

**MODELING, OPTIMIZATION,
STRUCTURAL ANALYSIS AND
SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL
COMPLEXES**

**МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ,
СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ І СИНТЕЗ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ**

UDC 004.896 (075.8)

Palchevskiy B., DThSc., Prof.,
Honored Worker of Science and Technology of Ukraine

Lutsk National Technical University / Ukraine

**CONSTRUCTION PRINCIPLES OF INTEGRATED COMPUTER-AIDED
DESIGN SYSTEM OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT**

**ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО
ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ**

Abstract: It is examined the main approaches to CAD designing 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, search range, technological equipment, work process.

PROBLEM STATEMENT

With the current "manual" design technology, the errors are inevitable for which, one have to pay for a long and expensive process of bringing designed technological machine. Currently, almost all design decisions, especially in the early stages, are based on heuristic basis relying on designer's experience and intuition, without adequate justification of decisions and selection of the best option. It does not guarantee high quality projects and requires development of effective human-machine design procedures. Problems arising in the early stages of the designing of technological machines are associated with the solution of semistructured tasks that hardly formalized and therefore are hardly amenable to automation within the existing automated design methodology. Thus, the main defect of modern CAD system is a lack of formalized human-machine methods of designing, especially in the early stage and lack of system transitions between different stages of designing.

MAIN ARTICLE

1. System approach in CAD

System approach is a study principle in which considering the projected technical system, i.e. technological equipment in a whole, but not its separate subsystems. Human activity in designing of such a technological system is targeted, because it is seen as a means of achieving its goals by ensuring a given operation. **Functioning**

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

Ключові слова: проектування, оптимізація, синтез, евристичний алгоритм, область пошуку, технологічне устаткування, робочий процес.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При існуючій "ручній" технології проектування, неминучі помилки, за які доводиться розплачуватися тривалим і дорогим процесом доведення спроектованої технологічної машини. В даний час майже всі проектні рішення, особливо на ранніх стадіях, приймаються на евристичній основі, покладаючись на досвід і інтуїцію розробників, без достатнього обґрунтування рішень і вибору найкращого варіанту. Така ситуація не гарантує високої якості проектів і вимагає розробки ефективних людино-машинних проектних процедур. Завдання, що виникають на ранніх стадіях проектування технологічних машин пов'язані з вирішенням слабоструктурованих завдань, що важко формалізуються, і тому складно піддаються автоматизації в рамках існуючої методології автоматизованого проектування. Таким чином, основний недолік сучасних САПР – це відсутність формалізованих людино-машинних методів проектування, особливо на ранніх стадіях та відсутність системних переходів між різними етапами проектування.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

1. Системний підхід в умовах автоматизованого проектування

Системний підхід – це принцип дослідження, за якого розглядають проектовану технічну систему, тобто технологічне обладнання, загалом, а не окремі його підсистеми. Діяльність людини при проектуванні такої технологічної системи має цільовий характер, оскільки вона розглядається як засіб досяг-

is a process in the machine and its environment that steadily implement fixed goal. If in technical task the requirement is to ensure the manufacture of products without human intervention, then it is the process of designing the machine.

Technological automate (from gr. *automates* – the one that acts by itself) is a technological machine, that for a given program without the personal commitment of the person performs all functioning operations in obtaining processes, transformation, transmission and usage of energy, materials or information for getting the product. **Purpose** – an abstract model of the required technological equipment that enables to solve technological problems that arose. For technological machines, this problem is formulated as follows: to ensure the right quality of products with a given productivity and the lowest cost on given production conditions during machine functioning.

The task of a system concept is optimization of the whole system, but not an increasing of efficiency of its constituent subsystems.

Elements are those parts of the system that are seen as inseparable. Other parts of the system are called **subsystems**.

The model structure of system describes the subsystems and elements of which it is formed.

To ensure the functioning of a given technological system also needed properly connect the elements among themselves, i.e. to establish specific links between elements - **relation**. The set of necessary and sufficient, to achieve the goal, relations between elements of the system is called **a system structure**.

According to the system analysis of computer-aided design system with complication of the original task the following methods for automated CAD can be used, that is:

- **information-retrieval system**, which is based on the selection of ready information on the set of input data that define the selection criteria. The variant scheme of designing is realized by selecting from a library the standard solutions of a given structure and its partial modification to adapt to new conditions of using. The system performs the searching of similar cases in the database. The algorithms of searching are based on a comparison of characteristic parameters of the initial and current technology solutions in the database. Indicators of technical task are used as parameters. The use of information retrieval systems due to the fact that after the TOR for designing technological machines often advisable search in database (DB), which contains archive projects, analogues that meet the task. If analog fully meets the task, the necessity in design may fall away;

- **variant design**, which is based on the usage of different design procedures on basis of known or newly designed heuristic methods, logical or mathematical algorithms. Input information is TOD

нення мети шляхом забезпечення її заданого функціонування. **Функціонування** – це процеси, що відбуваються в машині та її навколишньому середовищі, які стабільно реалізують фіксовану мету. Якщо в технічному завданні висувається вимога забезпечити виготовлення виробів без участі людини, то мова йде про проектування технологічного автомату. **Технологічний автомат** (від гр. *automates* – той, що сам діє) – це технологічна машина, що за заданою програмою без особистої участі людини виконує всі операції функціонування в процесах одержання, перетворення, передачі та використання енергії, матеріалів або інформації для отримання виробу. **Мета** – це абстрактна модель бажаного технологічного обладнання, яке дає змогу розв'язати технологічну проблему, що виникла. Для технологічних машин ця проблема формулюється наступним чином: забезпечити при функціонуванні машини виготовлення виробів потрібної якості із заданою продуктивністю і найнижчою собівартістю при заданих умовах виробництва.

Завдання системного підходу — оптимізація технологічної системи в цілому, а не підвищення ефективності її складових підсистем.

Елементами називають ті частини системи, що розглядаються як неподільні. Інші частини системи називаються **підсистемами**.

Модель складу системи описує підсистеми й елементи, з яких її утворено.

Для забезпечення заданого функціонування технологічної системи потрібно ще й правильно з'єднати елементи між собою, тобто встановити між елементами певні зв'язки — **відношення**. Сукупність необхідних і достатніх для досягнення мети відношень між елементами системи називається **структурою системи**.

Відповідно до системного аналізу автоматизованого проектування при ускладненні вихідного завдання можуть використовуватися такі методи автоматизації проектних робіт [1]:

- **проектування на основі інформаційно-пошукових систем**, яке засновано на відборі готової інформації по заданих вхідних даних, які визначають критерії відбору. Варіантна схема проектування 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 проектування технологічної машини часто доцільний пошук в базі даних, яка містить архів проектів, аналогів, що задовольняють поставлене завдання. Якщо аналог повністю відповідає завданню, то необхідність у проектуванні може відпасти;

- **варіантне (компонувальне) проектування**, яке базується на використанні різних процедур про-

of technological machine that has description of input and output data of projected technological machine. Using known methods of designing the known technical solutions to obtain several alternative design solutions for selecting the best of them are put in the project. The composed scheme of designing provides the object composing, i.e. the synthesis of the elements of its structure by given rules. Structural synthesis is the most difficult design procedure for formalizing. In existing CAD in most cases synthesis is performed by a human and ECM is used for verification of the proposed variants. Variability is provided by that in the system, for example, that graphs AND / OR are used, which is caused by the choice of OR type, which is a generalization grade of functional component of designed technological machines.

- **searching design** as a method of search designing is oriented to synthesis of innovative design solutions (method, device) with using an existing design-and-engineering or design-and-technological potential. These systems are based on the knowledge available in metasystems. If you have any problems during the designing of technological machine through its layout of elements on the given rules, the variant scheme of designing starts to work. Integrated CAD should unite local CAD that solves several local problems related with each other, that is [1-3]:

- the problem of modeling and analysis of the product structure to determine the sequence of its formation;
- the problem of optimization synthesis of technological operation structure and formation of machine technological structure;
- the problem of optimization synthesis of technology machine layout.

In the first method of **information-retrieval** system the system searches similar cases in the database. If the found analog does not fully meet the task, it is necessary to use other methods of design.

In the second method of designing - **variant-design** is carried out by distinguishing variant from the generalized structure that describes the class of designed objects usually presented in the form of AND-OR-graphs.

If the problem arises during designing of technological machine through its layout of elements on the set rules, the **searching design** scheme starts to work. In the third method (searching) of designing technological machine becomes a complex task with a variable design object (product – work process - the structure of the machine). It can be divided into separate simple tasks, to create subsystems of automated design and combine these subsystems into an integrated system-aided design - CAD. In the synthesis algorithms there are blocks of formation of the next variant of its evaluation and decision-making. The selection of completed structures is used when rating of intermediate variant is

ектування на основі відомих або новостворених евристичних методів комбінаторики, логічних або математичних алгоритмів. Вхідною інформацією є технічне завдання на проектування технологічної машини, що містить опис її вхідних і вихідних даних. За допомогою відомих методів проектування в проєкт закладаються відомі технічні рішення з отриманням шляхом комбінування кількох альтернативних проєктних рішень для вибору з них найкращого. Компонувальна схема проектування передбачає здійснення компонування 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 пропонуваніх 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 компонент із складу проєктованої технологічної машини.

- **пошукове проектування** як метод проектування, 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 проектування технологічної машини шляхом її компонування з елементів по заданих правилах, починає працювати інтегрована схема проєктування. Інтегрована САПР повинна об'єднувати локальні САПР, що розв'язують декілька локальних задач, пов'язаних між собою [1-3]:

- 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.

При першому методі **проектування 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 проектування.

При другому методі проектування **варіантне компонувальне проектування** 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. Утруднення при цьому пов'язані з можливими обмеженнями на сумісність способів реалізації ознак: наприклад, $S_{ij} + C_{kl} = \text{false}$, що означає заборону на одночасне включення елементів E_{ij} і E_{kl} в структуру системи.

При виникненні проблеми в ході проектування технологічної машини шляхом її компонування з елементів по заданих правилах, починає працювати схема **пошукового** проектування. При третьому

complex, so the completed structures of objects should be created in a unit of formation as, for example, it can be made for the layout of the technological machine. The set capacity of possible variants can be so large that the whole selection is impractical. In such cases, the selection may be only partial, based on approximate (heuristic) algorithms.

Another variant of implementation of structural synthesis is carried out by increasing of a structure adding design modules to some of the primary structure with the rating of intermediate variants of the structure. Generation of variants in this case is directed, and the first variant that was generated often becomes final. Therefore, algorithms of increasing are faster compared with surmountable, but less accurate.

On the other hand, the interconnection in a CAD system except searching design, and also information-retrieval and variant design (vertical merging) will provide increasing degree of automation and complexity of the design process. This approach allows to create a class of integrated CAD [2].

This integrated CAD system essentially combines the benefits of designing on the basis of researching information in the database of ready technical solution that will satisfy the TOR (**Information-Retrieval CAD**). In the absence of results closer prototype is selected and on the basis of expertise is modified to meet the requirements of the TOR (**variant CAD**). In the absence of result the synthesis product model and its transformation into a machine work process model is carried out, and this, the last – in the model of the technological machine structure (searching CAD).

2. Modeling features in the searching design

The most complex method of designing is searching design, which includes procedures of analysis and synthesis, simulation and optimization, choice-making etc. The main purpose of the design is to create model of not yet existing object by systematic purposeful activity, which will ensure the functioning of the set. It is needed to build system of models with which you can compile, transmit and improve the results of such activities.

The detailed design of technological machine is a detailed model of which is formed by sequential processing and converting the output

методі (пошуковому) проектування технологічної машини стає складною задачею із змінним об'єктом проектування (виріб – робочий процес – структура машини), то її можна розбити на окремі простіші задачі, створити підсистеми їх автоматизованого проектування і об'єднати ці підсистеми в інтегровану систему автоматизованого проектування – 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 [2].

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**).

2. Особливості моделювання при пошуковому проектуванні

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 шля-

common model, that is given the terms of reference (TOR). For a task designing it is needed to build system models that can help to detail, to summarize and to transfer the project design step by step. Many of these problems of designing technical systems can be formalized well enough, reduced to mathematical models that allow one to put and solve optimization problems.

It is set some processing environment of functional modules in which the performance of CAD is to achieve technical solution, set by technical conditions of some initial situation, set by TOR, through plan actions $P_0 = \{p_i\}$, where $p_i = 1, \dots, n$ - the design procedure.

To set technical conditions in this processing environment means to specify properties $c_j \in C_0$ of functional modules $\Phi M_k \in A_0$ and the relation between them $r_m \in R_0$. The model of processing environment of functional modules can be represented as

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

and task of planning design procedures can be formulated as follows: set TOR and technical conditions should be built on executive procedures $p_i \in P_0$ plan design P_0 , which being applied to TOR, allows to achieve technical conditions.

In solving this issue the problems usually occur. The searching design plan is complicated because of the large-scale of search space. Thus, CAD requires more general, in relation to the M_0 model of processing environment of functional modules.

The designing process of technological machine provides functional design, on which a functional model of work process in the machine is created, and structural design, on which structure model of the machine is created on its basis. Obviously, the functional description is more general, since each technical function can be realized in many variant construction elements of the machine. And conversely, each variant of machine design element can implement only a single function – the very one for which it was created. From this reasoning it follows that a functional model is more general than structural. This model describes coarsely the properties of functional modules - only their functional purpose.

Let C_1 – set, obtained by coursing to the functionality purpose of the properties of functional modules $c_j \in C_1$, P_1 – set of procedures of constructing a simplified technical solution, $A_1 \leq A_0$; $R_1 \leq R_0$. Then the simplified model of production environment of functional modules can be the following

хом 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, 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 $c_j \in C_0$ функціональних модулів $\Phi M_k \in A_0$ і відношення між ними $r_m \in R_0$. Модель виробничого середовища функціональних модулів можна представити у вигляді

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 елементу 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

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

and setting tactical task of design and its solution – as a set of $P_1 = p_1 \dots, p_{in}$. When designing technical equipment model M_1 meets the technological scheme, in which reordering relation of FM and their placement in the workspace are set.

Further coarsening of processing environment model M_2 represented as a generalization of module functions $\Phi M_k \in A_2$ to technological transformation level of product, which properties are characterized by the possibility of creating structural and technological elements of the product $c_j \in C_2$, and relation $r_m \in R_2$ between which their consistency and possibility of combining in time and space are determined between them

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

Model of production environment M_2 presents technological transformation of product $\tau_k \in A_2$, whose properties $c_j \in C_2$ and relation $r_m \in R_2 = \pi$ between which design, functional and technological requirements precedence are determined by. Obviously, due to the coarsening in simplified model of production environment of functional modules M_1 become vague separate functional modules and design procedures. However, this simplification can significantly reduce the space dimension of finding solutions. Obviously M_2 model is a close functional description of the machine at describing level of functioning of some hypothetical FM and their connections that is a generalized description of the work process in the technological environment.

And, finally, the source data for the designing can also be presented in the form of system (conceptual) model of product, performance over which project analysis procedures will allow to obtain the sequence description of elementary operations of product manufacturing as a model of sequence formation of product M_3

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

In this case the sequence of design models will be

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

and set of design procedures for solving the task of designing is defined as

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

а постановку тактичного завдання проектування та його рішення – у вигляді сукупності $P_1 = p_1 \dots, p_{in}$. 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 $\Phi M_k \in A_2$ 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

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 невиразними 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, накінець, 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

В цьому випадку послідовність проектних моделей набере вигляду

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

Procedures of technical solutions output in designing are distributed by the following stages:

1. Insertion of initial knowledge and data of product type, which can be made on the projected technological machine and the construction of its concept model.

2. Construction preceding matrix based on the usage of precedence production rules. The sequencing of the formation of KTE product selected through the application of computational algorithm of processing precedence matrix that is included in the CAD.

3. Structure formation of technological operation using the rules of production and computational algorithms, the formation of the machine technological scheme of functional modules.

4. Optimization design set of modules for implementing the technological scheme based on selected criteria by one of the optimization algorithms that are part of the CAD.

3. CAD automate procedures of technological equipment

There are some widely known procedures (operations) that are targeted in any project **P** activities: modeling, information transfer in time and space, receiving new information. With automated design the major advantage is availability of many alternatives of design solutions. Then in the design, there are two very important steps:

1) creation of alternative sets from which one have to choose;

2) to determine objectives for the achievement of which the choice is made.

Thus we assume that the goals defined in such detail that criteria for evaluation and comparison of all alternatives already exist. But the problem is that to find the best for the given conditions in the output set, i.e. optimal alternative. That is, we should know criterion for evaluating alternatives, way of comparing options and finding the best of them. So let's consider another project operation, which necessarily included to the design process - the choice of alternative from obtained at various stages of design options of design solutions.

The decision-making is an action over alternative sets due to which subset of selected alternatives is received. It is possible to reduce the alternative sets if there is a way to compare the alternatives with each other and determine the best. If each separate alternative can be evaluated by a specific number (criterion value), then alternative comparison comes down to a comparison of appropriate numbers. The best alternative x^* – is the one in which the criterion $q(x)$ takes its largest (or smallest) value. To find the best alternative is very difficult, because in practice, to assess any option in one number is usually unacceptable simplification. To consider the alternatives fully it is needed to evaluate them

Процедури виведення технічних рішень при проектуванні розподілені по наступних етапах.

1. Введення початкових знань і даних про вид виробу, який може виготовлятися на проектуваній 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.

3. Автоматизація процедур САПР технологічного обладнання

Загальновідомими є деякі з процедур (операцій), що входять у будь-яку цілепрямовану проектну діяльність **P**: моделювання, перенесення інформації в часі та просторі, одержання нової інформації. При автоматизованому проектуванні основною перевагою стає наявність багатьох альтернатив проектних рішень. Тоді при проектуванні виникають два надзвичайно важливі етапи:

1) породження множини альтернатив, з яких потрібно вибирати;

2) визначення цілей, заради досягнення яких роблять вибір.

При цьому вважатимемо, що цілі визначено настільки детально, що вже існують критерії оцінки й порівняння будь-яких альтернатив. Але тут проблема полягає в тому, щоб у вихідній множині знайти найкращі для заданих умов, тобто оптимальні, альтернативи. Тобто нам повинен бути відомий критерій оцінки альтернатив, спосіб порівняння варіантів і відшукування найкращого з них. Тому розглянемо ще одну проектну операцію, яка обов'язково входить до процесу проектування – вибір альтернативи із отриманих на різних етапах проектування варіантів проектних рішень.

Ухвалення рішення – це дія над множиною альтернатив, у результаті якої отримують підмножину обраних альтернатив. Можна зменшити множину альтернатив, якщо є спосіб порівняння альтернатив між собою та визначення найкращих. Якщо кожному окремо взяту альтернативу можна оцінити конкретним числом (значенням критерію), то порівняння альтернатив зводиться до порівняння відповідних їм чисел. Найкраща альтернатива x^* – є такою, за якої критерій $q(x)$ набуває свого найбільшого (або найменшого) значення. Відшукати найкращу альтернативу дуже складно, тому що на практиці оцінювати будь-який варіант одним числом – це зазвичай неприйнятне спрощення. Щоб повніше розглянути

not on one but on several criteria that qualitatively differ.

Let's consider the most well-known solutions ways for multicriterion problem.

1. The first way is to reduce the multicriterion problem to a onecriterion. This means that you must enter scalar function of a vector criterion

$$q(x) = q[q_1(x), q_2(x), q_3(x), \dots, q_n(x)].$$

Complex criterion allows to organize alternative by the values of the function $q(x)$, highlighting the best. A function $q(s)$ depends on how we imagine the contribution of each criterion in the complex criterion. For getting a complex criterion is commonly used additive or multiplicative functions:

$$q(x) = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i \cdot q_i}{s_i};$$

$$1 - q(x) = \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{\beta_i \cdot q_i}{s_i}\right).$$

Coefficients S_i ensure, firstly, no dimension frequency criterion and, secondly, the execution of condition $\frac{\beta_i q_i}{s_i} \leq 1$. Coefficients α_i and β_i

reflect the relative contribution of partial criteria in supercriterion.

2. Another way of multicriterion choice, which can be fully formalized, lies in the rejection of isolating a single "best" alternative and keeping agreements that advantage of one alternative before the other one can be given only when first criteria is better than the second one. If the advantage of at least one criterion does not match with advantage of another, then adopted alternatives form **set of Pareto**, and the choice ends.

3. The choice can be described by another in more common way – through **language binary relations**. Its larger, in comparison with criterion language, universality is based on consideration of the fact that in reality is often difficult or impossible to assess alternative taken separately; but when viewing it in isolation way not in pair with another option, you can specify which one is better.

Thus, the basic assumptions of languages binary relations are the following:

- separate alternative is not measured, that is criteria function is not carried out;
- for each pair of alternatives (x, y) once you may find out, that one of them dominates the other or they are equal;
- relation of benefit in any pair of alternatives does not depend on the other alternatives offered for selection.

Binary relation R on a set X is a subset of ordered pairs (x, y) . It is conveniently to use the

альтернативи, потрібно оцінювати їх не за одним, а за декількома критеріями, що якісно різняться між собою.

Розглянемо найбільш відомі способи розв'язування багатокритеріальних задач.

1. Перший спосіб полягає в тому, щоб звести багатокритеріальну задачу до однокритеріальної. Це означає, що потрібно ввести скалярну функцію векторного критерію

Комплексний критерій дає змогу впорядкувати альтернативи за значеннями функції $q(x)$, виділивши тим самим найкращу. Вигляд функції $q(x)$ залежить від того, як ми уявляємо собі внесок кожного критерію в комплексний критерій. Для отримання комплексного критерію зазвичай використовують адитивні чи мультиплікативні функції:

Коефіцієнти S_i забезпечують, по-перше, безрозмірність частинного критерію i , по-друге, виконання умови $\frac{\beta_i q_i}{s_i} \leq 1$. Коефіцієнти α_i та β_i

відображають відносний внесок частинних критеріїв у суперкритерій.

2. Інший спосіб багатокритеріального вибору, який можна повністю формалізувати, полягає у відмові від виокремлення єдиної «найкращої» альтернативи та дотримуванні угоди про те, що перевагу одній альтернативі перед другою можна віддавати тільки тоді, коли перша за всіма критеріями краща, ніж друга. Якщо ж перевага хоча б за одним критерієм не збігається з перевагою за іншим, то прийняті альтернативи утворюють **множину Парето**, і на цьому вибір закінчується.

3. Вибір можна описувати також іншим, загальнішим способом – за допомогою **мови бінарних відношень**. Її більша порівняно з критеріальною мовою загальність ґрунтується на врахуванні того, що в реальності часто важко чи неможливо оцінити окремо взятую альтернативу; однак якщо розглядати її не окремо, а в парі з іншою альтернативою, то можна зазначити, яка з них краща.

Отже, основні припущення мови бінарних відношень такі:

- окрему альтернативу не оцінюють, тобто не вводять критеріальну функцію;
- для кожної пари альтернатив (x, y) якимось можна виявити, що одна з них переважає іншу або вони рівноцінні;
- відношення переваги всередині будь-якої пари альтернатив не залежить від інших альтернатив, пропонує для вибору.

Бінарне відношення R на множині X означають як певну підмножину впорядкованих пар (x, y) . Зручно

notation $x R y$, if x is in R relation with y , not with xRy . The set of all pairs $\{(x, y): x, y \text{ is } X\}$ is called **complete (universal) binary relation**.

To set a relation means on one way or another to mention all pairs (x, y) , for which the ratio R is made. They can be set using a matrix or graph. In the case of finite sets it is very convenient to find the best alternatives through graph advantages, which arrows are directed towards a less preferred alternative.

3.1. Instances of automation procedure of preceding binary relation

To determine the sequences of forming the elements of product we use procedure of preceding binary relations. The input source is information about product design – individual detail – in its structural model (Fig. 1, Table 1).

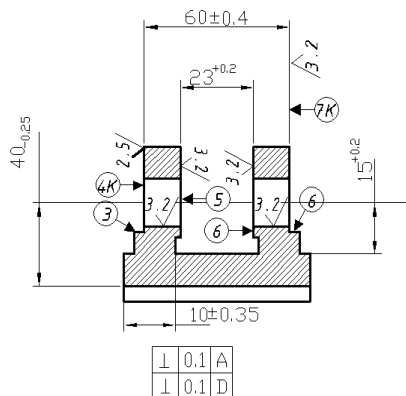
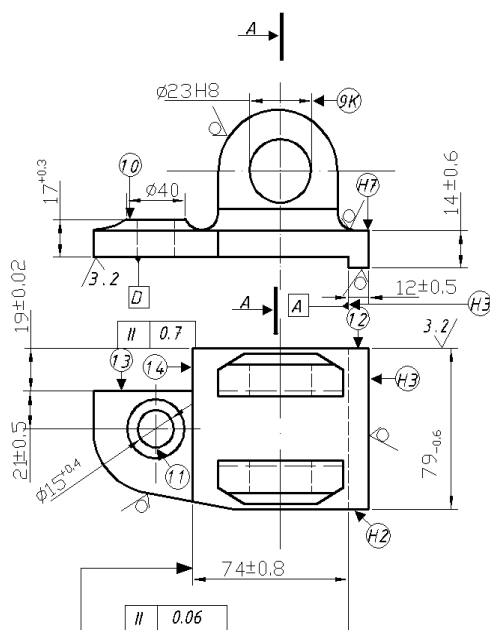


Fig.1 – Swivel pad; material: cast iron of brand SCH18; 1.8 mm allowance on all surfaces / Опора поворотна; матеріал: сірий чавун марки СЧ18; припуск 1,8 мм на всіх поверхнях

The resulting initial document is the sequence creation of its elements. Models of products in modern systems are geometric, while for design automation is reasonable to create a conceptual model. Conceptual model of parts based on the notion of design and technological elements (DTE).

On sequence of creation of product and formation of its quality parameters affect the functional, design and technological limitations that allow to distinguish three groups of precedence relation [3]:

- *functional relations of precedence*, that are imposed by the conditions of product functioning;
- *designing relations of precedence*, that are imposed by the conditions of spatial arrangement of details and some parts of surfaces in product

використовувати позначення $x R y$, якщо x перебуває у відношенні R з y , а не то xRy . Множина всіх пар $\{(x,y): x,y \in X\}$ називається **повним (універсальним) бінарним відношенням**.

Задати відношення – це значить тим чи іншим способом зазначити всі пари (x,y) , для яких виконується відношення R . Їх можна задати за допомогою матриці або графа. У разі скінченних множин дуже зручно знаходити найкращі альтернативи за допомогою графа переваг, стрілки якого спрямовані в бік менш переважної альтернативи.

3.1. Приклад автоматизації процедури бінарного відношення передування

Для визначення послідовності формування елементів виробу використаємо процедуру бінарних відношень передування. Вхідним джерелом служить інформація про конструкцію виробу – окремої деталі – у вигляді його структурної моделі (рис. 1, табл. 1).

Результуючим вихідним документом є послідовність створення його елементів. Моделі виробів в сучасних системах є геометричними, тоді як для автоматизації проектування доцільно створити модель концептуальну. Концептуальна модель деталі ґрунтується на понятті конструкторсько-технологічного елемента (КТЕ).

На послідовність створення виробу та формування його параметрів якості впливають функціональні, конструкторські та технологічні обмеження, що дозволяє виділити три групи відношень передування, а саме [3]:

- *функціональні відношення передування*, що накладаються умовами функціонування виробу;
- *конструкторські відношення передування*, що накладаються умовами просторового розташування деталей та окремих поверхонь в конструкції

design;

• *technological relations of precedence*, that are imposed by the conditions of product manufacturing.

виробу;

• *технологічні відношення передування*, що накладаються умовами виготовлення виробу.

Table 1

Dimensions of swivel pad, mm / Розміри опори поворотної, мм

Marking surfaces DTE / Позначення Поверхонь КТЕ	Surface characterization / Характеристика поверхонь			Relation with the base surface / Зв'язок із базовою поверхнею				Plan of surface processing / План обробки поверхні	
	R _a , mkm / R _a , мкм	IT, mkm / IT, мкм	Geometric accuracy, mm / Геометрична точність, мм	Processed / Обробленою		Unprocessed / Необробленою			
				dimensional / розмірний	geometrical / геометричний	dimensional / розмірний	geometrical / геометричний		
1	6.3	1000	Alignment tolerances 0.05 mm / Допуск співвісності 0.05 мм			H ₁ , 12±0.5		roughing / чорнова	
2	3.2	1200					H ₂ , 14±0.6		roughing / чорнова
3	6.3	600		9→15 ^{+0.6}					roughing / чорнова
4K	2.5	200		5→16 _{-0.2}					roughing finishing / чорнова чистова
5	3.2	700		12→25 ^{+0.3}					roughing / чорнова
6	3.2	200		5→28 ^{+0.2}					roughing / чорнова
7K	2.5	200		4→60 ^{+0.4}					roughing finishing / чорнова чистова
8	6.3	600		9→15 ^{+0.6}					roughing finishing / чорнова чистова
9K	3.2	160		2→40 _{-0.16} 1→30 ^{+0.1}					roughing finishing /
10	6.3	300		2→17 ^{+0.3}					roughing / чорнова
11	6.3	400		13→21 ^{+0.5} 1→80 ^{+0.4}	Parallelism tolerances 0.1 mm / Допуски паралельності 0.1 мм				roughing / чорнова
12	3.2	600					H ₂ , 79 _{-0.6}		roughing / чорнова
13	6.3	400		12→19 ^{+0.2}					roughing / чорнова
14	6.3	1600		1→74 ^{+0.8}	Parallelism tolerances 0.1 mm / Допуски паралельності 0.1 мм				roughing / чорнова

In the most general case, drawing of details includes several kinds of dimensions that link DTE at various stages of processing in detail:

- H dimensions link raw DTE and their surfaces (workpiece size);
- P dimensions link DTE and surface of one phase of processing, for example, prefinished;
- coordination dimensions of relation link surfaces of raw DTE with prefinished DTE surfaces and those in turn – with finished DTE surfaces.

To automate the process of determining the order of execution DTE was created **PreMat** program, which automates the process of analysis of preceding binary relations between DTE (Fig. 3).

В найбільш загальному випадку креслення деталі включає декілька видів розмірів, що зв'язують КТЕ на різних етапах обробки в деталі:

- розміри H, що зв'язують необроблені КТЕ і їх поверхні (розміри заготовки);
- розміри P, що зв'язують КТЕ і поверхні одного етапу обробки, наприклад, оброблені начорно;
- координаційні розміри зв'язку, що зв'язують поверхні необроблених КТЕ з поверхнями оброблених начорно КТЕ, а ті, в свою чергу, – з поверхнями оброблених начисто ГЕ.

Для автоматизації процесу визначення даного порядку виконання КТЕ була створена програма **PreMat**, яка дозволяє автоматизувати процедуру аналізу бінарних відношень передування між КТЕ (рис. 3).

Surfaces to be processed / Поверхні, які треба обробити	Work surfaces / Поверхні заготовок			Surfaces to be processed / Поверхні, які треба обробити										Finished outline / Чистовий контур		Processing stages / Етапи обробки						
	H1	H2	H3	M1	M2	M3	M4	M5	M6	10	11	12	4K	7K	Σ	0	I	II	III	IV	V	VI
	H1	1														0	0					
H2		1													0	0						
H3			1												0	0						
M1				1											2	2	0					
M2					1										2	2	0					
M3						1									1	1	0					
M4							1								2	2	2	0				
M5								1							1	2	2	1				
M6									1						1	1	0					
10										1					1	0	1					
11											1				3	3	1					
12												1			1	0						
4K													1		2	2	1	1	0	0		
7K														1	2	2	2	2	1	1		

Fig. 2 – Preceding binary relations between swivel pad surfaces (see fig.1) / Бінарні відношення передування між поверхнями опори поворотної (див. рис. 1)

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	0	I	II	III	IV	V	
E1	1														0	E1					
E2		1													0	E2					
E3			1												0	E3					
E4				1											2	0	E4				
E5					1										2	2	0	E5			
E6						1									1	1	0	E6			
E7							1								2	2	2	0	E7		
E8								1							2	2	2	1	0	E8	
E9									1						1	1	0	E9			
E10										1					1	1	0	E10			
E11											1				3	3	2	0	E11		
E12												1			1	0	E12				
E13													1		2	2	1	1	0	E13	
E14														1	2	2	2	2	2	0	E14

Fig. 3 – Preceding binary relations matrix with steps of preceding I-V (see fig.3: E1-E3 = H1-H3; E4-E9 = M1-M5) / Матриця бінарних відношень передування зі ступенями передування I-V (див.рис.3: E1-E3=H1-H3; E4-E9=M1-M5)

Reflection of formation DTE swivel pad (operations or conversions) is shown in a graph form of processing sequence (Fig. 4).

Відображення порядку формування КТЕ опори поворотної (виконання операцій або переходів) показано у вигляді графа послідовності обробки (рис. 4).

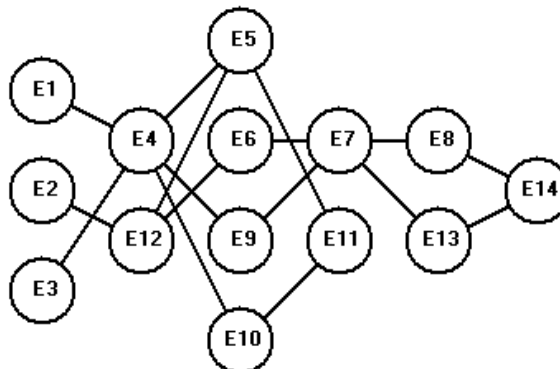


Fig. 4 – Reflection of processing sequence of swivel pad (left to right) / Відображення порядку обробки опори поворотної (зліва направо)

3.2. The automated process of structure synthesis of technology equipment through the usage of "AND-OR graph"

Aggregation operation, i.e. combining of some elements in a single unit is opposite to decomposition. In the most general form - *aggregation can be defined as establishing relations on a given set of elements*. Due to considerable freedom of choice in that, what consider as an element, how plurality of elements is formed and what ratio is set on this set, arise a very large quantitatively and diverse qualitatively set of aggregation results. The most important form of aggregation on the synthesis is the formation of structures. During synthesis creates a structure of future technological machine.

This graph includes nodes that correspond to necessarily included elements, and nodes containing alternative element. For the optimization synthesis should be used certain quality indicators in the formation of graph. In such ambiguous graph the computer selects requirements that correspond to each element and forms the technical description of the system.

A method is given for technical systems that have lots of modifications, but on a physical process, that is realized, a little differ among themselves. As we see, processing lines and multistage machines refer to such technical systems.

When building the "and-or" tree technical system should be divided into functional elements – the functional modules (FM). FM types form the nodes of the first level of hierarchy with connections of "and" type. They define the main design features of the technological machine. For each functional element in a first level determine the essential features that are represent in the node-forms of a second level, with "or" type relations that describe alternatives:

1. spatial relations – the type of mutual position of FM to each other (close, above, below, inside, etc.);
2. functional relations – movable, unmovable with the possibility of linear or circular movement etc.
3. options of geometry form, material, parameter correlation of elements;
4. the other features of design elements – the principle of action, used energy, manufacturing technology etc.

If some elements are detailed not enough, then node of the third level is made for them, where FM features elaborate.

Assessment of options based on the calculation of indices *and*-nodes using node indices of the second level (elements and features that are united by *and*-node. In this case, such calculation options are possible:

In developed software [4] searching of technical solution starts with narrowing of deleting search area of *and-or*- tree choiceless nodes (they are

3.2. Автоматизована процедура синтезу структури технологічного обладнання на основі використання графа «І-АБО»

Операція агрегування, тобто об'єднання декількох елементів у єдине ціле, протилежна до декомпозиції. У найзагальнішому вигляді *агрегування можна означити як устанавлення відношень на заданій множині елементів*. Унаслідок значної свободи вибору в тому, що саме розглядати як елемент, як утворено множину елементів і які відношення встановлено на цій множині, виникає дуже велика кількісно й різноманітна якісно множина результатів агрегування. Найважливіша на етапі синтезу форма агрегування – утворення структур. Під час синтезу створюється структура майбутньої технологічної машини.

Такий граф включає вершини, що відповідають обов'язково включеним елементам, і вершини, що містять альтернативні варіанти елемента. Для проведення оптимізаційного синтезу необхідно використати при утворенні графа певні показники якості. Комп'ютер вибирає в такому двозначному графі вимоги, що відповідають кожному елементу, і формує опис технічної системи.

Метод надається для технічних систем, які мають багато модифікацій, однак по фізичному процесу, що в них реалізується, мало відрізняються між собою. Як бачимо до таких технічних систем відносяться технологічні лінії і багатопозиційні машини.

При побудові дерева «і-або» технічну систему слід розділити на функціональні елементи – функціональні модулі (ФМ). Типи ФМ утворюють вершини першого рівня ієрархічного дерева, що мають зв'язки виду «і». Вони визначають головні конструктивні ознаки технологічної машини. Для кожного функціонального елемента першого рівня визначають суттєві ознаки, які зображають в вигляді вершин другого рівня, які мають зв'язки виду «або», які описують альтернативи:

1. просторових зв'язків – вид взаємного розташування ФМ відносно один одного (поряд, зверху, знизу, всередині тощо);
2. функціональних зв'язків – рухомо, нерухомо, з можливістю лінійного чи кругового переміщення тощо;
3. варіанти геометричної форми, матеріалу, співвідношення параметрів елементів;
4. інші особливості конструктивного виконання елементів – принцип дії, використовувана енергія, технологія виготовлення тощо.

Якщо деякі елементи недостатньо детально описані, то для них створюють вершини третього рівня, де деталізують ознаки ФМ.

Оцінка варіантів базується на обчисленні показників *i*-вершин за допомогою показників вершин другого рівня (елементів і ознак, що об'єднані *i*-вершиною. При цьому можливі такі варіанти обчислення:

В розробленій програмі [4] пошук технічного рішення починається звуженням області пошуку видаленням із *i*-або-дерева безальтернативних вершин (вони входять в технічне рішення авто-

included in the technical solution automatically) and nodes that do not meet TOD. Then acceptable solutions are chosen on shortened *and-or-tree*.

Then all nodes of *and-or-tree* in order from the last to the root are reviewed. Then the index options with TOD date and among themselves are compared. The algorithm works on the principle of full sorting of possible (defined by compatibility tables) combinations of elements and their features.

CONCLUSIONS

Improvement of computer-aided design system for improving design decisions has three ways:

1. Optimization synthesis of technical solution is focused on the full automation of well-formalized problems. Optimization reveals considerable reserves of improvement through the new perspectives of developing principle schemes and structure of technological equipment.

2. Creating a knowledge base and expert systems which acquire experience of experts and, indeed, eventually replace experts. Intellectual property of expert systems can be realized thanks to the received from the person (expert) knowledge in a particular subject area in the form of facts (objective knowledge) and heuristic methods (empirical rules), which bring database and knowledge base into machine.

3. Development of human-machine systems of choice of the best technical solutions when the main emphasis on the part of the person who makes a decision, are on trying to formalize the selection task of independent comparison and evaluation, using ECM of different alternatives.

REFERENCES

- [1]. Dietrich J. Designing and design. Systemic approach / J. Dietrich. – Mir, 1981. – 456 p.
- [2]. Kolesnikov A. Methodology and technology of solving difficult problems by methods of functional hybrid intellectual systems / A. Kolesnikov, I. Kirikov. – M.: IPI RAN, 2007. – p. 387.
- [3]. Palchevskiy B. Information technology of technological equipment designing / B. Palchevskiy. – Lutsk: Lutsk NTU Editing and Publishing Department, p. 2012. – 572.
- [4]. Palchevskiy B. Designing of automated optimization synthesis of technical objects structure of using "and-or" trees / B. Palchevskiy, O. Velykiy // Technological complexes, Science journal. – Lutsk: Lutsk National Technical University Publishing, 2011, №2 (4). – P. 23-29.

матично) і вершин, які не відповідають технічному завданню. Потім на вкороченому *i-або-дереві* вибирають допустимі рішення.

Далі переглядають всі вершини *i-або-дерева* в порядку від кінцевих до кореню. Після цього порівнюють показники варіантів з даними технічного завдання і між собою. Алгоритм працює по принципу повного перебирання можливих (визначених таблицями сумісності) комбінацій елементів і їх ознак.

ВИСНОВКИ

Можна виділити три шляхи вдосконалення систем автоматизованого проектування для покращення проектних рішень:

1. Оптимізаційний синтез технічного рішення, орієнтований на повну автоматизацію добре формалізованих задач. Оптимізація розкриває значні резерви поліпшення за рахунок принципово нових перспектив розвитку принципових схем і структури технологічного обладнання.

2. Створення баз знань і експертних систем, які нагромаджують досвід експертів і, власне кажучи, згодом замінять самих 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.

3. 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.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1]. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход / Я. Дитрих. – Мир, 1981. – 456 с.
- [2]. Колесников А.В. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А.В. Колесников, И.А. Кириков. – М.: ИПИ РАН, 2007. – 387 с.
- [3]. Пальчевський Б.О. Інформаційні технології проектування технологічного устаткування / Б.О. Пальчевський. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2012. – 572 с.
- [4]. Пальчевський Б.О., Розробка системи автоматизованого оптимізаційного синтезу структури технічних об'єктів шляхом використання дерев «і-або» / Б.О. Пальчевський, О.А. Великий // Технологічні комплекси, Науковий журнал. – Луцьк: видавництво Луцького НТУ, 2011, №2(4). – С. 23-29.