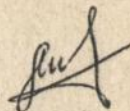


ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

МАКАРОВА ІРИНА ОЛЕГІВНА



**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ  
ОБРОБКИ ГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

*05.13.16 — застосування обчислювальної техніки, математичних  
методів та математичного моделювання  
в наукових дослідженнях*

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса — 1993

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському державному політехнічному університеті.

Науковий керівник — доктор технічних наук Гогунський В.Д.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук Становський О.Л.;

кандидат фізико-математичних наук Рудяк М.В.

Провідна організація — Харківський фізико-технічний інститут

Захист відбудеться 27 січня 1994 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради  
Д 068.19.01 Одеського державного політехнічного університету за адресою:  
270044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеського державного  
політехнічного університету.

Автореферат розісланий "16" грудня 1993 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Ямпольський Ю.С.

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00802858 (V)

## Загальна характеристика роботи

Актуальність проблеми. Необхідною умовою підвищення технічного рівня сучасних виробів машинобудування при одночасному скороченні строків і вартості їх створення є розроблення і упровадження в практику інженерних служб машинобудівних підприємств нової інформаційної технології, яка ґрунтується на масовому застосуванні ЕОМ в процесах проектування, конструювання і виробництва. Висока якість проектних рішень забезпечується за рахунок того, що в процесі проектування функції раціонально розподіляються між людиною і обчислювальним середовищем. Масове використання обчислювальних машин можливе лише в тому разі, якщо їх техніко-економічні характеристики не нижчі аналогічних параметрів для традиційного устаткування, яке застосовується у конструкторських і технологічних підрозділах. Тому з появою персональних комп'ютерів сфера застосування систем автоматизованого проектування суттєво поширилась.

У зв'язку з тим, що обсяг інженерно-графічних робіт, які доводиться виконувати при традиційному проектуванні, з урахуванням масштабів проектних робіт, є виключно великим та за різними експертними оцінками складає до 70% усіх витрат на проектування і виготовлення виробу, особливе значення в САПР і автоматизованих системах технологічної підготовки виробництва набули підсистеми автоматизованої розробки та випуску конструкторської і технологічної документації. Але масштаби застосування таких систем стримуються дорожнечою і невисокою точністю засобів кодування графічних даних, складністю пристроїв введення, існуванням у ПК досить жорстких обмежень на обчислювальні ресурси. Крім того, процес попереднього кодування креслення часто вимагає знання досить специфічної для кожної системи вхідної мови і трудомісткого програмування, що відлякує багатьох потенційних користувачів подібних систем. Тому викликає певний інтерес розробка такої підсистеми введення і обробки креслярно-графічної інформації, застосування якої не потребує спеціальних пристроїв кодування. Підсистема повинна забезпечувати високу точність вхідних даних, компактне зберігання креслярно-графічної інформації і можливість її ефективного корегування.

Мета роботи. Метою дисертаційної роботи є створення та дослідження математичної моделі для зображення графічних об'єктів.

розробка методів та алгоритмів їх модифікації, впровадження яких забезпечує удосконалення процесів автоматизації конструкторської підготовки виробництва. Досягнення поставленої мети потребує рішення наступних основних задач:

- розроблення та дослідження узагальненої математичної моделі для опису геометричних об'єктів;
- розроблення методики введення креслярно-графічної інформації в ПК без обмеження точності даних, що вводяться, і притягнення додаткових технічних засобів, створення ефективних та легко реалізуємих засобів контролю і аналізу вхідних даних;
- розроблення методу представлення конструкторської документації та алгоритмів виконання основних геометричних перетворень.

Методи дослідження. Теоретичною базою впроваджуваних досліджень є використання теорії графів, алгебри логіки, теорії потоків у сітках, комбінаторної оптимізації і аналітичної геометрії.

Наукова новизна даної роботи визначається тим, що:

- запропонована уніфікована математична модель зображення складних геометричних об'єктів;
- розв'язана задача контролю повноти та коректності опису геометричних об'єктів;
- на основі даної математичної моделі розроблені ефективні алгоритми зберігання, пошуку та ідентифікації об'єктів в графічній базі даних, а також алгоритми виконання основних геометричних і топологічних перетворень об'єкта;
- розроблені ефективні алгоритми формування довільних аксонометричних зображень геометричних об'єктів з постійним поперечним перерізом.

На захист виносяться наступні теоретичні положення і практичні результати роботи:

- методи і алгоритми діалогового формування моделей геометричних об'єктів;
- методи і алгоритми аналізу повноти і несуперечності вихідних даних, які описують деякий геометричний об'єкт;
- алгоритми виконання основних геометричних і топологічних перетворень об'єкта;
- алгоритми формування різноманітних аксонометричних зображень об'єкта.

Практична цінність і реалізація результатів роботи. Практична цінність виконаних досліджень полягає в тому, що у рамках побудованої моделі опису графічних об'єктів запропонована методика кодування креслення, розроблені алгоритми формування и редагування графічних об'єктів (ГО), роботи з базових даних ГО, які послужили основою для створення підсистеми введення і обробки креслярно-графічної інформації. Дана підсистема може функціонувати як самостійно, так і у складі конструкторської САПР, її використання дозволяє суттєво полегшити процес створення і модифікації креслень, скоротити час пошуку необхідної графічної інформації, що дає можливість скоротити строки і вартість проектування, поліпшити якісні показники прийманих проектних рішень.

Наукові дослідження проводились у рамках науково-дослідної роботи "Дослідження, розробка та впровадження підсистеми автоматизації конструкторської підготовки виробництва".

Програмне забезпечення розроблено для IBM-сумісних ПЕОМ і включено у склад графічної підсистеми САПР "Продмаш", яка впроваджена на Одеському виробничому об'єднанні "Продмаш".

Апробація роботи. Основні результати та положення дисертаційної роботи доповідалися и обговорювалися на:

- другому болгаро-радянському науково-технічному семінарі "Автоматизація проектування. Проблеми спільних досліджень і підготовки кадрів" (Варна, червень 1989 р.);

- четвертому болгаро-радянському науково-технічному семінарі "Автоматизація проектування. Проблеми спільних досліджень і підготовки кадрів" (Варна, червень 1991 р.);

- науково-технічній конференції "Технічне оснащення дошкільного і загальноосвітнього навчання" (Вінниця, квітень 1992 р.);

- п'ятому українсько-польсько-болгарському науково-технічному семінарі "Інформаційні технології, маркетинг та бізнес у електроніці та машинобудуванні" (Одеса, червень 1992 р.);

- республіканській науково-методичній конференції з математики, присвяченій 200-річчю з дня народження Лобачевського (Одеса, вересень 1992 р.);

- республіканських семінарах наукової Ради АН УРСР із комплексної проблеми "Кібернетика" (Одеса, 1989-1991 рр.).

Структура і обсяг роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів та закінчення. Основний зміст роботи викладено

на 121 сторінці машинопису з 7 малюнками та 2 таблицями. Бібліографія містить 148 найменувань.

#### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показана актуальність даної роботи, сформульовані мета і задачі дослідження, приводяться основні положення та одержані результати, відмічаються наукова новизна та практична вагомість проведеного дослідження.

Перший розділ присвячений теоретичним основам математичного опису складних геометричних об'єктів. Сформульовані основні вимоги, які повинні виконуватися при моделюванні геометричних об'єктів високого рівня. Розглянуті основні методи побудови та реалізації моделей. Аналізуються переваги та недоліки таких розповсюджених методів побудови моделей, як технічне креслення, завдання тіл товщиною, обертанням та переміщенням, параметризація, побудова моделі з базових об'єктів та ін. Розглядаються межі застосування таких методів реалізації двовірної моделі, як ланцюгове кодування, ланцюгові, структурні граматики та граматики графів, геометричне кодування. Досліджуються також основні типи тривимірних моделей: каркасні, поверхневі та об'ємні.

Деякі із розглядаємих моделей можуть бути реалізовані простими методами, але одержані в результаті математичні списки об'єкта не дають повного уявлення про моделюваний об'єкт, такі моделі мають дуже обмежену область застосування і ефективні лише для простих об'єктів. Крім того, для моделей, в котрих міститься мінімум інформації про об'єкт, утруднено коректне виконання операцій по перетворенню об'єкта. Реалізація ж моделей для складних об'єктів частіше всього потребує значних витрат обчислювальних ресурсів, складних алгоритмів для виконання деяких традиційних функцій роботи з об'єктом. Недоліком багатьох моделей є й те, що вони не дають засобів для перевірки правильності одержаного математичного опису об'єкта.

Виходячи з цього, є актуальною розробка такої математичної моделі представлення складних геометричних об'єктів, котра дозволяла б реалізувати ефективні алгоритми для виконання основних перетворень об'єкта, перевірку коректності одержаної математичної моделі, узгоджувалася б з методами конструювання, які склалися, була компактною та інваріантною до області застосування.

У другому розділі будується узагальнена математична модель складного графічного об'єкта.

Простим графічним об'єктом (ПГО) будемо називати графічний об'єкт, який в складовою частиною одного або декількох складових ГО (СГО). Для СГО можна прийняти наступне означення:

$$\langle \text{СГО} \rangle ::= \langle \text{ПГО} \rangle \mid \langle \text{ПГО} \rangle \langle \text{СГО} \rangle$$

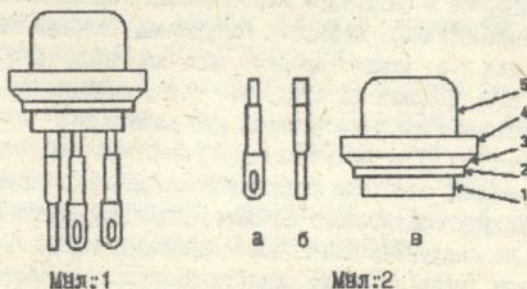
Для опису геометричних властивостей простого графічного об'єкта введемо в розгляд зважений граф  $G = \langle V, E \rangle$ , де  $V \subset \mathbb{N}$  - номери базових точок креслення,  $E \subset V^{(2)}$ .

Граф  $G$  задається матрицею суміжності  $S = (s_{ij})_{n \times n}$  :

$$s_{ij} = \begin{cases} d_{ij}, & (V_i, V_j) \in E \\ \infty, & (V_i, V_j) \notin E \end{cases}$$

де вага  $d_{ij}$  відповідає відстані між базовими точками креслення.

Крім геометричного графа  $G$  задамо ще граф топології  $T = \langle V, U \rangle$ , носій якого співпадає з носієм графа  $G$ , а сигнатурою  $U$  є множина графічних примітивів. Граф  $T$  також можна описати його матрицею суміжності, де вага  $p_{ij}$  вказує тип примітиву, який зв'яже відповідні базові точки креслення.



Тоді ГО будь-якого рівня складності можна визначити у вигляді наступної сукупності:

$$M = \langle \bigcup_{i=1}^N G_i, \bigcup_{i=1}^N T_i, G^*, F \rangle,$$

де  $G_i$  і  $T_i$  - відповідно геометричний та топологічний графи простих об'єктів, які входять в даний ГО;

$N$  - кількість рівних простих об'єктів;

геометричний граф  $G^* = \langle V^*, E^* \rangle$  задає взаємне розташування простих ГО,

$|V^*| = N$ ,  $|E^*| = \sum_{j=1}^N p_j - 1$ , де  $p_j$  - кількість входжень  $j$ -го простого об'єкта у більш складний;

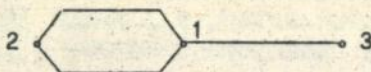
спосіб формування складного об'єкта із сукупності простих задається за допомогою алгебри

$$F = \langle T^*, \cup, \cap, \setminus \rangle, \text{ де } T_1, T_2, \dots, T_n \in T^*.$$

Так тиристор, зображений на мал.1, є складним графічним об'єктом, який може бути представлений як сукупність трьох простих ГО ( мал.2 ), які задаються графами  $G_i$  і  $T_i$ ,  $i = \overline{1,3}$ , причому ПГО, зображений на мал.2.а, входить у СГО двічі. Тоді за допомогою алгебри  $F$  для даного СГО може бути утворена множина

$$T_r = T_1 \cup T_2 \cup T_3 \cup T_4.$$

Граф  $G^*$  для даного СГО зображений на мал.3.



Мал.3

У свою чергу, на іншому рівні деталізації деякі ПГО можуть виступати як СГО, що є слідством застосування системного підходу при побудові математичної моделі. Наприклад, корпус тиристора, зображений на мал.2.а, можна задати або як ПГО, або як СГО, складений з 5 ПГО, заданих  $G_i$  і  $T_i$ ,  $i = \overline{1,5}$ , причому  $T_1 = T_2 = T_4$ , а  $G_1 = G_2 = G_4$  і відрізняються лише вагами. Для даного СГО

$$T_r = T_1 \cup T_1 \cup T_3 \cup T_1 \cup T_5; |V^*| = 5, |E^*| = 4.$$

Одержана модель повністю відображає метричні властивості та внутрішню структуру моделюваного об'єкта, дозволяє розглядати його як єдине ціле та оперувати ним і його характеристиками у цій якості, модель також інваріантна до області практичного застосування.

Запропонована модель для опису графічного об'єкту дозволяє досить ефективно виконати аналіз повноти та коректності кодування одержаної моделі. Показано, що при повному кодуванні граф  $G$  має бути зв'язним. У протилежному випадку, виявляючи компоненти зв'язності графа, можна визначити групи точок, відстані між якими не задані. Алгоритм визначення зв'язності графа і числа його компонент зв'язності засновується на використанні того відомого факта, що граф  $G$  складеться із  $k$  компонент зв'язності тоді і тільки тоді, коли являється  $k$ -клітинною його матриця досяжності

$$D(G) = \sum_{i=1}^{d(G)} \{S(G)\}^i,$$

де  $S(G)$  - матриця суміжності,  $d(G)$  - діаметр графа.

Для побудови цієї матриці досяжності використовується алгоритм Уоршола, котрий у гіршому випадку має складність  $O(n^3)$ . Кожна з діагональних підматриць перетвореної матриці  $D(G)$  відповідає зв'язній компоненті графа  $G$ .

Аналіз суперечності або надмірності кодування креслення виконується шляхом визначення циклів графа  $G$ . Якщо цикломатичне число  $\kappa(G)=0$ , то циклів в графі  $G$  немає. У протилежному випадку визначаємо базисну множину циклів даного графа. Для побудови даної множини використовується алгоритм пошуку у глибину, у результаті роботи якого буде побудовано кореневе остовне дерево, причому кожне обернене ребро даного дерева, тобто ребро графа, яке не належить дереву, породжує один з базисних циклів графа. Показано, що якщо цикл графа  $G$  складається з  $k$  ребер і  $d_1(V_i, V_j)$  - вага ребра  $(V_i, V_j)$ ,  $d_1(V_i, V_j) \leftrightarrow d_{ij} \in S(G)$  і для нього

$$\sum_{i=1}^k d_1(V_i, V_j) = 0,$$

то кодування є надмірним і можна віддалити яке-небудь з ребер циклу, у протилежному випадку кодування є суперечливим. Потужність базисної множини циклів дорівнює цикломатичному числу. Даний алгоритм потребує  $O(|V|^2)$  операцій.

Для визначення відстані між будь-якими двома базовими точками об'єкта спочатку розв'язується допоміжна задача знаходження найкоротшого шляху з даної вершини  $s \in S$  до усіх інших вершин зв'язного графа. Розв'язання цієї задачі ґрунтується на використанні алгоритму розміщення міток, у якому мітка  $l_1(v)$  вершини  $v$  задовольняє наступним вимогам:

$$l_0(s) = 0, \quad l_0(v) = \infty \quad \text{для } v \neq s;$$

$$\text{при } i \geq 1 \quad l_i(v) = d(s, v) \quad \text{для } v \in S_{i-1},$$

$$l_i(v) = \min_{u \in S_{i-1}} \{d(s, u) + w(u, v)\} \quad \text{для } v \in S_i, \quad \text{де } d(s, v) -$$

відстань між  $s$  та  $v$ ,  $w(u, v)$  - вага,  $S = V - S$ .

Вибравши за вершину  $u_i$  таку, що  $d(s, u_i) = \min_{v \in S_{i-1}} \{l(v)\}$ ,

можна визначити  $l_{i+1}(v)$  таким чином:

$$l_{i+1}^*(v) = d(s, v) \text{ для } v \in S_1;$$

$$\text{для } v \in \bar{S}_1 \quad l_{i+1}^*(v) = \min(l_i(v), l_i(u_i) + w(u_i, v)).$$

Розроблена процедура, яка за знайденими шляхами дозволяє одержати відстань між будь-якими базовими точками, незалежно від того, чи належать відповідні їм вершини одному шляху або різним.

У третьому розділі розв'язуються такі задачі:

- 1) параметризація об'єкта проектування (ОП);
- 2) виконання геометричних і топологічних перетворень ОП;
- 3) формування аксонометричних зображень;
- 4) задача запобігання дублювання інформації в графічній БД.

Наявність в моделі двох різних об'єктів, які містять інформацію про геометрію і топологію ОП, дозволяє досить ефективно розв'язати задачу 1. Для цього розглянемо граф  $(B, \Gamma)$ , який має такі властивості:

- 1)  $B = X \cup Y$ ,  $X \cap Y = \emptyset$ ; 2)  $\Gamma X \subseteq 2^Y$ ,  $\Gamma Y = \emptyset$ .

Такий граф є дводольним графом  $D = \langle X, Y, \Gamma \rangle$ . Повний дводольний граф, для якого  $|X| = p$ , а  $|Y| = q$  позначимо через  $K_{p,q}$ . Граф  $K_{1,q}$  називається зіркою. Тоді параметризована сім'я геометричних моделей об'єкта може бути описана графом  $K_{1,q}$ , де вершини  $x$  відповідає деяка матриця суміжності  $P$  графа топології  $P$ , а вершини  $y_i$  - матриця  $S$  геометричного графа  $G$ .

Зазначена вище особливість обраної моделі дозволяє також розробляти ефективні алгоритми для розв'язання другої задачі. Через те що афінні перетворення не змінюють топологію об'єкта, то при виконанні таких операцій над об'єктом як переміщення, обертання, масштабування і симетрія, може змінюватися лише матриця  $S$  графа  $G$ . Так, при виконанні масштабування необхідно кожний елемент матриці  $S$  помножити на коефіцієнт масштабування. Розроблені алгоритми виконання різноманітних видів симетрії та алгоритм виконання обертання відносно довільного центру.

Аналогічно зміна топології зв'язків не вимагає корегування координат точок, тому що при віддаленні ліній, зміні їх типу, впровадженні нових ліній змінюється лише матриця  $P$ , яка описує граф  $\Gamma$ . Наприклад, операція впровадження нової лінії здійснюється занесенням відповідного номера примітиву у матрицю  $S$ .

Розроблені ефективні алгоритми формування довільних аксонометричних зображень ГО є постійним поперечним перерізом. Для

будування аксонометричного зображення достатньо знати тільки один головний вид ГО та "глибину" зображення. Якщо головний вид містить  $n$  базових точок, то матриці суміжності топологічного і геометричного графів аксонометричного зображення ГО мають блочну структуру:

$$P = [p_{ij}]_{2n \times 2n} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}; \quad S = [s_{ij}]_{2n \times 2n} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}.$$

Для будь-якої аксонометричної проєкції блок  $P_{11} = [p_{ij}]_{n \times n}$  є матрицею суміжності топологічного графа для головного виду об'єкта і відповідні елементи блоків  $P_{11}$  і  $P_{22}$  співпадають, а блоки  $P_{12}$  і  $P_{21}$  є одиничними матрицями. Співпадають також блоки  $S_{11}$  і  $S_{22}$ , а усі елементи блоків  $S_{12}$  і  $S_{21}$  є нульовими, окрім  $s_{m, m+n}$ , где  $m$  - довільна базова точка ГО. При фронтальній діаметрії блок  $S_{11}$  є матрицею суміжності геометричного графа для головного виду об'єкта, а для прямокутних ізометрії і діаметрії є потреба заново формувати блок  $S_{11}$ , враховуючи спотворення розмірів.

В загальному випадку, якщо  $\alpha$  - кут між віссю  $Ox$  і горизонтальною прямою,  $\beta$  - кут між віссю  $Oy$  і горизонтальною прямою,  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$  - показники спотворення по відповідним осям,  $C$  - "глибина" зображення, то для формування матриць суміжності геометричного і топологічного графів аксонометричного зображення одержано наступний алгоритм:

Вхід: матриці  $P' = [p'_{ij}]_{n \times n}$ ,  $S' = [s'_{ij}]_{n \times n}$  головного виду ГО,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$ ,  $C$ .

Вихід: матриці  $P$  і  $S$  аксонометричного зображення ГО.

1. Вибрати за центр координат базову точку  $m$ .
2. Для  $i = \overline{1, n}$ ,  $i \neq m$  виконати пп. 3-4.
3. Знайти  $d_x(m, i)$ ,  $d_y(m, i)$ .
4.  $d'_x(m, i) = k_x \cdot d_x(m, i) \cdot \cos \alpha$ ;  
 $d'_y(m, i) = k_x \cdot d_y(m, i) + k_z \cdot |d_x(m, i)| \cdot \sin \alpha$ .
5. Для  $i = \overline{1, n}$  виконати п. 6.
6. Для  $j = \overline{1, n}$ , виконати пп. 7-12.
7.  $p_{ij} = p_{ji} = p_{i+n, j+n} = p_{j+n, i+n} = p'_{ij}$ .
8. Якщо  $i=j$ , то  $p_{i, i+n} = p_{i+n, i} = 1$ , інакше п. 9.
9.  $p_{i, j+n} = p_{j, i+n} = p_{i+n, j} = p_{j+n, i} = 0$ .
10. Знайти  $d_x(i, j)$ ,  $d_y(i, j)$ .
11.  $d_x(j, i) = -d_x(i, j)$ ;  $d_y(j, i) = -d_y(i, j)$ ;  
 $d_x(i+n, j+n) = -d_x(j+n, i+n) = d_x(i, j)$ ;  
 $d_y(i+n, j+n) = -d_y(j+n, i+n) = d_y(i, j)$ .

12.  $d_x(1, j+n) = d_y(1, j+n) = d_x(j, 1+n) = d_y(j, 1+n) =$   
 $= d_x(1+n, j) = d_y(1+n, j) = d_x(j+n, 1) = d_y(j+n, 1) = \infty.$
13.  $d_x(m, m+n) = k_y \cdot C \cdot \cos \beta;$   
 $d_y(m, m+n) = k_y \cdot C \cdot \sin \beta.$
14. Стоп.

Використовуючи цей алгоритм, можна моделювати обертання ГО навколо осі Oz.

Задача запобігання дублювання інформації в графічній базі даних вирішується шляхом виявлення ізоморфізму графів топології відповідних об'єктів. Відомо, що два графа є ізоморфними, якщо їх матриці суміжності  $S_1$  і  $S_2$  є подібними, тобто існує невідроджена матриця підстановки  $P$ , така, що  $P \cdot S_1 \cdot P^{-1} = S_2$ . Таким чином, задача про ізоморфізм графів зводиться до задачі знаходження матриці підстановки  $P$ . Алгоритм, який реалізує розв'язання цієї задачі, складається з двох основних частин, в першій частині будується матриця підстановки  $P$ , у другій - перевіряється виконання умови  $P \cdot S_1 \cdot P^{-1} - S_2 = 0$ . Задача визначення ізоморфізму графів належить до класу NP-повних задач і тому розв'язувати її кожний раз при спробі занесення нового об'єкта у графічну базу даних важко.

Проте час пошуку ізоморфних графів можна зменшити, оскільки пошук виконується тільки у тому розділі бази даних, у якому міститься інформація про об'єкти даного типу. Крім того, із подібності двох матриць випливає збіг їх характеристичних многочленів, а отже, і власних значень. Таким чином, власні значення матриць суміжності ізоморфних графів співпадають. Хоча дана властивість є лише необхідною, проте не є достатньою, вона може використовуватися для виявлення множини тих графів, серед яких необхідно виконати перевірку на ізоморфізм. Тобто, якщо при запису об'єкта у графічну базу даних знайти власні значення матриці суміжності графів  $T$  і  $C$ , для чого можна використати метод LU-розкладення, і зберегти їх, то при запису нового об'єкта у графічну базу даних досить порівняти власні значення його матриці суміжності з іншими вже знайденими власними значеннями і для співпадаючих множин виконати процедуру перевірки на ізоморфізм.

Варіанти, які виникають після перевірки на ізоморфізм ГО  $M_1 = \langle G_1, T_1 \rangle$ , опис якого зберігається в БД, і сформованого об'єкта  $M_2 = \langle G_2, T_2 \rangle$ , необхідність занесення в БД графів  $G_2$  і  $T_2$  для кожного варіанта подані у табл. 1, де  $p$ -підстановка на множині вершин.

Таблиця 1

N	варіант	занесення в БД	
		G <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>
1	G <sub>1</sub> ⊆G <sub>2</sub> ; T <sub>1</sub> ⊆T <sub>2</sub> ;	так	так
2	G <sub>1</sub> ⊆G <sub>2</sub> ; T <sub>1</sub> ⊆T <sub>2</sub> ; d(V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> )=d(p(V <sub>1</sub> ), p(V <sub>2</sub> )) prim(V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> )=prim(p(V <sub>1</sub> ), p(V <sub>2</sub> ))	ні	ні
3	G <sub>1</sub> ⊆G <sub>2</sub> ; T <sub>1</sub> ⊆T <sub>2</sub> ; d(V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> )≠d(p(V <sub>1</sub> ), p(V <sub>2</sub> )) prim(V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> )=prim(p(V <sub>1</sub> ), p(V <sub>2</sub> ))	так	ні
4	G <sub>1</sub> ⊆G <sub>2</sub> ; T <sub>1</sub> ⊆T <sub>2</sub> ; prim(V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> )=prim(p(V <sub>1</sub> ), p(V <sub>2</sub> ))	так	ні
5	G <sub>1</sub> ⊆G <sub>2</sub> ; T <sub>1</sub> ⊆T <sub>2</sub> ; d(V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> )=d(p(V <sub>1</sub> ), p(V <sub>2</sub> ))	ні	так
6	G <sub>1</sub> ⊆G <sub>2</sub> ; T <sub>1</sub> ⊆T <sub>2</sub> ; d(V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> )≠d(p(V <sub>1</sub> ), p(V <sub>2</sub> ))	так	так

У четвертому розділі розглядається склад програмного забезпечення, проводиться порівняння системи, що розглядається, із деякими іншими системами автоматизації креслярських робіт.

У склад системи, що розглядається, входять такі компоненти:

- підсистема керування і організації діалогу з користувачем;
- підсистема побудови графічної моделі виробу;
- підсистема керування графічною базою даних;
- підсистема графічного введення/виведення.

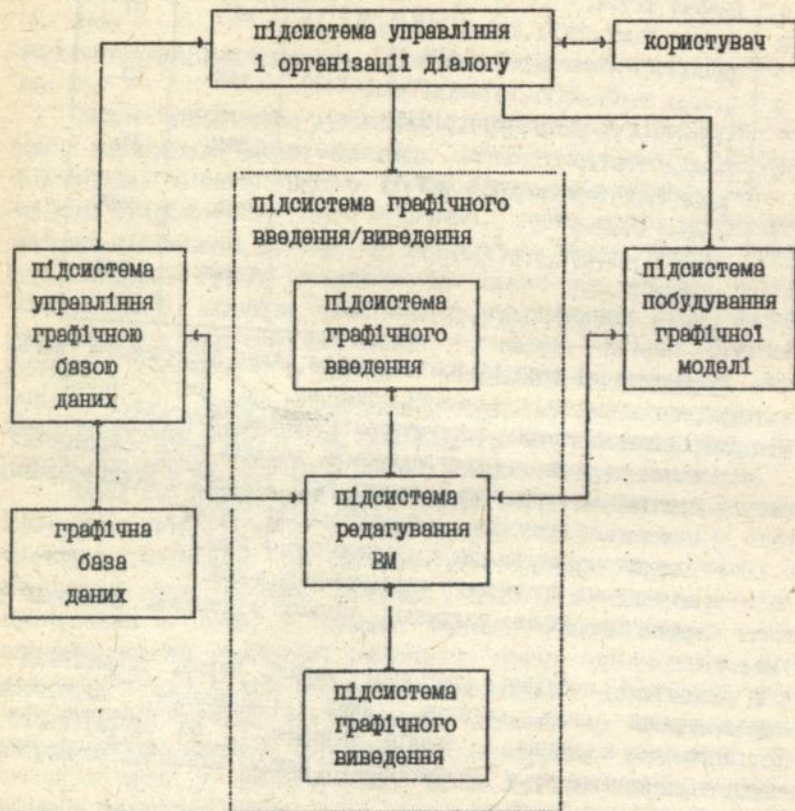
Структурна схема взаємодії різних підсистем показана на мал.4.

У підсистемі побудови графічної моделі виробу формується математичний опис об'єкта, який моделюється, підсистемою здійснюється контроль і аналіз інформації, що одержується, і надається можливість у інтерактивному режимі виконати корегування моделі.

Зберігання геометричної та іншої інформації здійснюється у базі даних системи. Через те що кожний складний об'єкт є комбінацією простих, у базі даних зберігається також інформація про ієрархічні зв'язки об'єктів. Зберігання об'єктів ведеться так, що кожному типу відповідає каталог об'єктів такого типу.

Підсистема графічного введення/виведення призначається для зображення на екрані візуалізаційної моделі (EM) деяких об'єктів бази даних. Підсистема графічного введення/виведення дозволяє користувачу деяким чином змінювати EM і відобразити ці зміни у

процесі роботи. Підсистема оптимізує роботу у тому розумі, що локальні зміни ЕМ не викликають необхідності глобальних виправлень внутрішньої структури даних.



Мал.4. Структурна схема підсистеми введення і корегування креслярно-графічної інформації

Взаємодія користувача із системою здійснюється за допомогою підсистеми керування і організації діалогу, яка підтримує діалог і ініціює роботу інших модулів. Діалог із користувачем ведеться за допомогою меню, яке є ієрархічно впроядкованим переліком можливих дій користувача, передбачена реакція системи на помилкові дії користувача. Задача розроблення структури діалогу розв'язується шляхом побудови і дослідження графа ієрархічного меню.

Створено програмний інтерфейс для взаємодії і обміну

графічною інформацією з різними системами автоматизованого проектування. Для передачі даних із підсистеми, що розглядається, графічні дані перетворюються у формат DXF-файла. При відображенні креслень, виконаних за допомогою інших САПР, відбувається обернене перетворення. Оскільки на цей час формат файлів обміну описами креслень (DXF-файлів) системи AutoCAD є стандартним для обміну графічною інформацією між системами автоматизованого проектування, реалізованими на персональних комп'ютерах, то наявність даного інтерфейсу дозволяє здійснити обмін графічною інформацією не тільки з пакетом AutoCAD, але і з іншими графічними системами, які підтримують DXF-формат, що суттєво поширює можливості використання даної підсистеми.

На закінчення сформульовані основні результати роботи.

1. Виконано аналіз основних методів побудови і реалізації математичних моделей графічних об'єктів і визначені межі їх застосування. В результаті аналізу зроблено висновок про актуальність задачі побудови математичної моделі СГО і визначено ряд вимог до формуємої моделі.

2. Запропонована і досліджена математична модель для опису графічних об'єктів, яка є сукупністю теоретико-графових і алгебро-логічних конструкцій, об'єднаних по своєму функціональному призначенню і логічній структурі. Розроблена модель інваріанта до конкретної області застосування, і її використання забезпечує компактне зберігання і можливість ефективного корегування модельованого об'єкта. Застосування системного підходу дозволяє використовувати одну і ту ж математичну модель на різних рівнях ієрархії.

3. На основі побудованої моделі запропонована методика введення креслярно-графічної інформації в ПК, інваріантна до технічних засобів організації діалога користувача з ЕОМ та забезпечиваюча високу точність даних, що вводяться. На основі аналізу властивостей одержаної моделі створені ефективні засоби контролю і аналізу даних, що вводяться, та коректності моделювання, які дозволяють в інтерактивному режимі виконати корегування математичного опису формуемого об'єкта.

4. Наявність у запропонованій моделі відносно незалежних граф-моделей, які відображують математичні і топологічні характеристики об'єкта, визначила специфіку розроблених алгоритмів виконання основних геометричних і топологічних перетворень об'єкта, композиції і декомпозиції. Будь-яка операція над складним

464721

ГО викликає перетворення відпо

5. Специфіка обраної моделі для зображення ГО дозволила розробити ефективні алгоритми для розв'язання задач параметризації та побудови аксонометричних зображень ГО. Запропоновані також шляхи розв'язання задачі запобігання дублювання інформації у графічній БД.

6. На основі проведених досліджень розроблена структура підсистеми введення і обробки креслярно-графічної інформації. Дана підсистема є відкритою і дозволяє здійснювати обмін графічною інформацією з різними системами автоматизованого проектування.

7. Певність одержаних результатів підтверджується працездатністю розробленого програмного забезпечення, яке використовувалося при розробці конструкторської САПР, що впроваджена на Одеському виробничому об'єднанні "Продмаш".

Основний зміст дисертації викладено у наступних роботах:

1. Кирилов С.Б., Макарова И.О. Синтез підсистеми інформаційного забезпечення САПР на базі відомих ІІПІ / Автоматизація проектування. Проблеми спільних досліджень і підготовки кадрів: Тез. 2-го болгаро-радянського науково-технічного семінару. - Варна, 1989, с.15.

2. Кирилов С.Б., Макарова И.О. Некоторые вопросы кодирования и хранения чертежно-графической информации. / Автоматизація проектування. Проблеми спільних досліджень і підготовки кадрів: Тез. 4-го болгаро-радянського науково-технічного семінару. - Варна, 1991, с.27.

3. Мазурок И.Е., Макарова И.О. Графическая информационно - поисковая подсистема конструкторской САПР / Информационные технологии, маркетинг и бизнес в электронике и машиностроении: Материалы 5-го украинско-польско-болгарского научно-технического семинара. - Одесса, 1992, с.18-19.

4. Макарова И.О. Об одном из методов автоматизации обработки чертежно-графической информации / Информационные технологии, маркетинг и бизнес в электронике и машиностроении: Материалы 5-го украинско-польско-болгарского научно-технического семинара. - Одесса, 1992, с.15-17.

5. Макарова И.О. Применение теории графов в геометрическом моделировании / Тез. докл. раён. научно-методич. конференции по математике, посв. 200-летию со дня рожд. Н.И. Лобачевского. - Одесса, 1992, с.82.