

DOI: 10.32347/2076-815X.2022.80.210-218

УДК 514.18

д.т.н., професор **Ковальов С.М.**,

kovalov.sm@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7713-1768,

д.т.н., доцент **Мостовенко О.В.**,

a.mostovenko25@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3423-4126,

д. т. н., професор **Ботвіновська С.І.**,

botvinovska@ua.fm, ORCID: 0000-0002-1832-1342,

Колган А.В.,

5204411@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2167-2864

Київський національний університет будівництва і архітектури

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТОЧКОВИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЗАДАНИХ ПАРАМЕТРАХ ОКРЕМИХ ТОЧОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОЛЯ

У більшості випадків при моделюванні енергетичних полів неможливо записати у явному вигляді цільову функцію енергетичного поля і це значно ускладнює розв'язання задачі, яка називається нелінійним програмуванням [1].

Одним із 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: метод дихотомії (метод поділу навпіл); метод «золотого перерізу»; метод Фібоначчі; метод поліноміальної апроксимації; метод Ньютона тощо.

Геометричні задачі оптимізації енергетичних полів впливають з практичних задач енергозбереження при розміщенні обладнання для опалення або охолодження приміщень архітектурних споруд, зменшення негативних акустичних наслідків при розповсюдженні звукової енергії в видовищних залах громадських споруд, при освітленні в інтер'єрах і екстер'єрах. Більшість таких задач спрямовано на мінімізацію сумарної потужності точкових джерел енергії при забезпеченні заданих параметрів енергетичного поля.

Цільова функція оптимізації містить як сталі, так і змінні параметри (параметри оптимізації). Сталими є задані параметри енергетичного поля, а саме: координати окремих точок поля і потенціали у цих точках; змінними параметрами є координати точкових джерел енергії та їх потужності. Обмеженнями є габарити приміщення або ділянки екстер'єру.

Розв'язання зазначеної задачі оптимізації передбачає кілька етапів:

- *формування математичної моделі енергетичного поля;*

- формування цільової функції оптимізації на основі математичної моделі;
- вибір способу математичного програмування для розв'язання задачі;

Математична модель енергетичного поля при вирішенні такої задачі оптимізації записується у вигляді системи рівнянь.

Ключові слова: оптимізація; енергетичне поле; вплив відстані; точкове джерело енергії; геометрична модель; параметри оптимізації; цільова функція.

Постановка проблеми. Геометричні задачі оптимізації енергетичних полів впливають з практичних задач енергозбереження при розміщенні обладнання для опалення або охолодження приміщень архітектурних споруд, зменшення негативних акустичних наслідків при розповсюдженні звукової енергії в видовищних залах громадських споруд, при освітленні в інтер'єрах і екстер'єрах. Більшість таких задач спрямовано на мінімізацію сумарної потужності точкових джерел енергії при забезпеченні заданих параметрів енергетичного поля.

Ціль статті. Вирішити поставлену задачу оптимізації параметрів точкових джерел енергії.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Огляд та аналіз літературних джерел у напрямі геометричного моделювання фізичних процесів та явищ [3, 4], [5-10] дозволив виявити чинники, які потрібно враховувати при створенні узагальненої геометричної моделі енергетичних полів. Вплив виявлених чинників на потенціал енергії точок поля можна врахувати, маючи експериментально отримані значення потенціалів декількох точок поля на заданих відстанях від джерела енергії. Основним з цих чинників є вплив відстані між точками енергетичного поля і джерелами енергії на параметри точок поля.

У літературних джерелах не виявлено такого узагальненого способу, де враховуються відстані від точки енергетичного поля до заданих точкових джерел енергії.

Основна частина. Геометричні задачі оптимізації енергетичних полів впливають з практичних задач енергозбереження при розміщенні обладнання для опалення або охолодження приміщень архітектурних споруд, зменшення негативних акустичних наслідків при розповсюдженні звукової енергії в видовищних залах громадських споруд, при освітленні в інтер'єрах і екстер'єрах. Більшість таких задач спрямовано на мінімізацію сумарної потужності точкових джерел енергії при забезпеченні заданих параметрів енергетичного поля.

Цільова функція оптимізації містить як сталі, так і змінні параметри (параметри оптимізації). Сталими є задані параметри енергетичного поля, а саме: координати окремих точок поля і потенціали у цих точках; змінними параметрами є координати точкових джерел енергії та їх потужності. Обмеженнями є габарити приміщення або ділянки екстер'єру.

Розв'язання зазначеної задачі оптимізації передбачає кілька етапів:

- формування математичної моделі енергетичного поля;
- формування цільової функції оптимізації на основі математичної моделі;
- вибір способу математичного програмування для розв'язання задачі.

Математична модель енергетичного поля записується у вигляді системи рівнянь:

$$U_i = \frac{\sum_{j=1}^n U_j^* [x_p - f(l_i)]}{x_p} \quad (1)$$

де U_i – потенціал i -тої заданої точки енергетичного поля;

U_j^* – потужність j -того точкового джерела енергії;

x_p – обмеження відстані від точок енергетичного поля до точкових джерел енергії;

$f(l_i) = a_1 l + a_2 l^2 + a_3 l^3 + \dots + a_n l^n$ – функція відстані l від точок енергетичного поля до точкового джерела енергії ($a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ – додаткові параметри, що враховують особливості середовища, в якій виникає енергетичне поле),

n – число точкових джерел енергії.

Така модель може використовуватись якщо заданими виступають параметри джерел енергії. Слід зазначити, якщо заданими є параметри точок енергетичного поля, а невідомими – параметри джерел енергії, математична модель буде представлена системою рівнянь. Така система рівнянь буде нелінійною, якщо невідомими будуть координати заданих точок енергетичного поля.

Критерієм оптимізації енергетичних полів, пов'язаних із енергозбереженням, буде мінімізація потужностей джерел енергії при виконанні заданих умов задачі, а сама задача оптимізації при цьому буде однокритеріальною. Цільова функція матиме вигляд:

$$\sum_{j=1}^n U_j^* \rightarrow \min, \quad (2)$$

де n – число джерел енергії.

Якщо поле породжується кількома точковими джерелами енергії, то його потенціал визначається як сума потенціалів у поточній точці поля, які породжуються цими джерелами:

$$U = \sum_{i=1}^n U_i^* t_i, \quad (3)$$

де n - число точкових джерел енергії;

U_i^* - потенціали кожного точкового джерела енергії;

t_i - параметри, що враховують відстань від кожного точкового джерела енергії до поточної точки поля.

Залежність між параметрами цільової функції (2) описується рівнянням (3) або системою таких рівнянь. Змінні параметри рівняння (3) або системи таких рівнянь і будуть параметрами оптимізації.

Використання експериментально отриманих даних при моделюванні енергетичних полів дозволить врахувати у процесі створення геометричної моделі уточнення, пов'язані із впливом на параметри енергетичного поля чинників, що не були враховані при її створенні раніше. Запропонований математичний апарат дозволить визначати параметри джерел енергії за заданими параметрами окремих точок поля. Єдина математична модель енергетичного поля виступатиме основою для розв'язання як прямих так і зворотних задач. При різних заданих критеріях оптимізації і при заданих геометричних умовах, використання системи нелінійних рівнянь дозволить визначити оптимальні параметри як самих точок енергетичного поля так і джерел енергії.

Під час розв'язання задач оптимізації слід виділити декілька етапів. На першому етапі необхідно визначити критерій оптимізації, відповідно до якого буде формуватись цільова функція. На другому етапі скласти математичну модель енергетичного поля. На третьому етапі визначити обмеження й параметри оптимізації, які накладатимуться на зміну параметрів. На останньому етапі необхідно визначити спосіб мінімізації цільової функції. Розглянемо запропонований алгоритм дій на прикладі.

Приклад.

Задано три точки енергетичного поля на площині: $A(x=0; y=0)$; $B(x=3; y=0)$ і $C(x=0; y=5)$ з однаковими потенціалами $U_A=U_B=U_C=30$. Визначити положення і потужності двох точкових джерел енергії мінімальної сумарної потужності, якщо параметр t визначається за схемою II [11] при $f(l)=l^2$ і $x_p=200$.

Якщо положення обох точкових джерел невідоме, то задача стає тривіальною, оскільки, згідно з попередніми дослідженнями [11], джерела будуть збігатись і розміщуватись у центрі кола, яке проходить через точки задані точки A , B і C . Тому, додатково, задамо координати одного з джерел енергії: $I(x_1=2; y_1=4)$. Усі параметри задано в умовних одиницях.

Математичною моделлю енергетичного поля буде система трьох рівнянь:

$$\begin{aligned} U_A &= U_1^* \left[1 - \frac{(x_A - x_1^*)^2 + (y_A - y_1^*)^2}{x_p} \right] + U_2^* \left[1 - \frac{(x_A - x_2^*)^2 + (y_A - y_2^*)^2}{x_p} \right]; \\ U_B &= U_1^* \left[1 - \frac{(x_B - x_1^*)^2 + (y_B - y_1^*)^2}{x_p} \right] + U_2^* \left[1 - \frac{(x_B - x_2^*)^2 + (y_B - y_2^*)^2}{x_p} \right]; \\ U_C &= U_1^* \left[1 - \frac{(x_C - x_1^*)^2 + (y_C - y_1^*)^2}{x_p} \right] + U_2^* \left[1 - \frac{(x_C - x_2^*)^2 + (y_C - y_2^*)^2}{x_p} \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Цільова функція матиме вигляд:

$$U_1^* + U_2^* \rightarrow \min, \quad (5)$$

де зірочкою позначено параметри точкових джерел енергії.

Задана величина $x_p = 200$ є обмеженням зміни координат точок поля.

При підстановці заданих вихідних даних до (4) отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} 180U_1^* + 200U_2^* - U_2^*(x_2^*)^2 - U_2^*(y_2^*)^2 - 6000 &= 0; \\ 183U_1^* + 191U_2^* - 6U_2^*x_2^* - U_2^*(x_2^*)^2 - U_2^*(y_2^*)^2 - 6000 &= 0; \\ 195U_1^* + 175U_2^* - U_2^*(x_2^*)^2 + 10U_2^*y_2^* - U_2^*(y_2^*)^2 - 6000 &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Методом Гауса систему (6) можна привести до вигляду:

$$\begin{aligned} 180U_1^*U_2^* + 200(U_2^*)^2 - (1,5U_2^* - 0,5U_1^*)^2 - (2,5U_2^* - 1,5U_1^*)^2 - 6000U_2^* &= 0; \\ x_2^* &= \frac{1,5U_2^* - 0,5U_1^*}{U_2^*}; \\ y_2^* &= \frac{2,5U_2^* - 1,5U_1^*}{U_2^*}. \end{aligned} \quad (7)$$

При варіюванні одного з параметрів U_1^* або U_2^* методом дихотомії (методом поділу навпіл), можна визначити значення цих параметрів при $U_1^* + U_2^* \rightarrow \min$, а саме:

$$U_1^* = 31,748; U_2^* = 3,626.$$

З другого й третього рівняння системи (7) визначаємо положення другого джерела енергії:

$$x_2^* = -2,878; y_2^* = -10,633.$$

Результат розв'язання задачі показано на рис. 1.

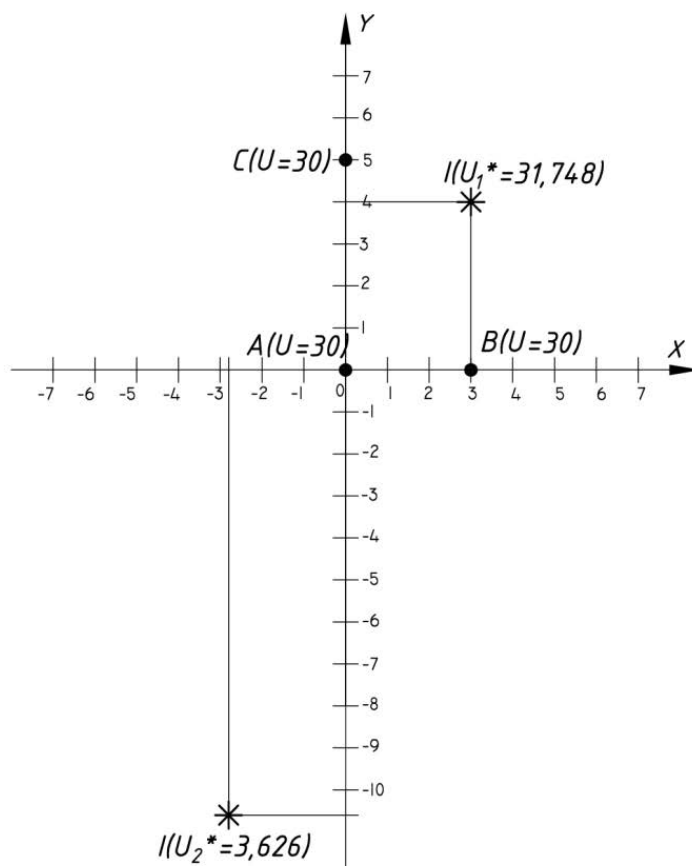


Рис. 1. Оптимальне положення та потужності двох точкових джерел енергії для забезпечення заданих параметрів енергетичного поля

Висновки та перспективи. У даній статті вирішено одну з задач оптимізації параметрів точкових джерел енергії при заданих окремих параметрах точок енергетичного поля. Наведено приклад визначення положення двох точкових джерел енергії мінімальної сумарної потужності при заданих однакових потенціалах енергії у трьох заданих точках енергетичного поля.

Список літератури

1. Аоки М. Введение в методы оптимизации : пер. с англ. Москва: Наука, 1977. 344 с.
2. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс : пер. с англ. Москва : Радио и связь, 1988. 128 с.
3. Акопова Н.Ю. Геометричне моделювання розподілу світла в просторі при точковому джерелі / Міжвідомчий науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка», вип. 68. К.: КНУБА. 2000. С. 163-165.
4. Подгорный А.Л., Волошина И. В. Моделирование поверхностей равного уровня звука от точечных и линейных источников / Міжвідомчий

науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка», вип. 43. К.: КДТУБА, 1987. С. 8-11.

5. Попов В.М. Метод оцінки теплового потоку, що випромінюється поверхнею обертання як факелом полум'я / автореф. ... канд. техн. наук 05.01.01 / КНУБА. Київ, 2002. 18 с.

6. Пугачов Є.В. Дискретне геометричне моделювання скалярних і векторних полів стосовно будівельної світлотехніки / Дис. ... доктора техн. наук: 05.01.01. Київ, 2001. 353 с.

7. Сергейчук О.В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків / автореф. ... докт. техн. наук 05.01.01 / КНУБА. Київ, 2008. 39 с.

8. Тормосов Ю.М. Геометричне моделювання та оптимізація процесу теплової променевої обробки харчових продуктів / автореф. ... докт. техн. наук 05.01.01 / КНУБА. Київ, 2004. 34 с.

9. Хомченко А.Н., Цыбуленко О.В., Колесникова Н.В. Компьютерные оценки квадратичной поправки МБУ в расчетах электростатического поля / Геометричне та комп'ютерне моделювання: 20 наукових праць: редкол. Л.М. Куценко (відпов. ред.) та ін.; ХДУХТ. Вип. 6. Харків, 2004. С. 9-13.

10. Шоман О.В. Загальний підхід до геометричного моделювання фізичних полів / Збірник наук. праць КНУТД (спецвипуск): Міжвідомчий науково-технічний збірник. К.: ДОП КНУТД, 2005. С. 79-83.

11. Мостовенко О.В. Узагальнення схем для визначення параметра врахування впливу відстані від точки фізичного поля до точкового джерела енергії / Міжвідомчий науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка», вип. 98. К.: КНУБА, 2020 р. С. 104-109.

Doctor of Technical Sciences, Professor **Kovalov Sergey**,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor **Mostovenko Olexander**,
Doctor of Technical Sciences, Professor **Botvinovska Svitlana**,
Assistant **Kolgan Anna**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF POINT SOURCES OF ENERGY AT SPECIFIC PARAMETERS OF INDIVIDUAL POINTS OF THE ENERGY FIELD

In most cases, when modeling energy fields, it is impossible to explicitly write the objective function of the energy field, and this greatly complicates the solution of a problem called nonlinear programming [1].

One possible way to solve nonlinear programming problems is to transform a mathematical model into a function from a single variable or to organize an iterative process by repeatedly searching for the minimum of a function of a single variable. In this case, you can use the known iterative methods for solving the problem [1]: the method of dichotomy (the method of division in half); the method of "golden section", the Fibonacci method; polynomial approximation method; Newton's method, etc.

Geometric problems of energy field optimization derive from the practical problems of energy conservation in the placement of equipment for heating or cooling of architectural structures, reducing the negative acoustic effects of sound energy in the entertainment halls of public buildings, lighting in interiors and exteriors. Most of these tasks are aimed at minimizing the total power of point energy sources while providing the specified parameters of the energy field.

The target optimization function contains both steel and variable parameters (optimization parameters). The set parameters of the energy field are constant, namely: coordinates of individual points of the field and potentials at these points; the variable parameters are the coordinates of point energy sources and their power. Restrictions are the dimensions of the room or exterior.

Solving this optimization problem involves several steps:

- formation of a mathematical model of the energy field;
- formation of the target optimization function based on a mathematical model;
- choosing a method of mathematical programming to solve the problem;

The mathematical model of the energy field in solving such an optimization problem is written in the form of a system of equations.

Keywords: optimization; energy field; influence of distance; point source of energy; geometric model; parameters of optimization; Target function.

REFERENCES

1. Aoky M. *Vvedeniye v metody optymyzatsyy*. (1977) : per. s anhl. Moscow : Nauka. 344 p. {in Russian}
2. Bandy B. *Metody optymyzatsyy. Vvodnyi kurs*. (1988) : per. s anhl. Moscow : Radio y sviaz. 128 p. {in Russian}
3. Akopova N. Iu. *Heometrychne modeliuvannia rozpodilu svitla v prostori pry tochkovomu dzhereli*. Mizhvidomchyi naukovo- tekhnichnyi zbirnyk «Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika»: vidpovidalnyi redaktor V.Ie. Mykhailenko. Vypusk 68. Kyiv : KNUBA. 2000. Pp.163-165. {in Ukrainian}
4. Podhornyi A.L., Voloshyna Y.V. (1987). *Modelyrovanye poverkhnostei ravnoho urovnia zvuka ot tochechnykh y lyneinykh ystochnykov*. Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika»:Vypusk

43. Vidpovidalnyi redaktor V.Ie. Mykhailenko. Kyiv : KDTUBA. Pp. 8-11. {in Russian}

5. Popov V.M. (2002). *Metod otsinky teplovoho potoku, shcho vyprominiuietsia poverkhneiu obertannia yak fakelom polumia*. Avtoref. ... kand. tekhn. nauk 05.01.01 , KNUBA. Kyiv. 18 P. {in Ukrainian}

6. Puhachov Ye.V. (2001). *Dyskretne heometrychne modeliuвання skaliarnykh i vektornykh poliv stosovno budivelnoi svitlotekhniky* . Dys. ... doktora tekhn. nauk: 05.01.01. Kyiv, 2001. 353 p. {in Ukrainian}

7. Serheichuk O.V. (2008). *Heometrychne modeliuвання fizychnykh protsesiv pry optymizatsii formy enerhoefektyvnykh budynkiv*. Avtoref. ... dokt. tekhn. nauk 05.01.01 , KNUBA. Kyiv. 39 p. {in Ukrainian}

8. Tormosov Yu.M. (2004). *Heometrychne modeliuвання ta optymizatsiia protsesu teplovoi promenevoi obrobky kharchovykh produktiv*. Avtoref. ... dokt. tekhn. nauk 05.01.01 . KNUBA. Kyiv. 34 p. {in Ukrainian}

9. Khomchenko A.N., Tsybulenko O.V., Kolesnykova N.V. (2004). *Kompiuternye otsenky kvadratychnoi popravky MBU v raschetakh elektrostatycheskoho polia*. Heometrychne ta kompiuterne modeliuвання: 20 naukovykh prats.: Redkol.: L.M. Kutsenko (vidpov. red.) ta in.; KhDUKht. Vyp. 6. Kharkiv. Pp. 9-13. {in Russian}

10. Shoman O.V. (2005). *Zahalnyi pidkhid do heometrychnoho modeliuвання fizychnykh poliv*. Zbirnyk nauk. prats KNUTD (spetsvypusk): Mizhvidomchyi nauково-tekhnichnyi zbirnyk. Kyiv : DOP KNUTD. Pp. 79-83. {in Ukrainian}

11. Mostovenko O.V. (2020). *Uzahalnennia skhem dlia vyznachennia parametra vrakhuvannia vplyvu vidstani vid tochky fizychnoho polia do tochkovoho dzherela enerhii*. Mizhvidomchyi nauково-tekhnichnyi zbirnyk «Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika». Vypusk 98. Vidpovidalnyi redaktor Vanin V. V. Kyiv : KNUBA. 160s. DOI: 10.32347/0131-579x.2020.98. Pp. 104-109. {in Ukrainian}