

На правах рукопису

ЛОЙКО Анатолій Федорович

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ СИНТЕЗУ  
КОМПОНУВАЛЬНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ БЛОЧНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ  
НА РАННІХ СТАДІЯХ ПРОЕКТУВАННЯ (МАТЕМАТИЧНІ ТА  
МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ)

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

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата  
технічних наук

*Лойко*

Харків-1994

АВ 29476

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі математичного моделювання і оптимального проектування Інституту проблем машинобудування АН України.

Наукові керівники: доктор технічних наук член-кореспондент АН України Стоян Юрій Григорійович, кандидат технічних наук старший науковий співробітник Пономаренко Леонід Данилович.

Офіційні опоненти:

Доктор технічних наук, професор Харківського автомобільно-ороможнього технічного університету Панішев Анатолій Васильович.

Кандидат технічних наук, доцент Харківського інституту внутрішніх прав Струков Володимир Михайлович.

Провідна організація - комплекс ім. О.К.Антонова промисловості України, м. Київ.

Авіаційний науково-технічний Міністерства машинобудівельної

Захист відбудеться "16" 03 1994 р. о 14 годині в 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 ознайомитися у бібліотеці Інституту проблем машинобудування АН України за адресою: 310046, м. Харків, вул. Дм. Пожарського, 2/10.

Автореферат разісланий "08" 02 1994 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради доктор технічних наук

Шейко Т.І.

ЛНБ України ім. В. Стефаніка  
00777822 (X)

## 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність проблеми.

Важливим етапом процесу конструювання нових складних технічних систем є етап компонуального проектування, на якому здійснюється розміщення обладнання технічних систем, розробка конструкцій для установлення і кріплення складених частин, визначення трас сполучних кабелів і джгутів і т.ін. Складність розв'язання цієї задачі вимагає створення потужних систем автоматизації проектування, що забезпечують автоматизацію та інтелектуалізацію всіх рівнів проектування. Ця мета досягається за рахунок розробки математичних моделей і методів, що базуються на результатах різних наукових дисциплін: теорії геометричного проектування, комбінаторної та багатокритеріальної оптимізації і т.ін.

Дисертаційна робота продовжує дослідження, що проводяться в Інституті проблем машинобудування (ІПМаш) АН України під керівництвом члена-кореспондента АН України Ю.Г.Стояна. Робота виконувалась в період з 1986 р. по 1993 р. у відділі математичного моделювання і оптимального проектування ІПМаш АН України відповідно до плану науково-технічних робіт по: держбюджетній темі "Розробка математичних методів геометричного проектування" (№ ДР 01860049704); держбюджетній темі "Математичне моделювання складних технічних систем модульного типу" (№ ДР 01900009448); госпдоговірній темі "Програмна система автоматичної компоновки технічних систем блочної конструкції" з Науково-дослідним інститутом електро-фізичної апаратури (НДІ ЕФА) ім. Д.В.Єфремова (Російська Федерація, № ДР 01870034934); госпдоговірній темі "Перша версія пакета програм компоновки технічних систем" з НДІ ЕФА ім. Д.В.Єфремова (Російська Федерація, № ДР 0186003881); госпдоговірній темі "Розвиток методів автоматичного ескізного компонуального проектування автономної електрофізичної установки" з НДІ ЕФА ім. Д.В.Єфремова (Російська Федерація, № ДР 01910017869); договору про науково-технічне співробітництво з Київським механічним заводом (на теперішній час - Авіаційний науково-технічний комплекс ім. О.К.Антонова Міністерства машинобудівельної промисловості України, м. Київ).

Метою роботи є розробка і дослідження програмної системи автоматизації ранніх стадій проектування блочних технічних систем.

Наукова новизна результатів роботи полягає ось у чому:

- 1) розроблено і досліджено математичну модель задачі компоувального проектування технічних систем блочної конструкції;
- 2) проведено аналіз, вибір і адаптацію методів, що реалізують автоматичний синтез розв'язання поставленої задачі;
- 3) розроблено принципи організації, структуру і математичне забезпечення програмної системи CAD-Packing;
- 4) вироблено методологію автоматизації компоувального проектування засобами системи CAD-Packing.

#### Особистий внесок.

Усі результати дисертаційної роботи отримано за особистою участю автора. У працях, написаних у співавторстві, дисертанту належать:

[1, 3, 4] - призначення, основні принципи реалізації різних версій програмної системи CAD-Packing; [2] - методологічні аспекти інтерфейса системи та проектувальника; [6] - основні принципи організації та функціонування графічного тривимірного редактора системи CAD-Packing; [7] - методологія компоувального проектування засобами системи CAD-Packing.

#### Ступінь вірогідності результатів проведених досліджень.

Теоретичні дослідження, виконані в дисертаційній роботі, засновано на положеннях теорії геометричного проектування і теорії оптимізації. Математичну модель побудовано на основі досвіду використання математичних моделей більш вузьких класів задач. Вибір методів розв'язання обгрунтовано виходячи з відомих, апробованих теоретичних і експериментальних результатів, одержаних раніш при розробці методів оптимального розміщення дво- і тривимірних об'єктів, а також методів побудови мереж трас. Вірогідність результатів дисертаційних досліджень підтверджується впровадженням розробленої програмної системи в НДІ ЕФА ім. Д.В.Єфремова (м. Санкт-Петербург) і показаною при цьому відповідністю результатів автоматичного компоувального синтезу реальним схемам компоновки спеціалізованої технічної системи.

Практична значимість роботи полягає в тому, що створена програмна система може використовуватися при розв'язанні таких задач проектування: компоновці технічних систем, що транспортуються (пересувних пунктів керування і зв'язку, морських і повітряних суден і т.ін.), побудові схем завантаження стаціонарних систем (склади) і систем, що транспортуються (трьоми і відсіки морських і повітряних суден, залізничні вагони и т.ін.), компоувальному проектуванні (на

ранніх стадіях) будівельних об'єктів, ескізного проектуванні схем розміщення тривимірних мереж (кабельних, трубопровідних, комунікаційних и т.ін.). Використання розробленої програмної системи при проектуванні подібних систем дозволяє: підвищити якість результатів компонування синтезу за рахунок урахування більшого числа вимог і обмежень, а також за рахунок автоматичного перегляду більшого числа варіантів компоновки; скоротити час проектування; звільнити конструктора-проектувальника від рутинних робіт; поліпшити інформаційне забезпечення проєктів.

Впровадження. Програмну систему було впроваджено в 1987 р. в НДІ ЕФА ім. Д.В.Єфремова (м. Ленінград) із загальним економічним ефектом 100,8 тис.крб.

Апробація роботи. Основні положення роботи докладалися і обговорювалися на:

- Всесоюзному науково-технічному семінарі "Проблеми створення програмного забезпечення комплексної автоматизації" (м. Калінін, 1987р.);

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

- Всесоюзному науково-практичному семінарі "Життя і комп'ютер" (м. Харків, 1990 р.);

- Всесоюзній конференції "Методи і засоби обробки складної графічної інформації" (м. Нижній Новгород, 1991 р.);

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

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 8 наукових працях.

Структура і обсяг дисертації. Робота містить вступ, чотири розділи, висновок, список літератури з 80 найменувань, 12 рисунків; всього - 114 сторінок.

## 2. ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі проведено аналіз об'єкта проектування, виділено підклас технічних систем блочної конструкції (далі просто технічних систем), під якими у цій роботі розуміються системи, для яких на етапі проектування виконуються такі умови:

1) систему можна розглядати у вигляді деякої множини конструктивно закінчених і просторово відокремлених один від одного елементів;

2) взаємне просторове розташування елементів може бути багатоваріантним.

Виділено основні типи елементів, що входять до технічних систем, дано їх стислу характеристику. Розглянуто основні фактори, що впливають на вибір компоновальних рішень, проведено аналіз традиційного процесу конструкторського проектування технічних систем і відзначено основні напрямки його розвитку.

У другому розділі описано математичну модель задачі компоувального проектування.

Введено такі визначення і позначення.

1. Всі елементи технічної системи і процес геометричного проектування у цілому розглядаються у просторі  $R^3$ .

2. Як базовий елемент виберемо прямокутний паралелепіпед  $P$  з ребрами  $a \times b \times c$ , ( $a \neq 0$ ,  $b \neq 0$ ,  $c \neq 0$ ), грані якого паралельні координатним площинам нерухомої прямокутної декартової системи координат  $OXYZ$ . Множину всіх базових елементів прямокутних паралелепіпедів  $P$  позначимо через  $\Psi$ .

3. Об'єднання скінченного числа елементів із множини  $\Psi$  назвемо складеним прямокутним паралелепіпедом або просто складеним

паралелепіпедом і позначимо  $P^c$ , тобто  $P^c = \bigcup_{i=1}^n P_i, P_i \in \Psi$ , де  $n$  -

кількість паралелепіпедів  $P$  у складеному паралелепіпеді  $P^c$ . Через  $\Psi^c$  позначимо множину всіх складених прямокутних паралелепіпедів  $P^c$ .

4. Паралелепіпеди  $P_i$ , що формують складений паралелепіпед  $P^c$ , назвемо компонентами складеного паралелепіпедів  $P^c$ .

5. Для геометричного моделювання елементів технічних систем блочної конструкції використовуються тільки елементи множини  $\Psi^c$ .

6. Назвемо полюсом  $O'$  елемента  $P^c$  центр власної декартової системи координат  $O'X'Y'Z'$ .

7. Параметри розміщення  $p'$  елемента  $P^c$  у просторі  $R^3$  характеризуються координатами  $t'$  полюса  $O'$  та його орієнтацією  $\theta'$  відносно заданої системи координат  $OXYZ$ , тобто  $p' = (t', \theta')$ . У

просторі  $\mathbb{R}^3$  орієнтація  $\Theta'$  всякої точкової множини задається трьома кутами  $\varphi', \xi', \gamma'$  його повороту відносно нерухомої прямокутної декартової системи координат OXYZ.

8. Припускаємо, що повороти елементів  $P^c$  можливі тільки на кути, кратні  $\pi/2$ .

9. Спеціальною областю  $B$  елемента  $P^c$  назвемо деяку підмножину в  $\mathbb{R}^3$ , котра є моделлю області, що служить для завдання певних технологічних вимог і обмежень, параметри розміщення якої зафіксовано відносно полюса елемента  $P^c$ . Спеціальна область у загальному випадку також представляється у вигляді складеного паралелепіпеда, тобто  $B \in \Psi^c$ .

10. Технічну систему будемо представляти таким кортежем множин:  $S^T = \langle \Omega, T, L, O, R, Q, Rel \rangle$ , де:

$S^T$  - технічна система блочної конструкції;

$\Omega$  - бокс;

$T$  - множина блоків;

$L$  - множина трас;

$O$  - множина опор;

$R$  - множина індивідуальних областей розміщення;

$Q$  - множина індивідуальних областей заборони;

$Rel$  - множина відносин між елементами технічних систем.

Множину елементів системи позначимо символом  $S$ :

$$S = \Omega \cup T \cup L \cup O \cup R \cup Q.$$

11. Множину  $S' = S \setminus \Omega = T \cup L \cup O \cup R \cup Q$  назвемо множиною розміщуваних елементів системи.

12. Довільний елемент системи  $S^T$  позначимо символом  $A$ .

Загальна структура моделі задачі компоновки, побудована на основі апарату  $\Phi$ -функцій, містить у собі такі компоненти.

1. Умови взаємного неперетину елементів  $A_i$  та  $A_j$  технічних систем

$$\Phi_{ij}(p_i^A, p_j^A) \geq 0, \quad i, j \in \{N^S\}, \quad (1)$$

де:

$A_i, A_j \in S$ ;  $p_i^A, p_j^A$  - параметри розміщення відповідно елементів  $A_i$  та  $A_j$ ;

$\{N^S\}$  - множина елементів системи  $S^T$ .

2. Умови неперетину ланок трас і елементів системи

$$\Phi_{ij}(p_{ik}^L, p_{ik+1}^L, p_j^A) \geq 0, \quad k=1, \dots, N_i^L-1; i=1, \dots, N^L; j \in \{N^S\}, \quad (2)$$

де:

$A_j \in S$ ;  $N_i^L$  - кількість ланок траси  $L_i$ ;

$N^L$  - кількість трас у системі  $S$ ;

$p_{ik}^L, p_{ik+1}^L$  - параметри розміщення  $k$  та  $k+1$  ланок траси  $L_i$ .

3. Умови належності елементів системи області компоновки  $\Omega$

$$\Phi_{i0}(p_i^A, p_0^{\Omega'}) \geq 0, \quad \Phi_{ij}(p_i^A, p_j^{R'}) \geq 0, \quad \Phi_{im}(p_i^A, p_m^Q) \geq 0, \quad (3)$$

$i \in \{N^S\}, j=1, \dots, N_j^{R'}, m=1, \dots, N_m^Q$ ,

де:

$A_i \in S$ ;  $\Omega' = \text{cl}(R^3 \setminus \Omega) = \text{cl } C \Omega$ ;  $R' = \text{cl}(\Omega \setminus R)$ ;

$\text{cl}$  - замикання множини  $R^3 \setminus \Omega$  (і відповідно  $\Omega \setminus R$ );

$C \Omega$  - доповнення множини  $\Omega$  до простору  $R^3$ ;

$p_0^{\Omega'}, p_j^{R'}$  - параметри розміщення множин  $\Omega'$  и  $R'$ ;

$p_m^Q$  - параметри розміщення індивідуальної області заборони  $Q_{im}$ ;

$N_i^{R'}$  - кількість індивідуальних областей розміщення елемента  $A_i$ ;

$N_i^Q$  - кількість індивідуальних областей заборони елемента  $A_i$ .

4. Умови належності ланок трас області компоновки

$$\Phi_{i0}(p_{ik}^L, p_{ik+1}^L, p_0^{\Omega'}) \geq 0, \quad \Phi_{im}(p_{ik}^L, p_{ik+1}^L, p_m^Q) \geq 0, \quad (4)$$

$$\Phi_{ij}(p_{ik}^L, p_{ik+1}^L, p_j^{R'}) \geq 0, \quad k=1, \dots, N_i^L-1; i=1, \dots, N^L; m=1, \dots, N_m^Q; j=1, \dots, N_j^{R'}$$

де:

$N^L$  - кількість трас;

$N_i^L$  - кількість ланок в трасі  $L_i$ ;

$N_i^{R'}$  - кількість індивідуальних областей розміщення для траси  $L_i$ ;

$N_1^Q$  - кількість індивідуальних областей заборони для траси  $L_1$ ;

5. Умови стикування ланок трас

$$\Phi_{kk+1}(p_{ik}^L, p_{ik+1}^L) \leq 0, \quad i = 1, \dots, N^L, \quad k=1, \dots, N_1^L-1. \quad (5)$$

6. Умови закріплення початкових і кінцевих ланок трас

$$\Phi_{11}(p_{11}^L, p_{11}^B) = 0, \quad \Phi_{n2}(p_{in}^L, p_{12}^B) = 0, \quad i = 1, \dots, N^L, \quad (6)$$

де:

$p_{11}^B, p_{12}^B$  - параметри розміщення спеціальних областей  $B^1$  і  $B^2$ , що є областями входу-виходу траси  $L_1$ ;

$p_{11}^L, p_{in}^L$  - параметри розміщення початкової та кінцевої ланок траси  $L_1$ ;

$n$  - число ланок траси  $L_1$ .

7. Обмеження, що забезпечують остійність елемента  $A_k$

$$\sum_{i=1}^n F_i^z = 0, \quad \sum_{i=1}^n M_i^x = 0, \quad \sum_{i=1}^n M_i^y = 0; \quad (7)$$

де:

$F_i^z$  ( $i=1, \dots, n$ ) - проекції на вісь  $OZ$  сил, що діють на елемент  $A_k$ ;

$M_i^x, M_i^y$  - моменти сили  $F_i$  відносно до осей  $OX$  та  $OY$ .

8. Обмеження на максимальне навантаження на елементи системи

$$f_i^H \leq C_i^H, \quad (8)$$

де:

$f_i^H$  - навантаження на елемент  $A_i$ ;

$C_i^H$  - деяке задане проектувальником граничне значення навантаження на елемент  $A_i$ .

9. Обмеження на повороти розміщуваних елементів системи

$$\Theta_1 \in \{\Theta_1^k\}, \quad k=1, \dots, N_0^1, \quad (9)$$

де:

$\Theta_1$  - орієнтація елемента  $A_1$ ;

$\{\Theta_1^k\} = \{\varphi^k, \psi^k, \gamma^k\}$  - множина дозволених для елемента  $A_1$  орієнтацій;

$\varphi^k, \psi^k, \gamma^k$  - кути повороту елемента  $A_1$  відносно нерухомої прямокутної декартової системи координат, у відповідності до п. 9 кути  $\varphi^k, \psi^k, \gamma^k \in$  кратними  $\pi/2$ ;

$N_0^1$  - кількість орієнтацій, дозволених для елемента  $A_1$ .

10. Обмеження, що накладаються на функції такого вигляду:

10.1 Функція  $f_1$  - довжина (ширина, висота) зайнятої частини деякої індивідуальної області розміщення  $R_1$ ,  $R_1 \in R$ ,  $i \in \{N^R\}$ , де  $\{N^R\}$  - множина номерів індивідуальних областей розміщення системи  $S^T$ .

Нехай  $A_1^f = \{A_j^f\}$  ( $j = 1, \dots, m_1^R$ ) - множина розміщуваних елементів системи  $S^T$  ( $A_j^f \in S^T$ ), для яких як індивідуальна область розміщення задана область  $R_1$ . Тоді функція  $f_1$  має такий вигляд:

$$f_1 = \max_{k, \Gamma} (p_k + a_k^{\Gamma}), \quad (10)$$

де:

$k \in \{N_1^A\}$ ;  $\{N_1^A\}$  - множина номерів елементів множини  $A_1^f$ ;

$m_1^R$  - число елементів у множині  $A_1^f$ ;

$p_k = (t_k, \theta_k)$  - параметри розміщення розміщуваного елемента  $A_k$ ;

$a_k^{\Gamma}$  - довжина (ширина, висота)  $\Gamma$ -ї компоненти елемента  $A_k$ .

10.2 Функція  $f_2$  - відхилення центра тяжіння компоновки від області бажаного розташування:

$$f_2 = \min_{\Gamma} \rho(c, r), \quad (11)$$

де:

$c = (c_x, c_y, c_z)$  - точка, що належить до спеціальної області  $B^C$  ( $c \in B^C$ ), яка є моделлю області бажаного розташування центра тяжіння;

$r = (r_x, r_y, r_z)$  - координати центра тяжіння системи, що компоується;

$\rho(c, r)$  - відстань у заданій метриці між  $c$  і  $r$ .

10.3 Функція  $f_3$  - відстань між спеціальними областями елементів системи:

$$f_3 = \rho(B_i^f, B_j^f), \quad i \neq j, \quad (12)$$

де:

$B_i^r$  і  $B_j^\tau$  - спеціальні області елементів  $A_i, A_j$  системи  $S^T$  ( $A_i, A_j \in S$ ,  $i, j \in \{N_S\}$ ,  $r \in \{N_i\}$ ,  $\tau \in \{N_j\}$ );

$\{N_i\}$  - множина номерів елементів множини спеціальних областей

$\{B_i\}$  елемента  $A_i$ ;

$\{N_j\}$  - множина номерів елементів множини спеціальних областей

$\{B_j\}$  елемента  $A_j$ ;

$\{N_S\}$  - множина номерів елементів системи  $S^T$ ;

$\rho(B_i^r, B_j^\tau)$  - відстань в заданій метриці між  $B_i^r$  і  $B_j^\tau$ .

10.4 Функція  $f_4$  - довжина траси:

$$f_4 = \sum_{i=1}^{N_k^L} l_k^i, \quad (13)$$

де:

$N_k^L$  - кількість ланок у трасі  $L_k \in L$ ,  $k \in \{N_L\}$ ;

$l_k^i$  - довжина  $i$ -ї ланки траси  $L_k$ ;

$\{N_L\}$  - множина номерів елементів множини трас  $L$ .

10.5 Функція  $f_5$  - число зломів траси:

$$f_5 = U_k^L, \quad (14)$$

де  $U_k^L$  - кількість зломів траси  $L_k \in L$ ,  $k \in \{N_L\}$ .

10.6 Функція  $f_6$  - оцінка місцезорозташування елемента системи

$$f_6 = \sum_{i=1}^{N_k^R} t_k^i, \quad (15)$$

де:  $N_k^R$  - кількість індивідуальних областей розміщення для елемента  $A_k \in S'$ ,  $k \in \{N_S\}$ ;

$\{N_S\}$  - множина номерів елементів системи  $S^T$ ;

$$t_k^i = \begin{cases} \alpha_k^i, & \text{если } A_k \subseteq R_i, \\ 0, & \text{если } A_k \not\subseteq R_i \end{cases}$$

$\alpha_k^1$  - коефіцієнт значущості попадання елемента  $A_k$  в індивідуальну область розміщення  $R_1$ , що задається проєктувальником.

10.7 Функція  $f_7$  - кількість опор:

$$f_7 = N^O, \quad (16)$$

де  $N^O$  - кількість елементів множини опор  $O$  системи  $S^T$ .

10.8 Функція  $f_8$  - вага опори:

$$f_8 = V_1^O, \quad (17)$$

де:

$V_1^O$  - вага опори  $O_i \in O$ ,  $i \in \{N_O\}$ ;

$\{N_O\}$  - множина номерів елементів множини опор  $O$ .

10.9 Функція  $f_9$  - число розташованих блоків

$$f_9 = N_\Omega^T, \quad (18)$$

де  $N_\Omega^T$  - кількість розташованих блоків, тобто блоків, для яких виконується умова  $T_i \subset \Omega$ .

Обмеження, що будуються на основі функцій вигляду (10 - 18), мають такий вигляд:

$$F_i(f_1, f_2, \dots, f_n) \leq C_i \text{ чи } F_i(f_1, f_2, \dots, f_n) < C_i, \quad i=1, \dots, N^F, \quad (19)$$

де:

$F_i(f_1, f_2, \dots, f_n)$  - функція, побудована на основі допоміжних функцій вигляду (10 - 18);

$n$  - кількість допоміжних функцій;

$N^F$  - кількість функцій  $F_i(f_1, f_2, \dots, f_n)$ ;

$C_i$  - деякі задані проєктувальником граничні значення відповідних функцій  $F_i$ .

11. Функція мети.

Функція мети задачі компоновки є векторною і має такий вигляд:

$$F(f_1, f_2, \dots, f_n), \quad (20)$$

де  $f_1, f_2, \dots, f_n$  - критерії функції мети, що являють собою функції вигляду (10 - 18).

Таким чином, математична модель задачі компоновки технічних систем має такий вигляд:

$$\text{Визначити } \underset{\substack{u_i \in G, \\ i=1, \dots, n}}{\text{extr}} (F(f_1(u_1), f_2(u_2), \dots, f_n(u_n))), \quad (21)$$

де:

$F(f_1(u_1), f_2(u_2), \dots, f_n(u_n))$  - векторна функція мети вигляду (20);

$u_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) - аргументи відповідних функцій  $f_i$  вигляду (10 - 18), що визначаються геометричною інформацією про елементи системи;

$G$  - область припустимих розв'язків, що описується системою нерівностей вигляду (1 - 9, 19).

У роботі проведено аналіз і визначено характерні особливості побудованої математичної моделі. На прикладах зазначено сферу використання запропонованої математичної моделі при проектуванні різних типів технічних систем.

У третьому розділі розглядаються методи та алгоритми розв'язку задачі компонуального проектування.

Розглянуто загальну характеристику методів автоматичного розміщення, проведено аналіз і вибір методів, що використовуються під час автоматизації проектування, виділено основні підзадачі. Здійснено адаптацію вибраних методів з урахуванням специфіки автоматизованого компонуального проектування засобами програмної системи CAD-Packing. Проведено аналіз проблеми остійності одного класу технічних систем.

У четвертому розділі приведено дані про програмну систему CAD-Packing, що реалізує розроблені моделі, методи й алгоритми.

Програмна система CAD-Packing являє собою інтегровану систему автоматизованого проектування і призначена для автоматизації процесу компонуального проектування технічних систем. Система CAD-Packing містить в собі такі підсистеми: монітор, графічний тривимірний редактор, систему формування формальної моделі задачі, планувальник, систему розв'язку задачі компоновки, систему підтримки прийняття рішень, базу даних, функціональне наповнення системи, сервісні системи.

Синтез проектів компоновок технічних систем блочної конструкції у системі CAD-Packing можна розбити на таку послідовність процедур процесу проектування.

### 1. Постановка задачі.

На даному етапі відбувається формування внутрішньосистемної формальної моделі задачі - опис елементів системи, обмежень, функції мети, вибір методів розв'язку.

Як правило, завдання геометричної інформації здійснюється за допомогою графічного тривимірного редактора GTEDIT, а формування інших компонент формальної моделі - ґрунтуючись на традиційних діалогових формах. Однак опис (а якщо необхідно - то й редагування) формальної моделі задачі можливий і безпосередньо на внутрішньосистемній спеціалізованій мові опису даних. Крім того, вибір методів розв'язку поставленої задачі може здійснюватись не лише користувачем системи, але й автоматично самою системою. При цьому є можливим урахування таких факторів як тип поставленої задачі, набір наявних методів її розв'язку, часові витрати, необхідна точність і т.ін.

### 2. Аналіз поставленої задачі.

На даному етапі система здійснює перевірку поставленої задачі на повноту, коректність і несуперечливість. Якщо є помилки, відбувається повернення на попередні стадії функціонування системи, у протилежному разі - програма-планувальник формує програму розв'язку поставленої задачі.

### 3. Розв'язання задачі компоновки.

На даному етапі здійснюється пошук розв'язку поставленої задачі. У ході розв'язання задачі користувач може:

- 1) аварійно завершувати і тимчасово припиняти процес розв'язання, здійснювати оперативний виклик інших підсистем системи CAD-Packing;
- 2) модифікувати одержані результати в інтерактивному режимі засобами графічного редактора GTEDIT;
- 3) відбирати за певними критеріями варіанти компоновок, що синтезуються, та записувати їх в архів рекордів.

### 4. Аналіз, модифікація, документування та архівування результатів компоновки.

На будь-якій стадії проектування є можливим повернення на попередні етапи роботи системи для внесення необхідних змін.

У даному розділі приведено загальну характеристику системи CAD-Packing, виділено її базові забезпечення, розглянуто мову опису задачі, проаналізовано програмну реалізацію системи, наведено приклад результатів компонування синтезу, одержаний засобами системи CAD-Packing.

ВИСНОВКИ та РЕЗУЛЬТАТИ, отримані в дисертаційній роботі.

1. Виділено підклас технічних систем блочної конструкції.
2. Визначено основні типи елементів технічних систем, приведено їх коротку характеристику.
3. Здійснено аналіз існуючих методів компоувального проектування, відзначено їх недоліки та приведено пропозиції щодо подальшого розвитку автоматизації процесу проектування.
4. Грунтуючись на проведених дослідженнях виділено й формалізовано основні елементи технічних систем блочної конструкції.
5. Проведено аналіз і формалізацію обмежень, що накладаються на процес компоувального проектування.
6. Виділено і формалізовано критерії якості, що використовуються при компоувальному проектуванні.
7. Побудовано математичну модель задачі компоувального синтезу технічних систем блочної конструкції.
8. Проведено аналіз і визначено характерні особливості побудованої математичної моделі.
9. Зазначено сферу використання запропонованої математичної моделі при проектуванні різних типів технічних систем.
10. Проведено аналіз і вибір методів, що використовуються під час автоматизації проектування, виділено основні підзадачі.
11. Здійснено адаптацію обраних методів з урахуванням специфіки автоматизованого компоувального проектування засобами програмної системи CAD-Packing.
12. Проведено аналіз проблеми остійності елементів системи.
13. Розроблено принципи побудови та структуру програмної системи CAD-Packing, що автоматизує процес компоувального синтезу технічних систем блочної конструкції.
14. Розроблено програмне забезпечення основних підсистем системи CAD-Packing, що автоматизують процес компоувального проектування та забезпечують дружній користувачу інтерфейс.
15. Запропоновано методологію компоувального проектування засобами системи CAD-Packing, що дозволяє підвищити якість результатів компоувального синтезу, скоротити час проектування, звільнити конструктора-проектувальника від рутинних робіт, поліпшити інформаційне забезпечення проектів.

ПУБЛІКАЦІЇ по темі дисертації:

1. Стоян Ю.Г., Пономаренко Л.Д., Панкратов А.В., Лойко А.Ф. Программная система КТС автоматической компоновки бокса сложной

технической системы блочной ко  
(Препринт / АН УССР. Ин-т пробл.  
2. Пономаренко Л.Д., Панкратов А.

программная система автоматической компоновки технических систем блочной конструкции // Проблемы создания программного обеспечения комплексной автоматизации: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. семинара, г. Калинин, 20-23 окт. 1987г. - С.107-110.

3. Пономаренко Л.Д., Лойко А.Ф. Программная система автоматизации эскизного проектирования технических систем блочной конструкции // Интегрированные системы автоматизированного проектирования: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф., г. Вологда, 17-19 окт. 1989 г. - С. 169-171.

4. Пономаренко Л.Д., Лойко А.Ф. Программная система автоматизации стадии эскизного проектирования технических систем блочной конструкции // Жизнь и компьютер: Тез. докл. Всесоюз. науч.-практич. семинара, г. Харьков, 19 - 25 нояб. 1990 г. - С. 97 - 101.

5. Лойко А.Ф. Автоматизация компоновочного проектирования средствами системы CAD-Packing // Методы и средства обработки сложной графической информации: Тез. докл. Всесоюз. конф., г. Нижний Новгород, сент. 1991 г. - С. 127.

6. Лойко А.Ф., Кравченко М.Ю., Прибылов И.Р. Графический трехмерный редактор системы автоматизированного компоновочного проектирования // Методы и средства обработки сложной графической информации: Тез. докл. Всесоюз. конф., г. Нижний Новгород, сент. 1991 г. - С. 127.

7. Пономаренко Л.Д., Лойко А.Ф. Программная система синтеза компоновочных решений блочных технических систем на ранних стадиях проектирования // Методология решения прикладных оптимизационных задач: Сб. науч. тр. Ин-та кибернетики им. В.М.Глушкова АН Украины. - Киев, 1992.-С.32-36.

8. Лойко А.Ф. Математическая модель задачи компоновки технических систем блочной конструкции // Математическое моделирование и оптимизация технических систем и процессов: Сб. науч. тр. Ин-та кибернетики им. В.М.Глушкова АН Украины. - Киев, 1993. - С.18 - 22.

Відповідальний за випуск к.т.н. Куценко О.С.

Підписано до друку 27.01.94 Формат 60x90 1/16.

Ум. друк. арк. 1,00. Папір друк. №1.

Обл.-вид. арк. 0,96. Тираж 100 пр. Зам. № 1922