АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ

На правах рукопису

ЧОРНОМОРЕЦЬ Андрій Олексійович

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ РОЗМІЩЕННЯ ТРИВИМІРНИХ МНОГОГРАННИХ ОБ'ЄКТІВ

05.13.16 - застосування обчислювальної техніки, математичного моделювання та математичних методів у наукових дослідженнях

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

А Чорноморець

Харків - 1993

Роботу виконано у відділі математичного моделювання та оптимального проектування Інституту проблем машинобудування АН України

Наукові керівники: член-кореспондент АН України, доктор технічних наук Стоян Ю.Г., доктор технічних наук, старший науковий співробітник Гіль М.І.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Сіроджа І.Б., кандидат технічних наук, доцент Струков В.М.

Провідна установа: Дніпропетровський державний університет (м. Дніпропетровськ)

Захист відбудеться "20" 10 1993 р. о 14 год. у ауд. № 1112 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 016.22.02 при Інституті проблем машинобудування АН України за адресою: 310046, м.Харків, вул.Дм.Пожарського, 2/10.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту проблем машинобудування АН України.

Автореферат розісланий "12" 07 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук Т.І. Шейко

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. При розв'язанні багатьох задач проектування необхідно враховувати їх особливості, пов'язані з цілеспрямованим перетворенням геометричної інформації у відповідності до певного критерія оптимальності, що дозволяє вилучити ці задачі у клас задач геометричного проектування. До числа цих задач відносяться задачі оптимального розміщення геометричних об'єктів, які потребують для свого розв'язання розробки спеціальних математичних методів та алгоритмів. Важливим напрямом розвитку проблеми, що досліджується, є розробка методів розв'язання задач нерегулярного розміщення, в яких здійснюється пошук оптимального розміщення об'єктів довільної форми в деякій області простору при додержанні обмежень на місцезнаходження об'єктів.

Робота виконувалась у період з 1988 по 1992 рік у відділі математичного моделювання та оптимального проектування ІПМаш АН України у відповідності до плану НДР з: д/б теми "Розробка математичних методів геометричного проектування" (№ ДР 01860049704); д/б теми "Математичне моделювання складних технічних систем модульного типу" (№ ДР 01900009448); г/д теми "Розвиток методів автоматичного ескізного компонувального проектування автономної електрофізичної установки" з Науково-дослідним інститутом електрофізичної апаратури ім. Д.В. Єфремова (Російська Федерація, № ДР 01910017869).

Метою роботи є розробка математичної моделі та методу розв'язання задачі оптимального розміщення тривимірних многогранних геометричних об'єктів у заданих многогранних областях простору R^3.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи:

- розроблено та досліджено математичну модель розглядуваної задачі оптимального нерегулярного розміщення многогранних об'єктів, що грунтується на використанні апарату Ф-функцій. На підставі здійсненого аналізу особливостей математичної моделі запропоновано метод розв'язання цієї задачі;

- запропоновано алгоритм побудови умов взаємного неперетину довільних, неопуклих многогранників простору R^3 за допомогою поверхонь 0-рівня Ф-функцій;

- розроблено алгоритм побудови многозв'язних граней поверхні 0-рівня Ф-функції;

- розроблено алгоритм точного розв'язання задачі розміщення прямокутних гіперпаралелепіпедів у прямокутному гіперпаралелепіпеді простору R^n, $n>3$. Сформульовано логічні правила відтинання варіантів розміщення, які завідомо не визначають екстремальних розв'язків задачі.

Вірогідність результатів проведених досліджень.

Теоретичні дослідження, виконані у дисертаційній роботі, базуються на фундаментальних положеннях теорії Ф-функцій та теорії оптимізації. Математична модель та метод розв'язання поставленої задачі є обгрунтованими на підставі відомих, апробованих теоретичних та експериментальних результатів, одержаних раніше під час розробки методів оптимального розміщення плоских та об'ємних об'єктів. Вірогідність висновків та результатів дисертаційних досліджень заснована на доказах сформульованих у роботі теорем, а також підтверджується їх задовільним порівнянням з результатами експериментів, виконаних на підприємстві А-7682, та зіставленням з відомими розв'язками ряду задач.

Практична цінність роботи полягає у тому, що розроблені метод та алгоритми, а також комплекси програм: "Поверхня" - для побудови поверхні 0-рівня Ф-функції довільних многогранних об'єктів - та "Оптимум" - для пошуку глобального оптимуму у задачі розміщення прямокутних гіперпаралелепіпедів - надалі можна використовувати для розв'язання різних задач оптимального розміщення. Ці задачі виникають під час процесу автоматизації проектування у машинобудуванні, будівництві, радіоелектронній промисловості та на транспорті, а також для розв'язання задач оптимального розподілення ресурсів, які зводяться до задач розміщення геометричних об'єктів. Ці програмні комплекси можна використовувати, наприклад, для компонувального проектування та побудови схем завантаження транспортних засобів (морських та повітряних суден, залізничних вагонів, контейнерів і т. ін.), що дозволяє зменшити час розв'язання наведених вище задач, а також підвищити ефективність використання відповідних матеріалів та приміщень.

Впровадження. Результати, одержані у дисертації (алгоритм побудови умов взаємного неперетину тривимірних об'єктів, логічні правила відтинання варіантів розміщення, що не визначають екстремальних розв'язків задачі), використано при розробці комплексу програм тривимірних упаковок та впроваджено у 1988, 1989 рр. на підприємстві п/я А-7682 з загальним економічним ефектом 37,8 тис. крб.

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідались та обговорювались на:

- всесоюзній конференції "Інтегровані системи автоматизованого проектування" (м. Вологда, 1989 р.);

- IV обласній міжгалузевій науково-технічній конференції "Роботизація технологічних процесів у машинобудуванні та приладобудуванні" (м. Житомир, 1991 р.);

- IV всесоюзній конференції "Методи та засоби обробки складної графічної інформації" (м. Нижній Новгород, 1991 р.);

- XV конференції молодих вчених та фахівців ІПМаш АН України (м. Харків, 1987 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 8 працях.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, списку літератури із 118 найменувань, 26 рисунків та 3 таблиць; усього - 135 сторінок.

2. ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі сформульовано загальну задачу розміщення геометричних об'єктів у деякій області простору R^3. Приведено формальний опис початкових об'єктів. Здійснено аналіз математичної постановки досліджуваної задачі, що грунтується на використанні теорії Ф-функцій.

Більшість задач розміщення геометричних об'єктів передбачає присутність критеріїв, що визначають якість розміщення. Оберемо критерієм якості деякий функціонал $F(X)$, де X - вектор параметрів розміщення. Тоді загальну задачу розміщення геометричних об'єктів сформулюємо таким чином.

З а д а ч а. Маємо φ-об'єкти S_i, $i=1, 2,\ldots,n$, які потрібно розмістити, з параметрами розміщення x^i та область розміщення S_0. Потрібно визначити значення параметрів розміщення $X_0=(x^1,x^2,\dots,x^n)$, що дають екстремальне значення критерія якості розміщення та задовольняють усі обмеження, які накладаються на параметри розміщення.

Процес побудови математичної моделі задачі розміщення об'єктів вимагає формалізації опису її головних компонентів: об'єктів, що розміщуються, обмежень на параметри розміщення (умови взаємного попарного неперетину об'єктів, умови їх розміщення в області) та критерія якості.

Існують різні способи опису многогранників, наприклад за допомогою структур лінійних нерівнянь або деякого опису точок їх поверхні. Многогранники будемо задавати множиною їх вершин та граней тому, що у запропонованому алгоритмі побудови умов взаємного неперетину многогранників необхідно знати усі точки поверхні кожного з об'єктів. Грані об'єктів визначимо через послідовність координат вершин.

Для аналітичного опису геометричних відношень між об'єктами, що розміщуються, наприклад неперетин та торкання, у роботі використовується апарат Ф-функцій. Ф-функція пари об'єктів $S_i(x^i)$ та $S_j(x^j)$ дозволяє формально визначити міру близькості, а також міру їх перетину у залежності від значення параметрів розміщення x^i та x^j.

На підставі означення Ф-функції вираз $\Phi_{ij}(x^i,x^j)>0$ задає умову взаємного неперетину об'єктів $S_i(x^i)$ та $S_j(x^j)$. За допомогою апарату Ф-функцій також зручно описувати умови розміщення в області: $\Phi_i(x^i)>0$.

Поверхня, визначена рівнянням $\Phi_{ij}(x^i,x^j)=0$, має назву поверхні 0-рівня Ф-функції.

Необхідною ознакою задач класу, що досліджується, є присутність деякого критерія якості. У цій роботі критерієм якості є довжина z зайнятої частини області розміщення S_0 уздовж осі OX декартової системи координат.

Враховуючи вищезгадане, оптимізаційну задачу розміщення φ-многогранників простору R^3 у деякій області запишемо так:

$$z^* = \min_{x\in D} z, \qquad (1)$$

де область припустимих розв'язків D визначається умовами

$$\Phi_{ij}(x^i, x^j) > 0, \quad \Phi_i(x^i) > 0, \quad i,j=1,2,\ldots,n, \quad i \neq j. \qquad (2)$$

У другому розділі здійснено аналіз методів побудови умов неперетину довільних геометричних многогранних об'єктів простору R^3, що грунтуються на зв'язку теоретико-множинної операції суми Мінковського та поверхні ω 0-рівня Ф-функції. Запроваджено поняття "псевдограней". Розглянуто правила побудови граней поверхні ω за допомогою множини "псевдограней".

Сформулюємо принцип побудови множини граней поверхні ω 0-рівня Ф-функції двох многогранників.

1) Побудувати (використовуючи певні правила) деяку скінченну множину граней (назвемо їх "псевдогранями"), сукупність яких повністю визначає шукану поверхню. Ця множина, взагалі, є надмірною, тобто не кожна "псевдогрань" обов'язково повинна бути гранню поверхні 0-рівня, та не кожна "псевдогрань" цілком повинна збігатись із гранню поверхні ω.

2) Грунтуючись на цій множині "псевдограней", необхідно побудувати, використовуючи певні правила, замкнену многогранну поверхню, тобто визначити множину граней, сукупність яких є поверхнею 0-рівня Ф-функції початкових об'єктів S_1 та S_2.

Тому що поверхня ω визначає умови щільного розміщення об'єктів (тобто фактично умови їх торкання), у роботі проаналізовано пари межових точок об'єктів S_1 та S_2, що характеризують головні типи торкання многогранників, та зазначено правила побудови "псевдограней", що відповідають цим типам. Зазначимо, що грань та ребро є паралельні, якщо паралельні площина та пряма, які були ними задані. Позначимо S_j^- - результат відображення об'єкта S_j відносно нуля простору R^3

$$S_j^- = \{ t \mid t=-t', \ t' \in S_j \}.$$

Точки x_1 та x_2, що належать паралельним граням g та h об'єктів S_1 та S_2, $x_1 \in g$, $x_2 \in h$, визначають "псевдогрань" g^1 першого типу таким чином:

$$g^1 = g \oplus h^- = \{ t \mid t = x_1 - x_2, \ x_1 \in g, \ x_2 \in h \},$$

де операція $\oplus$ - операція суми Мінковського.

Якщо ребро r одного з об'єктів та грань h другого з об'єктів є паралельними та ні одна з граней першого об'єкта, яка містить у собі ребро r, не є паралельною до грані h, то всілякі пари точок x та y, $x \in r$, $y \in h$, визначають "псевдогрань" другого типу. Отже, відповідні ребро r_1 об'єкта S_1 та грань h_2 об'єкта S_2, а також ребро r_2 об'єкта S_2 та грань h_1 об'єкта S_1 визначають "псевдограні" g_1^2 і g_2^2 другого типу:

$$g_1^2 = r_1 \oplus h_2^- = \{ t \mid t = x_1 - x_2, \quad x_1 \in r_1, x_2 \in h_2 \}.$$

$$g_2^2 = h_1 \oplus r_2^- = \{ t \mid t = x_1 - x_2, \quad x_1 \in h_1, x_2 \in r_2 \}.$$

Якщо ребра r_1 та r_2 об'єктів S_1 та S_2 розміщені на непаралельних прямих та відповідні грані двох об'єктів, що містять у собі ребра r_1 та r_2, не є паралельними між собою, то пари точок, які належать відповідно до ребер r_1 та r_2, визначають "псевдогрань" g^3 третього типу:

$$g^3 = r_1 \oplus r_2^- = \{ t \mid t = x_1 - x_2, \quad x_1 \in r_1, x_2 \in r_2 \}.$$

Якщо ребро r_1 об'єкта S_1 є паралельним до ребра r_2 об'єкта S_2, то ребро r_1 є паралельним також до деякої грані об'єкта S_2, яка містить у собі ребро r_2. Отже, пари межових точок, що належать до паралельних ребер об'єктів S_1 та S_2, вже були використані під час побудови "псевдограней" другого типу.

Вершина V одного з об'єктів та точки грані h другого з об'єктів визначають "псевдогрань" четвертого типу, якщо вершина V не належить ні до однієї з граней чи до ребра, що є паралельними до грані h. Відповідні вершина V об'єкта S_1 та точки грані h об'єкта S_2, а також вершина U об'єкта S_2 та точки грані g об'єкта S_1 визначають "псевдограні" g_1^4 та g_2^4 четвертого типу:

$$g_1^4 = V \oplus h^- = \{ t \mid t = v - x, \quad x \in h \},$$

$$g_2^4 = g \oplus U^- = \{ t \mid t = x - u, \quad x \in g \}.$$

де v, u - значення координат вершин V та U у відповідних системах координат.

Т е о р е м а. Множина усіх "псевдограней", побудованих для многогранників S_1 та S_2, обмежує многогранний об'єкт o, що збігається з тілом

$$o_0(O) = S_1(O) * S_2^-(O),$$

поверхня якого є поверхнею 0-рівня Ф-функції об'єктів S_1 та S_2.

Д о в е д е н н я. Позначимо A як множину точок, що належать до "псевдограней". Грунтуючись на способі побудови "псевдограней", для кожної точки множини A здійснюється така умова:

$$S_1(O) \cap S_2(x) \neq \emptyset. \qquad (3)$$

Зобразимо множину A як об'єднання неперетинних множин A_1 та A_2 таких, що коли $x \in A_1$, то здійснюється співвідношення

$$\operatorname{int} S_1(O) \cap \operatorname{int} S_2(x) = \emptyset. \qquad (4)$$

Якщо $x \in A_2$, то (4) не виконується.

У роботі було показано, що поверхня $\omega_0(O)$ тіла $o_0(O)$ збігається з поверхнею 0-рівня Ф-функції об'єктів S_1 та S_2. Отже, грунтуючись на характеристичній властивості Ф-функції, якщо полюс об'єкта S_2 розмістити у деякій точці x на поверхні $\omega_0(O)$, то для об'єктів $S_1(O)$ та $S_2(x)$ виконуються вирази (3) та (4). Тому що під час побудови "псевдограней" було розглянуто всілякі пари межових точок об'єктів S_1 та S_2, множина точок поверхні $\omega_0(O)$ належить до множини A_1

$$\omega_0(O) \subset A, \quad \text{та} \quad \omega_0(O) = A_1.$$

Грунтуючись на властивостях Ф-функції, точки множини A_2 є внутрішніми точками тіла $o_0(O)$.

Тому що множина A містить у собі усі точки поверхні тіла $o_0(O)$ та деякі його внутрішні точки, теорема є доведеною.

У роботі розглянуто алгоритми побудови "псевдограней", описано також головні правила визначення "псевдограней", що завідомо не містять у собі точок поверхні 0-рівня Ф-функції. Розроблено алгоритм побудови окремої грані поверхні 0-рівня Ф-функції, приведено правила знаходження зовнішнього та внутрішнього контурів її межі. При цьому враховано, що грані початкових об'єктів можуть бути неопуклими. Описано укрупнений алгоритм формування множини граней поверхні ω, особливості побудови "псевдограней" для випадку, коли початкові многогранники мають неопуклі грані.

<u>У третьому розділі</u> розв'язання задачі (1), (2) оптимального розміщення тривимірних тіл у многогранній області простору R^3 пропонується здійснювати в два етапи. На першому етапі знаходиться точний розв'язок задачі упаковки прямокутних паралелепіпедів простору R^3, які мають взаємно паралельні грані та апроксимують початкові об'єкти. На другому етапі визначається локально оптимальне розміщення φ-многогранників простору R^3, при цьому початковим розміщенням є упаковка, одержана на першому етапі. Для знаходження оптимального розміщення об'єктів у роботі використано ітераційний метод локальної оптимізації*.

Розглянемо метод пошуку точного розв'язку задачі упаковки гіперпаралелепіпедів простору R^p, $p > 3$. Припустимо, що маємо множину прямокутних гіперпаралелепіпедів $\{S_i\}$, $i=1, 2,\dots,n$, які визначені у евклідовому просторі R^p та ребра яких є паралельними до координатних осей цього простору. Розміри кожного з об'єктів S_i уздовж відповідних осей координат дорівнюють $2a_k^i$, $k=1,2,\dots,p$. Припустимо також, що визначено напівнескінченну область

$$S_0 = \{ (x_1,x_2,\dots,x_p) \mid x_1 > 0, \\ 0 < x_k < a_k,\ k=2,\dots,p \}.$$

---

* Стоян Ю.Г, Новожилова М.В., Карташов А.В. Математическая модель и оптимизация линейных $E_k(R^2)$задач размещения.- Харьков. - 1991. - 27 с. - (Препринт/ АН Украины. Ин-т проблем машиностроения; № 353).

Задача полягає ось у чому. Необхідно розмістити n гіперпаралелепіпедів в області S_0 таким чином, щоб довжина зайнятої частини області (уздовж координатної осі OX_1) була мінімальною.

Математична модель задачі має вигляд: знайти

$$\min_{x \in D \subset R^m} z, \tag{5}$$

де область припустимих розв'язків D у евклідовому просторі R^m, $m = p \cdot n + 1$, визначається структурою лінійних нерівностей

$$\bigcap_{i=1}^{\nu} \mathfrak{S}(\mathfrak{s}_i(x^i, x^j), \Delta^0, 2p) \cap \mathfrak{S}(\mathfrak{s}(x^1, x^2, \ldots, x^n, z), \Delta^1, 2pn),$$
$$\nu = n(n-1)/2, \quad i, j = 1, 2, \ldots, n, \quad i < j. \tag{6}$$

Структура $\mathfrak{S}(\mathfrak{s}_i(x^i, x^j), \Delta^0, 2p)$ визначає умови взаємного неперетину об'єктів S_i та S_j, $i,j=1,2,\ldots,n$, $i<j$, та зображується об'єднанням наступних нерівностей:

$$x^i_k - x^j_k \leq -(a^i_k + a^j_k),$$
$$-x^i_k + x^j_k \leq -(a^i_k + a^j_k), \quad k=1,2,\ldots,p,$$

Система $\mathfrak{S}(\mathfrak{s}(x^1, x^2, \ldots, x^n, z), \Delta^1, 2pn)$ визначає умови розміщення об'єктів S_i, $i=1,2,\ldots,n$, на частині області S_0 довжиною z та зображується системою таких нерівностей:

$$-x^i_1 + a^i_1 \leq 0, \quad x^i_1 - z + a^i_1 \leq 0,$$
$$-x^i_k + a^i_k \leq 0, \quad x^i_k - a_k + a^i_k \leq 0, \quad k=2,\ldots,p.$$

Позначимо як $T = \{ t_i \}$, $i=1,2,\ldots,(2pn+pn(n-1))$, набір рівнянь, що описують множину гіперплощин, які формують межу області D.

У роботі описано метод, що дозволяє, грунтуючись на наборі рівнянь T, побудувати множину $\mathfrak{M}$ таких систем m рівнянь, які між собою обов'язково мають систему, що визначає глобальний мінімум функції мети. Досліджено властивості цих систем рівнянь.

Розглянемо спосіб точного розв'язання задачі (5), (6), що грунтується на схемі методу гілок та меж. В першу чергу опишемо структуру дерева розв'язків A цієї задачі.

Згідно з властивостями систем рівнянь задачу знаходження вектора параметрів розміщення x^{**}, що визначає екстремальне значення функції мети z, можна розв'язати, використовуючи таке дерево розв'язків. Кореню дерева розв'язків A - вершині A_0 поставимо до відповідності простір $R^{m-1}=R^{pn}$. Кожна вершина першого рівня $A(0,j_1^i)$ описує деяку лінійну многостатність L', що має вимірність m-2, та отриману в результаті перетину простору R^{m-1} та гіперплощини, рівняння якої містить у собі незалежну змінну x_1^i і має вигляд:

$$- x_1^i + x_1^{j_1^i} = - (a_1^i + a_1^{j_1^i}) \quad \text{або} \quad - x_1^i = - a_1^i .$$

Число вершин на першому рівні дорівнює n. Вершина $A(0,j_1^i,j_2^i)$, i=1,2,...,n, другого рівня дерева розв'язків визначає лінійну многостатність, що має вимірність m-3, і отриману за допомогою перетину лінійної многостатності L' та гіперплощини, рівняння якої містить у собі змінну x_2^i з негативним знаком. Аналогічно будуються вершини третього та наступних рівнів до pn-го рівня.

Оскільки кожній вершині pn-го рівня відповідає система (m-1) рівнянь, то побудоване дерево розв'язків дозволяє отримати на останньому рівні усі системи (m-1) рівнянь з набору T. Отже, за допомогою цього дерева є можливість проаналізувати підмножину точок області D, що містить у собі точку глобального мінімуму функції z. Показано, що на множині об'єктів $\{S_i\}$, i=1,2,...,n, що мають вектор параметрів розміщення x^{**}, є можливість визначити загальний порядок, тобто можна таким чином перенумерувати об'єкти, що кожній змінній x_k^i у системі рівнянь, яка визначає точку глобального мінімуму функції мети z, відповідає одне з рівнянь вигляду:

$$- x_k^i + x_k^j = - (a_k^i + a_k^j), \quad j < i,$$

$$- x_k^i = - a_k^i .$$

Отже, задачу пошуку глобального мінімуму можливо звести до перебору множини $\Pi = \{\pi_l\}$, $l=1,2,\ldots,n!$, перестановок π_l номерів об'єктів, що розміщуються, та для кожної перестановки - до одержання варіантів розміщення, грунтуючись на дереві розв'язків, побудованого за допомогою алгоритму, який описано вище.

Нехай під час побудови варіантів розміщення отримано вершину x^* області D. У загальному випадку, існує деяка множина $\mathfrak{m}_{x^*}$ систем рівнянь, кожна з яких описує цю точку x^*, тобто у дереві розв'язків на останньому рівні маємо декілька вершин, що визначають один і той же варіант розміщення. У роботі сформульовано правила відтинання, що зменшують число систем рівнянь у множині $\mathfrak{m}_{x^*}$. Також досліджено симетричність розміщень, що відповідають деяким системам рівнянь.

Показано, що оцінка швидкодії описаного методу розміщення прямокутних гіперпаралелепіпедів дорівнює

$$n^{pn}/2^{p+1}.$$

Укрупнений алгоритм розв'язання початкової задачі (1), (2) полягає в наступному.

1. Побудувати поверхні 0-рівня Ф-функцій усіх пар початкових об'єктів.
2. Знайти початкове наближення функції мети (1).

2.1. Побудувати прямокутні оболонки початкових об'єктів тривимірного простору. Ці оболонки є паралелепіпедами, сторони яких паралельні до координатних площин.

2.2. Визначити глобальний оптимум задачі (5), (6) розміщення побудованих паралелепіпедів у прямокутній, напівнескінченній області.

3. Застосувати ітераційний метод локальної оптимізації, де як початкова точка використовується розміщення, отримане на попередньому кроці.

У четвертому розділі описано практичну реалізацію дослідженних методів. Запропоновані методи та алгоритми побудови поверхні 0-рівня Ф-функції довільних φ-многогранників простору R^3, а також метод оптимальної упаковки прямокутних гіперпаралелепіпедів реалізовано у вигляді комплексів програм для IBM-сумісних персональних комп'ютерів, що працюють у операційному середовищі MS DOS. Усі програми комплексів написані на мові програмування Сі та містять 7980 виконуваних операторів. У роботі приведено основні характеристики комплексів програм та описано призначення головних функціональних модулів.

Працездатність та ефективність розроблених програм визначено шляхом розв'язання різних задач, що мають модельний характер. Приведено результати розв'язку деяких задач. Грунтуючись на тестуванні, що було здійснено, визначено головні фактори, що впливають на час розв'язання.

За матеріалами виконаної дисертаційної роботи можна оформулювати такі основні висновки і результати:

1. Запропоновано математичну модель поставленої задачі оптимального розміщення тривимірних многогранних об'єктів. На підставі здійсненого аналізу особливостей цієї математичної моделі запропоновано метод розв'язання задачі, що досліджується.

2. Розроблено алгоритм реалізації умов взаємного неперетину неопуклих многогранних об'єктів простору R^3 на основі поверхонь 0-рівня Ф-функцій. Опис цих поверхонь запропоновано здійснювати за допомогою множини так званих "псевдограней".

3. Запропоновано спосіб та алгоритм побудови "псевдограней". Приведено основні правила визначення підмножини "псевдограней", що завідомо не містять у собі точок шуканої поверхні.

4. Розроблено алгоритм побудови многозв'язних граней поверхні 0-рівня Ф-функції. Приведено правила знаходження внутрішнього та зовнішнього контурів меж цих граней.

5. Запропоновано та описано алгоритм пошуку точного розв'язку задачі розміщення прямокутних гіперпаралелепіпедів у області простору R^p, $p > 3$. Сформульовано логічні правила відтинання варіантів розміщення, що завідомо не визначають екстремальних розв'язків задачі.

6. Розроблений алгоритм побудови умов взаємного неперетину тривимірних об'єктів, логічні правила відтинання варіантів розміщення, які не визначають екстремальних розв'язків задачі, використано при розробці комплексу програм тривимірних упаковок. При цьому було продемонстровано їх високу ефективність під час впровадження зазначеного комплексу на підприємстві п/я А-7682.

7. На підставі розроблених алгоритмів створено комплекси програм: "Поверхня" - для побудови поверхні 0-рівня Ф-функції довільних многогранних об'єктів та "Оптимум" - для пошуку глобального оптимуму у задачі розміщення прямокутних гіперпаралелепіпедів. За допомогою проведеного тестування програм визначено основні фактори, що впливають на час розв'язання задачі. Так, отримані результати обчислювальних експериментів свідчать, що за допомогою комплексу програм "Оптимум" можна розв'язувати задачі розміщення до 30 об'єктів.

8. Розроблені комплекси програм можна використовувати для розв'язання різних задач оптимального розміщення, що виникають під час процесу автоматизації проектування у машинобудуванні, будівництві, радіоелектронній промисловості та на транспорті. Їх застосування дозволить зменшити час розв'язання зазначених вище задач, а також підвищити ефективність використання відповідних матеріалів та приміщень.

Основні результати дисертації описано у таких роботах:

1. Черноморец А.А. Графический процессор программной системы пространственной компоновки // Интегрированные системы автоматизированного проектирования: Тез. докл. всесоюз. науч.-техн. конф., Вологда, 17-18 окт. 1989 г. - М., 1989. - С. 153-154.

2. Черноморец А.А. Алгоритм удаления невидимых линий для изображения многогранников с выпуклыми гранями // Прикл. геометрия и инж. графика. - 1990. - Вып. 49. - С. 123-125.

3. Черноморец А.А. Определение условий беспрепятственного движения робота в пространстве // Роботизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении: Тез. докл. IV обл. межотрасл. науч.-техн. конф., Житомир, 24-25 мая 1991 г. - Житомир, 1991. - С. 36-38.

4. Панкратов А.В., Черноморец А.А. Обработка геометри-

ческой информации при разме[illegible]
объектов в пространстве //Методы и средства обработки сложной графической информации: Тез. докл. IV всесоюз. конф., Н. Новгород, сент. 1991 г. - Н. Новгород, 1991. - С. 63.

5. Пономаренко Л.Д., Панкратов А.В., Черноморец А.А. Элементы графического интерфейса пакета компоновочного синтеза технических систем // Методы и средства обработки сложной графической информации: Тез. докл. IV всесоюз. конф., Н. Новгород, сент. 1991 г. - Н. Новгород, 1991. - С. 64.

6. Гиль Н.И., Черноморец А.А. Метод построения поверхности 0-уровня Ф-функции произвольных многогранников. - Харьков, 1992. - 29 с. - (Препринт/ АН Украины. Ин-т проблем машиностроения; № 359).

7. Гиль Н.И., Черноморец А.А. Особенности алгоритмической реализации построения годографа функции плотного размещения многогранных объектов. - Харьков, 1992. - 33 с. - (Препринт/АН Украины. Ин-т проблем машиностроения; № 363).

8. Новожилова М.В., Черноморец А.А. Об одном способе поиска оптимального размещения прямоугольных гиперпараллелепипедов. - Харьков, 1992. - 27 с. - (Препринт/АН Украины. Ин-т проблем машиностроения; № 365).

Відповідальний за випуск чл.-кор. АН України Божко О.Є.

Підписано до друку
Формат 60x90 1/16. Папір друк. № 1. Ум.друк.арк. 1.
Обл.-вид.арк. 0,96. Тираж 100 пр. Зам. № 971 .

Ротапринт Інституту проблем машинобудування АН України.
310046 Харків-46, вул. Дм.Пожарського. 2/10