

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУКИ**

УДК 004.896(075.8)

Б.О. ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ  
Луцький національний технічний університет**ИНТЕГРОВАННА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН**

*Розглянуто основні підходи до створення інтегрованої САПР технологічного обладнання. Показано особливості автоматизації основних проектних операцій і розглянуто принципи їх об'єднання. Наведено приклади автоматизованого виконання проектних процедур.*

*Ключеві слова: проектування, оптимізація, синтез, евристичний алгоритм, технологічне устаткування.*

Б.А.ПАЛЬЧЕВСКИЙ  
Луцкий национальный технический университет**ИНТЕГРОВАННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

*Рассмотрено основные подходы к созданию интегрированной САПР технологического оборудования. Показано особенности автоматизации основных проектных процедур и рассмотрены принципы их объединения. Приведено примеры автоматизированного выполнения проектных процедур.*

*Ключевые слова: проектирование, оптимизация, синтез, эвристический алгоритм, технологическое оборудование.*

B.A. PALCHEVSKYI  
Lutsk National Technical University**INTEGRATED COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEM OF TECHNOLOGICAL MACHINE**

*It is examined the main approaches to integrated CAD of technological equipment. It is shown the features of automation of basic design operations and observed principles of theirs connecting in integrated CAD. Examples of the automated implementation of project procedures are given.*

*Keywords: designing, optimization, synthesis, heuristic algorithm, technological equipment.*

**Постановка проблеми**

В даний час розвиток автоматизації процесів проектування технологічних машин не забезпечує отримання якісно нових результатів. Майже всі проектні рішення приймаються на евристичній основі, покладаючись на досвід і інтуїцію розробників. Завдання, особливо ті, що виникають на ранніх стадіях проектування технологічних машин є слабо структурованими, вони важко формалізуються, і з цієї причини складно піддаються автоматизації. Таким чином, основний недолік сучасних САПР - це відсутність формалізованих людино-машинних методів проектування на ранніх стадіях створення проекту технологічного обладнання та їх системного об'єднання з іншими етапами проектування в інтегровану САПР.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Огляд джерел з проектування технічних об'єктів показує, що оптимізаційний синтез технічного рішення, в основному орієнтований на повну автоматизацію добре формалізованих задач [1, 2, 9, 10]. Оптимізація розкриває значні резерви поліпшення за рахунок принципово нових перспектив розвитку принципових схем і структурних компоновок технологічного обладнання [5, 7, 8].

Останнім часом набирає важливості напрям створення баз знань і експертних систем, які нагромаджують досвід експертів і, власне кажучи, згодом замінять самих експертів [3, 4].

**Формулювання мети дослідження**

Метою роботи було вивчення можливості створення САПР технологічного обладнання, яка дозволить об'єднати основні етапи проектування.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

В основу створення інтегрованої САПР технологічного обладнання покладено принципи системного підходу. Системний підхід — це принцип дослідження, за якого розглядають проєктоване технологічне устаткування та систему, що реалізує технологію його проєктування, в цілісності.

Оскільки діяльність людини при проєктуванні такого технологічного устаткування має цільовий характер, то об'єкт проєктування вже з першого етапу розглядається як засіб досягнення мети шляхом забезпечення заданого функціонування шляхом створення відповідних технічних засобів – функціональних модулів (ФМ).

Відповідно до системного аналізу автоматизованого проєктування при ускладненні вихідного завдання можуть використовуватися такі методи автоматизації проєктних робіт [2]:

– проєктування на основі інформаційно-пошукових систем, яке засновано на відборі готової інформації по заданих вхідних даних, які визначають критерії відбору. Варіантна схема проєктування реалізується шляхом вибору з бібліотеки типових рішень заданої структури та її часткової модифікації з метою адаптації до нових умов застосування. Система здійснює пошук схожих випадків в базі даних. Алгоритм пошуку заснований на порівнянні характеристичних параметрів початкового і наявних в базі даних технологічних рішень. Як параметри використовуються показники технічного завдання. Застосування інформаційно-пошукових систем пов'язано з тим, що після отримання технічного завдання на проєктування технологічної машини часто доцільний пошук в базі даних, яка містить архів проєктів, аналогів, що задовольняють поставлене завдання. Якщо аналог повністю відповідає завданню, то необхідність у проєктуванні може відпасти;

– варіантне (компонувальне) проєктування, яке базується на використанні різних процедур проєктування на основі відомих або новостворених евристичних методів комбінаторики, логічних або математичних алгоритмів. Вхідною інформацією є технічне завдання на проєктування технологічної машини, що містить опис її вхідних і вихідних даних. За допомогою відомих методів проєктування в проєкт закладаються відомі технічні рішення з отриманням шляхом комбінування кількох альтернативних проєктних рішень для вибору з них найкращого. Компонувальна схема проєктування передбачає здійснення компонентування об'єкту, тобто синтез його структури з елементів за заданими правилами. Структурний синтез - найбільш важка для формалізації проєктна процедура. В існуючих САПР в більшості випадків синтез виконується людиною, а ЕОМ використовується для верифікації запропонованих варіантів. Варіантність забезпечується тим, що в системі використовується, наприклад, граф І/АБО, в якому можливість вибору обумовлюється зв'язками типу АБО, що представляють собою варіанти реалізації кожного класу функціональних компонентів із складу проєктованої технологічної машини.

– пошукове проєктування як метод проєктування, спрямований на синтез принципово нових проєктних рішень (спосіб, пристрій) з використанням існуючого проєктно-конструкторського або проєктно-технологічного потенціалу. Такі системи базуються на знаннях, які є в метасистемі. При виникненні проблеми в ході проєктування технологічної машини шляхом її компонентування з елементів по заданих правилах, починає працювати інтегрована схема проєктування.

При першому методі проєктування на основі інформаційно-пошукових систем система здійснює пошук схожих випадків в базі даних. Якщо знайдений аналог не повністю відповідає завданню, то виникає необхідність у використанні інших методів проєктування.

При другому методі проєктування варіантне компонентувальне проєктування здійснюється виділення варіанту з узагальненої структури, що описує клас проєктованих об'єктів зазвичай у вигляді І-АБО-графів. Алгоритмізація синтезу на основі І-АБО-графа вимагає введення правил вибору альтернатив в кожній АБО-вершині [6]. Утруднення при цьому пов'язані з можливими обмеженнями на сумісність способів реалізації ознак: наприклад,  $C_{ij} + C_{kl} = \text{false}$ , що означає заборону на одночасне включення елементів  $E_{ij}$  і  $E_{kl}$  в структуру системи.

При виникненні проблеми в ході проєктування технологічної машини шляхом її компонентування з елементів по заданих правилах, починає працювати схема пошукового проєктування. При третьому методі (пошуковому) проєктування технологічної машини стає складною задачею із змінним об'єктом проєктування (виріб – робочий процес – структура машини), то її можна розбити на окремі простіші задачі, створити підсистеми їх автоматизованого проєктування і об'єднати ці підсистеми в інтегровану систему автоматизованого проєктування – САПР. У алгоритмах синтезу можна виділити блоки формування чергового варіанту, його оцінки і ухвалення рішення. Перебір закінчених структур застосовується, коли оцінка проміжного варіанту складна, тому в блоці формування повинні створюватися закінчені структури об'єктів, як це, наприклад, може бути зроблено для компоновки технологічної машини. При цьому потужність множини можливих варіантів може бути настільки велика, що повний перебір стає недоцільним. У таких випадках перебір може бути тільки частковим, заснованим на наближених (евристичних) алгоритмах.

Інший варіант реалізації структурного синтезу полягає в тому, що здійснюється нарощування структури шляхом послідовного додавання конструкторських модулів до деякої первинної структури з оцінкою проміжних варіантів структури. Генерація варіантів в цьому випадку направлена, причому перший же з варіантів, що згенерували, часто стає остаточним. Тому алгоритми нарощування більш швидкодіючі в порівнянні з переборними, але менш точні.

З іншої сторони, об'єднання в одній САПР окрім системи пошукового проектування, також і систем інформаційно-пошукового і варіантного проектування (об'єднання по вертикалі) забезпечить збільшення ступеня автоматизації і комплексності процесу проектування. Такий підхід дозволяє створити клас комплексних САПР [5].

Інтегрована САПР повинна об'єднувати локальні САПР, що розв'язують декілька локальних задач, пов'язаних між собою [1, 5]:

- задача моделювання і аналізу структури виробу для визначення послідовності його утворення;
- задача оптимізаційного синтезу структури технологічної операції та формування технологічної структури машини;
- задача оптимізаційного синтезу компоновки технологічної машини.

Така інтегрована САПР по суті об'єднує в собі переваги проектування на основі пошуку інформації в базі даних про готове технічне рішення, яке задовольнить технічне завдання (інформаційно-пошукова САПР). При відсутності результату відбирається ближчий прототип і на основі експертного досвіду модифікується комбінаторними методами для задоволення вимог технічного завдання (варіантна САПР). При відсутності результату здійснюється синтез моделі виробу і її перетворення в модель робочого процесу машини, а цю, останню – в модель структури технологічної машини (пошукова САПР) (рис.1).

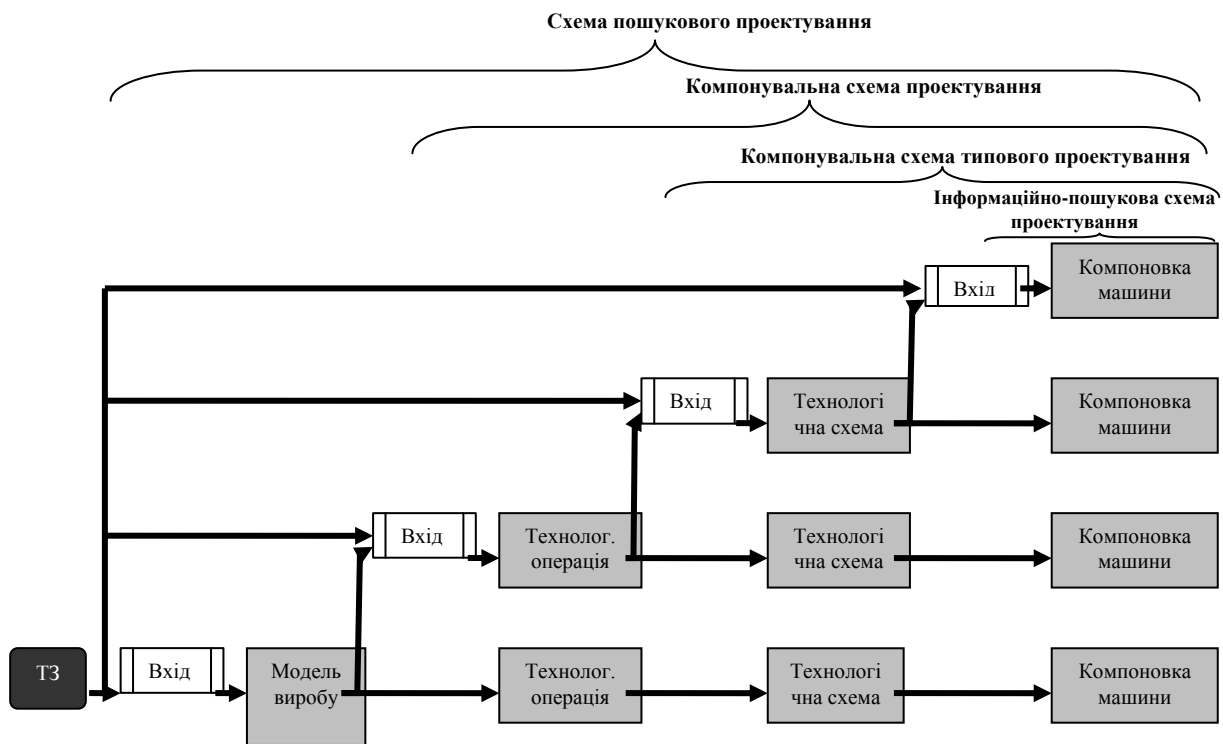


Рис. 1. Інтегрована САПР проектування технологічної машини

Інтегрована САПР по суті об'єднує в собі переваги проектування на основі пошуку інформації в базі даних про готове технічне рішення, яке задовольнить ТЗ (інформаційно-пошукова САПР). При відсутності результату відбирається ближчий прототип і на основі експертного досвіду модифікується для задоволення вимог ТЗ (варіантна САПР). При відсутності результату здійснюється синтез моделі об'єкту проектування (пошукова або компоновальна САПР).

Таким чином, інтегровану САПР можна розглядати як систему, що реалізовує в загальному випадку декілька схем проектування. Тому процес проектування стає трьох стадійним.

1. На першій стадії проектування здійснюється алгоритмічний аналіз виробу. Вхідним джерелом інформації для першого етапу служить інформація про виріб у вигляді концептуальної моделі як набору конструктивно-технологічних елементів (КТЕ). Результуючим вихідним документом є структура

технологічної операції (можливо в декількох варіантах) з переліком технологічних переходів, а також технологічна схема машини.

2. На другій стадії проектування користувач аналізує отриману технологічну схему машини і при необхідності коректує її. Після цього здійснюється проектування компоновки машини, яке вже передбачається в двох варіантах: у режимі комбінаторного генерування варіантів компоновки машини або автоматичного пошуку варіантів рішень, з використанням раніше накопиченої в базі даних інформації.

3. На третій стадії проектування формуються геометричні моделі об'єктів проектування: деталей, конструкторських модулів і компоновки машини в цілому. Така модель дозволяє сформулювати специфікації функціональних і конструкторських модулів, що використовуються в даній моделі.

Схема функціонування гібридної інтелектуальної САПР має наступну послідовність (рис.2).

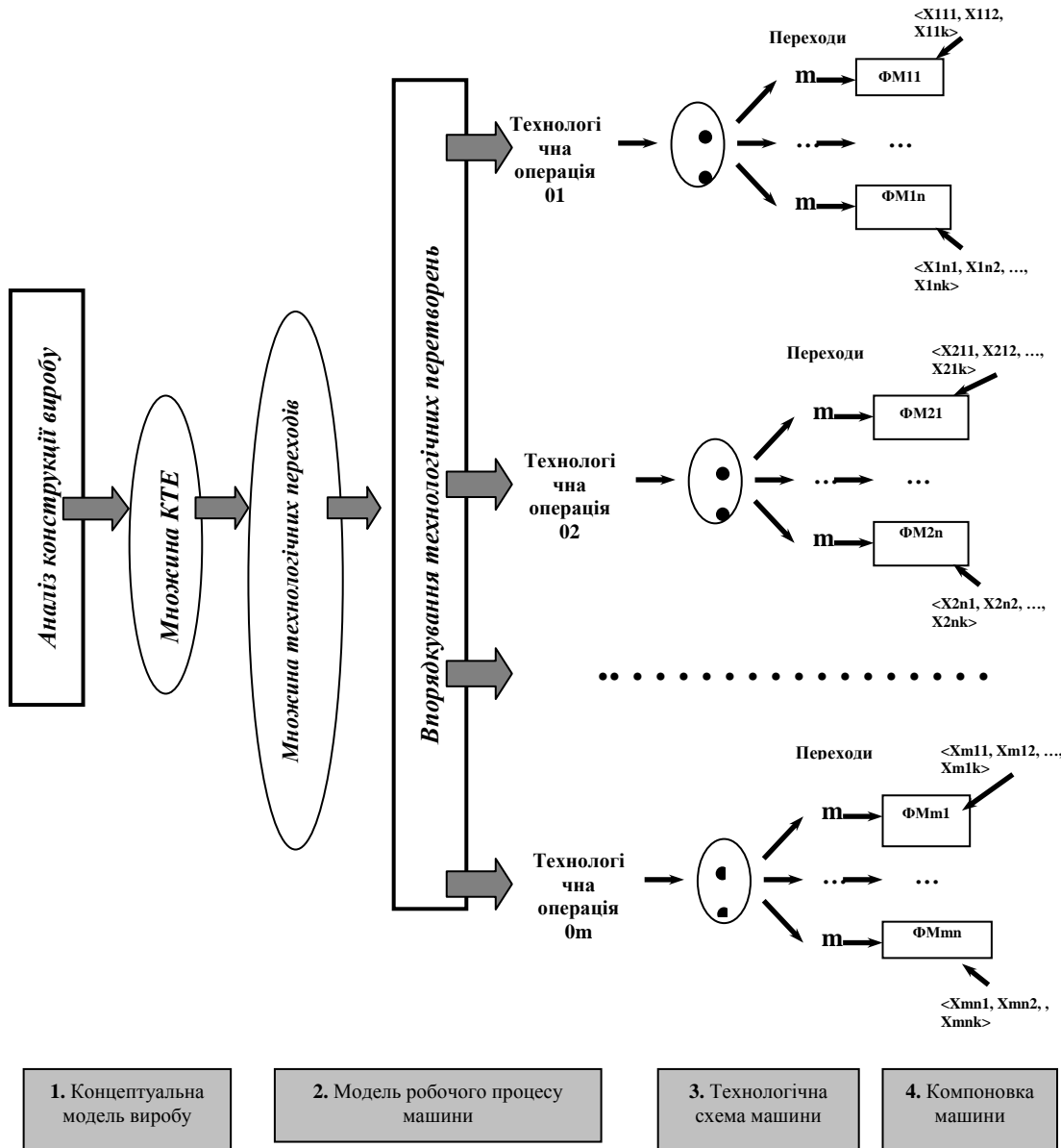


Рис.2. Функціональна структура інтегрованої САПР технологічних машин

Спочатку вводяться початкові дані: конструкцію виробу, технічні умови до нього, вимоги до технологічної машини (ТЗ) і умови її експлуатації тощо. Введена інформація використовується системою для побудови концептуальної моделі виробу, її аналізу і визначення послідовності створення КТЕ виробу. Далі здійснюється автоматизоване проектування структури технологічної операції і технологічної схеми машини.

Найбільш складним методом проектування є пошукове проектування, яке включає процедури аналізу і синтезу, моделювання і оптимізації, вибору рішень тощо. Основна мета проектування —

створення шляхом системної цілеспрямованої діяльності моделі ще не існуючого об'єкту, який забезпечить заданий характер функціонування. Для цього потрібно побудувати систему моделей, за допомогою яких можна узагальнювати, передавати й удосконалювати результати такої діяльності.

Робочий проект технологічної машини представляє собою її детальну модель, яка утворюється шляхом послідовної обробки і перетворення вихідної загальної моделі, що задана технічним завданням. Тобто для цілеспрямованого проектування потрібно побудувати систему моделей, за допомогою яких можна поетапно деталізувати, узагальнювати і передавати проектні рішення. Багато з цих задач проектування технічних систем можна досить добре формалізувати, звести до математичних моделей, які дають змогу ставити й розв'язувати оптимізаційні задачі.

Хай задано деяке виробниче середовище функціональних модулів (ФМ), в якому дія САПР полягає в досягненні технічного рішення, заданого технічними умовами, з деякої вихідної ситуації, заданою технічним завданням, за допомогою планів дій  $P_0 = \{p_i\}$ , де  $p_i = 1, \dots, n$  - проектні процедури.

Задати технічні умови в такому виробничому середовищі – це означає вказати властивості функціональних модулів  $FM_k \in A_0$  і відношення між ними  $r_m \in R_0$ . Модель виробничого середовища функціональних модулів можна представити у вигляді:

$$M_0 = \langle A_0, P_0, C_0, R_0 \rangle,$$

а завдання планування проектних процедур можна сформулювати таким чином: задані технічне завдання і технічні умови, необхідно побудувати з виконавчих процедур  $p_i \in P_0$  план проектування

$P_0$ , який, будучи застосованим до технічного завдання, дозволяє досягти технічних умов.

Перед людиною при рішенні цієї задачі зазвичай виникають проблема того, що пошук плану проектування утруднений із-за великої розмірності простору пошуку. Отже, САПР необхідні загальніші по відношенню до  $M_0$  моделі виробничого середовища функціональних модулів.

Процес проектування технологічної машини передбачає функціональне проектування, на якому створюється функціональна модель робочого процесу в машині, та структурне проектування, на якому на основі робочого процесу створюється модель структури машини. Очевидно, що функціональний опис є більш загальним, оскільки кожна технічна функція може бути реалізована багатьма варіантами конструкцій елементів машини. І, навпаки, кожен варіант конструкції елемента машини може реалізувати тільки єдину функцію – саме ту, для якої він був створений. З цього міркування витікає, що функціональна модель є більш загальною ніж структурна. Ця модель огрублено описує властивості функціональних модулів – тільки їх функціональне призначення.

Хай  $C_1$  – множина, що отримується огрубленням до функціонального призначення властивостей функціональних модулів  $c_j \in C_1$ ,  $P_1$  – множина процедур побудови спрощеного

технічного рішення,  $A_1 \leq A_0$ ;  $R_1 \leq R_0$ . Тоді спрощену модель виробничого середовища

функціональних модулів можна представити у вигляді:

$$M_1 = \langle A_1, P_1, C_1, R_1 \rangle,$$

а постановку тактичного завдання проектування та його рішення – у вигляді сукупності  $P_1 = p_1, \dots, p_n$ . При проектуванні технологічного обладнання модель  $M_1$  відповідає технологічній схемі, в якій задано відношення послідовності розташування ФМ та їх розміщення в робочому просторі.

Подальше огрублення моделі виробничого середовища  $M_2$  представляється як узагальнення функцій модулів  $FM_k \in A_2$  до рівня технологічних перетворень виробу, властивості яких

характеризуються можливостями створення конструктивно-технологічних елементів виробу  $c_j \in C_2$ ,

а відношення  $r_m \in R_2$  між якими визначають їх послідовність і можливість суміщення в часі і просторі

між ними:

$$M_2 = \langle A_2, P_2, C_2, R_2 \rangle.$$

Модель виробничого середовища  $M_2$  представляє технологічні перетворення виробу  $\tau_k \in A_2$ , властивості яких  $c_j \in C_2$  і відношення  $r_m \in R_2 = \pi$  між якими визначаються конструкторськими, функціональними і технологічними вимогами передування. Вочевидь, завдяки вказаному огрубленню в спрощеній моделі виробничого середовища функціональних модулів  $M_1$  стають невизначеними окремі функціональні модулі і проектні процедури. Проте подібне спрощення дозволяє значно понизити розмірність простору пошуку рішень. Вочевидь модель  $M_2$  представляє собою наближений функціональний опис машини на рівні опису функцій окремих гіпотетичних ФМ та їх зв'язків, тобто опис узагальненого робочого процесу в технологічному середовищі.

І, на кінець, вихідні дані для проектування також можуть бути представлені в вигляді системної (концептуальної) моделі виробу, виконання над якою проектних процедур аналізу дозволить отримати опис послідовності елементарних операцій виготовлення виробу у вигляді моделі послідовності формування виробу  $M_3$ .

$$M_3 = \langle A_3, P_3, C_3, R_3 \rangle.$$

В цьому випадку послідовність проектних моделей набере вигляду:

$$M_3 \Rightarrow M_2 \Rightarrow M_1 \Rightarrow M_0,$$

а набір проектних процедур для розв'язання задачі проектування визначиться як:

$$P_\Sigma = P_3 \cup P_2 \cup P_1 \cup P_0.$$

Процедури виведення технічних рішень при проектуванні розподілені по наступних етапах.

1. Введення початкових знань і даних про вид виробу, який може виготовлятися на проектованій технологічній машині і побудова його концептуальної моделі.

2. Побудова матриці передування на основі використання продукційних правил передування. Визначення послідовності утворення КТЕ виробу, вибраних на основі застосування обчислювального алгоритму обробки матриці передування, що включений до складу САПР.

3. Формування структури технологічної операції з використанням продукційних правил і обчислювальних алгоритмів, формування технологічної схеми машини із функціональних модулів.

4. Оптимізація набору конструкторських модулів для реалізації технологічної схеми на основі вибраних критеріїв за допомогою одного із оптимізаційних алгоритмів, що входять до складу САПР.

Приклади: - синтез технологічної операції (по опису послідовності утворення конструктивно-технологічних елементів (КТЕ) виробу будується структура технологічної операції із заданою послідовністю переходів), технологічної схеми машини (по опису технологічних функцій будується технологічна схема машини); синтез компоновки машини (по опису технологічної схеми будується компоновка машини) тощо.

Правила трансформації мають вид продукцій «ЯКЩО А, ТО В». Аналогічну форму можна надати правилам генерації структур і в рамках інших підходів до синтезу.

Процедура виведення технічних рішень при проектуванні включає наступні етапи.

5. Введення початкових знань і даних про вид виробу, який може виготовлятися на проектованій технологічній машині і побудова його концептуальної моделі.

6. Побудова матриці передування на основі використання продукційних правил передування. Визначення послідовності утворення КТЕ виробу, вибраних на основі застосування обчислювального алгоритму обробки матриці передування, що включений до складу САПР.

7. Формування структури технологічної операції з використанням продукційних правил і обчислювальних алгоритмів і формування технологічної схеми машини із функціональних модулів.

8. Оптимізація набору конструкторських модулів для реалізації технологічної схеми на основі вибраних критеріїв за допомогою одного із оптимізаційних алгоритмів, що входять до складу САПР.

#### Висновки

Можна виділити такі шляхи вдосконалення САПР для покращення проектних рішень:

1. Нагромадження в спеціалізованих базах знань експертних систем досвіду експертів. Інтелектуальні властивості експертних систем можна реалізувати завдяки наявності отриманих від

людини (експерта) знань у певній предметній області у формі фактів (предметного знання) й евристичних методів (емпіричних правил), які вводять у машинну базу даних і базу знань.

2. Розвиток людино-машинних систем вибору кращих технічних рішень, коли основний акцент зроблено на участь самої особи, яка приймає рішення, у спробах формалізувати задачу вибору, у самостійному порівнянні й оцінюванні за допомогою ЕОМ різних альтернатив.

#### Список використаної літератури

1. Быков В.П. Методическое обеспечение САПР в машиностроении.-Л.: Машиностроение, 1989.-255 с.
2. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход.-Мир, 1981.-456 с.
3. Ездаков А.Л. Экспертные системы САПР.-М.: ИД «Форум», 2014.-160 с.
4. Колесников А.В., Кириков И.А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. — М.: ИПИ РАН, 2007. — 387 с.
5. Пальчевський Б.О. Інформаційні технології проектування технологічного устаткування.- .- Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2012.-572 с.
6. Пальчевський Б.О., Великий О.А. Розробка системи автоматизованого оптимізаційного синтезу структури технічних об'єктів шляхом використання дерев «і-або» // Технологічні комплекси, Науковий журнал.- Луцьк: видавництво Луцького НТУ, 2011, №2(4), с.23-29.
7. Петренко А.И., Семенов О.И. Основы построения САПР.-К.: Вища школа, 1984.-296 с.
8. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества.-М.: Машинлстроение, 1988.-368 с.
9. Проектирование оптимальных технологических систем машин/ Под ред.А.И.Дашенко.-М.: Машиностроение, 1989.-334 с.
10. Схиртладзе А.Г., Ярушин С.Г. Проектирование нестандартного оборудования.-М.: Новое знание, 2006.-424 с.