

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**ЯМШАНОВ ІГОР СЕРГІЙОВИЧ**



УДК 004.942

**МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОПРАЦЮВАННЯ  
НА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ СТРУКТУРИ ОБ'ЄКТІВ  
СКЛАДАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизованих систем управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

**Науковий керівник** доктор технічних наук, професор  
**Гамаюн Ігор Петрович,**  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
декан факультету інформатики і управління

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Нефьодов Леонід Іванович,**  
Харківський національний  
автомобільно-дорожній університет,  
завідувач кафедри автоматизації  
та комп'ютерно-інтегрованих технологій

доктор технічних наук, професор  
**Федорович Олег Євгенович,**  
Національний аерокосмічний університет  
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», завідувач кафедри  
інформаційних управляючих систем

Захист відбудеться «13» червня 2013 р. о 16.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «29» квітня 2013 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



В. П. Северин

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Конкурентоспроможність виробів машинобудування й приладобудування забезпечується високою ефективністю процесів їх життєвого циклу. Існує достатня кількість концепцій та інформаційних технологій, які здатні цю ефективність забезпечити. Одним із провідних підходів у цьому напрямку є CALS-технологія (Continuous Acquisition and Life cycle Support – безперервна взаємодія й підтримка життєвого циклу виробу), що об'єднує різноманітні автоматизовані системи проектування та управління в промисловості.

Поряд з високою продуктивністю рішень, що приймаються в рамках CALS та інших подібних технологій, все ще існують резерви для розробки нових і удосконалення існуючих формальних засобів, які забезпечують необхідний рівень оперативності та обґрунтованості для функціональних задач на етапах життєвого циклу виробів. Зокрема є потреба розв'язання задачі структурної оптимізації в рамках функціональної підсистеми автоматизованого аналізу конструкцій виробів машинобудування й приладобудування та опрацювання їх на технологічність структури (далі «Підсистема ААКОТС»). При цьому існує достатньо потужна теоретична база для розв'язку цих задач, основу якої складають фундаментальні роботи В. М. Глушкова, В. С. Михалевича, М. З. Згуровського, М. Месаровича, І. П. Норенкова, А. Д. Цвіркуна, М. М. Моїсеєва, Л. С. Лесдона та інших.

Таким чином, очевидна потреба в інформаційній технології, що у якості складової частини CALS-технології дозволить розв'язувати задачу опрацювання на технологічність структури для об'єктів складального процесу (ОСП) у рамках функціонування «Підсистеми ААКОТС». Опрацювання на технологічність структури можливо шляхом оптимізації на повній множині варіантів технологічних схем складання (ТСС) об'єктів складального процесу. Вирішення вказаних задач визначило напрямок досліджень дисертаційної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано на кафедрі автоматизованих систем управління НТУ «ХПІ» у рамках завдань фундаментальних держбюджетних науково-дослідних робіт МОН України: «Розробка інформаційних моделей для реалізації процедур структурного синтезу в комп'ютерно-інтегрованих системах» (ДР №0103U001543), «Розробка інформаційно-аналітичного забезпечення процедур підтримки прийняття рішень в комп'ютерно-інтегрованих системах» (ДР №0106U001518), «Розробка моделей, методів та прикладних методик для реалізації ситуаційного управління складними динамічними системами» (ДР №0109U002427), в яких здобувач брав участь як виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка інформаційної технології, яка забезпечує підвищення оперативності та обґрунтованості рішень щодо технологічності структури об'єктів складального процесу.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі:

– провести аналіз процесів функціонування підсистеми автоматизованого аналізу конструкцій виробів машинобудування й приладобудування та опрацювання їх на технологічність структури;

– удосконалити існуючі методи формування множини варіантів структури і технологічних схем складання об'єктів складального процесу для скорочення часових і обчислювальних витрат;

– удосконалити існуючі методи визначення оптимального варіанта технологічної схеми складання при вирішенні багатокритеріальної задачі для об'єктів складального процесу;

– розробити та впровадити в практику складального виробництва інформаційні ресурси та інструментальні засоби технології структурної оптимізації для автоматизації вибору варіанта технологічної схеми складання для об'єктів складального процесу на множині варіантів структур.

*Об'єктом дослідження* є процес синтезу варіантів технологічної схеми складання для об'єктів складального процесу.

*Предмет дослідження* – математичні моделі та інформаційні технології, що забезпечують визначення оптимального варіанта технологічної схеми складання для об'єктів складального процесу в умовах багатокритеріальності.

**Методи дослідження.** Теоретичні аспекти роботи базуються на комплексному застосуванні системного підходу для проведення аналізу концепцій, моделей та інформаційних технологій, що використовуються при структурному синтезі та опрацюванні на технологічність структури об'єктів складального процесу. Алгебра логіки, математичне моделювання, теорія множин, теорія графів і теорія матриць застосовуються для моделі представлення об'єктів складального процесу та операцій над її елементами. Комбінаторика застосовується при розв'язанні задачі повного перебору та перебору з обмеженнями. Теорія алгоритмів використовується для порівняльного аналізу алгоритмів розроблених модифікацій методів. Теорія прийняття рішень застосовується для формування узагальненого критерію оцінки варіантів технологічних схем складання.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що дістав подальшого розвитку підхід до інформаційної підтримки життєвого циклу виробів машинобудування. При цьому отримані наступні результати:

– вперше розроблена математична модель об'єкта складального процесу у вигляді бінарних матриць, яка у порівнянні з існуючими аналогами дозволяє спростити представлення зв'язків елементів і процес породження їх сполучень, що дозволило зменшити часові та обчислювальні витрати;

– удосконалено метод формування повної множини підсистем за рахунок відмінностей у обмеженнях на зв'язки, які враховуються в процесі породження. Суттєво спрощена процедура аналізу множини перспективних сполучень, у якій замість трудомісткої перевірки кожного сполучення на відповідність правилам утворення підсистем реалізується попередній відсів сполучень за доцільністю їх використання у структурі об'єкта складального процесу. Такий підхід дозволяє як скоротити час обчислень, так і забезпечити повноту множини підсистем для будь-яких об'єктів складального процесу;

– дістав подальшого розвитку метод визначення оптимального варіанта технологічної схеми складання в умовах багатокритеріальності за рахунок введення критеріїв, що дозволило підвищити обґрунтованість прийнятих рішень;

– дістала подальшого розвитку інформаційна технологія опрацювання

об'єктів складального процесу на технологічність структури, що дозволило провести верифікацію запропонованих теоретичних рішень шляхом впровадження в практику виробництва.

**Практичне значення одержаних результатів** для складального виробництва полягає в тому, що отримана можливість побудови систем підтримки прийняття рішень, яка в рамках існуючих інформаційних технологій забезпечення підтримки життєвого циклу продукції типу CALS дозволяє:

– підвищити ступінь автоматизації технологічної підготовки складального виробництва виробів машинобудування за рахунок автоматизації процесу структурної оптимізації на множині технологічних схем складання;

– підвищити оперативність та обґрунтованість функціонування підсистеми автоматизованого аналізу конструкцій виробів машинобудування й приладобудування та опрацювання їх на технологічність структури, як органа управління.

Розроблені в дисертаційній роботі моделі та запропонована інформаційна технологія використані при вирішенні задачі оптимізації технологічних процесів виготовлення колійних приймачів типу ПП – І, ППМ та генератора системи автоматичного гальмування потягів типу САУТ на ВАТ «Харківський електротехнічний завод «Трансзв'язок» (м. Харків); при вирішенні задачі оптимізації технологічного процесу складання пристрою ПР-У2 на АТ «Харківський завод електромеханічних виробів» (м. Харків), про що складені відповідні акти про впровадження.

Теоретичні положення, наведені в дисертаційній роботі, використовуються в навчальному процесі на кафедрі АСУ НТУ «ХПІ» при підготовці фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» з напрямів 6.050101 «Комп'ютерні науки» і 6.050103 «Програмна інженерія» та освітньо-кваліфікаційного рівня «спеціаліст» зі спеціальностей 7.05010101 «Інформаційні управляючі системи і технології», 7.05010301 «Програмне забезпечення систем», 7.05010302 «Інженерія програмного забезпечення».

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні результати дисертації, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно, серед них: математична модель на множині деталей у вигляді бінарних матриць для представлення зв'язків між елементами й породження сполучень; модифікації методів формування множини перспективних сполучень і порівняння їх характеристик відносно «базового» методу; модифікація методу формування повної множини підсистем та теорема, на якій вона базується; два непрямі критерії для оцінки альтернативних варіантів структурованих представлень об'єктів складального процесу і відповідних їм технологічних схем складання, а також підхід до розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації на множині технологічних схем складання з використанням схеми компромісу на основі теореми Карліна; система підтримки прийняття рішень при опрацюванні об'єктів складального процесу на технологічність структури.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися й схвалені на: X, XI, XII, XV, XVI, XVII, XVIII, XIX, XX Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Хар-

ків, 2002, 2003, 2004, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012); 7-му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка й молодь в ХХІ столітті» (м. Харків, 2003); 3-й Міжнародній науково-технічній конференції аспірантів і студентів «Автоматизація технологічних об'єктів і процесів. Пошук молодих» (м. Донецьк, 2003); V Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Системний аналіз і інформаційні технології» (м. Київ, 2003).

**Публікації.** Основний зміст дисертації відображено у 20 наукових публікаціях, з них 10 статей у наукових фахових виданнях України та 10 – у матеріалах конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації складає 206 сторінок; з них 18 рисунків по тексту; 4 рисунки на 4 окремих сторінках; 25 таблиць по тексту; 1 таблиця на 2 окремих сторінках; список використаних джерел зі 182 найменувань на 19 сторінках, 5 додатків на 35 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані основна мета і задачі дослідження, охарактеризовано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, представлена інформація про впровадження результатів роботи, їх апробацію і публікації.

**У першому розділі** приведено аналіз підходів до вирішення задач структурного синтезу об'єктів складального процесу. Проаналізовано використання CALS-технології для забезпечення високої ефективності процесів життєвого циклу виробів та показано актуальність такого підходу. Проведено аналіз функціонування «Підсистеми ААКОТС» в рамках CALS-технології та визначено, що якість функціонування цієї системи залежить від структурних властивостей конструкції ОСП. Визначено, що задачу забезпечення технологічності структури об'єкту складального процесу необхідно розв'язувати головним чином за рахунок підвищення рівня оперативності та обґрунтованості рішень, що приймаються під час опрацювання об'єкта складального процесу на технологічність структури. Наведено постановку задачі автоматизованого синтезу технологічного варіанту структури ОСП, що містить визначення цілі та задач дисертаційної роботи.

**Другий розділ** присвячено побудові концепції підвищення оперативності та обґрунтованості рішень при опрацюванні об'єкта складального процесу на технологічність структури та методів, що цю концепцію реалізують. Класифікація задач структурного синтезу дозволяє охарактеризувати задачу автоматизованого синтезу технологічного варіанту структури об'єкту складального процесу як вибір технічного рішення з урахуванням певних принципів, що має третій рівень складності за можливістю формалізації, та належить до схемного синтезу за типом структур, що синтезуються. Основні етапи автоматизованого синтезу технологічного варіанту, що розглядається як структурна оптимізація, наведені на рис. 1.

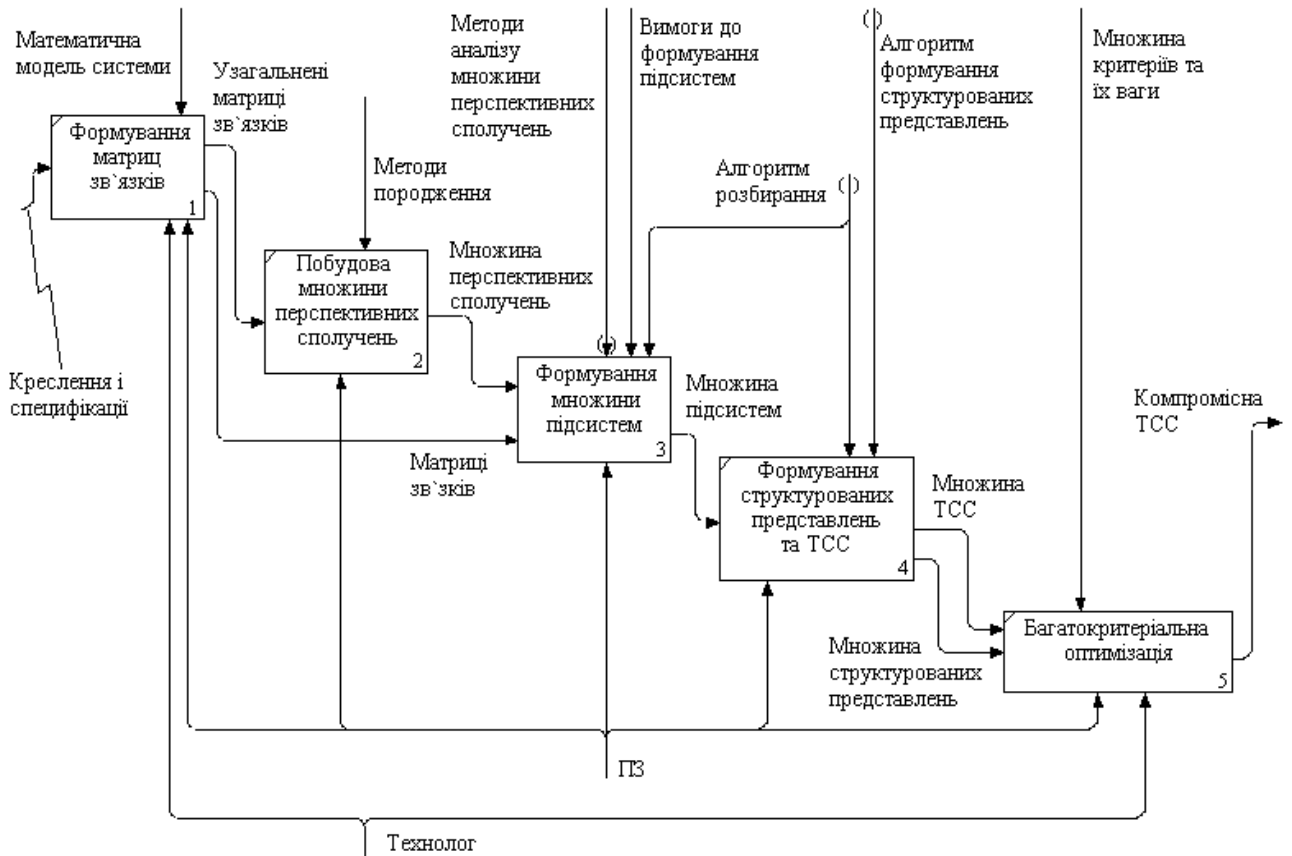


Рис. 1. Схема процесу структурної оптимізації

Моделлю об'єкта складального процесу є кортеж  $\langle D, C, H \rangle$ , який містить множину деталей  $D = \{d_i | i = \overline{1, n}\}$  та множини матриць типу фіксоване та нефіксоване сполучення  $C = \{C_\xi | \xi = \{\pm x, \pm y, \pm z\}\}$ ,  $H = \{H_\xi | \xi = \{\pm x, \pm y, \pm z\}\}$ . Бінарні відношення цих типів визначаються на множині  $D$  для кожного координатного напрямку тривимірного простору  $\xi \in \{\pm x, \pm y, \pm z\}$  на основі креслень та специфікацій. Прямі зв'язки типу фіксоване сполучення виникають між парою деталей у визначеному координатному напрямі через обмеження однією з них можливостей для переміщення іншої, або через розмірний зв'язок між цими деталями, або через існування безпосередньої проекції однієї деталі на іншу. Прямі зв'язки типу нефіксоване сполучення відповідають роз'ємним з'єднанням між деталями.

При представленні матриць кожен рядок містить перелік тих деталей, з якими існує зв'язок, або використовується бінарне квадратичне представлення, коли клітинка містить «1» або «0» в залежності від наявності зв'язку між деталями, що відповідають рядку та стовпцю цієї матриці. Перший вигляд представлення переважно використовується при роботі людини з матрицями, як більш наглядний та такий, що не містить надлишковостей. Другий вигляд є машино-орієнтованим через свою бітову природу.

Як показано на рис. 1, для формування повної множини підсистем необхідно побудувати множину перспективних сполучень  $D^{pc}$  та виконати перевірку елементів цієї множини на відповідність правилам утворення підсистем. Для

формування множини  $D^{pc}$  використовують дерева породження, які будуються на основі узагальнених за координатними напрямками матриць зв'язків типу фіксоване сполучення  $C$  та нефіксоване сполучення  $H$  (рис. 2).

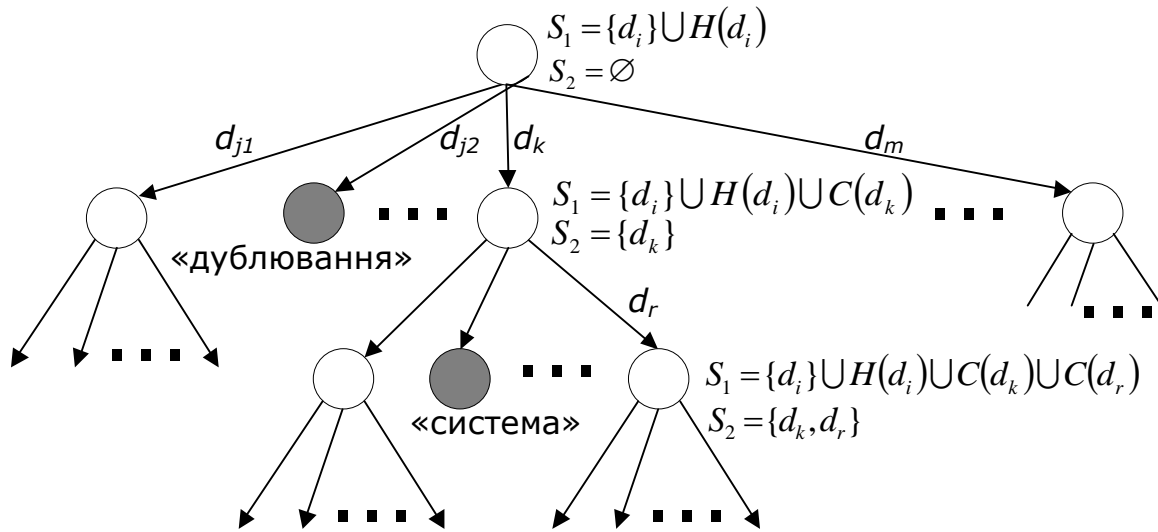


Рис. 2. Загальний вигляд дерева породження

Кореням дерева  $\{d_i\} \cup H(d_i)$  відповідають такі рядки матриці  $H$ , де  $H(d_i) \neq \emptyset$ . Кожна вершина дерева описується парою множин  $\langle S_1, S_2 \rangle$ , де  $S_1$  містить лише такі деталі, між якими є зв'язки типу фіксоване та нефіксоване сполучення, а до  $S_2$  включено деталі, зв'язки яких використано при побудові цієї вершини. Процес побудови дерева здійснюється послідовно шляхом генерації ребер для кожної вершини. Кількість ребер дорівнює різниці потужностей множин  $S_1$  та  $S_2$ , що відповідають вершині. Вершина наступного рівня, що будується для ребра  $d_k \in S_1 - S_2$ , описується множинами  $S_1' = S_1 \cup C(d_k)$  та  $S_2' = S_2 \cup \{d_k\}$ . Кожна з побудованих вершин аналізується. Якщо множина  $S_1$  для цієї вершини містить усі деталі об'єкта складального процесу, то вершина вважається «системою» і для неї подальша побудова вершин не виконується. Якщо декілька вершин на одному рівні мають однакові пари  $\langle S_1, S_2 \rangle$ , то подальша побудова виконується лише для однієї з них, а інші помічаються як «дублювання». Дерево вважається побудованим якщо усі його листя мають мітку «система» або «дублювання». Множина перспективних сполучень  $D^{pc}$  містить множини  $S_1$  усіх вершин на побудованих деревах. Для описаного методу формування множини перспективних сполучень використовується назва «базовий».

Перевірка перспективного сполучення на відповідність правилам утворення підсистем базується на двох важливих властивостях систем - цілісності та подільності. Ці властивості відображають двоїтий характер підсистем в системі, яка з одного боку сама є системою, а з іншого – повинна розглядатись як елемент для підсистем з наступних рівнів або для об'єкта складального процесу в цілому. Для перевірки відповідності формалізованим правилам утворення підсистем використовується інформація з матриць зв'язків типу фіксоване та не-



фіксоване сполучення. Перспективні сполучення, що відповідають цим правилам, складають повну множину підсистем  $D^{SS}$ , яка згідно з рис. 1 потрібна для формування структурованих представлень та технологічних схем складання для об'єктів складального процесу. Для цього з множини  $D^{SS}$  роблять вибірки, які містять лише такі підсистеми, що або не мають спільних елементів, або одна з підсистем є підмножиною іншої.

Для багатокритеріальної оцінки варіантів ТСС використовують непрямі критерії:  $T(k)$  – кількість рівнів в ТСС для варіанту  $k$ , та  $R(k)$  – кількість елементів структури, що безпосередньо бере участь у загальному та вузлових складаннях для варіанту  $k$ . Обидва критерії необхідно мінімізувати. Для визначення компромісної альтернативи зазначені критерії необхідно нормалізувати та побудувати на їх основі за теоремою Гермейера узагальнений критерій

$$\min_k \{F(k) = \max_{i \in I} \rho_i \omega_i(k)\},$$

де  $F(k)$  – значення узагальненого критерію для альтернативного варіанту ТСС  $k$ ;  $\rho_i$  – параметр, що визначає пріоритет часткового критерію  $i \in I$ ;  $\omega_i(k)$  – нормалізоване значення часткового критерію  $i \in I$  для альтернативи  $k$ ;  $I$  – множина індексів усіх критеріїв.

У третьому розділі наведено удосконалення методу формування повної множини варіантів технологічних схем складання для об'єктів складального процесу. Представлення процесу породження у вигляді дерев має сенс при ручних розрахунках та у випадку аналізу цього процесу людиною. Для машинної реалізації використовується тривимірна бітова матриця породження, загальний вигляд якої наведено на рис. 3.

Пропонується дві модифікації для «базового» методу формування сполучень елементів. Перша з них має назву «модифікований 1», усуває надлишковість при формуванні вершин в процесі породження та запобігає породженню сполучень, що не мають значення з точки зору задачі, що розв'язується. В цілому це досягається за рахунок виключення коренів, що містять базовий елемент ОСП, запобігання утворенню сполучень, які б містили цей елемент, формування нової вершини лише у випадку, коли відповідне їй сполучення розширюється відносно сполучення вершини-предка.

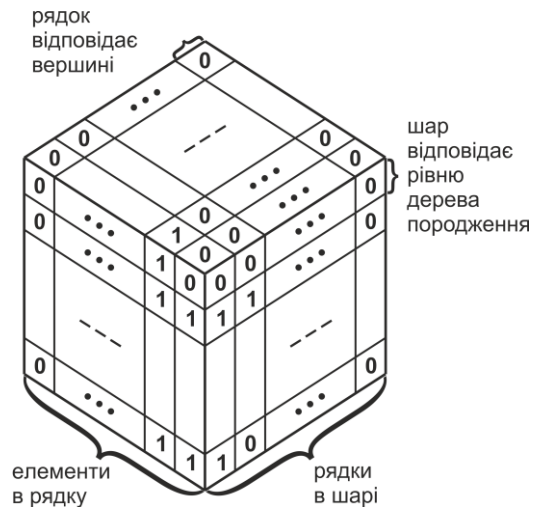


Рис. 3. Тривимірна бітова матриця породження

Причиною розробки методу «модифікований 2» стало те, що використання методів «базовий» та «модифікований 1» для об'єктів складального процесу з великою кількістю елементів та зв'язків між ними призводило до формування множини підсистем, яка не є повною. Аналіз причин цього явища дозволив зро-

бити висновок, що зв'язки між елементами в процесі породження необхідно враховувати як рівноправні та незалежні бінарні відношення, а не разом усі зв'язки одного типу для елемента.

Кожна з модифікацій, що пропонуються, має переваги у порівнянні з «базовим» методом та одна відносно іншої. За результатами проведеного порівняльного аналізу методів формування сполучень елементів при обмеженнях, що наведені в табл. 1, зроблено наступні висновки:

– метод «модифікований 1» доцільно використовувати замість методу «базовий», оскільки він дозволяє більш оперативно формувати достатньо точне наближення повної множини підсистем, а для об'єктів складального процесу з відносно простою структурою і самою множиною; рекомендується застосовувати цю модифікацію для об'єктів складального процесу з малою кількістю елементів або у випадку, коли потрібно забезпечити оперативність прийняття рішення за рахунок його повноти;

– метод «модифікований 2» забезпечує найбільшу обґрунтованість рішення, що приймається, у порівнянні з іншими методами та гарантує його повноту на рівні повного перебору, але це досягається за рахунок зменшення оперативності, що не завжди доцільно; рекомендується застосовувати його для об'єктів складального процесу з великою кількістю елементів та зв'язків між ними у випадку, коли оперативність не є найважливішою вимогою для рішення, що приймається.

Найбільшу трудомісткість під час формування повної множини підсистем складає не формування множини перспективних сполучень, а її аналіз на відповідність формалізованим правилам утворення підсистем: обмеженості, орієнтованості, зв'язності, можливість складання сполучення та системи. Зважаючи на це запропоновано процедуру, яка дозволяє скоротити кількість перспективних сполучень, що перевіряються на відповідність цим формалізованим правилам. Ця процедура базується на виключенні з аналізу таких сполучень, які не несуть значимої інформації з точки зору подальшої побудови технологічних схем складання об'єктів складального процесу. Якщо дві підсистему мають одну і ту ж базову деталь і одна з них є підмножиною іншої, то до повної множини підсистем доцільно включити лише підсистему з більшою потужністю, оскільки використання кожної з них або обох підсистем одночасно призводить до формування еквівалентних технологічних схем складання.

Реалізація процедури аналізу множини перспективних сполучень розпочинається зі сполучень з максимальною потужністю. Сполучення перевіряються на відповідність формалізованим правилам утворення підсистем лише у випадку, коли вони не є підмножинами раніше визначених підсистем та не містять базовий елемент цієї підсистеми, інакше сполучення виключаються з подальшого аналізу. За рахунок зменшення кількості сполучень, для яких виконувалась трудомістка перевірка, підвищується оперативність знаходження рішення.

**Четвертий розділ** присвячено постановці задачі опрацювання на технологічність структури об'єктів складального процесу з урахуванням кількох критеріїв, та аналізу підходів до вирішення цієї задачі.

## Особливості методів формування сполучень елементів при обмеженнях

	Базовий	Модифікований 1	Модифікований 2
Зв'язки	узагальнено	узагальнено	попарно
Корені дерев породження	$\{d_i\} \cup H(d_i)$ , де $H(d_i) \neq \emptyset$	$\{d_i\} \cup H(d_i)$ , де $H(d_i) \neq \emptyset$ та не містить базового елемента ОСП	$\{d_i, d_j\}$ , де $d_j \in H(d_i)$ та не містить базового елемента ОСП
Кількість коренів дерев породження	$\left[ \frac{n_H}{2}; n_H \right]$	$\left[ \frac{n_H - h_H - 1}{2}; n_H - h_j - 1 \right]$	$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n h_i - h_j$
	$n$ – загальна кількість деталей; $n_H$ – кількість деталей, що мають зв'язки типу нефіксоване сполучення; $h_i$ – кількість зв'язків типу нефіксоване сполучення у елемента $i$ ; $j$ – індекс базового елемента		
Елементи, що виключаються з аналізу	–	$S_{stop}$ – елементи, які мають зв'язки типу фіксоване сполучення з базовим, що обумовлені контактом	базовий елемент
Породження вершин	$\forall d_k \in S_1 - S_2$ будується вершина $S_1' = S_1 \cup C(d_k)$ та $S_2' = S_2 \cup \{d_k\}$	$\forall d_k \in S_1 - S_2 - S_{stop}$ будується вершина $S_1' = S_1 \cup C(d_k)$ та $S_2' = S_2 \cup \{d_k\}$ , якщо $C(d_k) \not\subset S_1$	$\forall d_k \in S_1 - S_2$ будується множина вершин $S_1' = S_1 \cup S_m$ та $S_2' = S_2 \cup \{d_k\}$ для вибірок $S_m \subseteq C(d_k)$ , де $S_m \not\subset S_1$ та не містить базовий елемент ОСП
Кількість ребер, що породжуються з вершини	дорівнює $ S_1 - S_2 $	обмежено зверху $ S_1 - S_2 - S_{stop} $	обмежено зверху $\sum_{d_i \in S_1 - S_2} (2^{c_i} - 1)$ , де $c_i$ – кількість зв'язків типу фіксоване сполучення у елемента $d_i$ з елементами, що не належать $S_1$ та не є базовими
Виявлення дублювання	ідентичні пари $\langle S_1, S_2 \rangle$	ідентичні пари $\langle S_1, S_2 \rangle$	ідентичні множини $S_1$
Завершення процесу породження	усі листя позначено як «дублювання» або «система»	не відбувається розширення $S_1$	не відбувається розширення $S_1$

Для визначення компромісної альтернативи, що є варіантом структури об'єкта складального процесу та відповідною йому технологічною схемою складання, використовується теорема Карліна:

$$\min_k \{ F(k) = \sum_{i \in I} \rho_i \omega_i(k) \}, \quad \rho = \{ \rho_i : \forall i \in I \rho_i > 0, \sum_{i \in I} \rho_i = 1 \},$$

де  $F(k)$  – значення узагальненого критерію для альтернативного варіанту ТСС  $k$ ;  $\rho_i$  – параметр, що визначає пріоритет часткового критерію  $i \in I$ ;  $\omega_i(k)$  – нормалізоване значення часткового критерію  $i \in I$  для альтернативи  $k$ ;  $I$  – множина індексів усіх критеріїв.

Значення параметрів  $\rho_i$ , що визначають пріоритети часткових критеріїв, визначаються експертом виходячи з особливостей об'єкта складального процесу, що аналізується, та цілей цього аналізу.

Для приведення часткових критеріїв до безрозмірного нормалізованого вигляду використовується співвідношення:

$$\omega_i(f_i(k)) = \begin{cases} \frac{f_i^0 - f_i(k)}{f_i^0 - f_{i(\min)}} & \forall i \in I_1, \\ \frac{f_i(k) - f_i^0}{f_{i(\max)} - f_i^0} & \forall i \in I_2, \end{cases}$$

де  $f_{i(\min)}$  та  $f_{i(\max)}$  – найменше та найбільше значення критерію  $i$  на множині допустимих альтернатив, якщо він відповідно максимізується або мінімізується;  $f_i^0$  – оптимальне значення критерію  $i$  на множині допустимих альтернатив;  $I_1, I_2$  – множина індексів критеріїв, що максимізуються та мінімізуються;  $I = I_1 \cup I_2$  – множина індексів всіх критеріїв.

Для розширення бази оцінювання при визначенні компромісної ТСС у роботі запропоновано два додаткові критерії оцінки, що базуються на загальних рекомендаціях з формування технологічних схем складання.

Перший із запропонованих критеріїв  $N_{fin}(k)$  визначає кількість деталей, що безпосередньо беруть участь у загальній зборці. Значення критерію розраховуються на основі структурованого представлення, або на основі технологічних схем складання для ОСП.

Другий із запропонованих критеріїв  $\sigma^2(k)$  призначений для визначення рівномірності розподілення деталей між складальними одиницями. Цей критерій оцінює дисперсію кількості елементів у складальних одиницях, що характеризує розкид трудомісткості виготовлення кожної з них.

Відповідно до рекомендацій з формування технологічних схем складання значення по обом критеріям мінімізуються.

Крім запропонованих критеріїв для оцінки альтернативних варіантів технологічних схем складання використовуються наступні:  $T(k)$  – кількість рівнів у технологічній схемі складання для варіанту  $k$ ,  $R(k)$  – кількість елементів структури, що безпосередньо бере участь у загальному та вузлових складаннях для

варіанту  $k$ ,  $\alpha(k)$  – коефіцієнт прогресивності структури виробу:

$$\alpha = \frac{2}{N} * (L_{\text{факт}} - L_{\text{теор}}), \quad L_{\text{теор}} = [\log_2 N] + 1,$$

де  $N$  – кількість деталей у виробі,  $L_{\text{факт}}$  та  $L_{\text{теор}}$  – відповідно фактична та мінімально можлива теоретична кількість рівнів у технологічній схемі складання.

Таким чином, для реалізації багатокритеріальної оптимізації на множині ТСС сформовані дві множини часткових критеріїв:  $\{T(k), R(k), N_{\text{fin}}(k), \sigma^2(k)\}$  та  $\{\alpha(k), R(k), N_{\text{fin}}(k), \sigma^2(k)\}$ . Різниця між цими множинами полягає у використанні критеріїв  $T(k)$  та  $\alpha(k)$ , аналіз визначення яких показав, що в цілому характеризується один показник – кількість рівнів в ТСС.

**П'ятий розділ** присвячено питанням розробки системи підтримки прийняття ефективних рішень при опрацюванні об'єкта складального процесу на технологічність структури та аналізу отриманих результатів реалізації.

Для інформаційної системи опрацювання об'єктів складального процесу на технологічність структури сформовано функціональні вимоги (рис. 4). Роль визначених дійових осіб на реальному виробництві виконується спеціалістом-технологом самостійно, або сумісно з інженерами-конструкторами.

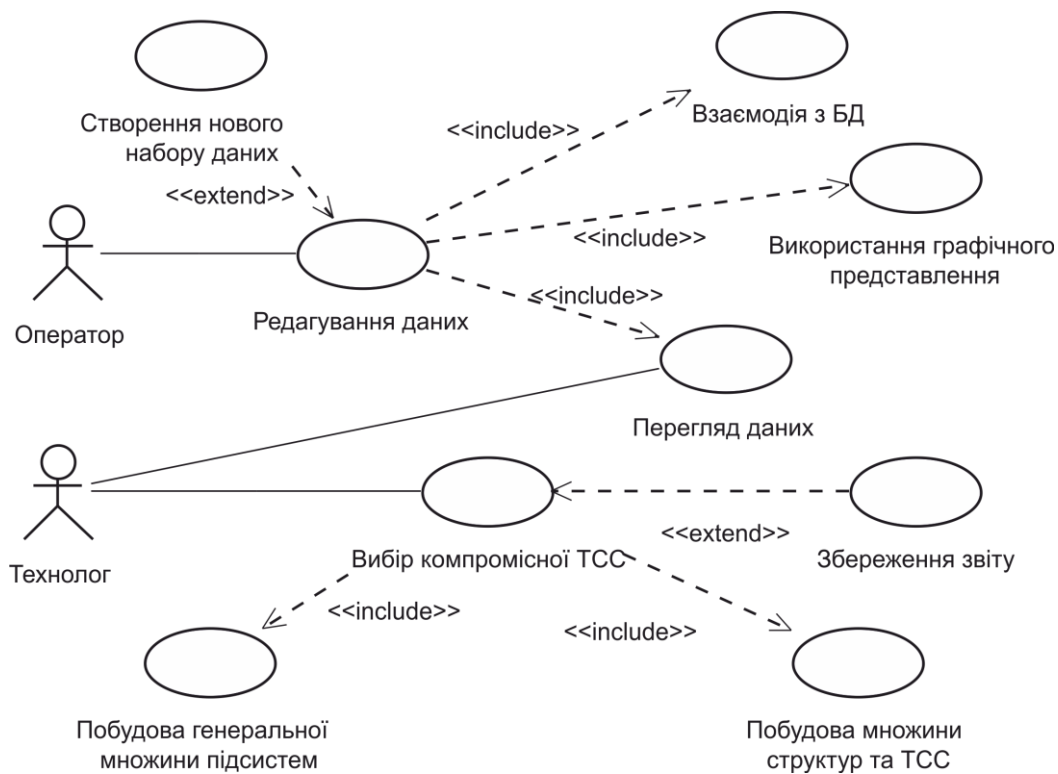


Рис. 4. Вимоги до інформаційної системи

Для зберігання інформації, яка використовується при опрацюванні ОСП на технологічність структури, в інформаційній системі призначена база даних, схе-

му якої представлено на рис. 5. Визначено основні сутності: ElementObject, що представляє окремі елементи ОСП; SetObject, що представляє сполучення елементів (системи, підсистеми або перспективні сполучення); StructureObject, що містить опис варіантів структурованих представлень; Criterion, що описує критерії, які використовуються для оцінки структурованих представлень та ТСС.

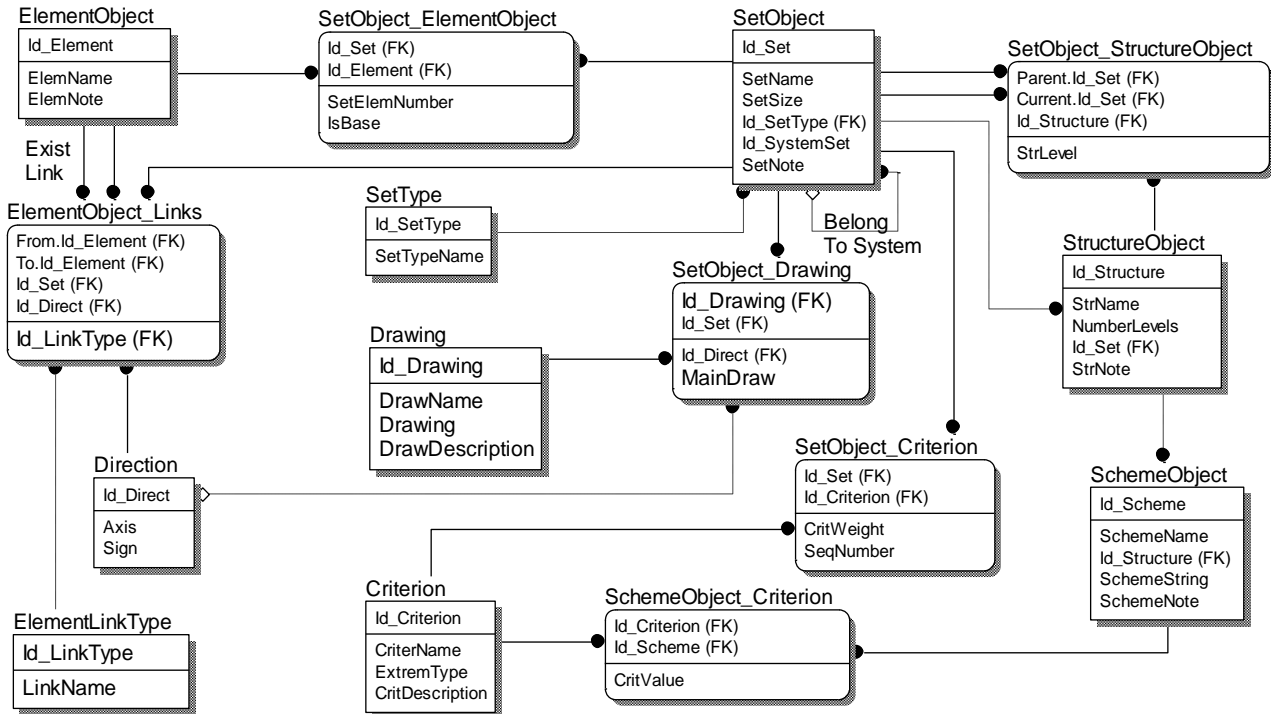


Рис. 5. Схема бази даних

Для демонстрації результатів застосування інформаційної системи пропонується розв'язати задачу опрацювання на технологічність структури для виробу «Колінвал» з монографії М. П. Новікова (рис. 6), який виступає у якості типового об'єкта складального процесу через те, що містить усі основні типи зв'язків між деталями, характерні для виробів машинобудування.

Для зазначеного виробу виконано породження перспективних сполучень методом «базовий» та обома його модифікаціями. Кількість коренів дерев породження та сформованих перспективних сполучень наведено у табл. 2, яка також містить кількість сполучень, що сформовані при використанні повного перебору. Отже для методу «модифікований 1» у порівнянні з методом «базовий» сформовано на 2 порядки менше сполучень, а для методу «модифікований 2» у порівнянні з повним перебором – приблизно на 10 порядків менше.

Таблиця 2

Породження перспективних сполучень для виробу «Колінвал»

Характеристика	Повний перебір	Базовий	Модифікований 1	Модифікований 2
Корені	–	38	23	21
Сполучення	$\sim 3.6 \cdot 10^{16}$	$\sim 10^4$	72	більше $6 \cdot 10^6$

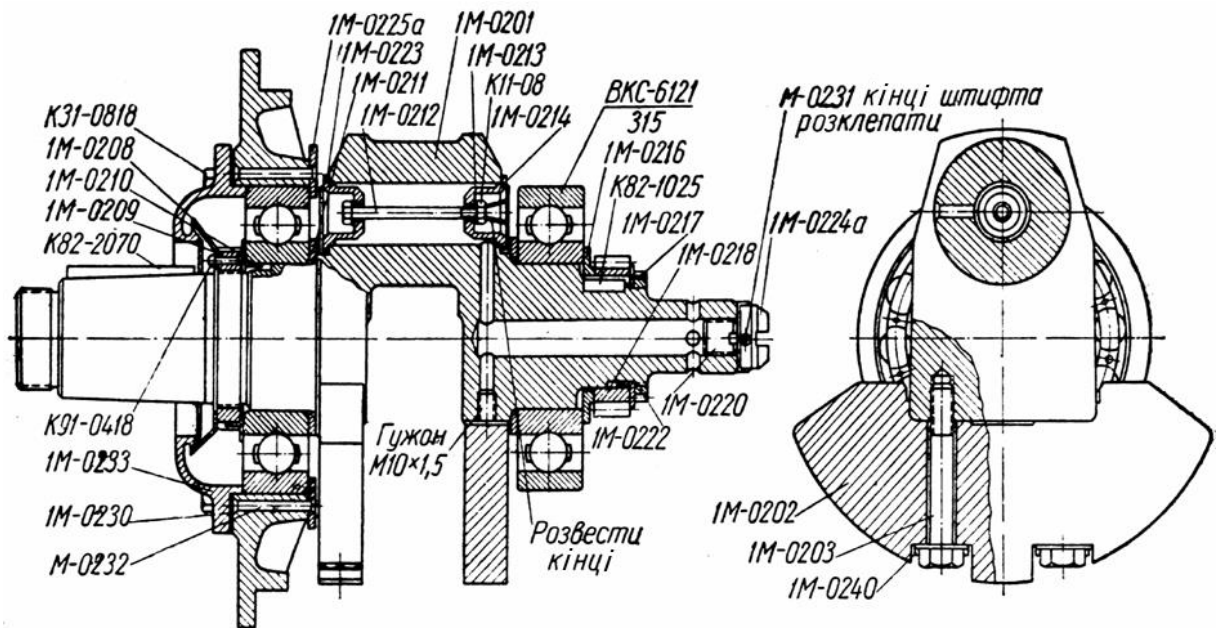


Рис. 6. Виріб «Колінвал»

За результатами перевірки множини перспективних сполучень на відповідність правилам формування підсистем складено перелік підсистем для кожного методу породження (табл. 3), а також для порівняння наведено перелік підсистем відповідно до технологічної схеми складання колінвалу із зазначеного літературного джерела. Використання скороченої процедури аналізу множини перспективних сполучень дозволило зменшити у три рази кількість сполучень, які перевірялись на відповідність правилам формування підсистем.

Таблиця 3

Перелік підсистем для виробу «Колінвал»

Складальна одиниця	за Новіковим	Базовий	Модифікований 1	Модифікований 2
$Sb_1 = \{2, 3\}$	+	+	+	+
$Sb_2 = \{4, 5\}$	+	+	+	+
$Sb_3 = \{6, 8\}$	+	+	+	+
$Sb_4 = \{31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38\}$	+	–	–, тому що $Sb_4 \subset Sb_5$	
$Sb_5 = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 54, 55\}$	+	–	–, тому що містить базовий елемент виробу	
$Sb_6 = \{31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39\}$	+	+	+	+
$Sb_7 = \{41, 42, 43, 44, 45\}$	+	–	–	+
$Sb_8 = \{46, 47\}$	–	+	+	+
$Sb_9 = \{31, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53\}$	–	+	+	+

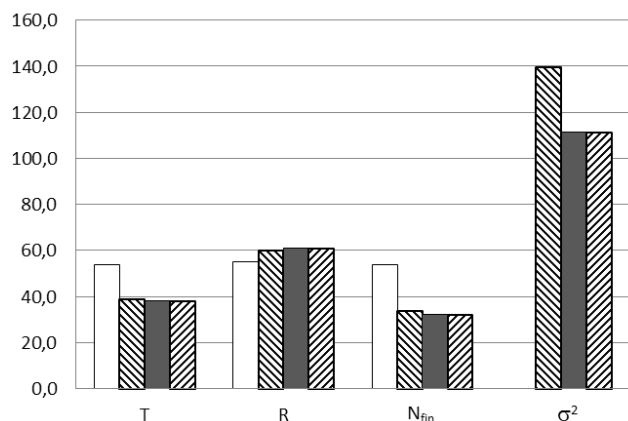
Аналіз наведеної таблиці дозволяє зробити наступні висновки: жодна з модифікацій не сформувала підсистеми  $Sb_4$  та  $Sb_5$ , оскільки вони все одно відкидаються при подальшому аналізі; запропоновані модифікації, як і метод «базовий», дозволили визначити складальні одиниці  $Sb_8$  та  $Sb_9$ , які відсутні у зазначеній монографії, що свідчить про підвищення обґрунтованості; лише метод «модифікований 2» забезпечив формування повної множини підсистем, оскільки тільки при його використанні сформована складальна одиниця  $Sb_7$ . Отже з задачею формування множини підсистем у повному обсязі впорався лише «модифікований 2», але «модифікований 1» при значно менших витратах часу забезпечив знаходження достатньо точного наближення для цієї множини.

Повна множина підсистем для виробу «Колінвал» містить сім елементів  $D^{SS} = \{ Sb_1, Sb_2, Sb_3, Sb_6, Sb_7, Sb_8, Sb_9 \}$ , при цьому для кожної пари підсистем з  $D^{SS}$  окрім пари  $Sb_6$  та  $Sb_9$  виконується умова  $Sb_i \cap Sb_j = \emptyset$ . Таким чином, сформовано 96 варіантів структурованого представлення для колінвалу. Для подальшого аналізу відібрано такі варіанти:  $D^0_1$  як єдиний варіант дворівневого представлення,  $D^0_{84}$  як еквівалент структурного представлення з монографії М. П. Новікова,  $D^0_{95}$  та  $D^0_{96}$  як варіанти з найбільшою кількістю використаних підсистем.

Для аналізу відібраних варіантів використана множина критеріїв  $\{ T(k), R(k), N_{fin}(k), \sigma^2(k) \}$ . Аналіз оцінок варіантів структури свідчить про те, що не один з них не забезпечує оптимальне значення для всіх критеріїв (рис. 7).

Розрахунок узагальненого критерію за умов рівнозначності важливостей часткових критеріїв дозволяє визначити варіанти структурованого представлення  $D^0_{95}$  та  $D^0_{96}$  як оптимальні (табл. 4). Отримані результати свідчать про те, що задачу опрацювання об'єкта складального процесу «Колінвал» на технологічність структури успішно розв'язано, це підтверджується також підвищенням оперативності та обґрунтованості рішень, які приймаються.

Таблиця 4



Перетворення значень часткових критеріїв

Варіант	$T$	$R$	$N_{fin}$	$\sigma^2$	$\Sigma$
$D^0_1$	1,0	0,0	1,0	0,0	0,5
$D^0_{84}$	0,06	0,83	0,09	0,22	0,3
$D^0_{95}$	0,0	1,0	0,0	0,17	0,29
$D^0_{96}$	0,0	1,0	0,0	0,17	0,29



## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу розробки моделей, удосконалення методів та інформаційних технологій опрацювання на технологічність структури об'єктів складального процесу.

За результатами проведеного дослідження зроблено наступні висновки:

1. На основі аналізу процесів функціонування підсистеми автоматизованого аналізу конструкції виробів машинобудування й приладобудування та опрацювання їх на технологічність структури, що входить до складу автоматизованої системи технологічної підготовки складального виробництва, у рамках CALS- технології виявлені шляхи збільшення ефективності прийнятих рішень за рахунок підвищення рівня їх оперативності та обґрунтованості. Структурна оптимізація об'єктів складального процесу розглянута як процес із зазначенням моделей, алгоритмів і процедур, що застосовуються на кожному з етапів.

2. Породження об'єктів у процесі формування повної множини варіантів технологічних схем складання об'єктів складального процесу розглядається як комбінаторна задача, що дозволяє визначити ефективне представлення, як для машинної реалізації, так і для людини. В результаті для машинної реалізації запропоновані квадратні бітові матриці для представлення вихідних даних і тривимірні бітова матриця для представлення процесу породження, що дозволило отримати більш економічне й природне представлення.

3. Для методу формування сполучень елементів при обмеженнях пропонуються дві модифікації, які за рахунок відмінностей у зв'язках, що враховуються в процесі породження, покращують характеристики «базового» методу. Ключовою відмінністю методу «модифікований 1» є поліпшення показників оперативності прийнятих рішень за рахунок скорочення кількості перспективних сполучень, що потрібно проаналізувати. Ключовою відмінністю методу «модифікований 2» є забезпечення обґрунтованості за рахунок гарантованої повноти множини синтезованих підсистем для об'єктів складального процесу з великою кількістю елементів та зв'язків між ними. Проведене детальне порівняння ключових особливостей і відмінностей у характеристиках для запропонованих модифікацій відносно «базового» методу й повного перебору підтверджує висновок про доцільність їх використання та дозволяє надати рекомендації щодо вибору більш ефективного в різних ситуаціях методу.

4. Запропонована скорочена процедура аналізу множини перспективних сполучень, що використовується в процесі синтезу множини підсистем об'єкта складального процесу, дозволила замість трудомісткої перевірки кожного зі сполучень на відповідність правилам утворення підсистем проводити попередній відсів для виявлення сполучень, не перспективних для подальшого формування множини структур об'єкта складального процесу, що суттєво підвищує показники оперативності прийнятих рішень.

5. Запропоновані в роботі часткові критерії дозволили при оцінці варіантів структури об'єктів складального процесу та їх технологічних схем складання додатково врахувати такий показник якості, як нерівномірність використання ресурсів у процесі складання. Такий підхід розширює базу оцінювання при ви-

значенні компромісного варіанта технологічної схеми складання і, відповідно, підвищує обґрунтованість прийнятих рішень.

6. Аналіз результатів використання розробленої системи підтримки прийняття рішень при опрацюванні об'єктів складального процесу на технологічність структури підтверджує її працездатність та свідчить про зростання ефективності рішень, що приймаються, за рахунок підвищення їх оперативності та обґрунтованості. Працездатність системи, що пропонується, перевірена під час розв'язання задачі опрацювання на технологічність структури для різноманітних об'єктів складального процесу, що мали різну кількість елементів та зв'язків між ними. Для колінвалу при застосуванні методу «модифікований 1» на два порядки у порівнянні з «базовим» методом збільшилася оперативність, а при застосуванні методу «модифікований 2» – зросла обґрунтованість прийнятих рішень.

7. Проведено апробацію розроблених моделей, удосконалених методів та інформаційних технологій на ВАТ «Харківський електротехнічний завод «Трансв'язок» і АТ «Харківський завод електромеханічних виробів». Результати роботи використовуються у навчальному процесі на кафедрі автоматизованих систем управління НТУ «ХПІ» при викладанні спеціальних дисциплін, під час курсового та дипломного проектування. Отримані результати свідчать про доцільність подальшого дослідження розробленої системи підтримки прийняття рішень на підприємствах машинобудування.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ямшанов И.С. Совершенствование метода порождения сочетаний элементов, образующих подсистемы объектов сборки / И.С. Ямшанов // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – №6, Т. 2. – С. 88–93.

2. Ямшанов И.С. Алгоритм формирования генерального множества подсистем системного технического объекта сборки / И.С. Ямшанов // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – №9, Т. 6. – С. 72–76.

3. Ямшанов И.С. Алгоритм порождения подсистем технического объекта на основе бинарных матриц / И.С. Ямшанов // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – №4 (21). – С. 109–114.

4. Ямшанов И.С. Формализация формирования генерального множества подсистем системного технического объекта сборки / И.С. Ямшанов // Управління розвитком. Збірник наукових статей. – Харків: ХДЕУ, 2003. – №01. – С. 84–88.

5. Ямшанов И.С. Метод порождения целостных сочетаний элементов системного технического объекта сборки / И.С. Ямшанов // Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки (Машинобудування). – Суми: Видавництво СумДУ, 2003. – №3 (49). – С. 187–191.

6. Ямшанов И.С. Характеристика методов синтеза подсистем системного технического объекта сборки / И.П. Гамаюн, И.С. Ямшанов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк: Видавництво ДонНТУ, 2003. – Випуск 64. –

С. 156–165.

*Здобувач розробив модифікації методів формування множини перспективних сполучень і провів порівняння їх характеристик.*

7. Ямшанов И.С. Многокритериальная оптимизация на множестве технологических схем сборки / И.П. Гамаюн, И.С. Ямшанов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2003. – №4 (4). – С. 27–30.

*Здобувачем запропоновано критерії для оцінки структурованих представлень об'єктів складального процесу та їх ТСС й підхід до вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації на множини ТСС за теоремою Карліна.*

8. Ямшанов И.С. Информационная технология определения оптимальной технологической схемы сборки / И.С. Ямшанов // Вісник Інженерної академії України. – 2003. – №2. – С. 49–52.

9. Ямшанов И.С. Описание информационной технологии отработки на технологичность структуры объектов сборочного процесса / И.С. Ямшанов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал. – Харків: ХАІ, 2010. – №3 (44) липень - вересень. – С. 135–140.

10. Ямшанов И.С. Структурная оптимизация процесса сборки объекта сборочного производства на примере коленвала / И.С. Ямшанов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків: Технологічний центр, – 2010. – №3/1 (45). – С. 66–71.

11. Ямшанов И.С. Синтез сочетаний элементов технической системы с учетом разного типа связей между элементами / И.С. Ямшанов // Материали 7-го Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Харьков: ХНУРЕ, 2003. – С. 486.

12. Ямшанов И.С. Использование бинарных матриц для порождения множества сочетаний элементов сложной системы / И.С. Ямшанов // Збірник наукових праць 3-ї Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів і студентів «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих». – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – С. 402.

13. Ямшанов И.С. Формирование подсистем технической системы путем исключения дублирования в процессе порождения / И.С. Ямшанов // Анотації доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків: Видавництво «Курсор», 2003. – С. 63.

14. Ямшанов И.С. Сравнительный анализ методов синтеза подсистем системного технического объекта сборки / И.П. Гамаюн, И.С. Ямшанов // Тези доповідей учасників V Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Системний аналіз та інформаційні технології». – К.: НТУУ «КПІ», 2003. – С. 128–129.

*Здобувач провів порівняння характеристик методів формування множини перспективних сполучень.*

15. Ямшанов И.С. Информационные технологии поддержки принятия решений при структурной оптимизации системных объектов складания / И.С. Ямшанов // Анотації доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні

технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків: Видавництво «Курсор», 2004. – С. 48.

16. Ямшанов І.С. Застосування структурної оптимізації до процесу збирання технічного об'єкту / І.С. Ямшанов // Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – С. 29.

17. Ямшанов І.С. Дослідження структурної оптимізації для процесу збирання технічного об'єкту складального процесу / І.С. Ямшанов // Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – Ч. 1. – С. 37.

18. Ямшанов І.С. Реалізація структурної оптимізації технологічного процесу складання / І.С. Ямшанов // Тези доповідей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – Ч. 1. – С. 34.

19. Ямшанов І.С. Інформаційна технологія опрацювання на технологічність структури об'єктів складального процесу / І.С. Ямшанов // Тези доповідей XIX Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – Ч. 1. – С. 33.

20. Ямшанов І.С. Порівняння методів формування сполучень елементів об'єктів складального процесу при обмеженнях / І.С. Ямшанов // Тези доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – Ч. 1. – С. 35.

## АНОТАЦІЇ

**Ямшанов І.С. Моделі та інформаційні технології опрацювання на технологічність структури об'єктів складального процесу.** – На правах рукопису.

Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків. – 2013.

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу розробки моделей, удосконалення методів та інформаційних технологій опрацювання на технологічність структури об'єктів складального процесу. Проведено аналіз використання CALS-технології (Continuous Acquisition and Life cycle Support) для забезпечення високої ефективності процесів життєвого циклу виробів та показана актуальність такого підходу. Проведено аналіз функціонування підсистеми автоматизованого аналізу конструкцій виробів машинобудування та опрацювання їх на технологічність структури й визначено, що підвищення ефективності функціонування цієї підсистеми здійснюється за рахунок підвищення оперативності та обґрунтованості рішень, що приймаються. Удосконалено методи реалізації концепції підвищення ефективності при опрацюванні об'єктів

складального процесу на технологічність структури. Запропоновані квадратні бітові матриці для представлення вихідних даних і тривимірні бітова матриця для представлення процесу породження. Запропоновані модифікації для методу формування множини перспективних сполучень та для методу синтезу повної множини підсистем для об'єктів складального процесу. Для задачі опрацювання на технологічність структури запропоновано непрямі критерії, які розширюють базу оцінювання. Реалізовано систему підтримки прийняття рішень при опрацюванні об'єктів складального процесу на технологічність структури та перевірено її працездатність для різноманітних виробів машинобудування.

*Ключові слова:* інформаційна технологія, структурний синтез, структурна оптимізація, об'єкт складального процесу, породження сполучень з обмеженнями, багатокритеріальність.

**Ямшанов И.С. Модели и информационные технологии обработки на технологичность структуры объектов сборочного процесса.** – На правах рукописи.

Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков. – 2013.

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача разработки моделей, совершенствования методов и информационных технологий обработки на технологичность структуры объектов сборочного процесса. Проведен анализ использования CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life cycle Support) для обеспечения высокой эффективности процессов жизненного цикла изделий и показана актуальность такого подхода. Проведен анализ функционирования подсистемы автоматизированного анализа конструкции изделий машиностроения, приборостроения и обработки их на технологичность структуры, и определено, что повышение эффективности функционирования этой подсистемы реализуется за счет повышения оперативности и обоснованности принимаемых решений. Выполнена постановка задачи автоматизированного синтеза технологичного варианта структуры для объектов сборочного процесса.

Выделены основные этапы структурной оптимизации объектов сборочного процесса и указаны модели, методы и процедуры, используемые на каждом из них. Задача выбора технологичного варианта структуры рассмотрена как задача многокритериальной оптимизации. Усовершенствованы методы реализации концепции повышения оперативности и обоснованности при обработке объектов сборочного процесса на технологичность структуры. Предложены квадратные битовые матрицы для представления связей между элементами объекта сборочного процесса и трехмерная битовая матрица для представления процесса порождения. Предложены две модификации для метода формирования множества перспективных сочетаний, одна из которых сокращает избыточность в процессе порождения по сравнению с «базовым» вариантом метода, а вторая – гарантирует полноту порождаемого множества подсистем для объектов сбороч-

ного процесса с большим количеством элементов и связей между ними. Предложена модификация для метода синтеза полного множества подсистем, которая позволяет сократить число перспективных сочетаний, проверяемых на соответствие правилам образования подсистем, за счет предварительного отсева в соответствии с целесообразностью использования этих сочетаний. Предложены косвенные критерии, которые оценивают равномерность распределения элементов объектов сборочного процесса по подсистемам и расширяют базу оценивания при определении компромиссного варианта технологической схемы сборки.

Реализована система поддержки принятия решений при отработке объектов сборочного процесса на технологичность структуры и проверена ее работоспособность для разнообразных изделий машиностроения.

*Ключевые слова:* информационная технология, структурный синтез, структурная оптимизация, объект сборочного процесса, порождение сочетаний с ограничениями, многокритериальность.

**Yamshanov I.S. Models and information technologies for development of structural manufacturability for objects of assembly process.** – Manuscript copyright.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences, Specialty 05.13.06 – information technologies. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv. – 2013.

Urgent scientific and practical problem of model development, improvement of methods and information technologies for development of structural manufacturability for objects of assembly process is solved. Usage of CALS-technology (Continuous Acquisition and Life cycle Support) for high efficiency of products life cycle and relevance of such approach is analyzed. The functioning of subsystem for automated analysis of design for mechanical engineering products and development of structural manufacturability is analyzed, and is determined that the efficiency of this subsystem functioning will be carried out by increase of operativeness and validity of decisions. Improvement for methods of implementation of efficiency increase concept for development of structural manufacturability for objects of assembly process is developed. Square bit matrixes for input data representation and three-dimensional bit matrix for representation of generation process are proposed. Modifications for the method of promising combinations generation and for the method of synthesis of full subsystems set for objects of assembly process are proposed. Indirect criteria that extend the assessment basis are proposed for the task of development of structural manufacturability. Decision support system for development of structural manufacturability for objects of assembly process is implemented and its operability is verified by implementation of structural optimization for various mechanical engineering products.

*Keywords:* information technology, structural synthesis, structural optimization, object of assembly process, combination generation with restrictions, multicriteriality.

