

Крестьянполь Л.Ю.*Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк*

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Анотація: Експертна система — це методологія адаптації алгоритму успішних рішень однієї сфери науково-практичної діяльності в іншу. З широким розповсюдженням інформаційних технологій це тотожна інтелектуальна комп'ютерна програма, яка містить знання та аналітичні здібності одного або декількох експертів щодо галузі застосування і здатна робити логічні висновки на основі цих знань, тим самим забезпечуючи вирішення специфічних завдань при проектуванні технологічного устаткування без присутності експерта (спеціаліста в конкретній проблемній галузі). Експертна система дозволяє вирішувати задачі у вузькій предметній області. Сучасні реалії впровадження автоматизованого виробництва не забезпечують отримання якісного результату, адже, усі проектні рішення приймаються на основі суб'єктивних знань та інтуїтивних відчуттів. Одним із способів вирішення даної проблеми є розробка формалізованих людино-машинних методів проектування на ранніх стадіях створення проекту технологічного обладнання.

Дане дослідження описує процес розробки експертної системи завданням, якої є вирішення задач моделювання виробу, оптимізаційного синтезу структури технологічної операції та компоновки технологічної машини. У дослідженні автор виділяє етапи процесу проектування технологічного обладнання, виділяє складові компоненти експертної системи та описує процедурну модель процесу проектування. Результатом роботи є розроблена структура програмного та інформаційного забезпечення автоматизованої інформаційної системи для проектування технологічного обладнання. Розроблена система дозволить пришвидшити процес прийняття рішень при проектуванні технологічного обладнання та отримувати компетентні поради. Експертна система служитиме підтримкою для впровадження інтелектуального виробництва та розумного споживання, яке впевнено крокує разом з Четвертою промисловою революцією.

Ключові слова: експертна система, моделювання виробу, інформаційна система, технологічне обладнання, процедурна модель

Krestyanpol L. Yu.*Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk*

EXPERT SYSTEMS IN DESIGN OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Abstract: An expert system is a methodology for adapting an algorithm for successful solutions from one area of scientific and practical activity to another. With the widespread dissemination of information technology, it is an identical intelligent computer program that contains the knowledge and analytical skills of one or more experts in the field of application and is able to draw logical conclusions based on this knowledge, thereby providing solutions to specific problems in the design of technological equipment without the presence of an expert (specialist in specific problem area). An expert system allows to solve problems in a specialized subject area. Contemporary realities of the introduction of automated production do not provide a high-quality result, because all design decisions are made on the basis of subjective knowledge and intuitive feelings. One way to solve this problem is to develop formalized man-machine design methods at the early stages of creating a technological equipment project.

This study describes the development process of an expert system, whose task is to solve problems of product modeling, optimization synthesis of the structure of a technological operation and the layout of a technological machine. In the study, the author identifies the stages of designing technological equipment, identifies the components of an expert system and a procedural model of the design process. The result of the work is the developed structure of software and information management of an automated information system for the design of technological equipment. The developed system will accelerate the process of

decision-making in the design of technological equipment and receiving expert advice. The expert system will serve as the basis for the introduction of intellectual production and reasonable consumption, which is confidently marching along with the Fourth Industrial Revolution.

Keywords: *expert system, product modeling, information system, technological equipment, procedural model*

Крестьянполь Л.Ю.

Волынский национальный университет имени Леси Украинки, Луцк

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация: *Экспертная система – это методология адаптации алгоритма успешных решений одной сферы научно-практической деятельности в другую. С широким распространением информационных технологий это интеллектуальная компьютерная программа, которая содержит знания и аналитические способности одного или нескольких экспертов в области применения и способна делать логические выводы на основе этих знаний, тем самым обеспечивая решения специфических задач при проектировании технологического оборудования без присутствия эксперта (специалиста в конкретной проблемной области). Экспертная система позволяет решать задачи в узкой предметной области. Современные реалии внедрения автоматизированного производства не обеспечивают получения качественного результата, ведь все проектные решения принимаются на основе субъективных знаний и интуитивных ощущений конструктора. Одним из способов решения данной проблемы является разработка формализованных человеко-машинных методов проектирования на ранних стадиях создания проекта технологического оборудования.*

Данное исследование описывает процесс разработки экспертной системы, задачей, которой, является решение задач моделирования изделия, оптимизационного синтеза структуры технологической операции и компоновки технологической машины. В исследовании автор выделяет этапы процесса проектирования технологического оборудования, выделяет компоненты экспертной системы и описывает процедурную модель процесса проектирования. Результатом работы является разработанная структура программного и информационного обеспечения автоматизированной информационной системы для проектирования технологического оборудования. Разработанная система позволит ускорить процесс принятия решений при проектировании технологического оборудования и получать компетентные советы. Экспертная система будет служить основой для внедрения интеллектуального производства и разумного потребления, которое уверенно шагает вместе с Четвертой промышленной революцией.

Ключевые слова: *экспертная система, моделирование изделия, информационная система, Технологическое оборудование, процедурная модель.*

1. Вступ

Проектування сучасного технологічного обладнання вимагає автоматизації початкових етапів проектування. Одним із варіантів розв'язання даної задачі є розробка експертної системи для вирішення задач моделювання виробу, оптимізаційного синтезу структури технологічної операції та компоновки технологічної машини.

Як і будь яка інша система штучного інтелекту, експертна система включає в себе базу знань, яка розміщує у собі інформацію для роботи системи. Формується база знань з досвіду конструкторів. В системі автоматизованого прийняття рішень поняття «знання» відповідає інтеграції інформації, що характеризує об'єкти предметної області, з інформацією, що описує основні закономірності в даній області[1].

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

У роботі [5] елементарна експертна система описується як "одна з найпростіших комп'ютерних програм, що розробляється з точки зору програмування". При розробці

експертної системи це лише необхідність задати ряд питань; ввести відповіді; мати серію тверджень IF-THEN для усунення будь-яких висновків, які не відповідають наданим даним; та вивести висновки, які не були усунені.

У своїх працях Є.Фейнегбаум [4] заклав основи розробки експертних систем та увів поняття «інженерія знань», що в подальшому стало підґрунтям для вирішення неформалізованих проблем, до яких відносять завдання, що володіють однією (або декількома) з наступних характеристик: завдання не можуть бути представлені в числовій формі; вихідні дані і знання про предметну область володіють неоднозначністю, неточністю, суперечністю; мети не можна виразити за допомогою чітко визначеної цільової функції; не існує однозначного алгоритмічного рішення задачі; алгоритмічне рішення існує, але його не можна використовувати через велику розмірність простору рішень і обмежень на ресурси (часу, пам'яті).

В роботах [1, 2, 10] автори описують загальну структуру та функції експертних систем, їх призначення, важливість та необхідність у їх створенні. В роботі J. Liebowitz [5] розглянуто, застосування та майбутні тенденції розвитку експертних систем. В свою чергу С.Хант [11] у своєму дослідженні розглядає завдання розпізнавання образів, машинного доведення теорем, сприйняття машиною навколишнього фізичного світу і, нарешті, розуміння машиною природної мови, на що автор даної статті акцентує свою увагу при розробці інтелектуальної виробничої системи [6].

Однак згадані роботи носять, певною мірою, оглядовий характер. Автор же намагається вирішити прикладне завдання шляхом розробки структури програмного та інформаційного забезпечення автоматизованої інформаційної системи для проектування технологічного обладнання. Для реалізації проектування технологічного устаткування головною невирішеною проблемою є автоматизація початкових етапів проектування і використання результатів моделювання в процесі синтезу. Її рішення дозволить виробляти крізне автоматичне проектування технологічного устаткування, яке забезпечить підвищення швидкості і якості проектування, а також надійність спроектованого устаткування [7].

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є вдосконалення процесу проектування технологічного обладнання шляхом розробки експертної системи для вирішення задач моделювання виробу, оптимізаційного синтезу структури технологічної операції та компоновки технологічної машини.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:

- Виділено та проведено аналіз етапів процесу проектування технологічного обладнання;
- Запропонований підхід до формування інформаційно – логічних моделей технічних об'єктів;
- Розроблена модель структури технічного об'єкта та структура програмного та інформаційного забезпечення автоматизованої інформаційної системи для проектування технологічного обладнання.

4.1. Етапи процесу проектування технологічного обладнання.

Процес проектування технологічного обладнання складається з таких основних етапів рис. 1

Основними вихідними даними для проектування технологічного обладнання (ТО) є технічне завдання (ТЗ) у якому описано функції ТО, умови взаємодії його з навколишнім і робочим середовищем, обмеження на його параметри. Технічне завдання на проектування можна представити у наступному виразі.

$$T3 = (L, Fa, Q1, Q2, Q3, Q4), (1)$$

де L – основний розмір технологічного обладнання;

Fa = {fa} – безліч функцій проектного обладнання;

Q1 – умови взаємодії з робочим середовищем;

Q2 – умови взаємодії з навколишнім;

Q3 – умови взаємодії обладнання з людиною (вимоги до обслуговування і безпеки);

Q4 – додаткові вимоги та обмеження (наприклад, обмеження за габаритними розмірами).

Функції обладнання представимо у вигляді:

$$f_a = \{D, G, H\}, (2)$$

де D - вказані дії, обладнання;

G – вказівка об'єкта, на який спрямована дія;

H – вказівка особливих умов і обмежень, при яких виконується дія.

Результат проектування – робочий проект (РП).

$$РП = \{РП_k\}, k = 1, 2, \dots, 9,$$

де РП1 – складальне креслення обладнання;

РП2 – складальні креслення окремих частин обладнання;

РП3 – креслення всіх деталей обладнання;

РП4 – специфікації;

РП5 – паспорт обладнання;

РП6 – технологічні розрахунки процесів, що проходять в обладнанні;

РП7 – розрахунок на міцність;

РП8 – умови експлуатації;

РП9 – технологічна документація.



Рис.1. Етапи проектування ТО

Для представлення етапів процесу проектування технологічного обладнання та інформаційних потоків, присутніх при проектуванні скористаємося методологією функціонального проектування IDEF0.

Контекстна діаграма верхнього рівня, що відображає зв'язки об'єкта моделювання з навколишнім середовищем представлена на рис 2.

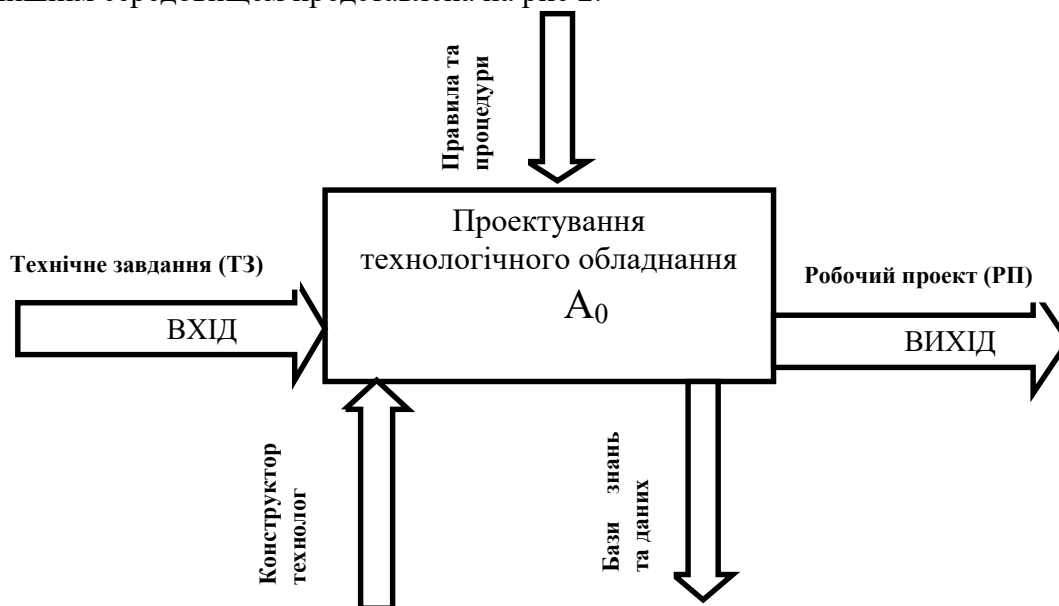


Рис. 2. Контекстна діаграма верхнього рівня A0

Функцією блоку на діаграмі А0 є проектування технологічного об'єкта. На вході цього блоку – технічне завдання, на виході – робочий проект. Конструктор і технолог забезпечують контроль над роботою інтелектуальної інформаційної системи. Вони є «особою, що приймає рішення» в питаннях вибору. Для роботи системи необхідні різні бази даних і бази знань.

4.2. Процедурна модель процесу проектування технологічного обладнання

Процедурна модель процесу проектування (FM) необхідна для розробки на її основі керуючої програми автоматизованої інформаційної системи (AIC) проектування технологічного обладнання.

Функцією процедурної моделі є перетворення інформаційного потоку, визначеного технічним завданням ТЗ в інформаційний потік робочого проекту РП:

$$FM: TЗ \xrightarrow{M, M^g, M^t} RP, \quad (3)$$

де M – інформаційно-логічна модель проєктованого об'єкта;

M^g – моделі процесів, що протікають в обладнанні;

M^t – модель технології виготовлення технічного об'єкта.

Процедурна модель FM, застосована до M , M^g і M^t повинна дозволити на підставі технічного завдання ТЗ отримати робочу документацію РП.

Процедурну модель представимо у вигляді системи виразів:

$$\begin{aligned} FM &= \langle F_1, F_2, F_3, F_4 \rangle, \\ F_1: F_a \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{z1} &\xrightarrow{M^s} I_1, \\ F_2: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_1 \cup I_{z2} &\xrightarrow{M^g, M^p} (I_2 \cup I_7) \cup I_6, \\ F_3: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_1 \cup I_2 \cup I_{z3} &\xrightarrow{M^p, M^r} I_4 \cup I_3, \\ F_4: Q_1 \cup Q_4 \cup I_3 \cup I_{z4} &\xrightarrow{M^t} I_5, \end{aligned} \quad (4)$$

де F_1 – процедура визначення структури технологічного обладнання;

F_2 – процедура виконання технологічних розрахунків обладнання;

F_3 – процедура розробки конструкції обладнання;

F_4 – процедура розробки технології виготовлення обладнання;

M_s , M_r , M_g – складові інформаційно-логічної моделі M проєктованого об'єкта.

Розглянемо складові процедурної моделі.

Процедура визначення структури обладнання (F_1), складається з наступних складових:

$$\begin{aligned} F_1 &= \langle F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{14} \rangle, \\ F_{11}: F_a \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{z1} &\xrightarrow{M^s} I_{11}, \\ F_{12}: F_a \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{11} \cup I_{z1} &\xrightarrow{M^s} I_{12}, \\ F_{13}: F_a \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{12} \cup I_{z1} &\xrightarrow{M^s} I_{13}, \\ F_{14}: F_a \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{13} \cup I_{z1} &\xrightarrow{M^s} I_{14}, \end{aligned} \quad (5)$$

де F_{11} – процедура визначення наявності функціональних елементів обладнання.

Так як набір функціональних елементів, які можуть входити в технологічне обладнання, відомий, потрібні правила, що визначають необхідність в наявності кожного з цих елементів. Такі правила можуть бути досить простими, так, наприклад, якщо в ТЗ, у переліку функцій устаткування є функція «нагріти», то в ньому має бути присутнім теплообмінний пристрій. Так можна визначити всі основні елементи, що входять в технологічне обладнання;

F_{12} – процедура визначення типу кожного з функціональних елементів. Тут правила не є чітко визначеними, ґрунтуються на накопиченому в області проектування досвіді, на перевагах даного заводу виробника, на особливих вимогах замовника, тобто ТЗ. Наприклад, відомо, що для сипучих робочих середовищ пріоритетний тип днища – конічне, або для в'язкого середовища переважно шнековий пристрій;

F13 – процедура, що виконує попередню компоновку функціональних елементів. Наприклад, визначається місце розташування перемішуючого пристрою або визначається розташування різних штуцерів та інше;

F14 – процедура, яка визначає наявність і типи сполучних елементів обладнання. Визначає типи, розміри та інші властивості сполучних елементів, таких як зварні шви, фланцеві, шпонкові, муфтові з'єднання і інше.

Процедура виконання технологічних розрахунків (F2), складається з наступних складових:

$$F_2 = \langle F_{21}, F_{22} \rangle,$$

$$F_{21}: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_1 \cup I_{z2} \xrightarrow{M^p} I_{21}, \quad (6)$$

$$F_{22}: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_{11} \cup I_{21} \cup I_{z2} \xrightarrow{M^g} (I_2 \cup I_7) \setminus I_6,$$

де F21 – процедура, яка визначає попередньо основні необхідні для проведення технологічних розрахунків, розміри функціональних елементів обладнання;

F22 – процедура, що виконує матеріальні та теплові розрахунки;

При проведенні технологічних розрахунків уточнюються основні розміри або змінюються так, щоб забезпечувалися задані матеріальні навантаження, тепловий режим в обладнанні. При неможливості забезпечити необхідні матеріальні та теплові режими при вибраних параметрах обладнання, можлива зміна типів складових його елементів або типу обладнання.

Процедура розробки конструкції обладнання (F3), складається з наступних складових процедур:

$$F_3 = \langle F_{31}, F_{32}, F_{33}, F_{34}, F_{35} \rangle,$$

$$F_{31}: Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{z3} \xrightarrow{M^p} I_{31},$$

$$F_{32}: Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{31} \cup I_{z3} \xrightarrow{M^p} I_{32},$$

$$F_{33}: Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{32} \cup I_{z3} \xrightarrow{M^r} I_{33}, \quad (7)$$

$$F_{34}: Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{33} \cup I_{z3} \xrightarrow{M^p} I_{34},$$

$$F_{35}: Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{34} \cup I_{z3} \xrightarrow{M^p} I_{35},$$

де F31 – процедура, яка визначає попередньо основні, не визначені раніше в F2, розміри функціональних елементів обладнання;

F32 – процедура, яка виробляє розрахунок на міцність. Включає в себе спрощений проєктувальний розрахунок для визначення товщин елементів, навантажених тиском, або визначення товщини за загальними рекомендаціям;

F33 – процедура, що виконує спрощену компоновку. Визначає точне позиціонування всіх елементів відносно один одного;

F34 – процедура, що визначає не визначені раніше параметри елементів обладнання;

F35 – процедура, яка проводить попередній розрахунок на міцність.

Попередній розрахунок на міцність включає в себе в загальному випадку наступні розрахунки на міцність:

- Попередній розрахунок на міцність і стійкість від дії внутрішнього і зовнішнього надлишкового тиску для всіх навантажених елементів обладнання;
- Розрахунок достатності зміцнення отворів від дії надлишкового тиску і зовнішніх навантажень на штуцери;
- Перевірочний розрахунок фланцевих з'єднань обладнання від дії надлишкового тиску і зовнішніх навантажень;
- Перевірку міцності елементів, що зазнають опорні й стропові навантаження;
- Перевірку втомної міцності елементів, що зазнають циклічні навантаження;

- Перевірку вібробезпечності, жорсткості і міцності обертових елементів.

Залежно від специфіки роботи конкретного апарату перелік необхідних розрахунків міцності може змінюватися.

За результатами проведених розрахунків міцності, можливе повернення до процедури F34 і зміни розмірів елементів.

Процедура, що розробляє технологію виготовлення, обладнання (F4).

Вхідними даними для розробки технології виготовлення є конструкторська документація, а саме, складальні креслення обладнання та окремих його вузлів і креслення всіх деталей, на яких вказані всі необхідні для виготовлення і збірки розміри, види зварювання, матеріал і тип заготовки для деталей.

На виході ми маємо технологічні маршрути виготовлення деталей і збірки обладнання.

В таблиці 1 узагальнено описані вище склад і функції процедурної моделі.

Таблиця 1

Процедурна модель процесу проектування технологічного обладнання

Процедура	Дія
FM	$FM: T3 \xrightarrow{M, M^g, M^t} PП$
F1	$F_1: F_a \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{z1} \xrightarrow{M^s} I_1,$
F11	$F_{11}: F_a \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{z1} \xrightarrow{M^s} I_{11},$
F12	$F_{12}: F_a \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{11} \cup I_{z1} \xrightarrow{M^s} I_{12},$
F13	$F_{13}: F_a \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{12} \cup I_{z1} \xrightarrow{M^s} I_{13},$
F14	$F_{14}: F_a \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{13} \cup I_{z1} \xrightarrow{M^s} I_{14},$
F2	$F_2: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_1 \cup I_{z2} \xrightarrow{M^g, M^p} (I_2 \cup I_7) \setminus I_6,$
F21	$F_{21}: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_1 \cup I_{z2} \xrightarrow{M^p} I_{21},$
F22	$F_{22}: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_{11} \cup I_{21} \cup I_{z2} \xrightarrow{M^g} (I_2 \cup I_7) \setminus I_6,$
F3	$F_3: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_1 \cup I_2 \cup I_{z3} \xrightarrow{M^p, M^r} I_4 \cup I_3,$
F31	$F_{31}: Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{z3} \xrightarrow{M^p} I_{31},$
F32	$F_{32}: Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{31} \cup I_{z3} \xrightarrow{M^p} I_{32},$
F33	$F_{33}: Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{32} \cup I_{z3} \xrightarrow{M^r} I_{33},$
F34	$F_{34}: Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{33} \cup I_{z3} \xrightarrow{M^p} I_{34},$
F35	$F_{35}: Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{34} \cup I_{z3} \xrightarrow{M^p} I_{35},$
F4	$F_4: Q_1 \cup Q_4 \cup I_3 \cup I_{z4} \xrightarrow{M^t} I_5,$

Як було встановлено вище, для виконання функцій, визначених процедурною моделлю необхідно мати інформаційно-логічну модель проєктованого технічного об'єкта M, моделі

процесів, що протікають в апараті M_g , і модель технології виготовлення технічного об'єкта M_t .

Інформаційно – логічна модель технічного об'єкта відображає його у вигляді сукупності елементів і зв'язків між ними і дозволяє генерувати можливі варіанти його конструкції, що задовольняють вихідні дані, визначені технічним завданням.

Інформаційно-логічне моделювання описує будову технічних об'єктів на різних рівнях: абстрактному, об'єктному і конкретному.

Підхід до формування інформаційно – логічних моделей представлений на рис.3.

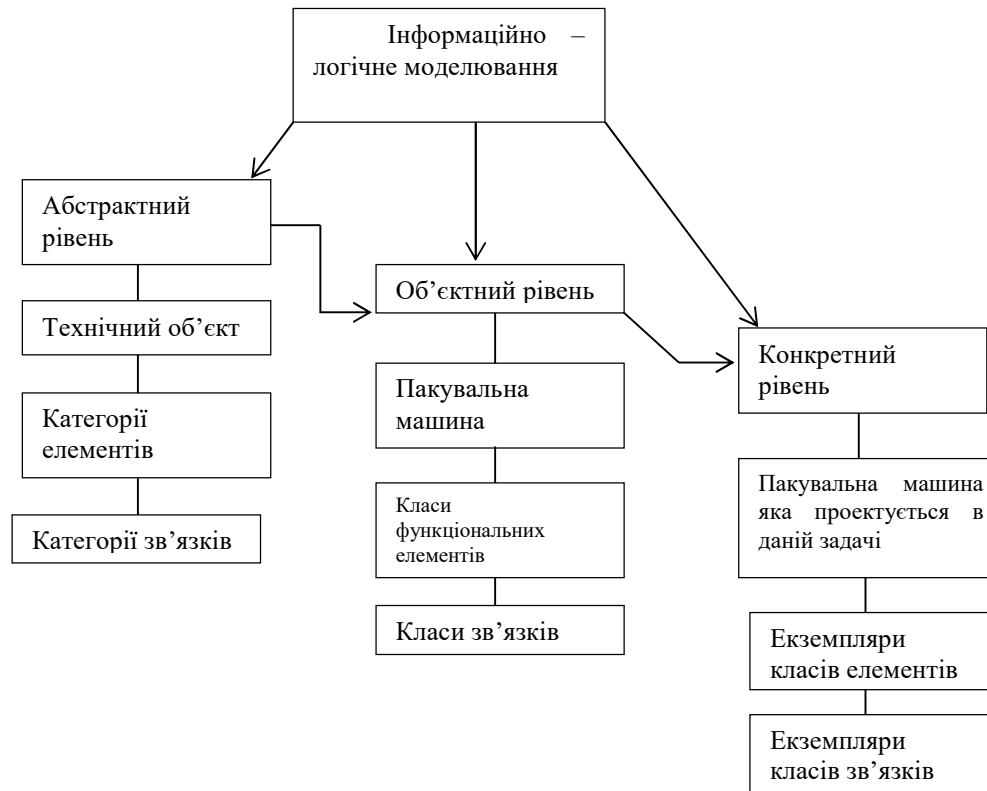


Рис. 3. Контекстна діаграма верхнього рівня A_0

Безліч структурних одиниць об'єктного рівня формується на основі системи структурних одиниць абстрактного рівня. Безліч структурних одиниць конкретного рівня базується на системі структурних одиниць об'єктного рівня і відображає поточний інформаційний стан її елементів.

В якості основної форми подання знань в інформаційно – логічних моделях вибрано уявлення знань у вигляді продукції (правил). Це пояснюється тим, що більшість вимог нормативної документації і наявний досвід в області проектування найбільш просто, точно і природно формалізувати у формі продукції. Іншими формами подання знань в інформаційно – логічних моделях є математичні вирази або їх системи (розрахункові методики).

Інформаційно – логічні моделі технічного об'єкта на абстрактному рівні уявлення формально представимо у вигляді:

$$M = \langle E, M^S, M^P, M^r \rangle, \quad (8)$$

де $E = \{e\}$ – безліч елементів технічного об'єкта;

M^S – модель структури технічного об'єкта;

M^P – модель параметрів елементів технічного об'єкта;

M^r – модель позиціонування елементів технічного об'єкта в просторі.

Множина елементів технічного об'єкта.

$E = \{e\}$ – безліч елементів технічного об'єкта поділяється на такі класи елементів:

- функціональні елементи $E_b = \{e_b\}$;

- з'єднувальні елементи $E_s = \{es\}$.

Кожен елемент представлений у вигляді $e = \langle P, Z_n \rangle$,

де $P = \{p\}$ – безліч властивостей цього елемента;

$Z_n = \{zn\}$ – безліч можливих значень властивостей даного елемента.

Прикладами властивостей елементів є: тип елемента, геометричні та технічні характеристики, матеріал виготовлення та інші.

Для складних елементів важливою властивістю є його структура;

4.3. Модель структури технічного об'єкта.

Модель структури використовується на рівні концептуального проектування технічного об'єкта, де основними завданнями є: визначити з яких функціональних елементів складатиметься проєктований об'єкт, визначити типи цих елементів, їх кількість і взаємне розташування і визначити типи з'єднань між ними.

За допомогою моделі структури M^s вирішуються такі завдання:

- виділення з безлічі можливих функціональних елементів всього технологічного обладнання E^b деякої підмножини функціональних елементів $E^b, E^b \subset E^b$, які належать конкретному проєктованому обладнанню;

- визначення типу для кожного елемента з E^b ;

- визначення зв'язків позиціонування S^p між елементами з E^b ;

- визначення безлічі E^s з'єднувальних елементів проєктованого технологічного обладнання на підставі певних зв'язків позиціонування S^p між елементами з E^b .

Модель структури представлена у вигляді:

$$M^s = \langle E, Y^e, Y^t, Y^k, Y^s \rangle, \quad (9)$$

де Y^e – правила, що визначають наявність і кількість функціональних елементів обладнання;

Y^t – правила, що визначають тип кожного функціонального елемента;

Y^k – правила, що визначають попереднє розташування елементів один щодо одного;

Y^s – правила, що визначають типи з'єднувальних елементів технічного об'єкта.

На рівні концептуального проектування було визначено, з яких функціональних елементів складається проєктований об'єкт, типи цих елементів, їх кількість і взаємне розташування, тобто його структура. На наступному етапі необхідна конкретизація таких параметрів елементів, як розміри (габаритні, приєднувальні та інші), допустимі відхилення розмірів, шорсткість поверхонь, матеріал виготовлення і технологічні характеристики.

Параметри елементів підрозділяються на одиничні і унітарні. Одиничні параметри елемента залежать від вихідних даних на проектування (технологічного призначення обладнання, властивостей робочого середовища та ін.), Від параметрів інших елементів або від загальних параметрів складальної одиниці, до складу якої цей елемент входить. Унітарні параметри елемента повністю визначаються одиничними (наприклад, маса елемента, геометричні параметри стандартних виробів, які визначаються їх типорозміром).

Модель параметрів елементів формально можна представити у вигляді:

$$M^p = \langle E, Y^b, Y^{pp}, Y^{pe} \rangle, \quad (10)$$

де Y^b – правила і залежності, що визначають загальні параметри обладнання в цілому;

Y^{pp} – правила і залежності, що визначають значення одиничних параметрів елементів;

Y^{pe} – правила і залежності, що визначають значення унітарних параметрів елементів.

5. Розробка структури програмного та інформаційного забезпечення автоматизованої інформаційної системи для проектування технологічного обладнання

Структура програмного забезпечення та інформаційних баз АІС представлена на рис. 4. Програмне забезпечення системи складається з керуючої програми, що реалізує

процедурну модель (FM), окремих виконавчих модулів, що виконують конкретні завдання проектування і необхідних при проектуванні баз даних та баз знань.

Керуюча програма в автоматизованому режимі викликає модуль, що виконує певний етап проектування. Особа, яка приймає рішення, якими є конструктор і технолог мають можливість коректування результатів роботи системи на різних етапах проектування.

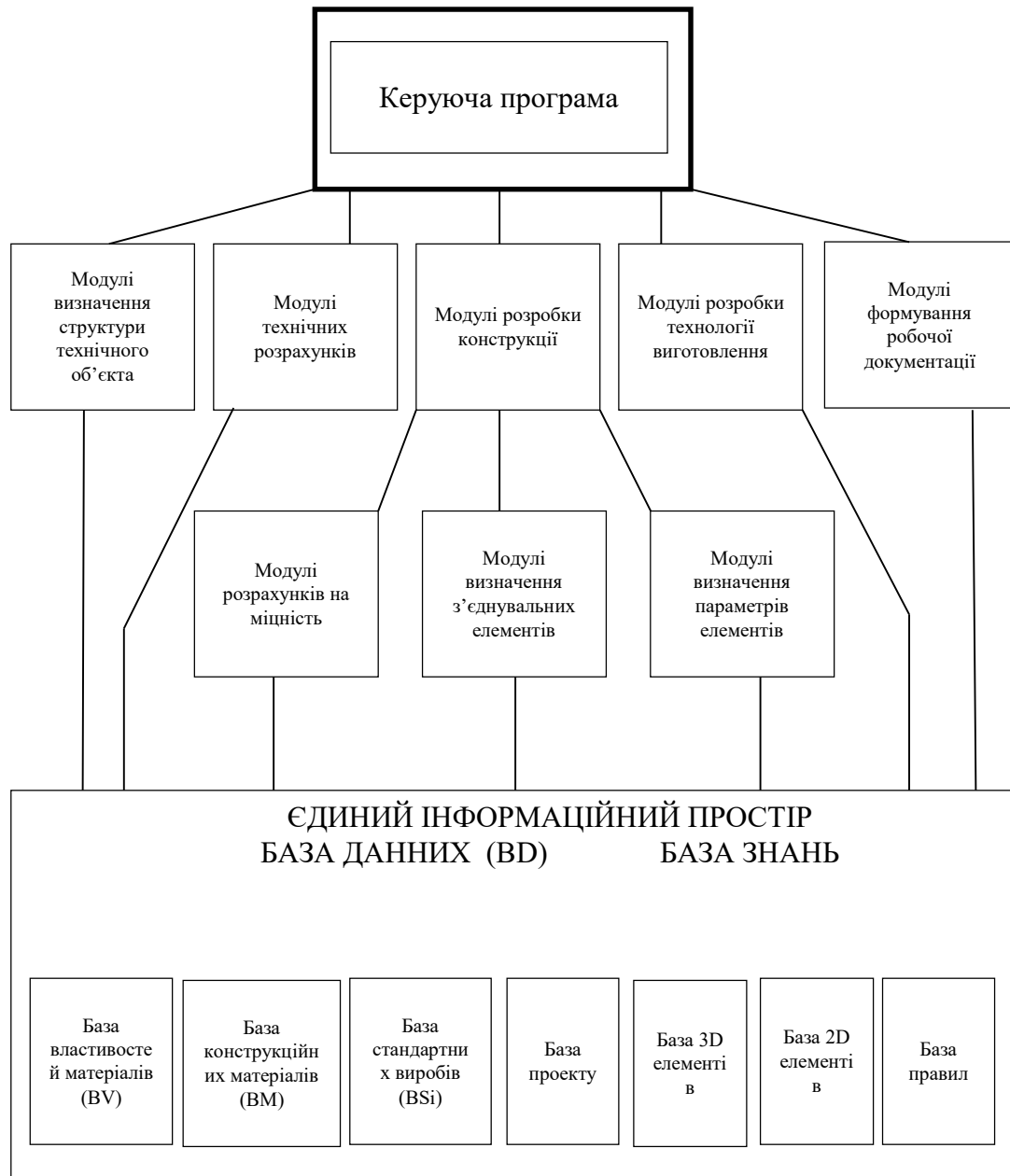


Рис. 4. Структура програмного та інформаційного забезпечення автоматизованої інформаційної системи для проектування технологічного обладнання

Обмін даними між модулями здійснюється за допомогою інформаційних баз, що включають в себе бази даних властивостей матеріалів і конструкційних матеріалів, стандартних елементів, 3D елементів і 2D креслень, результати роботи окремих модулів (база проекту) та базу правил (в представленій роботі правила і залежності Y^e , Y^t , Y^k , Y^s , Y^b , Y^{pp} , Y^{pe} , Y^r).

База даних системи автоматизованого проектування обладнання $BD = \{BV, BM, BSi\}$ містить:

Базу властивостей матеріалів (BV) – база матеріалів, являє собою двійку $BV = \{BVN, BVS\}$, де BVN – множина найменувань матеріалів, BVS – множина властивостей матеріалів. $BVS = \{BVS_1, BVS_2, BVS_3\}$, BVS_1 – хімічні властивості речовин, наприклад, хімічний склад, корозійна стійкість та ін.; BVS_2 – фізичні властивості (агрегатний стан, щільність, в'язкість та ін.); BVS_3 – інші властивості, наприклад, такі як, схильність до налипання осаду.

Базу конструкційних матеріалів (BM). Включає у себе конструкції, геометричні характеристики матеріалу.

$$BM = \{BMN, BMS, BMP, BMPS\}, \quad (11)$$

де BMN – множина найменувань конструкційних матеріалів;
 $BMS = \{BMS_1, BMS_2, BMS_3\}$ – множина властивостей конструкційних матеріалів;
 BMS_1 – множина хімічних властивостей матеріалів;
 BMS_2 – множина фізичних властивостей;
 BMS_3 – механічні характеристики;
 BMP – множина станів поставки для кожного з BMN ;
 $BMPS$ – множина властивостей для кожного BMP ;

$$BMPS = \{BMPS_1, BMPS_2, BMPS_3\}, \quad (12)$$

де $BMPS_1$ – геометричні характеристики матеріалу (товщина, ширина, шорсткість поверхні та ін.);

$BMPS_2$ – механічні характеристики матеріалу;

$BMPS_3$ – стан матеріалу (термооброблені, нормалізоване, загартована та ін.).

Базу стандартних виробів (BSi). Вона містить у собі $RBSi$ – реляційну базу стандартних виробів, $TBSi$ – текстові документи (паспорт, інструкції з техніки безпеки),

$GBSi$ – графічну інформацію, включаючи 3D моделі стандартних елементів пакувального обладнання.

$$BSi = \{RBSi, TBSi, GBSi\} \quad (13)$$

6. Висновки

Експертні системи використовуються евристичні алгоритми оптимізаційного синтезу робочого процесу в машині, її технологічної схеми і компоновки із використанням експертних знань для побудови процедур синтезу і оцінки технічних рішень.

Розроблена система надає можливість вибору кращих технічних рішень. Прототипна система є версією експертної системи, спроектованої для перевірки правильності кодування фактів, зв'язків і стратегії міркування експерта.

Список використаної літератури

1. Воронков О.І., Єфремов А.А. Сучасні технології проектування та дослідження ДВЗ (САПР ДВЗ). Частина 1. Теоретичні основи САПР: Конспект лекцій. – Харків: ХНАДУ, 2007.

2. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб. : Питер, 2000. – 384 с

3. Ендрю, А. Штучний інтелект / А. Ендрю. – М.: Світ, 1985. – 299 с.

4. Feigenbaum, E.A. (1991). "Expert Systems: Principles and Practice," The Encyclopedia of Computer Science and Engineering, Third Edition, A. Ralston and E. Reilly, (eds.), New York, Van Nostrand Reinhold.

5. Jay Liebowitz. Expert systems: A short introduction Engineering Fracture Mechanics, Volume 50, Issues 5–6, 1995, Pages 601-607, ISSN 0013-7944, [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(94\)E0047-K](https://doi.org/10.1016/0013-7944(94)E0047-K).

6. Palchevskiy B and Krestyanpol L, "Strategy of Construction of Intellectual Production Systems," 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine, 2020, pp. 362-365, doi: 10.1109/DSMP47368.2020.9204190.

7. Пальчевський Б. О. Будова експертних систем для автоматизованого проектування технологічного устаткування / Б. О. Пальчевський // Технологічні комплекси. - 2014. - № 1. - С. 5-11. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tehkom_2014_1_3.
8. Пальчевський Б.О. Інформаційні технології керованого синтезу синтезу функціонально-модульної структури технологічного обладнання // Технологічні комплекси: Науковий журнал.- Луцьк: видавництво Луцького НТУ, 2013, №1(7), с.19-28.
9. Пальчевський Б.О. Побудова діагностичної матриці як компоненти розробки інтелектуальної виробничої системи / Б.О. Пальчевський, Л.Ю. Крестьянполь// «Телекомунікаційні та інформаційні технології». Науковий журнал. Вип. № 3(64).- Київ: ДУТ, 2019. - С.63-70.
10. Убейко, В. Н.. Экспертные системы / В. Н. Убейко. – М.: МАИ, 1992. – 415 с
11. Хант С. Искусственный интеллект [Текст] / С. Хант. - М.: Высшая школа, 1978. – 642 с.
12. Yelagandula, Sai Kiran, Designing an AI. Expert System (September 24, 2020). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3735724> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3735724>

References

1. Voronkov O.I., Efremov A.A. Modern technologies of design and research of internal combustion engines (CAD of internal combustion engines). Part 1. Theoretical foundations of CAD: Lecture notes. Kharkiv: KhNADU, 2007.
2. Gavrilova, T.A. Knowledge bases of intelligent systems / T.A. Gavrilova, V.F. Khoroshevsky. SPb.: Piter, 2000. 384 p.
3. Andrew, A. Artificial intelligence. M.: Svit, 1985. 299 p.
4. Feigenbaum, E.A. (1991). "Expert Systems: Principles and Practice," The Encyclopedia of Computer Science and Engineering, Third Edition, A. Ralston and E. Reilly, (eds.), New York, Van Nostrand Reinhold.
5. Jay Liebowitz. Expert systems: A short introduction Engineering Fracture Mechanics, Volume 50, Issues 5–6, 1995, Pages 601-607, ISSN 0013-7944, [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(94\)E0047-K](https://doi.org/10.1016/0013-7944(94)E0047-K).
6. Palchevskyi B and Krestyanpol L, "Strategy of Construction of Intellectual Production Systems," 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine, 2020, pp. 362-365, doi: 10.1109/DSMP47368.2020.9204190.
7. Palchevsky B.O. Construction of expert systems for automated design of technological equipment // Technological complexes. 2014, No 1. P. 5-11. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tehkom_2014_1_3.
8. Palchevsky B.O. Information technologies of controlled synthesis of synthesis of functional-modular structure of technological equipment // Technological complexes: Scientific journal. Lutsk: Lutsk NTU publishing house, 2013, №1(7), P.19-28.
9. Palchevsky B.O., Krestyanpol L.Yu. Construction of a diagnostic matrix as components of development of an intellectual production system// "Telecommunication and information technologies". Scientific journal. Kyiv, SUT, 2019, No3 (64). P.63-70.
10. Ubeiko, V.N. Expert systems. M.: MAI, 1992, 415 p.
11. Hunt S. Artificial intelligence [Text]. Moscow: Higher School, 1978, 642 p.
12. Yelagandula, Sai Kiran, Designing an AI. Expert System (September 24, 2020). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3735724> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3735724>