбитих джерел енергії;

t_i', t_j' – параметри, що враховують відстані від точки поля до відбитих джерел енергії;

m – число точкових джерел енергії у зоні M ;

n – число точкових джерел енергії у зоні N .

Наявність прямокутного екрана поділяє фізичне поле з n точковими джерелами енергії на окремі зони з різними сполученнями частин енергії (відбитої та проникнутої частково, або повністю).

У роботі визначено мінімальну і максимальну кількість m таких зон:

$$4^{(n-1)} \cdot 3 + 1 \geq m \geq 2n + 1, \quad (35)$$

де n – число точкових джерел енергії.

При лінійному джерелі енергії крім зон, аналогічних зонам, що отримуються при точкових джерелах, утворюються зони, в які енергія попадає від більшої чи меншої частини лінійного джерела. Границі різних зон можна визначити, якщо кінці лінійного джерела розглянути як точкові джерела енергії.

Аналогічним чином визначаються зони поділу енергетичного поля, яке породжується прямокутним площинним джерелом енергії.

При підрахунку потенціалу енергії у довільній точці E поля півпростору M з точковим джерелом енергії та екраном у вигляді площини загального положення за відомою схемою потрібно враховувати дві відповідні відстані (рис. 14), які впливають на потенціал точки E .

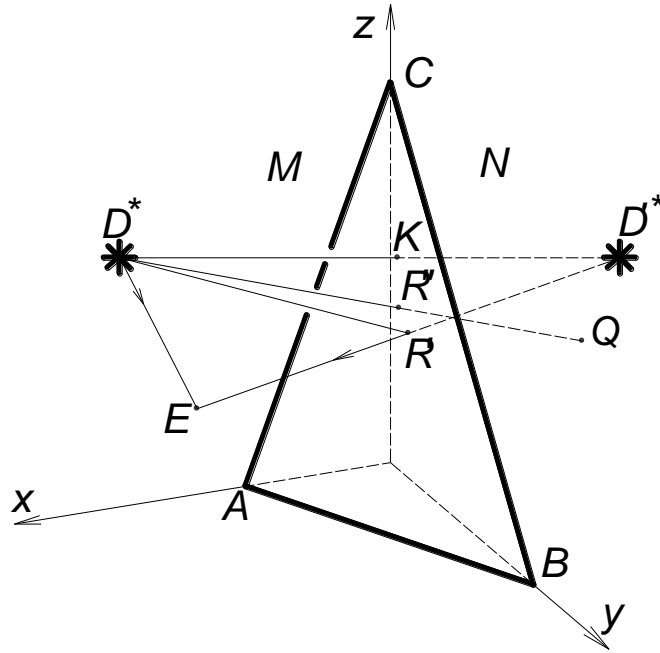


Рис. 14 Схема відбиття енергії від площини ABC (розроблено автором)

Перша відстань вимірюється між точкою E поля та джерелом енергії, а друга – довжина відбитого променя від точки R' до точки E :

За схемою I

$$U_E = \frac{s \cdot U^*}{s + a_1 l + a_2 l^2} + \frac{rsU^*}{s + a_1 l' + a_2 (l')^2}; \quad (36)$$

За схемою II

$$U_E = \frac{U^*(x_P - a_1 l - a_2 l^2) + rU^*[x_P - a_1 l' - a_2 (l')^2]}{x_P}, \quad (37)$$

де U^* - потужність точкового джерела енергії;

a_1, a_2 - додаткові параметри функції $f(l)$;

r - коефіцієнт відбиття енергії;

$$l = a_1 \sqrt{(x_D - x)^2 + (y_D - y)^2 + (z_D - z)^2} + a_2 [(x_D - x)^2 + (y_D - y)^2 + (z_D - z)^2];$$

$$l' = a_1 \sqrt{(x_R - x)^2 + (y_R - y)^2 + (z_D - z)^2} + a_2 [(x_R - x)^2 + (y_R - y)^2 + (z_R - z)^2].$$

Потенціал енергії у довільній точці Q півпростору N визначається як енергія, що попадає у точку Q безпосередньо від джерела D^* без відбитої і поглинутої екраном енергії:

За схемою I

$$U_Q = \left[\frac{s^2 U^* (1 - q - r)}{[s + a_1 l'' + a_2 (l'')^2] [s + a_1 l''' + a_2 (l''')^2]} \right]; \quad (38)$$

За схемою II

$$U_Q = \frac{U^* (1-q-r)[x_P - f(l'')][x_P - f(l''')]}{x_P^2}, \quad (39)$$

де q і r - коефіцієнти відповідно поглинання і відбиття енергії;

$l'' = D^* R'' = \sqrt{(x_R - x_D)^2 + (y_R - y_D)^2 + (z_R - z_D)^2}$ - довжина частини променя від джерела D^* до точки R'' екрана;

$l''' = R'' Q = \sqrt{(x - x_R)^2 + (y - y_R)^2 + (z - z_R)^2}$ - довжина променя від точки R'' екрана до довільної точки півпростору N .

Приклад двох ізоповерхонь енергетичного поля з точковим джерелом D^* енергії та квадратним екраном $ABCE$ показано на рис. 15.

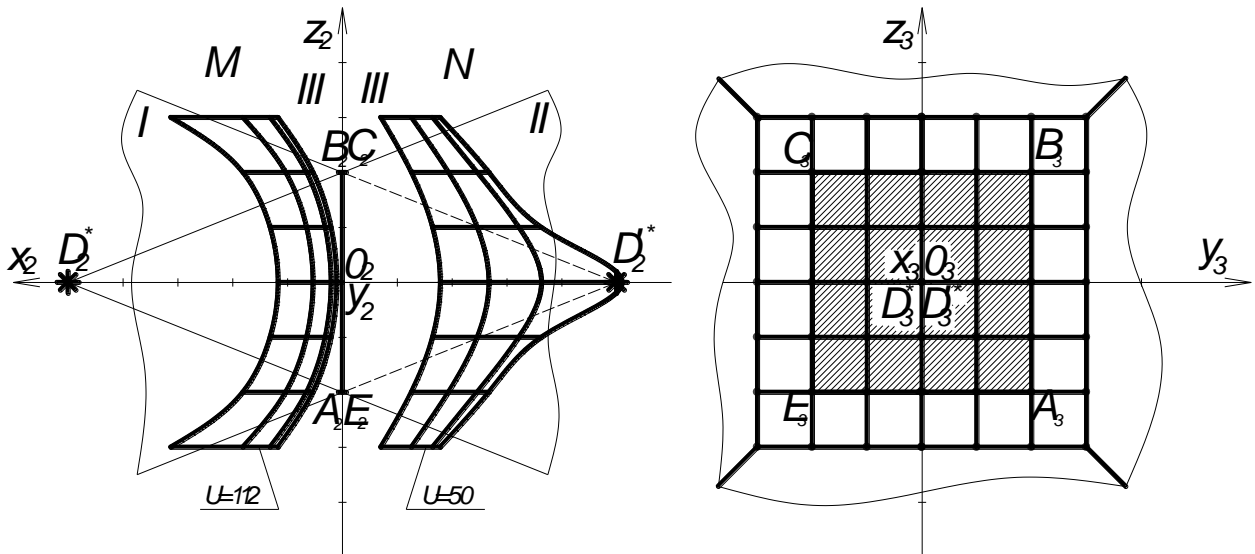


Рис. 15 Ізоповерхні енергетичного поля з точковим джерелом D^* енергії та екраном $ABCE$ (розроблено автором)

При наявності в енергетичному полі двох або більшого числа екранів спостерігається багаторазове відбиття енергії, оскільки промінь від джерела енергії, попадаючи на перший екран і відбиваючись від нього, попадає на другий екран, який його також відбиває знову на перший екран. Таке відбиття може бути багаторазовим. З кожним відбиттям промінь відбитої енергії слабшає, оскільки з урахуванням коефіцієнта відбиття відбивається лише частина енергії. Теоретично число разів відбиття може бути нескінченним, але на практиці настає мить, коли при певному числі відбиттів відбита енергія настільки слабшає, що її можна не враховувати.

У практичних задачах площини відбиваючих екранів, як правило, займають окреме положення. Тому розглянемо випадки утворення енергетичного поля у просторі між двома паралельними або взаємно перпендикулярними екранами.

На рис. 16 показано фронтальну проекцію точкового джерела енергії A_0^* , яке суміщено з початком декартової системи координат, і дві профільні площини екранів I і II на відстані m від площини $x=0$. Абсциси відбитих джерел A_i складають числову послідовність:

$$x_i = 2im + (-1)^i \cdot x_0, \quad (40)$$

де x_i - абсциса i -того відбиття точкового джерела;

x_0 - абсциса джерела енергії;

$2m$ - відстань між профільними екранами.

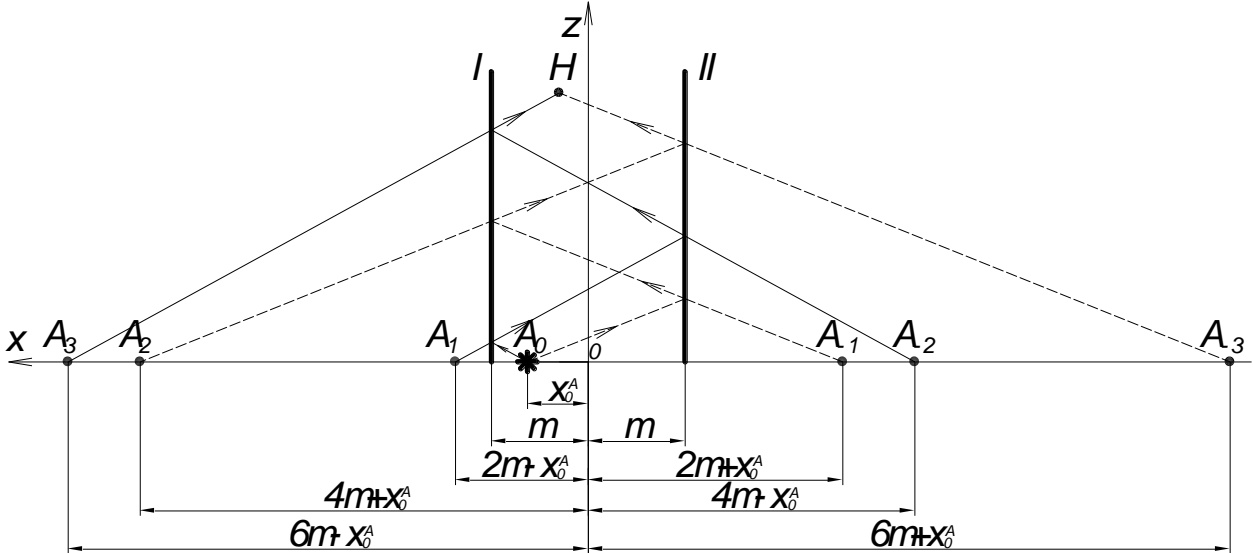


Рис. 16 Відбиття точкового джерела енергії від двох паралельних екранів (розроблено автором)

Потенціал енергії поля у точці H визначається як сума потенціалів від прямого попадання енергії від джерела A^* і частин відбитої енергії при одноразовому, дворазовому, ... , багаторазовому відбитті (рис. 17).

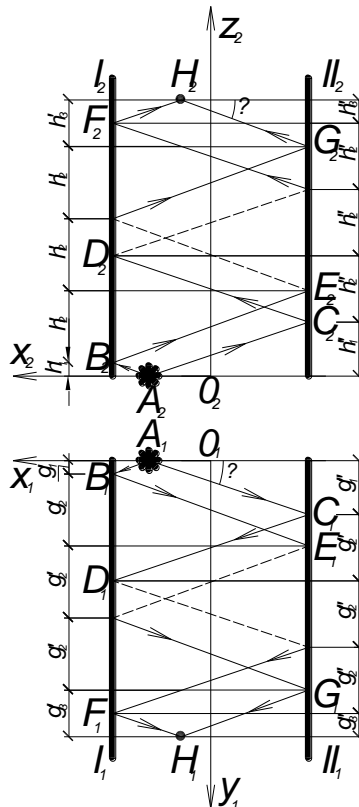


Рис. 17 Багаторазове відбиття енергії від паралельних екранів (розроблено автором)

$$U^H = U^* \left\{ t^{AH} + \sum_{i=1}^n r^i [t_i^{AB} (t_i^{BE})^{i-1} t_i^{GH} + t_i^{AC} (t_i^{CD})^{i-1} t_i^{FH}] \right\}, \quad (41)$$

де i - число відбиттів від кожного екрана;

n - мінімально допустиме число відбиттів від кожного екрана;

r - коефіцієнт відбиття.

При двох заданих взаємно перпендикулярних екранах багаторазового відбиття енергії від екранів, так як це було з паралельними екранами, не буде (рис. 18).

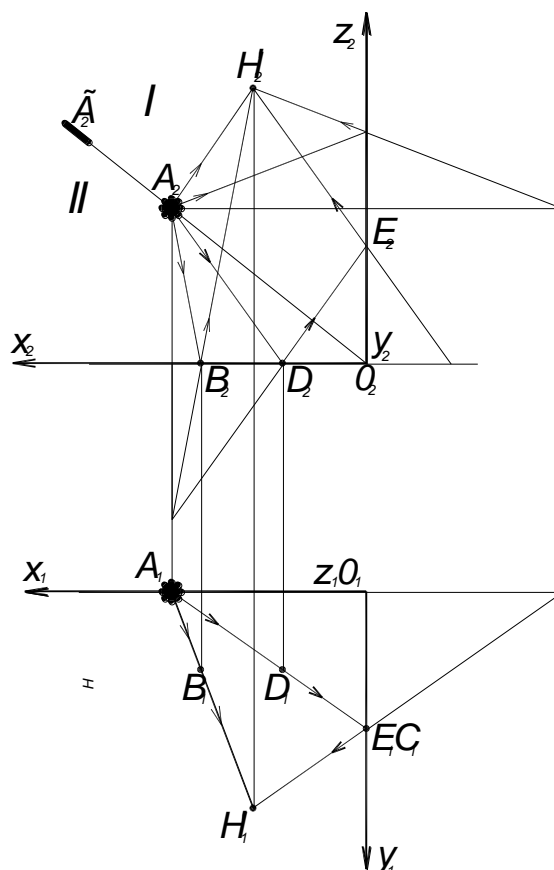


Рис. 18 Відбиття енергії від взаємно перпендикулярних екранів (розроблено автором)

На рис. 18 показано відбиття енергії при точковому джерелі A від двох взаємно перпендикулярних екранів xOy і yOz . Потенціал енергії у довільній точці H поля складається з чотирьох частин:

1. пряме попадання енергії з точкового джерела у довільну точку H поля;
2. відбита енергія від екрана xOy ;
3. відбита енергія від екрана yOz ;
4. енергія, що попадає у точку поля при подвійному відбитті від двох екранів.

Площина Γ , що проходить через лінію перетинів екранів і точкове джерело A енергії, поділяє квадрант простору між екранами на дві зони. Потенціали точок фізичного поля у цих зонах визначаються за формулами відповідно:

у зоні I

$$U^H = U^{*A} \left(t^{AH} + r \cdot t^{AB} t^{BH} + r t^{AC} t^{CH} + r^2 t^{AD} t^{DE} t^{EH} \right), \quad (42)$$

у зоні II

$$U^H = U^{*A} (t^{AH} + r t^{AB} t^{BH} + r t^{AC} t^{CH} + r^2 t^{AF} t^{FG} t^{GH}). \quad (43)$$

Якщо точка H знаходиться у площині Γ , то формула для визначення потенціалу довільної точки енергетичного поля набуває вигляду:

$$U^H = U^{*A} [t^{AH} + r(t^{AB} t^{BH} + t^{AC} t^{CH} + t^{AI} t^{IH})]. \quad (44)$$

де верхніми індексами показано промені, у напрямі яких передається енергія у точку H .

Розділі 6 «Зворотні задачі моделювання фізичних полів та оптимізація параметрів фізичних полів». Під зворотними задачами будемо розуміти визначення параметрів джерел енергії за заданими потенціалами окремих точок фізичного поля на відміну від прямих задач, де за заданими параметрами джерел енергії визначаються потенціали точок поля.

Ніяка геометрична модель, у тому числі і модель, запропонована у даній роботі, не може абсолютно точно врахувати всі чинники, що впливають на утворення фізичного поля. Для того, щоб врахувати вплив цих чинників на потенціали точок поля, можна використати дані, які отримано експериментальним шляхом, і з їх урахуванням скоригувати апарат геометричного моделювання поля.

Якщо у схему I, яка встановлює гіперболічну залежність між відстанню l і параметром t , додати вільні параметри функції $f(l)$, можна врахувати експериментально отримані дані, для яких параметр t буде визначатись за єдиною закономірністю, спільною для всіх точок поля. Нехай потенціали U_1, U_2, \dots, U_n точок поля на заданих відстанях відповідно l_1, l_2, \dots, l_n від точкового джерела енергії отримано у результаті експерименту. Необхідно визначити потенціал точкового джерела енергії і вивести формулу для визначення потенціалу енергії довільної точки поля. Відстань l від точки поля до точкового джерела енергії будемо відкладати вздовж осі Ol (рис. 19), встановлюючи додаткову параболічну залежність між точками осей Ol і Ox , яка дозволяє враховувати експериментально отримані дані. Ця залежність повинна мати $n - 1$ додатковий параметр a_i :

$$x = f(l) = a_1 l + a_2 l^2 + a_3 l^3 + \dots + a_{n-1} l^{n-1}. \quad (45)$$

У такому випадку параметр t за схемою I визначається за формулою:

$$t = \frac{s}{s + a_1 l + a_2 l^2 + a_3 l^3 + \dots + a_{n-1} l^{n-1}}. \quad (46)$$

Тоді залежність між експериментально отриманими параметрами набуває вигляду:

$$s \cdot U^* = U_i (a_1 l_i + a_2 l_i^2 + a_3 l_i^3 + \dots + a_{n-1} l_i^{n-1} + s), \quad (47)$$

де U_i, l_i - параметри, які отримано у результаті експерименту;

$1 \leq i \leq n$ - номер експериментально отриманого параметра l_i або U_i .

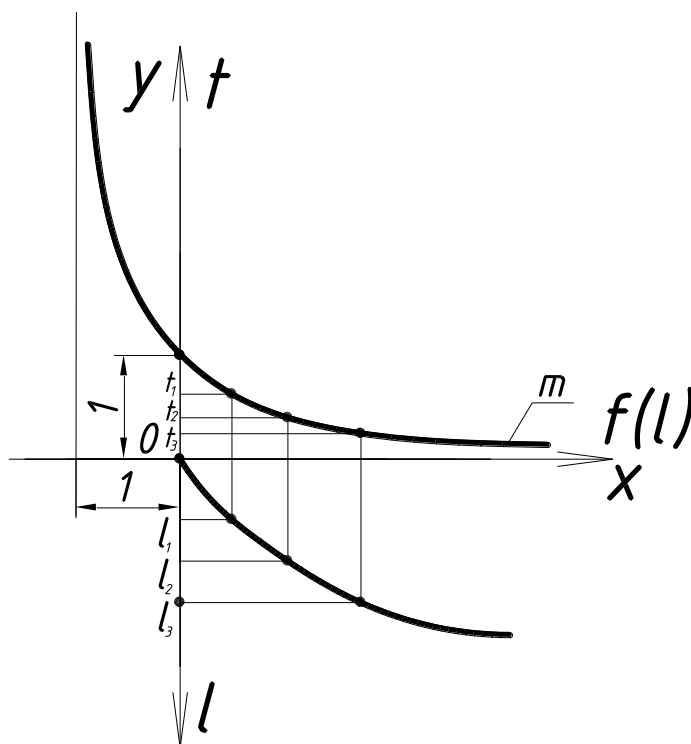


Рис. 19 Схема, що враховує експериментально отримані дані (розроблено автором)

Якщо обидві сторони рівняння (47) поділити на величину s , отримаємо спрощене рівняння:

$$U^* = U_i (a'_1 l_i + a'_2 l_i^2 + a'_3 l_i^3 + \dots + a'_{n-1} l_i^{n-1} + 1), \quad (48)$$

де $a'_j = \frac{a_j}{s}$;

j - номер додаткового параметра функції $f(l)$.

При підстановці до (6.1.4) експериментально отриманих значень U_i і l_i отримаємо систему з n лінійних рівнянь, де невідомими є $n-1$ параметрів a_j і потужність точкового джерела енергії.

Якщо параметр t визначається за схемою II, то вираз (48) набуває вигляду:

$$U^* = \frac{U_i}{1 - a'_1 l_i - a'_2 l_i^2 - a'_3 l_i^3 - \dots - a'_{n-1} l_i^{n-1}}. \quad (49)$$

де U_i - експериментально визначений потенціал i -тої точки поля;

U^* - потужність точкового джерела енергії;

a'_i - додаткові параметри функції $f(l)$;

l_i - відстань від i -тої заданої точки поля до точкового джерела.

При підстановці експериментально визначених параметрів U_i до (49) отримаємо систему рівнянь, де невідомими є потужність U^* та параметри a'_j .

При одному точковому джерелі енергії багатовид, який є моделлю енергетичного поля, незалежно від схеми визначення параметра t , можна розшарувати на однопараметричну множину концентричних ізосфер. Тестові приклади показали, що розбіжність у радіусах ізосфер з однаковими потенціалами при використанні двох схем для визначення параметра t не перевищує 4,4%.

Якщо фізичне поле породжується кількома точковими джерелами енергії, залежність між параметрами джерел і параметрами експериментально отриманих кількох точок енергетичного поля описується системою рівнянь:

$$U_j = \sum_{i=1}^n (U_i^* \cdot t_{i,j}), \quad (50)$$

де i - номер точкового джерела енергії;

j - номер заданої точки фізичного поля;

U_j - заданий потенціал заданої точки поля;

U_i^* - потужність i -того точкового джерела енергії;

$t_{i,j}$ - параметр, що враховує відстань від j -тої заданої точки поля до i -того точкового джерела енергії;

n - число точкових джерел енергії.

У тривимірному просторі кожне точкове джерело має чотири параметри, з яких три параметри – координати джерела, а четвертий – потужність. Тоді число m рівнянь системи (50) повинно дорівнювати числу невідомих параметрів джерел енергії:

$$m = 4n - v - w, \quad (51)$$

де n - загальне число точкових джерел енергії;

v - число точкових джерел енергії з заданими потужностями;

w - число заданих окремих координат точкових джерел енергії.

Параметри n, w, v можуть знаходитись у різних кількісних комбінаціях, але повинні відповідати залежності (51).

На рис. 20 показано приклад ізоперхонь, на які розшаровується багатовид, що моделює енергетичне поле при заданих координатах і потенціалах чотирьох точок енергетичного поля при визначенні параметра t за схемою I. Задані точки енергетичного поля позначено кружечками, а положення точкових джерел – зірочками.

Якщо задано лінійне джерело енергії, то система рівнянь (50) при визначенні параметра t за схемами I і II відповідно набуває вигляду:
для схеми I

$$U_j = \sum_{i=1}^n \frac{U^* s}{n[s + f(l_{i,j})]}; \quad (52)$$

для схеми II

$$U_j = \sum_{i=1}^n \frac{U^*[x_p - f(l_{i,j})]}{nx_p}, \quad (53)$$

де n - число ланок лінійного джерела при його дискретизації.

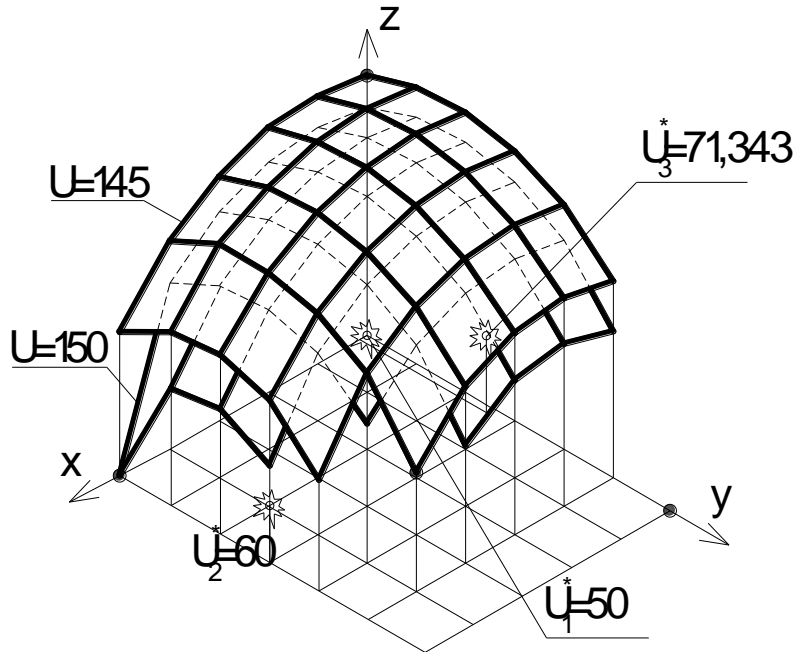


Рис. 20 Ізоповерхні енергетичного поля при заданих параметрах чотирьох його точок (розроблено автором)

Зворотні задачі з площинним джерелом енергії у вигляді прямокутника розв'язуються за аналогією із задачами з лінійним джерелом енергії.

Якщо число вільних змінних параметрів у системах (48)-(50), (52) і (53) на одиницю перевищує число заданих, ці системи є недовизначеними і з'являється можливість пошуку оптимального розв'язання з однопараметричної множини можливих.

Більшість практичних задач оптимізації енергетичних полів пов'язується з енергозбереженням. Критерієм оптимізації у цьому випадку є мінімізація потужностей джерел енергії при виконанні заданих умов задачі:

$$\sum_{i=1}^n U_i^* \rightarrow \min, \quad (54)$$

де n - число точкових джерел енергії.

Залежність між параметрами цільової функції описується рівняннями (14), (15) або системами таких рівнянь. Змінні параметри цих рівнянь є параметрами оптимізації.

У більшості випадків при моделюванні енергетичних полів неможливо записати у явному вигляді цільову функцію (54) і це значно ускладнює розв'язання задачі, яка називається нелінійним програмуванням.

Одним з можливих способів розв'язання задач нелінійного програмування є перетворення математичної моделі на функцію від однієї змінної або організації ітераційного процесу у вигляді багаторазового пошуку мінімуму функції однієї змінної. У цьому разі можна використовувати відомі ітераційні методи розв'язання задачі.

У розділі сформульовано чотири задачі оптимізації параметрів енергетичних полів стосовно практики архітектурного проектування інтер'єрів і екстер'єрів:

1. Мінімізація потужностей джерел енергії для забезпечення заданих потенціалів заданих точок поля або мінімізація потужності заданої кількості однакових джерел енергії стосовно штучного освітлення приміщень.

2. Оптимальне розміщення джерел енергії заданої потужності для забезпечення максимально рівномірного розподілу потенціалів у точках поля обмеженої площі стосовно штучного освітлення або опалення приміщень.

3. Мінімізація відбитої енергії від екранів при заданих джерелах стосовно проектування інтер'єрів видовищних залів.

4. Пошук точок поля з максимальними потенціалами при заданих джерелах енергії стосовно штучного освітлення приміщень тощо.

Першим етапом розв'язання кожної оптимізаційної задачі є визначення критерію оптимізації, відповідно до якого формується цільова функція. На другому етапі складається математична модель енергетичного поля. На третьому етапі визначаються параметри оптимізації і обмеження, які накладаються на зміну параметрів. На останньому етапі визначається спосіб мінімізації цільової функції.

У розділі 6 дисертаційної роботи наведено тестові приклади розв'язання перелічених задач оптимізації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено методологічне завдання інноваційного розвитку прикладної геометрії – розроблено основи узагальненої геометричного моделі фізичних полів різної природи та продемонстровано можливості її застосування при розв'язанні задач енергозбереження в архітектурному проектуванні.

Значення для науки полягає у розширенні інструментарію прикладної геометрії у напрямі геометричного моделювання фізичних процесів та явищ на основі створення нової узагальненої геометричної моделі фізичних полів, що відкриває перспективи розвитку відповідного наукового напрямку у прикладній геометрії.

Значення для практики полягає у можливості використання розроблених геометричних моделей для розв'язання широкого кола задач, що стосуються енергозбереження у практиці архітектурного проектування.

За результатами дослідження сформульовано такі висновки:

1. Аналіз літератури із загальних питань геометричного моделювання і геометричного моделювання фізичних процесів та явищ дозволив виявити чинники, які потрібно враховувати при створенні узагальненої геометричної моделі енергетичних полів. Основним з цих чинників є вплив відстані між точками енергетичного поля і джерелами енергії на параметри поля. Виявлено щільний зв'язок геометричного моделювання фізичних процесів та явищ з теорією

інтерполяції. У літературних джерелах не виявлено способу інтерполяції, де враховується вплив відстані від поточної точки інтерполянта до заданої точки на результат інтерполяції.

2. Запропонований геометричний апарат на основі двох схем для визначення параметрів t впливу відстаней між заданими точками і точками інтерполянта дозволяє використовувати додаткові вільні параметри апарата для коригування результату інтерполяції. За схемою I не обмежується відстань від заданих точок до поточних точок інтерполяції. За схемою II ця відстань обмежена, але дозволяє знизити степінь рівнянь математичного опису інтерполяції.

3. Запропонований новий метод інтерполяції точок у просторі довільного числа вимірів із урахуванням впливу відстаней між заданими точками і точками інтерполянта є подальшим розвитком загальної теорії інтерполяції.

4. Порівняльний аналіз моделей енергетичного поля зі застосуванням двох схем для обчислення параметра t показав, що при однакових вихідних умовах виникає значна розбіжність між параметрами енергетичного поля. Включення додаткових параметрів у ці схеми за допомогою параболічної залежності між координатами точок поля дозволило значно зменшити зазначену розбіжність.

5. Дискретне уявлення лінійного або площинного джерела енергії дозволило звести моделювання фізичного поля до такого, яке породжується множиною точкових джерел. Запропонований спосіб екстраполяції дозволив за кількома дискретними уявленнями лінійного або площинного джерела енергії прогнозувати результат при кроці дискретизації, який прямує до нуля.

6. Розроблена математична модель енергетичного поля дозволяє будувати його геометричну модель як однопараметричну множину ізоперхонь. Уявлення енергетичних полів у вигляді однопараметричної множини ізоперхонь дозволило підвищити наочність графічних відображень енергетичних полів. Побічним результатом досліджень стало доведення визначення гіперсфери як геометричного місця точок, сума квадратів відстаней від яких до скінченного числа заданих точок є величиною сталою.

8. Дослідження енергетичних полів з площинними екранами дозволило визначити в енергетичному полі зони прямого попадання енергії від джерела, відбитої енергії та енергії, що проникає крізь екран, у різних сполученнях. Виведені формули на основі загальної моделі енергетичного поля дозволяють визначити потенціали точок у різних зонах поля.

9. Розглянуті окремі випадки розміщення двох екранів у енергетичному полі показали, що математична модель поля дозволяє враховувати як нескінченне, так і скінченне число відбиттів.

10. Розроблена геометрична модель дозволяє враховувати експериментально визначені параметри енергетичних полів, що дає можливість уточнювати результати моделювання і враховувати незакладені у модель фізичні параметри середі.

11. Розроблена геометрична модель дозволяє за заданими потенціалами окремих точок поля відновлювати параметри джерел енергії.

12. Якщо число невідомих перевищує число рівнянь математичної моделі, то з'являється можливість пошуку оптимального вирішення поставленої задачі при різних критеріях оптимізації. Пошук оптимального розв'язання виконується методами нелінійного програмування, оскільки математична модель є нелінійною.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у міжнародних виданнях та виданнях, які включено до науково-метричних баз:

1. *Мостовенко А.В.* Моделирование физического поля при известных экспериментально полученных значениях потенциалов отдельных его точек // *Нові технології в будівництві: науково-технічний журнал*. – ДП НДІБВ, 2020. - №37. – С. 34-37. (Збірник включено до міжнародної науково-метричної бази Index Copernicus International).

2. *Мостовенко О.В.* Геометрична модель енергетичного поля з площинним джерелом енергії // *Scientific letter of Academic Society of Michal Baludansky*. 2017. Volume 6. N2a. P. 195-200.

3. *Mostovenko O.V.* Isosurfaces of the energy field at a planar energy sources // *Scientific letter of Academic Society of Michal Baludansky*. 2020. Volume 8. N1a. P. 165-174.

4. *Мостовенко О.В., Ковальов С.М., Ботвіновська С.І.* Визначення розподілу навантажень у заданому середовищі за значеннями таких навантажень в окремих точках. *Опір матеріалів та теорія споруд*. – Київ: КНУБА, 2021 р. Вип. 106. – С. 167-175. (Збірник включено до міжнародної науково-метричних баз Web of Science, Index Copernicus, DOAJ, Google Scholar, Infobase Index, Ulrichsweb (Ulrich's Periodicals Directory), Реферативної бази даних «Україніка наукова»). (Особистий внесок здобувача: запропоновано спосіб дискретної тривимірної інтерполяції, який дозволяє за заданими значеннями силових, температурних або інших навантажень в окремих точках тривимірного тіла проінтерполювати такі навантаження на всі вузли заданої регулярної тривимірної сітки з кубічними клітинами).

5. *Mostovenko O., Bolharova N., Scochko V., Ruchynskiyi M.* Infographic modeling of heat exchange of energy efficient building. *Lecture Notes in Civil Engineering. Volume 73. Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019.* © Springer Nature Switzerland AG 2020. P. 555-569. Print ISBN: 978-3-030-42938-6. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_55. (Журнал включено до міжнародної науково-метричної бази SCOPUS та ін.). (Особистий внесок здобувача: геометричне моделювання фізичних процесів та явищ, які виникають у будівлі, засобами дискретної геометрії, зокрема на основі статико-геометричного методу).

6. *Мостовенко О.В., Ковальов С.М.* Вплив відстаней між точками інтерполянта та заданими точками на його форму. *Управління розвитком складних систем*. – 2019. - №37. – С. 78 – 82. (Збірник включено до міжнародної науково-метричної бази Index Copernicus). (Особистий внесок здобувача: виявлено вільні параметри геометричного апарату для визначення коефіцієнтів впливу відстаней між заданими точками і поточними точками на параметри інтерполянта).

7. Мостовенко О.В. Ізолінії рівних потенціалів енергетичного поля на площині. *Управління розвитком складних систем.* – 2019. - №40. – С.125 – 128. (Збірник включено до міжнародної науково-метричної бази Index Copernicus).

8. Мостовенко О.В. Поділ простору фізичного поля на зони при наявності прямокутного екрана [Текст]. *Управління розвитком складних систем.* – 2020. - №41. – С. 83 – 87. (Збірник включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus).

9. Мостовенко А.В., Ковалёв С.Н. Гиперболическая интерполяция для оценки погрешностей дискретизации. *Управління розвитком складних систем.* – 2020. - №. 42 – С. 102-106. (Збірник включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus). (Особистий внесок здобувача: створення нового геометричного апарату для оцінки похибки дискретизації на основі гіперболічної залежності).

Статті у наукових фахових виданнях України:

10. Мостовенко А.В., Ковалёв С.Н. Интерполяция точек на плоскости с учётом коэффициентов влияния заданных точек. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць.* – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2018.– Вип. 13. – С. 69-75. (Особистий внесок здобувача: створення нового методу інтерполяції точок з урахуванням впливу заданих точок на поточні точки інтерполяції).

11. Мостовенко О.В. Порівняльний аналіз графіків потенціалів енергії при різних функціях від відстані. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Наук.-техн. збірник* – К., КНУБА, 2019. – Вип. 53. – С. 297 – 304.

12. Мостовенко А.В. Определение потенциала энергии в произвольной точке пространства от точечного источника энергии и его отражения. *Градостроительство и территориальное планирование: Науч.-техн. сборник* / К., КНУБА, 2019. – Вып. 69. – С.263 – 268.

13. Мостовенко О.В. Геометричне моделювання фізичного поля з точковим джерелом енергії та відбиваючими екранами. *Прикладна геометрія та інженерна графіка: Міжвідомчий наук.-техн. збірник* / К., КНУБА, 2019. – Вип. 95. – С. 149 - 154.

14. Мостовенко А.В., Ковалев С.Н. Геометрическое моделирование физических полей. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць.* – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2019.– Вип. 14. – С. 101-106. (Особистий внесок здобувача: запропоновано спосіб визначення потенціалу енергії довільної точки фізичного поля при заданих джерелах енергії з урахуванням відстаней від точки фізичного поля до джерел енергії).

15. Мостовенко О.В., Ковальов С.М. Наочна геометрична модель силового поля з двома точковими джерелами енергії. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць.* – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2019.– Вип. 16. – С. 140-146. (Особистий внесок здобувача: визначено, що множини ізоліній і силових ліній поля з двома точковими джерелами енергії утворюють геометричну модель поля у вигляді ортогональної структури ліній).

16. Мостовенко О.В., Ковальов С.М. Визначення залежності між параметрами точкових джерел енергії і параметрами заданих точок енергетичного поля. *Прикладна геометрія та інженерна графіка: Міжвідомчий наук.-техн. збірник* / К., КНУБА, 2019. – Вип. 96. – С. 37-42. (*Особистий внесок здобувача: досліджено, що існують залежності між параметрами джерел енергії та заданими потенціалами в заданих точках фізичного поля*).

17. Мостовенко О.В. Зв'язок між параметрами джерел енергії і точок плоского фізичного поля [Текст]. *Прикладна геометрія та інженерна графіка: Міжвідомчий наук.-техн. збірник* / К., КНУБА, 2020. – Вип. 97. – С. 98-102.

18. Мостовенко О.В. Вплив екранів на утворення фізичного поля при заданих джерелах енергії [Текст]. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Наук.-техн. збірник* – К., КНУБА, 2020. – Вип. 56 – С. 247 – 255.

19. Мостовенко О.В. Узагальнення схем для визначення параметра врахування впливу відстані від точки фізичного поля до точкового джерела енергії [Текст]. *Міжвідомчий науково-технічний збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”*. Випуск 98. Відповідальний редактор Ванін В. В. – Київ: КНУБА, 2020 р. – 160с. DOI: 10.32347/0131-579x.2020.98. – С. 104-109.

20. Мостовенко А.В. Определение параметров источников энергии по заданным параметрам нескольких точек физического поля [Текст]. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць*. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2020.– Вип. 18. – С. 121-127.

21. Мостовенко А.В. Оценка погрешности дискретного моделирования способом гиперболической интерполяции [Текст]. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Наук.-техн. збірник* – К., КНУБА, 2020. – Вип. 57 – С. 54-61.

22. Мостовенко А.В. Геометрическое моделирование физического поля с линейным источником энергии [Текст]. *Градостроительство и территориальное планирование: Науч.-техн. сборник* / Главн. ред. Н.Н. Осетрин – К., КНУБА, 2020. – Вып. 73. – С. 205 – 212.

23. Мостовенко О.В., Ковальов С.М. Геометричне моделювання енергетичного поля за експериментальними даними з урахуванням нескінченно віддалених точок [Текст]. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць*. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2020.– Вип. 20. – С. 129-135. (*Особистий внесок здобувача: при відомих потенціалах окремих точок енергетичного поля, які отримано за допомогою експерименту, на заданих відстанях від точкового джерела енергії виведено формулу, що дозволяє визначати потенціал енергії довільної точки цього поля*).

24. Мостовенко О.В. Систематизація методів інтерполяції у геометричному моделюванні [Текст]. *Міжвідомчий науково-технічний збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”*. Випуск 99. Відповідальний редактор Ванін В. В. – Київ: КНУБА, 2020 р. DOI: <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2020.99.154-162> – С. 154-162.

25. Мостовенко О.В., Ковальов С.М. Деякі властивості гіперсфери в п-вимірному просторі [Текст]. *Міжвідомчий науково-технічний збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”*. Випуск 100. Відповідальний редактор Ванін В. В. – Київ: КНУБА, 2021 р. – С. 153-161. (*Особистий внесок здобувача: виявлено і доведено першу і другу властивості гіперсфери*).

26. Мостовенко О.В., Ковальов С.М., Золотова А.В. Оптимізація параметрів енергетичних полів [Текст]. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць*. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2021.– Вип. 22. – С. 96-103. (*Особистий внесок здобувача: автором показано шляхи розв’язання задач оптимізації параметрів енергетичних полів та вирішено конкретні оптимізаційні задачі*).

Додаткові публікації:

27. Мостовенко О.В., Ботвіновська С.І., Ковальов С.М. Три періоди становлення наукової школи прикладної геометрії Київського національного університету будівництва і архітектури [Текст]. *Міжвідомчий науково-технічний збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”*. Випуск 100. Відповідальний редактор Ванін В. В. – Київ: КНУБА, 2021 р. – С. 18-27. (*Особистий внесок здобувача: становлення третього періоду*).

Тези і матеріали конференцій:

28. Мостовенко О.В. Послідовності функцій як аналітичний опис дискретних лінійних каркасів поверхонь // Тези доповідей 20 міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасні проблеми геометричного моделювання»], (Мелітополь, 05-08 червня 2018 р.) / М-во освіти і науки України, МДПУ. – Мелітополь : МДПУ, 2018. – С. 18.

29. Мостовенко А.В. Геометрическое моделирование физических полей, порождаемых точечными источниками энергии [Текст] / А.В. Мостовенко, С.Н. Ковалёв / Тези доповідей 21 міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасні проблеми геометричного моделювання»], (Мелітополь, 04-07 червня 2019 р.) / М-во освіти і науки України, МДПУ. – Мелітополь : МДПУ, 2019. – С. 13 – 14.

30. Мостовенко О.В. Геометричне моделювання енергетичних полів з точковими джерелами енергії [Текст] / О.В. Мостовенко, С.М. Ковальов / International scientific and practical conference “Science, engineering and technology: global and current trends” : Conference proceedings, December 27-28, 2019. Prague: Izdevnieciba “Baltija Publishing”, P. 90 – 93.

31. Мостовенко О.В. Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Графічні технології моделювання об’єктів, процесів та явищ» (Одеса, 23-24 квітня 2020 р.) / М-во освіти і науки України, Міністерство оборони України, Українська асоціація з прикладної геометрії, Військова академія (м. Одеса), КНУБА. – Одеса: Військова академія, 2020. – С. 47.

32. Мостовенко О.В. Геометричні моделі енергетичних полів. Тези доповідей 22 міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасні проблеми геометричного

модельовання»], (Мелітополь, червень 2020 р.) / М-во освіти і науки України, МДПУ. – Мелітополь : МДПУ, 2020. – (он-лайн).

33. Мостовенко О.В. Шляхи розв'язання оптимізаційних задач при геометричному моделюванні енергетичних полів // Тези доповідей 23 міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасні проблеми геометричного моделювання»], (Мелітополь, 01-04 червня 2021 р.) / М-во освіти і науки України, МДПУ. – Мелітополь : МДПУ, 2021. – С. 26-27.

АНОТАЦІЯ

Мостовенко О.В. Геометричні моделі фізичних полів. – *Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.01 – прикладна геометрія, інженерна графіка. – Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2021.

Дисертаційну роботу присвячено розвитку методології прикладної геометрії у напрямках розширення інструментарію геометричного моделювання фізичних процесів та явищ на основі створення нової узагальненої геометричної моделі фізичних полів, зокрема утворенню енергетичних полів при випромінюванні енергії різноманітними джерелами з урахуванням поглинання та відбиття енергії різними перешкодами, а також наочному відображенню і дослідженню багатовидів фізичної природи, які неможливо наочно уявити без геометричної моделі, що є актуальними проблемами як прикладної геометрії, так і інших наукових та технічних галузей.

В основі запропонованих геометричних моделей знаходиться новий метод інтерполяції точок з урахуванням впливу відстаней від поточних точок інтерполяції до заданих точок на результат інтерполяції.

При геометричному моделюванні енергетичних полів виникають дві основні задачі: 1) за відомими потенціалами окремих точок поля відновити потенціали інших точок поля; 2) за заданими джерелами енергії визначити потенціал довільної точки поля з урахуванням відстаней від точок поля до джерел енергії. Розв'язання першої задачі запропоновано як дискретну інтерполяцію заданих точок у чотиривимірному просторі на сітці з рівномірним кроком. За основу розв'язання другої задачі прийнято спосіб неперервної інтерполяції точок з урахуванням впливу відстаней від поточних точок інтерполяції до заданих точок на результат інтерполяції. Врахування такого впливу здійснюється за рахунок спеціального параметра t , який можна визначати за двома запропонованими схемами. Цей параметр враховується також при моделюванні енергетичних полів. Потенціал довільної точки енергетичного поля визначається як сума добутків потужностей точкових джерел енергії на відповідні параметри t .

Лінійні та площинні джерела енергії розглядаються у дискретному вигляді як множини точкових джерел.

Наочне уявлення енергетичних полів розглянуто як однопараметрична множина ізоповрхонь рівних потенціалів, на які розшаровується чотиривимірний багатовид енергетичного поля.

Показано, як у геометричній моделі енергетичного поля врахувати відбиту і поглинуту енергію при наявності плоских екранів.

Наведено способи розв'язання зворотних задач при моделюванні енергетичних полів, коли за заданими параметрами окремих точок поля визначаються параметри джерел енергії. Сформульовано і розв'язано ряд задач оптимізації параметрів енергетичних полів стосовно врахування проблеми енергозбереження при архітектурному проектуванні.

Ключові слова: геометрична модель, інтерполяція, енергетичне поле, фізичне поле, потенціал енергії, потужність, точкове джерело енергії, лінійне джерело енергії, площинне джерело, вплив відстані, функція, експериментальні дані, параболічна залежність.

ABSTRACT

Mostovenko O.V. Geometric models of physical fields. – *The qualification scientific work is a manuscript.*

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.01.01 - applied geometry, engineering graphics. - Kyiv National University of Construction and Architecture. - Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the development of the methodology of applied geometry in the directions of expanding the tools of geometric modeling of physical processes and phenomena on the basis of creating a new generalized geometric model of physical fields, in particular the formation of energy fields. research of varieties of physical nature, which cannot be clearly imagined without a geometric model, which are current problems of both applied geometry and other scientific and technical fields.

The proposed geometric models are based on a new method of interpolation of points taking into account the influence of distances from current interpolation points to given points on the interpolation result.

In the geometric modeling of energy fields there are two main tasks: 1) for the known potentials of individual points of the field to restore the potentials of other points of the field; 2) for given energy sources to determine the potential of an arbitrary point of the field, taking into account the distances from the points of the field to energy sources. The solution of the first problem is proposed as a discrete interpolation of given points in four-dimensional space on a grid with a uniform step. The solution of the second problem is based on the method of continuous interpolation of points, taking into account the influence of distances from the current interpolation points to the given points on the interpolation result. This effect is taken into account due to a special parameter t , which can be determined by the two proposed schemes. This parameter is also taken into account when modeling energy fields. The potential of an arbitrary point of the energy field is defined as the sum of the products of the capacities of point energy sources for the corresponding parameters t .

Linear and planar energy sources are considered in discrete form as sets of point sources.

Visual representation of energy fields is considered as a one-parameter set of isosurfaces of equal potentials, on which a four-dimensional variety of energy field stratifies.

It is shown how in the geometric model of the energy field to take into account the reflected and absorbed energy in the presence of flat screens.

The methods of solving inverse problems in modeling energy fields are given, when the parameters of energy sources are determined by the given parameters of individual points of the field. A number of problems of optimization of energy field parameters in relation to the problem of energy saving in architectural design are formulated and solved.

Key words: geometric model, interpolation, energy field, physical field, energy potential, power, point energy source, linear energy source, planar source, influence of distance, function, experimental data, parabolic dependence.