

На графіку отримано дві лінії: твірна конуса з кутом при вершині  $2\beta$  і гіпербола у межах від теоретичної внутрішньої точки різьби  $B$  до зовнішньої точки  $A$  (рис. 6). Гіперболічні (поперечні) відхилення у прикладі перебувають у межах від 0,34 до 0,32 мм, що є більшим, ніж допуск на величину висоти профілю  $h_f$ . Використання прикладної програми підтверджує відсутність поперечних відхилень за нульового значення переднього кута і зростання значення поперечного відхилення зі збільшенням діаметра різьби та величини переднього кута. На рис. 6 відображена ділянка гіперболи  $CL$ , що утворилася на основі поперечного зміщення масиву точок прямолінійного відрізка  $AB$  бічної сторони різьбового профілю. Лівіше схематично (а не масштабно) побудована точка  $K$ , яка є наслідком поздовжнього зміщення точки  $C$ .

**Висновок.** Прикладна програма, запропонована у роботі, дає можливість автоматично отримувати значення масиву точок відкорегованої різальної кромки, яка забезпечує точність виконання різьбової поверхні за найвищими вимогами стандарту і навіть більше. При цьому вхідними параметрами програми є діаметр і кут профілю різьби, а також значення величини переднього кута.

1. Стандарт ГОСТ 632-80. Трубы обсадные и муфты к ним. Технические условия. 2. Онисько О.Р., Борушак Л.О., Копей В.Б. *Забезпечення точності виготовлення різьб обсадних труб шляхом застосування параметричного проектування профілю різальної частини різьбонарізних інструментів в середовищі системи програмування Дельфі* // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2009. – №2(20). – С. 50–53. 3. Родин П.Р. *Металлорежущие инструменты* [Текст]: учеб. для студ. машиностроительных вузов / П.Р. Родин. – К.: Вища шк., 1986. – 456 с. 4. Стандарт Р50864-96. “Резьбы конические замковые для элементов буровых колонн”. 5. Привалов И.И. *Аналитическая геометрия* [Текст]: учеб. для студ. техн. вузов / И.И. Привалов. – М.: Наука, 1965. – 272 с.

УДК 621.002.5.001

Б.О. Пальчевський

Луцький національний технічний університет

## ПОШУК ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ САПР ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

© Пальчевський Б.О., 2013

**Розглянуто засади створення і роботи інтелектуальних САПР для проектування технологічного обладнання. Наведено приклади роботи евристичних алгоритмів проектування.**

**Ключові слова:** проектування, сапр, штучний інтелект, евристичний алгоритм, моделювання, процедури.

**It was considered the principles of creation and operation of intellectual CAD system for the design of technological equipment. It was shown the examples of working of heuristic algorithms for designing.**

**Постановка проблеми.** Створюючи нові технічні вироби, інженер-проектувальник виконує завдання різного рівня складності. Існують два рівні конструювання технічних об'єктів:

- прототипування;
- пошукове конструювання.

Результатом прототипування є технічний об'єкт, що складається з типових елементів за аналогією з прототипом, але який під час проектування адаптується до нових умов використання. Результатом пошукового конструювання є оригінальна конструкція, отримана евристичними методами пошуку з використанням таких інформаційних технологій, як математичне моделювання, оптимізаційний синтез тощо.

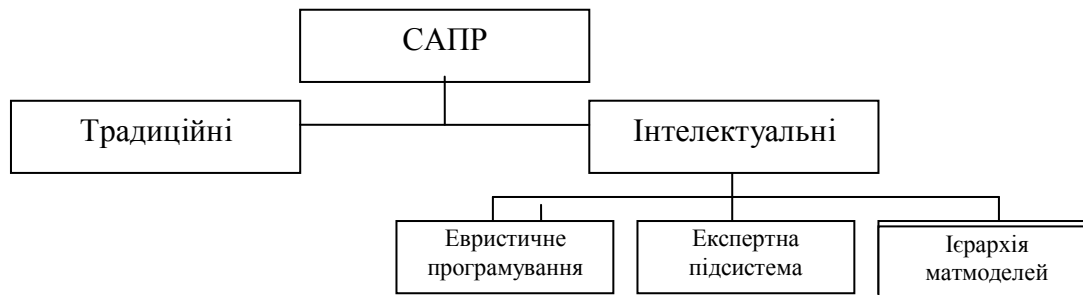


Рис. 1. Види САПР

Таке розділення уможливорює виділяти серед систем автоматизованого проектування два класи систем (рис. 1):

1. Системи першого класу (традиційні САПР) переважно орієнтовані на використання готових рішень. Класичні САПР використовуються у тих випадках, коли під час проектування об'єктів цього класу накопичений достатній досвід.

2. Системи другого класу (інтелектуальні САПР) підтримують спеціальними засобами ту частину праці проектувальника, яка пов'язана з пошуком нестандартних рішень. Інтелектуальні САПР необхідні тоді, коли відсутні методики проектування, що пропрацювали, або об'єкт принципово новий і вимагає значних витрат творчої праці.

**Аналіз останніх досліджень** показав, що питанню створення САПР для пошукового проектування не приділено достатньої уваги. Особливо це стосується таких складних об'єктів проектування, як технологічне обладнання.

Тому **метою дослідження** є застосування інтелектуальної САПР для проектування. Необхідно показати можливості її адаптації до роботи у такій предметній області, як технологічне обладнання, виділити особливості і розробити механізм функціонування.

**Особливості моделювання під час проектування.** Методи виконання завдань, засновані на зведенні їх до пошуку, залежать від особливостей прикладної області, в якій виконується завдання, і від вимог, що пред'являються користувачем до вирішення.

Хай задано деяке виробниче середовище функціональних модулів, в якому дія інтелектуальної САПР полягає у 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 у такому виробничому середовищі – це означає вказати властивості  $c_j \in C_0$  функціональних модулів  $\Phi M_k \in A_0$  і відношення між ними  $r_m \in R_0$ . Модель виробничого середовища функціональних модулів для такої дії інтелектуальної САПР можна представити у вигляді

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

а завдання планування проектних процедур у виробничому середовищі  $M_0$  можна сформулювати так: 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, дає змогу досягти технічних умов.

Перед людиною під час виконання цього завдання зазвичай виникають проблеми, що пошук плану проектування утруднений із-за великої розмірності простору пошуку. Отже, інтелектуальній 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 у машині, та структурне проектування, на якому на основі робочого процесу створюється модель структури машини. Очевидно, що функціональний опис є загальнішим, 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 випливає, що функціональна модель є загальнішою, ніж структурна. Ця модель дещо грубо описує властивості функціональних модулів – тільки їх функціональне призначення.

Хай  $C_1$  – множина, що отримується огрубленням 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 подати 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  $P_1 = p_1, \dots, p_{in}$ . Вочевидь, завдяки вказаному огрубленню у спрощеній моделі виробничого середовища функціональних модулів  $M_1$  стають невизначеними окремі функціональні модулі і проектні процедури. Проте подібне спрощення, що викликається “грубістю” органів чуття інтелектуальної САПР, дає змогу значно знизити розмірність простору пошуку рішень. Подальше огрублення моделі виробничого середовища  $M_2$  являє собою узагальнені функціональні модулі  $\Phi M_k \in A_2$ , властивості яких  $c_j \in C_2$  і відношення  $r_m \in R_2$  між якими визначаються узагальненими поняттями.

Такі моделі уможливають знаходити рішення на початкових етапах проектування. На наступних етапах моделі ускладнюються, що дає змогу під час проектування використовувати ланцюжок моделей із різним рівнем деталізації описання виробничого середовища функціональних модулів. Заданим вважаються виріб і його модель, аналіз яких використовується для побудови моделі робочого процесу в машині як множини елементарних технологічних функцій.

Наступним кроком є знаходження відповідності елементарним функціям технічних засобів їх реалізації і формування з них структурної моделі технологічної машини. Серед завдань – цілий вибору ФМ виділимо клас елементарних, для яких очевидним буде вибір відповідного ФМ. Останні вважатимемо складними, а їхні рішення представляти у вигляді частково впорядкованої сукупності елементарних рішень.

У такий спосіб отримується логічна послідовність етапів проектування, кожен з яких закінчується побудовою точнішої моделі виробничого середовища, причому результати попереднього у вигляді відповідних моделей використовуються у такому (рис. 2).

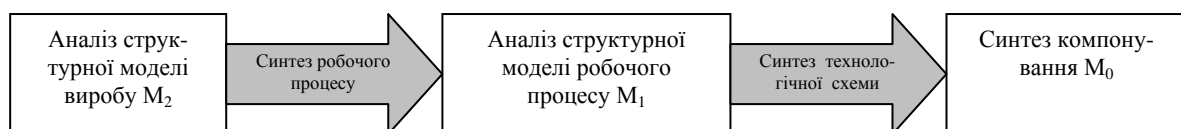


Рис. 2. Ланцюжок моделей під час проектування

**Етапи інтелектуальної САПР технологічного устаткування.** Кожен етап проектування зводиться до формування описів проектованого технологічного устаткування, що належить до різних його ієрархічних рівнів. З погляду послідовності виконання розрізняють основні стадії проектування:

- аван-проекування, де здійснюється обґрунтування вихідних даних для проектування, результати якого оформляються у вигляді технічних умов, технічного завдання і технічної пропозиції;

- функціональне проектування, під час якого здійснюють оптимізаційний синтез робочого процесу технологічного устаткування, проектують технологічну і принципову схеми;
- структурне проектування, під час якого формується структура проєктованого об'єкта, його складових частин, якими переважно є функціонально завершені блоки, – функціональні модулі (ФМ), визначаються просторові і функціональні зв'язки між ними;
- конструювання, під час якого оптимізується технічне рішення за конструктивно-технологічними, економічними і експлуатаційними показниками. На цьому етапі проектування розробляють робочий проєкт, тобто технічну документацію, необхідну для виготовлення і експлуатації технологічного устаткування.

Для реалізації цих етапів проектування інтелектуальна САПР містить відповідні евристичні алгоритми.

**Алгоритм декомпозиції завдання проектування на підцілі.** Це аналіз вихідних даних і формулювання цілей. Цей етап проводиться у просторі завдань і полягає в послідовному зведенні вихідного завдання до простіших. Розбиття глобальної мети на підцілі продовжується до того часу, поки не з'явиться можливість пов'язати цілі нижніх рівнів із засобами, що забезпечують виконання цих цілей, тобто зведення цілей нижчого рівня до перерахунку функцій, що виконуються пристроєм.

Для такого об'єкта проектування, як технологічна машина, знайти в такий спосіб рішення відразу інтелектуальній САПР зазвичай не вдається. Тоді передбачено виконання наступного етапу функціонального проектування робочого процесу у машині.

Справді, якщо визначити глобальну мету проектування як забезпечення службової функції машини, тобто виготовлення виробу із заданими параметрами за певних обмежень, то декомпозиція такої мети на підцілі зведеться до отримання набору технологічних функцій, для кожної із яких буде відомим технічний засіб її реалізації. А з цього набору під час функціонального проектування формується структура робочого процесу.

**Функціональне проектування.** Воно починається із аналізу виробу, який повинен виготовлятися на технологічному устаткуванні. Цей виріб у випадку складальної одиниці являє собою поєднання деталей і з'єднань між ними, а у разі окремої деталі – поєднання поверхонь чи конструктивних елементів із кількох поверхонь і геометричних відношень між ними.

Розглянемо, як приклад, аналіз конструкції окремої деталі. На послідовність оброблення поверхонь деталі впливають функціональні, конструкторські та технологічні обмеження, що уможливило виділити три групи суперечностей у відношеннях передування, тобто у відношеннях “яка поверхня повинна бути виготовлена раніше від тієї, що розглядається”, а саме:

- **функціональні відношення передування**, що накладаються умовами функціонування деталі;
- **конструкторські відношення передування**, що накладаються умовами просторового розташування поверхонь у деталі;
- **технологічні відношення передування**, що накладаються умовами оброблення деталі.

Для визначення логічної послідовності оброблення запишемо функціональні, геометричні та технологічні відношення передування, що накладаються на поверхні деталі, у вигляді матриці передування.

***Поверхня, яка повинна бути попередньо оброблена***

<b>П-поверхня,</b> що обробляється	П1	П2	П3	П4	П5	<b>Во</b> Ступінь залежності поверхні
П1						0
П2	1					1
П3	1					1
П4		1	1			2
П5				1		1
Ступінь наслідування поверхні	2	1	1	1	0	

Тоді послідовність технологічних переходів оброблення поверхонь деталі зображена на рис. 3.

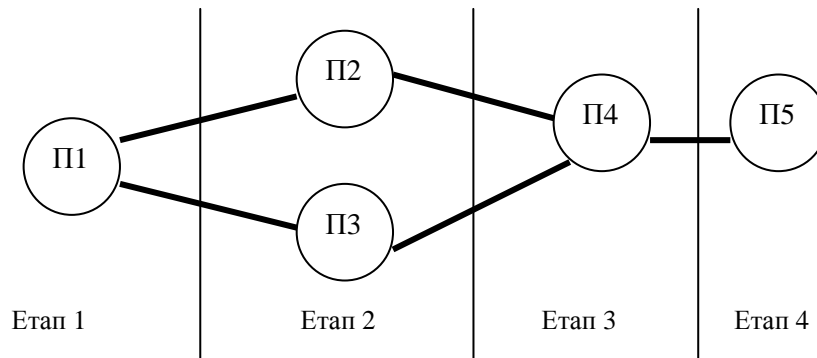


Рис. 3. Послідовність оброблення поверхонь деталі

Розглянемо цю процедуру для реальної деталі, наприклад, за оптимізації структури процесу механічного оброблення корпусу опори. Процес оптимізаційного синтезу процесу механічного оброблення включає:

1. Визначення обмежень на послідовність утворення поверхонь деталі, що накладаються конструкцією деталі, технологією механічного оброблення та умовами функціонування деталі у вузлі.
2. Генерування варіантів реалізації кожної із технологічних операцій оброблення та вибір оптимального варіанта структури процесу.

Результатом тут є структура робочого процесу і побудована на його основі технологічна схема, яка закінчує функціональний етап проектування (рис. 5).

**Структурне проектування.** Воно є комплексом завдань, пов'язаних з перетворенням функціональної моделі робочого процесу у сукупності компонентів структури машини. За структурного проектування технологічного устаткування провідним принципом є модульний, який полягає у виділенні функціональних модулів різної складності, що знаходяться у просторовому і функціональному взаємозв'язках.

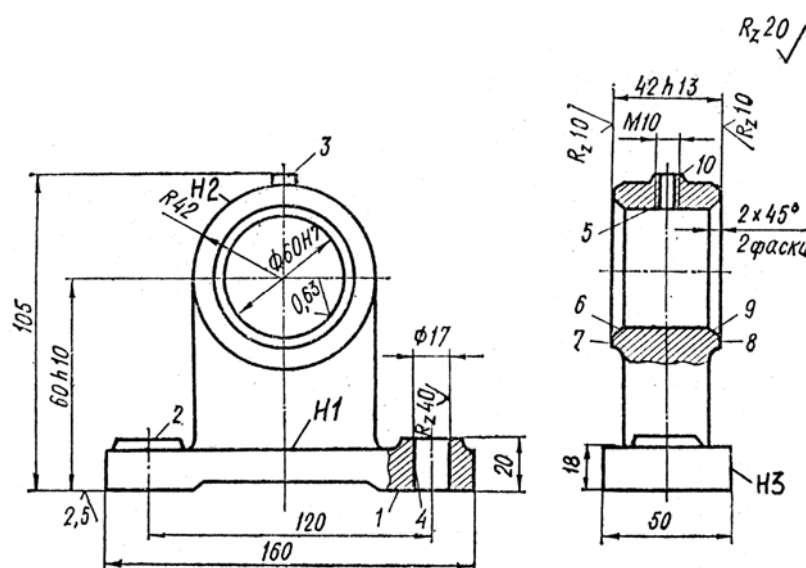


Рис. 4. Корпус опори (Сірий чавун – СЧ-18)

Матриця передування поверхонь корпусу опори має такий вигляд:

	H1	H2	H3	1	2	3	4	5-4	5ф	6	7	8	9	10	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
H1	1														0						
H2		1													0						
H3			1												0						
1				1											1	0					
2					1										1	1	0				
3						1									1	1	0				
4							1								3	1	0				
5ч								1							2	2	1	0			
5ф									1						3	3	2	1	0		
6										1		1			2	2	2	1	1	1	0
7											1				2	2	1	0			
8												1			2	2	1	0			
9													1		2	2	2	1	1	0	0
10														1	2	2	1	0			

Тут виникають два завдання:

1. Знаходження оптимального розміщення функцій по функціональних модулях.
2. Знаходження оптимального розміщення функціональних модулів у робочому просторі.

Розглянемо, як приклад, структурне проектування технологічної машини для фасування сипких речовин. Технологічна операція пакування включає такі технологічні переходи ( $x_1 - x_5$ ), послідовність виконання яких задана робочим процесом і технологічною схемою машини (рис. 6):

формування із полімерної плівки заготовки пакета – труби ( $x_1$ ); дозування маси речовини ( $x_2$ ); поздовжнє зварювання пакета ( $x_3$ ); поперечне зварювання пакета із дозою речовини у ньому ( $x_4$ ); протягування заготовки пакета – труби на крок ( $x_5$ ).

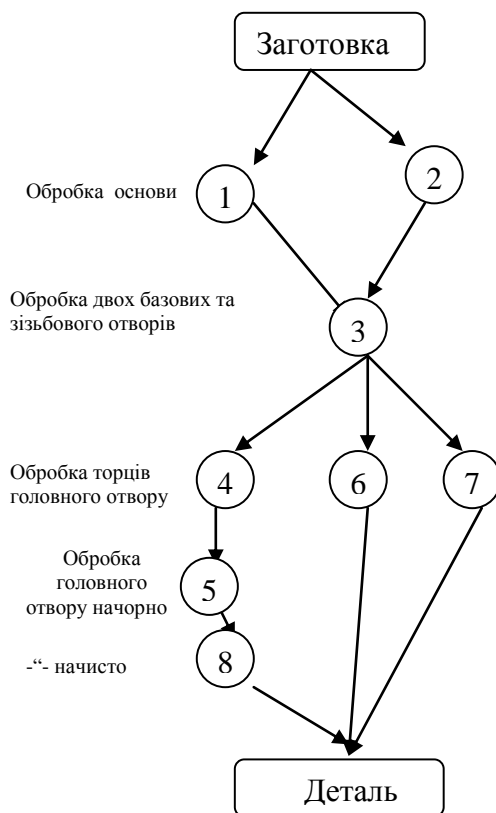


Рис. 5. Структура процесу механічного оброблення корпусу опори

Оскільки для виконання  $i$ -го переходу можливе використання різних за конструкцією функціональних модулів із множини  $A_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots\}$ , які відрізняються між собою характеристиками (надійність, швидкодія, енерговитратність, вартість тощо), то завдання синтезу структури пакувальної машини стає багатоваріантним. Воно може виконуватися методами дискретного програмування, які уможливають знайти оптимальний склад функціональних модулів за вибраними критеріями (рис. 7). Модель процедури оптимізаційного синтезу функціонально-модульної структури пакувальної машини за заданої технологічної схеми.

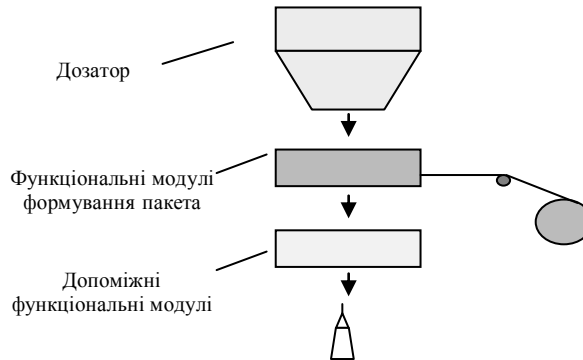


Рис. 6. Технологічна схема машини для пакування сипких речовин

Наступна проектна процедура – це розміщення вибраного набору функціональних модулів у компонованні машини, їх розподіл за позиціями. Тут враховуються такі обмеження, як кількість функцій, що виконуються функціональним модулем, кількість зв'язків кожного з них, сумарна площа, займана кількістю функціональних модулів. Отже, на стратегічному рівні кожна тактична ситуація (вихідні дані або необхідний результат) оцінюється за наявністю в ній відомих смислових структур. Наприклад, під час проектування компоновання технологічної машини смислові структури виражаються поняттями “горизонтальне розміщення позицій”, “кругове розміщення позицій”, “складна позиція з кількох функціональних модулів” тощо. На тактичному рівні виконуються спроектовані із стратегічного рівня шляхом декомпозиції типових завдань тактичні завдання, наприклад, утворення технічних засобів для реалізації певного переходу.

Окремі модифікації компоновань машин відрізнятимуться видом функціональних модулів, їх кількістю.

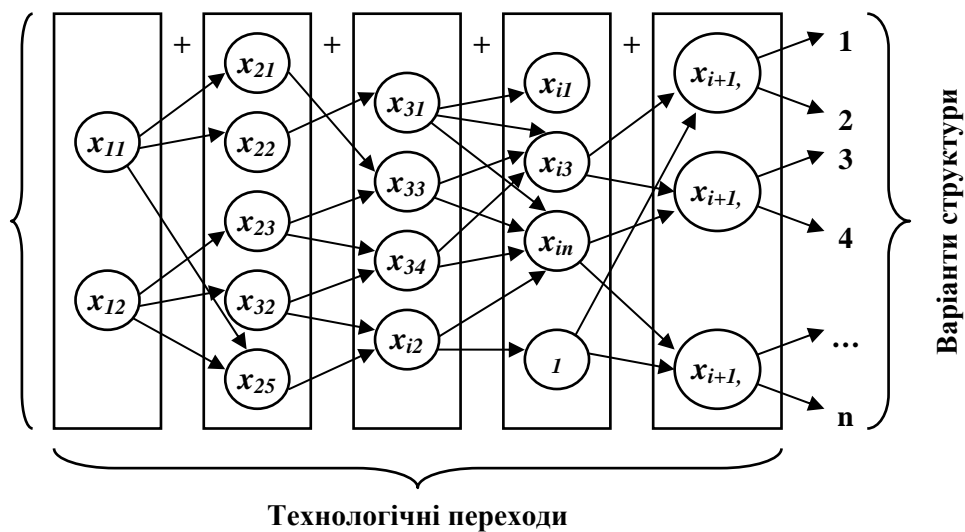
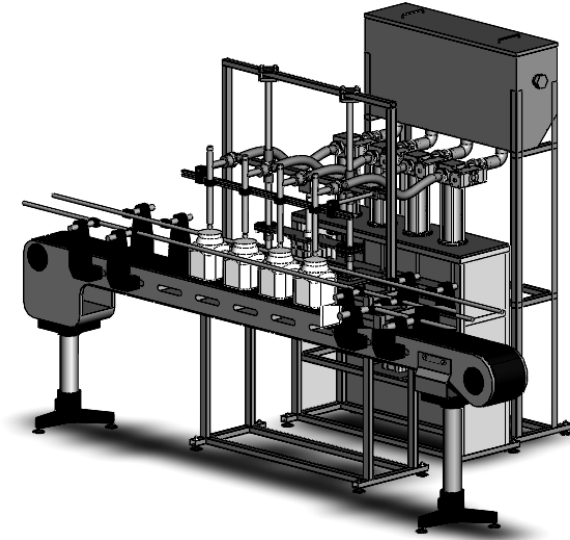


Рис. 7. Модель оптимізаційного синтезу структури машини

**Конструювання і розроблення робочого проекту.** Після закінчення оптимізаційного синтезу функціонально-модульної структури технологічної машини підсистема віртуального моделювання, використовуючи 3D-моделі типових функціональних модулів, дає змогу побудувати віртуальну 3D-модель проектованої машини і створити автоматично її конструкторську документацію, необхідну для виготовлення і експлуатації.\*



*Рис. 8. 3D-модель технологічної машини  
для пакування в'язких продуктів*

**Висновок.** Як бачимо, в інтелектуальній САПР використовуються евристичні алгоритми оптимізаційного синтезу робочого процесу у машині, технологічної схеми і компонування машини із використанням експертних знань для побудови процедур синтезу і оцінки технічних рішень.

---

\*Пальчевський Б.О. Інформаційні технології проектування технологічного устаткування. – Луцьк: Вид-во Луцького НТУ, 2012. – 572 с.