

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Методи підтримки прийняття рішень у системах проектування роботизованих
ТП
(тема)

Виконала: студентка 2 курсу, гр. КТРСм-19-1
Коритченко В.К.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 – Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
освітньої програми Комп'ютеризовані та
робототехнічні системи

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Безкорвайний В.В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютеризовані та робототехнічні системи
	(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«_____» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____

Коритченко Віталії Костянтинівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи підтримки прийняття рішень у системах проектування роботизованих ТПзатверджена наказом по університету від 02.11. 2020 р. № 1509 Ст.2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 23.12. 2020 р.3. Вихідні дані до роботи Набір критеріїв для оцінки роботизованого ТП.Кількість альтернативних варіантів у базі даних – до 100.Кількість параметрів для оцінки – до 10.Функція програмного засобу – підтримка прийняття рішень у системах проектування роботизованих ТП. Реалізація програмного засобу на ІВМ-сумісному персональному комп'ютері.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити)

4.1 Вступ.

4.2 Огляд та аналіз сучасного стану проблеми підтримки прийняття рішень у системах проектування роботизованих ТП.

4.3 Математичне забезпечення системи підтримки прийняття проектних рішень.

4.4 Програмна реалізація підсистеми підтримки прийняття рішень.

4.5 Висновки.

4.6 Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) на 11 аркушах формату А4.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз вихідних даних та літератури за темою атестаційної роботи	10.09.2020	Виконано
2	Аналіз процесів проектування ТП	20.09.2020	Виконано
3	Постановка мети та задач дослідження	30.09.2020	Виконано
4	Математичне забезпечення СППР	15.10.2020	Виконано
5	Розробка програмного засобу підтримки прийняття рішень	24.11.2020	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки та демонстраційного матеріалу	10.12.2020	Виконано
7	Подання атестаційної роботи до екзаменаційної комісії	17.12.2020	Виконано

Дата видачі завдання 01 вересня 2020 р.

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Коритченко В.К.

(прізвище, ініціали)

проф. Безкорвайний В.В.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Атестаційна робота: 122с., 1 табл., 17 рис., 3 дод., 34 джерело.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ, БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР, ЕФЕКТИВНЕ РІШЕННЯ, ЛЕКСИКОГРАФІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ, РОБОТИЗОВАНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Мета роботи – підвищення ефективності систем підтримки прийняття рішень в САПР за рахунок розробки методів виділення та скорочення підмножин ефективних варіантів побудови технологічних процесів (ТП).

Об'єкт дослідження – роботизовані технологічні процеси.

Предмет дослідження – методи багатокритеріального вибору у системах проектування роботизованих технологічних процесів.

Методи дослідження – математичне моделювання, теорія багатокритеріальної оптимізації, методи парних порівнянь і лексикографічної оптимізації.

У магістерській атестаційній роботі запропоновано метод підтримки прийняття проектних рішень, розроблено узагальнений алгоритм виділення підмножини ефективних варіантів та її скорочення методом лексикографічної оптимізації, побудовано діаграми класів і прецедентів. На їх основі розроблено програмний засіб підтримки прийняття рішень з вибору найкращої альтернативи у системах проектування роботизованих ТП.

Використання отриманих результатів за рахунок процедур видалення неефективних варіантів та багатокритеріальної оптимізації дозволить підвищити ефективність ТП під час їх проектуванні та (або) комплектуванні технологічного обладнання.

Результати магістерської атестаційної роботи апробовані в статті та на Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених.

ABSTRACT

Attestation of the robot: 122pp., 1table., 17fig., 3 add., 34sources.

DESIGN AUTOMATION, EFFECTIVE SOLUTION, LEXICOGRAPHIC OPTIMIZATION, MULTICRITERIAL CHOICE, ROBOTIC TECHNOLOGICAL PROCESS.

The purpose of the work is to increase the efficiency of decision support systems in CAD by developing methods for allocating and reducing subsets of effective options for building technological processes (TP).

The object of research is robotic technological processes.

The subject of research – methods of multi-criteria selection in systems of design of robotic technological processes.

Research methods – mathematical modeling, theory of multi-criteria optimization, methods of pairwise comparisons and lexicographic optimization.

In the master's attestation work the method of support of decision-making is offered, the generalized algorithm of allocation of a subset of effective variants and its reduction by a method of lexicographic optimization is developed, diagrams of classes and precedents are constructed. Based on them, a software tool has been developed to support decision-making in choosing the best alternative in the design of robotic TP systems.

The use of the obtained results due to the procedures of removal of inefficient variants and multi-criteria optimization will increase the efficiency of TP in their design and (or) acquisition of technological equipment.

The results of the master's attestation work were tested in the article and at the International scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists.

ЗМІСТ

	с.
Перелік умовних познач, скорочень і термінів.....	7
Вступ.....	8
1 Огляд та аналіз сучасного стану проблеми підтримки прийняття рішень у системах проектування роботизованих ТП	10
1.1 Роботизовані технологічні процеси як об’єкти проектування	10
1.2 Автоматизація процесів проектування ТП	15
1.3 Підсистеми підтримки прийняття проектних рішень	22
1.4 Постановка мети та задач дослідження	30
1.5 Висновки до першого розділу.....	31
2 Математичне забезпечення системи підтримки прийняття проектних рішень	33
2.1 Постановка задачі прийняття проектних рішень.....	33
2.2 Багатокритеріальні задачі прийняття рішень.....	35
2.3 Методи розв’язання задач багатокритеріальної оптимізації	36
2.4 Виділення підмножини ефективних проектних рішень.....	47
2.5 Звуження підмножини ефективних проектних рішень	52
2.6 Висновки до другого розділу.....	54
3 Програмна реалізація підсистеми підтримки прийняття рішень.....	55
3.1 Діаграма прецедентів.....	55
3.2 Діаграма класів.....	58
3.3 Основні функції системи.....	60
3.4 Розробка інтерфейсу користувача системи.....	62
3.5 Контрольний приклад.....	64
3.6 Охорона праці під час роботи з комп’ютером	70
3.7 Висновки до третього розділу.....	73

Висновки.....	75
Перелік джерел посилання	77
Додаток А Текст програми.....	82
Додаток Б Демонстраційний матеріал.....	116
Додаток В Відомість атестаційної роботи.....	122

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАК, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина.

МЕМС – мікроелектромеханічна система.

ОПР – особа, що приймає рішення.

ПР – промисловий робот.

РТК– роботизований технологічний комплекс.

САПР –система автоматизованого проектування.

СППР – система підтримки прийняття рішень.

ТЗ – технічне завдання.

ТП– технологічний процес.

ТПВ –технологічна підготовка виробництва.

ТТП – типовий технологічний процес.

СОС – складні об'єкти і системи.

ЧПУ– числове програмне управління.

ВСТУП

Характерною особливістю сучасних виробництв є широке впровадження роботизованих технологічних процесів. Упровадження роботизації відбувається на як у вже існуючі технології та і при створенні нових технологічних процесів. В обох випадках це передбачає проектування (чи перепроєктування) технологічних процесів. Задачі структурної чи параметричної оптимізації роботизованих ТП передбачають оцінку варіантів їх побудови за множиною показників якості та є комбінаторними по своїй суті. Складність таких задач передбачає розробку для систем автоматизації проектування (САПР) підсистем підтримки прийняття проектних рішень.

Незважаючи на численні публікації, що присвячені вирішенню проблеми підтримки прийняття рішень при проектуванні, модернізації чи реінжинірингу ТП потребують подальшого удосконалення методи виділення та скорочення підмножин ефективних варіантів їх побудови. Їх практичне використання дозволить підвищувати оперативність й ефективність рішень, що приймаються в САПР ТП, і на цій основі скорочувати терміни переходу на випуск нових видів продукції, знижувати її собівартість.

Метою атестаційної роботи є підвищення ефективності систем підтримки прийняття рішень в САПР за рахунок розробки методів виділення та скорочення підмножин ефективних варіантів побудови ТП.

Об'єкт дослідження – роботизовані технологічні процеси.

Предмет дослідження – методи багатокритеріального вибору у системах проектування роботизованих технологічних процесів.

Методи дослідження – математичне моделювання, теорія багатокритеріальної оптимізації, методи парних порівнянь і лексикографічної оптимізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *завдання*:

- виконати огляд та аналіз сучасного стану проблеми підтримки прийняття рішень у системах проектування роботизованих ТП;
- розглянути особливості роботизованих ТП як об'єктів проектування;
- проаналізувати системи автоматизації проектування ТП та місце в них підсистем підтримки прийняття рішень;
- сформулювати постановку задачі прийняття проектних рішень;
- визначити чи розробити методи виділення та скорочення підмножин ефективних варіантів побудови ТП;
- розробити програмну реалізацію підсистеми підтримки прийняття проектних рішень;
- провести апробацію розробленого програмного засобу на контрольному прикладі;
- оформити пояснювальну записку атестаційної роботи відповідно до вимог ДСТУ 3008:2015 [1], навчального посібника з дипломного проектування [2], методичних вказівок до випускної кваліфікаційної роботи рівня «Магістр» [3] та положення про протидію академічному плагіату [4].

За результатами дослідження атестаційної роботи підготовлено публікацію для збірника студентських наукових статей Харківського національного університету радіоелектроніки [5] та тези доповіді на IV Міжнародну конференцію «Виробництво & Мехатронні Системи-2020» (м. Харків) [6].

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СИСТЕМАХ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ТП

1.1 Роботизовані технологічні процеси як об'єкти проектування

Ключовою тенденцією у розвитку сучасної промисловості в останні десятиліття стала роботизація, яка передбачає заміну людського персоналу автоматами (промисловими роботами). Промислові роботи (ПР) у сучасному виробництві складають групи машин і механізмів, які виконують ті ж маніпулятивні функції, які раніше виконувала людина-оператор [7].

ПР складають основу будь-якої конвеєрної лінії, забезпечуючи високу продуктивність сучасних підприємств. Важлива перевага автоматичного обладнання полягає в усуненні людського чинника. Застосування робототехніки виключає помилки при проведенні рутинних технологічних операцій.

Існуючі класифікації ПР припускають їх розподіл на категорії у залежності від сфери застосування:

- складальні;
- комплектувальних;
- пакувальні;
- ріжучі;
- зварювальні;
- фарбувальні тощо.

Сучасні ПР являють собою технологічні засоби, які дозволяють здійснити комплексну автоматизацію виробництва та надати йому можливість гнучкого перенастроювання на різні технології і виготовлювані вироби. Забезпечені ПР технологічні процеси, ділянки, лінії отримали назву роботизованих

технологічних комплексів (РТК). Різноманіття виробничих процесів в машинобудуванні і приладобудуванні, умов виробництва, серійність тощо визначають різні типи РТК.

При здійсненні класифікації РТК можна враховувати різні ознаки: принцип управління комплексом; ступінь участі людини в комплексі; вид технологічного процесу; кількість виконуваних технологічних операцій; тип і кількість технологічного обладнання; тип і кількість використовуваних ПР тощо [8].

Приклади роботів сучасних виробничих процесів наведені на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Приклади сучасних виробничих роботів

Прикладом може слугувати роботизований технологічний процес виготовлення MEMС-акселерометра [9].

MEMS-акселерометри – це датчики, засновані на мікроелектромеханічних системах (MEMS). Популярність даних пристроїв обумовлена низкою причин, основними з яких є простота їх використання, відносно низька ціна і малі габарити.

Акселерометр є приладом для вимірювання сили реакції індукованої прискоренням або гравітацією. Його різні моделі можуть визначати величину та напрям прискорення у вигляді векторної величини і тому можуть бути використані для визначення таких характеристик як орієнтація, вібрація, удари.

Вони знайшли широке застосування при випробуваннях та експлуатації кораблів, літаків, ракет, автомобілів тощо, а також як чутливі елементи автопілотів, гіровертикалей тощо.

MEMS-датчики, як правило, оснащуються інтегрованою електронікою обробки сигналу і не мають рухомих частин. Цим обумовлюється їх висока надійність і здатність забезпечувати стабільні показання в досить жорстких умовах навколишнього середовища (перепади температур, удари, вологість, вібрація, електромагнітні і високочастотні перешкоди). Сукупність даних переваг спонукає виробників систем для різних сфер застосування (від авіа - і автомобілебудування до побутової техніки) використовувати в своїх розробках ті чи інші MEMS-сенсори [10].

У загальному випадку під MEMS розуміються різні механіко-електричні (сенсорні) або електромеханічні перетворювачі (актюатори) розміром декілька мікрон (не більше 1 мм). Переміщення рухомих елементів MEMS-структури при цьому також не перевищує декількох мікрон. Концепція MEMS побудована на інтеграції на кремнієвій підкладці за допомогою технологій мікро-виробництва мікромеханічних структур датчиків (сенсорів, вимірювальних компонентів), актюаторів (виконавчих керуючих елементів) і електронних пристроїв, що виконують функції збору, аналізу, контролю, формування керуючих сигналів. Ці технології дуже схожі з тими, що використовуються для виробництва мікросхем. Тому інтегральні MEMS-пристрої забезпечують високий рівень функціональності, надійності, низьку

ціну. Це і зумовило їх настільки ж широке застосування, що і виробів мікроелектроніки.

Виготовлення MEMC- акселерометрів являє собою досить складний процес та може містити сотні операцій, які розбиваються на множини стадій, етапів та фаз (рис. 1.2–1.4) [10].

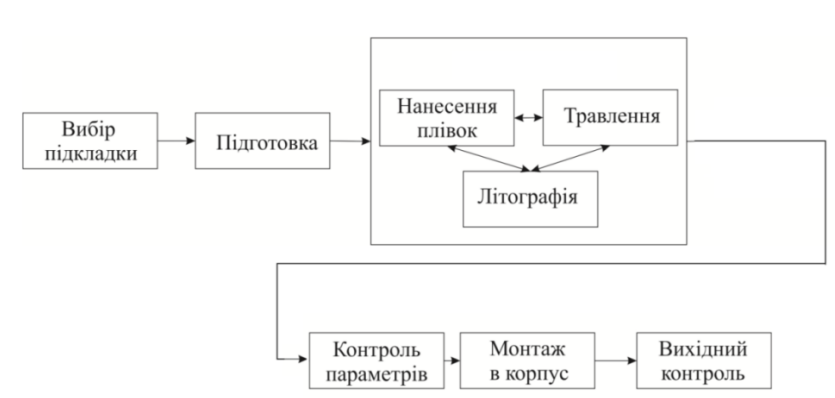


Рисунок 1.2 – Схема етапів ТП виготовлення MEMC-акселерометрів

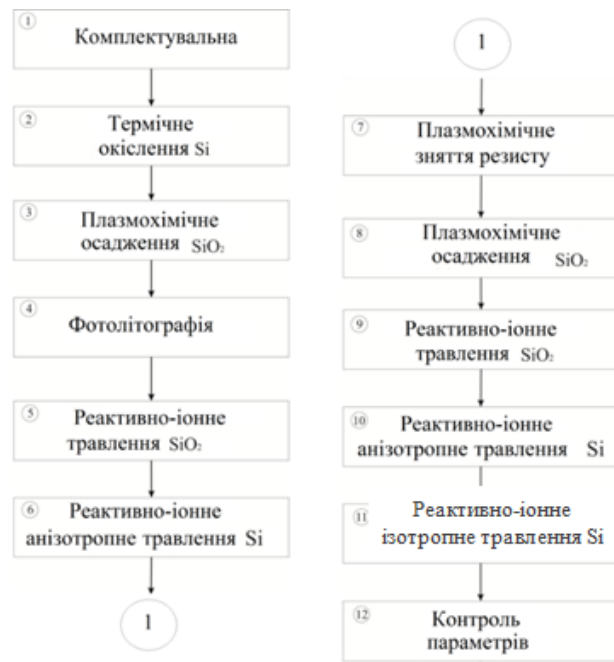


Рисунок 1.3 – Схема технологічної операції отримання чутливої маси п'єзоелектричного MEMC-акселерометра



Рисунок 1.4 – Схема етапу отримання чутливого елемента МЕМС- акселерометра

У загальному випадку вибір технології залежить від множини різнорідних факторів, тому процес проектування ТП виготовлення МЕМС-акселерометрів на ранніх етапах можна подати у вигляді «сірої» скриньки. До вектора вхідних параметрів відноситься повний набір документів, необхідний та достатній для реалізації ТП, а до вектора вихідних – значення параметрів, які є результатом виконання тієї чи іншої технологічної операції. При цьому вектор вихідних параметрів значно перевищує вектор вхідних параметрів через те, що в процесі проектування ТП генерується нова інформація.

1.2 Автоматизація процесів проектування ТП

Проектування, при якому всі проектні рішення або їхня частина одержують шляхом взаємодії людини й ЕОМ, називають автоматизованим, на відміну від ручного (без використання ЕОМ) або автоматичного (без участі людини на проміжних етапах). Система, що реалізує автоматизоване проектування, являє собою систему автоматизованого проектування (САПР).

Процес проектування поділяється на етапи, процедури, операції, переходи. Результатом кожної такої «одиниці» повинно бути проектне рішення.

Етап проектування– умовно виділена частина процесу проектування, що складає з однієї або декількох проектних процедур. Звичайно етап включає процедури, що зв'язані з одержанням опису в рамках одного аспекту й одного або декількох рівнів абстрагування. Іноді в процесі проектування виділяють ту або іншу послідовність процедур за назвою "маршрут проектування".

Етапи, у свою чергу, поділяються на процедури й операції.

Процедура– формалізована сукупність дій, виконання яких закінчується проектним рішенням.

Проектне рішення – проміжний або остаточний опис об'єкта проектування, необхідного і достатнє для розгляду і визначення подальшого напрямку або остаточного проектування[11].

Однією з особливостей сучасного розвитку виробництва є постійне зростання обсягів і складності проектних робіт в сфері технологічної підготовки виробництва (ТПВ). Це пов'язано з наступними причинами:

- збільшується номенклатура і складність випущених машин і приладів, які характеризуються більш високими вимогами до їх якості, оснащеності електронікою, використанням нових конструкційних матеріалів;
- підвищуються вимоги до якості технологічних рішень, що забезпечують конкурентоспроможність виробів шляхом зниження собівартості і підвищення їх якості;
- розширюється номенклатура обладнання з ЧПУ, що вимагає додаткової розробки керуючих програм і детального проектування операційної технології;
- з'являються додаткові вимоги до скорочення термінів підготовки виробництва з випуску нових виробів з метою підвищення конкурентоспроможності. У цих умовах одним з головних напрямків вдосконалення ТПВ стає її автоматизація, заснована на використанні різних підсистем САПР, автоматизованих банків даних та експертних систем, для вирішення всього комплексу технологічних задач.

Системи автоматизованого проектування або САПР – комп'ютерне програмне середовище моделює об'єкт проектування й визначає його якісні показники, після ухвалення рішення – вибору проектувальником параметрів об'єкта, система в автоматизованому режимі видає проектну документацію. На рис. 1.5 зображене місце САПР у сучасному виробництві.



Рисунок 1.5 – Місце САПР у сучасному виробництві

Розглянемо основні недоліки і напрямки розвитку САПР:

– більшість САПР включають в себе лише засоби креслення, прискорювачі геометричних розрахунків та засоби виводу документації на друк[12]. Як рішення – запровадження комплексних наскрізних САПР, запровадження інтерактивних засобів адміністрування проектів, використання інтелектуальних інженерних БД, тощо;

– САПР не дозволяє легко і швидко вносити зміни в проект, але таким чином, щоб зміни не викликали перепроєктування уже створених деталей і вузлів. Сьогодні таке перепроєктування продовжує залишатися серйозною проблемою будь-якого проекту. Як рішення – запровадження PDM-управління даними про продукцію;

– важлива проблема пов'язана з формуванням інтелектуальних функцій, тобто "розуміння" системами CAD/CAM намірів проєктувальників. Як рішення – створення систем з розумінням "історії", які необхідні при створенні бібліотек стандартних деталей і елементів, та систем з розумінням "намірів", які потрібні для більш складних ситуацій, коли проєкт розвивається в несподіваному для проєктувальника напрямі;

– утруднений обмін даними між САПР та іншими „зовнішніми” програмами (системами). Як рішення – розроблено промисловий стандарт IGES, потім він був покращений і створено стандарт STEP, але вони не підтримуються всіма розробниками ПЗ. Сьогодні великі надії покладають на стандарт XML;

– відсутність в САПР могутніх інструментальних засобів розробки, подібних CASE-технології в області СУБД, що перешкоджає адаптації і розвитку систем проєктування професійним користувачем. Як рішення – створення не окремих САПР, а інструментальних середовищ проєктування, в рамках яких будуть функціонувати адаптивні САПР[11].

При цьому виділяють три рівня автоматизації, пов'язаних зі створенням і використанням САПР технологічних процесів (ТП):

– перший рівень автоматизації– автоматизація низького рівня, при якій автоматизовано тільки оформлення технологічної документації (маршрутні, операційні карти і інші документи). Бланки технологічних карт виводяться на екран монітора, і технолог в режимі діалогу заповнює цей документ, використовуючи заздалегідь підготовлені форми, формулювання операцій і переходів і відомості про технологічному оснащенні, що подаються в електронному вигляді;

– другий рівень автоматизації– автоматизація середнього рівня, досягається, коли додатково створюються і використовуються бази даних, проектні та розрахункові модулі. Чим більше заповнена база даних, тим ефективніше починає працювати САПР ТП. Робота проектних модулів заснована на використанні інформаційно-пошукової системи (ІПС), при цьому умови пошуку формує технолог, використовуючи режим діалогу на етапі введення вихідної інформації і оцінки проміжних і остаточних рішень. Розрахункові модулі, наприклад модулі розрахунку припусків, режимів різання і норм часу, починають працювати, коли сформовані бази даних з нормативно-довідковою інформацією;

– третій рівень автоматизації– автоматизація високого рівня, який досягається при заповненні бази даних. У цьому випадку стає можливим автоматизоване прийняття складних логічних рішень, пов'язаних, наприклад, з вибором структури процесу і операцій, призначенням технологічних баз і іншими подібними завданнями. Процес прийняття таких рішень повністю автоматизувати не вдається, тому режим діалогу частково залишається і на третьому рівні автоматизації. Процес проектування в САПР ТП являє собою складний процес переробки конструкторської інформації, заданої на кресленні деталі, в технологічну інформацію, яка потім фіксується в технологічній документації [12].

Кожна система автоматизованого проектування складається зі складових, які називають «забезпеченням». Всього виділяють 7 видів забезпечень САПР:

– математичне забезпечення – сукупність математичних методів і моделей, необхідних для виконання процесу автоматизованого проектування;

– програмне забезпечення – сукупність машинних програм, представлених у заданій формі, разом із програмною документацією, необхідних для здійснення процесу проектування, що включає системне і прикладне ПО;

– технічне забезпечення – сукупність взаємозалежних і взаємодіючих технічних засобів для введення, збереження, переробки, передачі програм і даних, організації спілкування оператора з ЕОМ, виготовлення проектної документації;

– лінгвістичне забезпечення – сукупність мов проектування, включаючи терміни, визначення, правила формалізації природної мови, методи стиску і розгортання текстів;

– інформаційне забезпечення – сукупність даних і знань, які представлені у певній формі та необхідні для виконання автоматизованого проектування, у тому числі для опису стандартних проектних процедур, типових проектних рішень, типових елементів, що комплектують виробів, матеріалів і ін. Включає СУБД (Система Керування Базами Даних), саму базу даних і базу знань;

– методичне забезпечення – документи, у яких визначені склад, правила добору й експлуатації засобів автоматизації проектування;

– організаційне забезпечення – сукупність документів, що визначають склад проектної організації і її підрозділів, їхньої функції, зв'язку між ними і комплексом засобів автоматизації, а також форму представлення результатів проектування і порядок розгляду проектних документів.

При створенні проекту в САПР розрізняють зовнішнє і внутрішнє проектування. До зовнішнього проектування відносять:

- стадію перед-проектних досліджень;
- розробку технічного завдання на проект.

Внутрішнє проектування включає:

- розробку технічних пропозицій;

- ескізний проект;
- технічний проект;
- робочий проект;
- виготовлення, налагодження, тестування і введення системи в дію.

Дані стадії можуть бути застосовують для проектування більшості технічних об'єктів і систем.

Процес проектування ТП розглядається як сукупність алгоритмів, кожен з яких розв'язує одну задачу і визначає допустиму множину рішень для наступних. Алгоритми проектування створюють максимально незалежними один від одного. Це надає можливість створення бібліотек універсальних алгоритмів, з яких можна генерувати різні системи проектування ТП. Структурна схема САПР ТП наведена на рисунку 1.6[13].

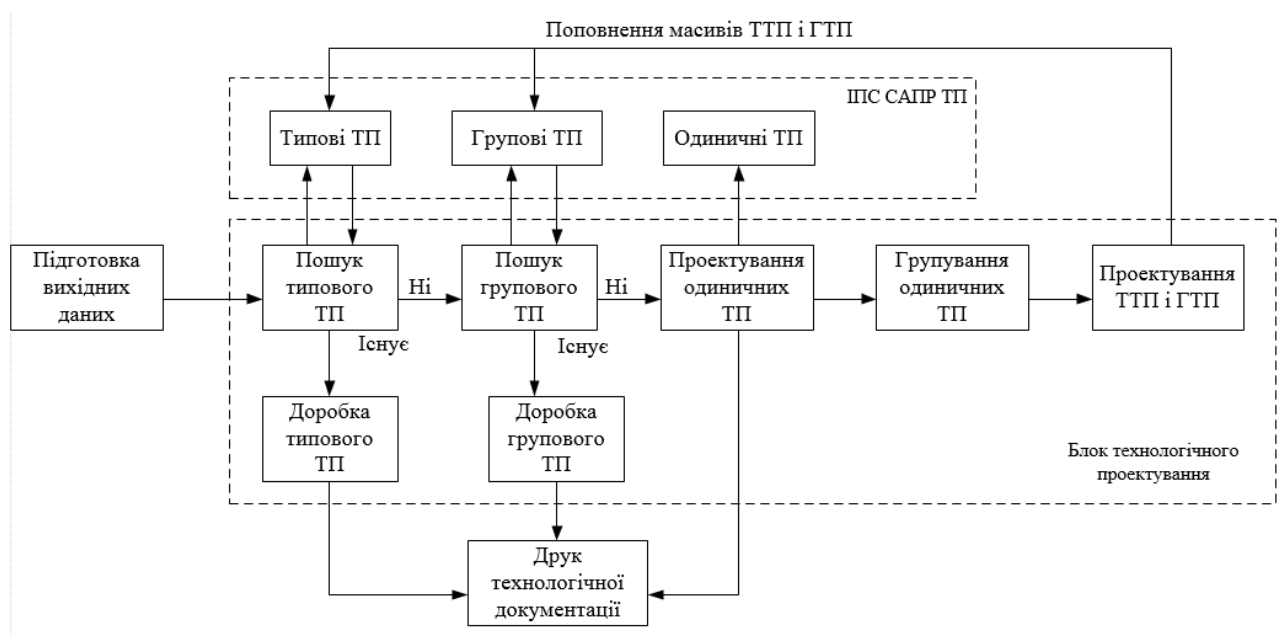


Рисунок 1.6 – Узагальнена структурна схема САПР ТП

Розглянемо типову функціональну структуру САПР. Складовими структурними частинами САПР є підсистеми, що володіють усіма властивостями системи і які створюються як самостійні системи.

Підсистемою САПР називають виділену по деяких ознаках частину САПР, що дозволяє одержувати закінчені проектні рішення. У САПР виділяють

проектуючі і обслуговуючі підсистеми. Підсистеми, що проектують, виконують проектні процедури й операції. Обслуговуючі підсистеми призначені для підтримки працездатності об'єктно-орієнтованих підсистем і виконуються процедури й операції, безпосередньо зв'язані з конкретним типом об'єктів проектування. В об'єктно-незалежних - уніфіковані процедури й операції.

У залежності від відношення до об'єкта проектування, підсистеми поділяють на:

- об'єктно-орієнтовані;
- об'єктно-незалежні.

До проектуючих підсистем відносять:

– підсистему функціонально-логічного проектування – на виході цієї системи ми одержуємо функціональну схему, за нею логічну схему, на виході принципову електричну схему;

– підсистему конструкторського проектування – на виході одержуємо конструкцію пристрою і конструкторську документацію, що включає схему розташування елементів на поверхні модуля і топологію друкованих з'єднань між елементами;

– підсистему технологічного проектування – на виході одержуємо маршрутну карту виробничого процесу і програми для керування верстатів з числовим програмним керуванням (для керування технологічним устаткуванням).

До обслуговуючих підсистем відносять:

- систему інформаційного пошуку;
- систему документування;
- систему графічного відображення об'єктів проектування.

До складу як проектуючих, так і обслуговуючих систем сучасних САПР можуть входити:

– експертні системи. Це системи, в основі яких лежить база знань, представлена або у виді системи продукції, або у виді фреймів (FRAME).

Експертна система дозволяє формалізувати знання експерта у визначеній предметній області з метою прийняття раціональних проектних рішень.

– системи прийняття рішень. Це системи, що дозволяють робити вибір ефективних проектних рішень в умовах визначеності і невизначеності вихідної інформації на основі формальних методів і процедур. Для оцінки проектних рішень можуть також застосовуватися нейросітьові технології[14].

Прикладами САПР, які використовуються для проектування ТП є: TECHCARD (містить базові модулі для розв'язання задач технологічного проектування та інформаційного забезпечення); T-FLEX Технологія (повнофункціональна САПР, що має у своєму складі гнучкі засоби розробки ТП будь-якої складності); ВЕРТИКАЛЬ (призначена для вирішення задач технологічного проектування); TechnologiCS (призначена для автоматизації процесів конструкторсько-технологічної підготовки машинобудівельних підприємств); «МАС ПТП» (призначена для інтерактивного проектування маршрутних і операційних технологічних процесів).

1.3 Підсистеми підтримки прийняття проектних рішень

СППР визначається як «комп'ютерна інформаційна система, що використовується для підтримки різних видів діяльності при прийнятті рішень в ситуаціях, де неможливо або небажано мати автоматичну систему, яка повністю виконує весь процес вирішення». Тобто, система не замінює людини, а забезпечує допомогу зсередини.

СППР у САПР ТП дозволяє полегшити роботу проектувальників і підвищити її ефективність. Наявність чітко функціонуючої СППР дає великі переваги. Завдяки пропозиціям, що висуваються СППР, відкриваються нові підходи до вирішення повсякденних і нестандартних проектних завдань.

Аналізуючи еволюцію СППР, можна виділити три покоління СППР: перше покоління розроблялося в період 1970–1980 рр.; друге – з початку 1980 до середини 90-х років, третє – із середини 90-х років і донині. Розроблення нових типів триває і тепер [15].

Перше покоління СППР реалізувало лише найпростіші функції комп'ютеризованої допомоги у прийнятті проектних рішень. Основні компоненти СППР мали такі ознаки:

- керування даними – великі обсяги інформації, внутрішні і зовнішні банки даних, оброблення й оцінювання даних;
- керування обчисленнями (моделювання) – моделі, розроблені фахівцями в галузі проектування;
- інтерфейс користувача (мова спілкування) – мови програмування, створені для великих ЕОМ, які використовуються виключно програмістами.

СППР другого покоління вже мали принципово нові ознаки:

- керування даними – необхідна і достатня кількість інформації про факти згідно зі сприйняттям ОПР, що охоплює приховані допущення та якісні оцінки;
- керування обчисленнями і моделюванням – гнучкі моделі, які відтворюють спосіб мислення ОПР у процесі прийняття проектних рішень;
- інтерфейс користувача – програмні засоби, «дружні» користувачеві, звичайна мова, безпосередня робота кінцевого користувача-проектувальника.

Цілі та призначення СППР другого покоління можна визначити так:

- допомога в розумінні розв'язуваної проблеми. Сюди належать структуризація проблеми, генерування постановок задач проектування, виявлення переваг, формування критеріїв;
- допомога в розв'язуванні задачі: генерування і вибір моделей та методів, збір і підготовка даних, виконання обчислень, оформлення і видача результатів;
- допомога щодо аналізу проектних рішень, тобто проведення аналізу типу «Що ..., коли ...?» і т.ін., пояснення ходу проектування, пошук і видача аналогічних рішень у минулому та їх наслідків.

СППР третього покоління мають ті самі ознаки, що і другого покоління, але з'явилися додаткові можливості за рахунок упровадження нових засобів інформаційних технологій та методів штучного інтелекту:

– сховищ та вітрин даних, що дає змогу проектувальникам аналізувати величезні обсяги даних з метою вибору раціонального рішення;

– OLAP-систем, які дають можливість користувачам швидко і зручно маніпулювати великими базами даних для дослідження багатьох показників проектних рішень;

– Data mining – методів інтелектуального аналізу даних для пошуку в базах і сховищах даних невідомих (прихованих) закономірностей і тенденцій;

– консультуючих, основаних на знаннях, засобів підтримки прийняття рішень;

– новітніх засобів телекомунікацій, які забезпечують ефективні зв'язки користувачів між собою під час створення групових проектних рішень (Groupware), віртуальних організацій і офісів тощо;

– географічних баз даних та геоінформаційних систем, які забезпечують користувачам доступ, показ і аналіз даних, що мають географічний (територіальний) зміст і значення, з використанням карт.

Розглянемо структуру системи підтримки прийняття рішень (рис. 1.7), а також функції складових її блоків, які визначають основні технологічні операції.

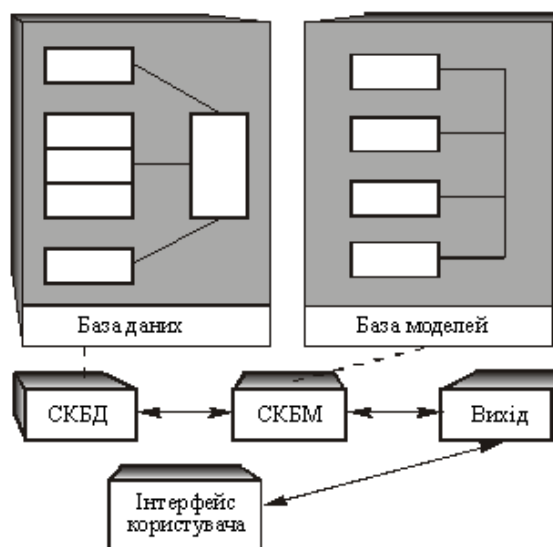


Рисунок 1.7 – Типова структура СППР

Основні компоненти СППР: інтерфейс «користувач-система», база даних (БД) і база моделей (БМ). Інтерфейс "користувач-система" забезпечує зв'язок з кожною із баз. Він включає програмні засоби для управління базою даних, управління базою моделей, управління і генерацію діалогу і повинний забезпечити виконання таких функцій: керувати різноманітними стилями ведення діалогу; змінювати стиль діалогу за бажанням користувача; зображати дані в різних формах і видах; надавати гнучку підтримку користувачеві. Це здійснюється за допомогою система керування базою даних (СКБД) та система керування базою моделей (СКБМ).

Бази даних СППР містять як кількісну, так і якісну інформацію, яка надходить із різних джерел. Засоби створення і введення БД повинні надавати такі можливості: об'єднувати різні джерела інформації, використовуючи процедуру її «добування»; зображати логічну структуру даних термінами користувача; мати повний набір функцій управління даними.

База моделей проектування повинна забезпечувати гнучкість моделювання, зокрема за рахунок використання готових блоків моделей і підпрограм. Управління моделями дає можливість: каталогізувати та обслужити широкий спектр моделей, які підтримують всі рівні управління; легко і швидко створювати нові моделі; пов'язувати моделі з відповідними базами даних.

Вони забезпечують у СППР реалізацію таких важливих властивостей за проектних рішень, як інтерактивність, інтегрованість, потужність, доступність, гнучкість, надійність, керованість.

Інтерактивність СППР означає, що система реагує на різного виду дії, якими людина має намір вплинути на обчислювальний процес, зокрема, у діалоговому режимі. Водночас властивість інтерактивності необхідна для дослідження нових проблем і ситуацій, під час адаптивного проектування прикладних СППР.

Інтегрованість СППР – це сумісність складових системи щодо керування даними і засобами спілкування з користувачами в процесі підтримки прийняття проектних рішень.

Потужність СППР означає здатність системи відповідати на найістотніші запитання.

Доступність СППР – це здатність забезпечувати видачу відповідей на запити проектувальника в потрібній формі і в необхідний час.

Гнучкість СППР характеризує можливість системи адаптуватися до змін потреб і ситуацій.

Надійність СППР означає здатність системи виконувати потрібні функції протягом заданого тривалого періоду.

Керованість СППР означає, що проектувальник може контролювати дії системи, втручаючись у хід розв'язування задачі [16].

Наприкінці 20 століття розроблялась класифікація СППР, в якій відмінності між елементами виділились залежно від рівня підтримки (рівня прямого впливу) управлінських рішень і характеру виконуваних дій. На основі емпіричних досліджень різних СППР, проведених Стевенем Альтером (Steven Alter), були виділені два типи систем[17]:

- системи, орієнтовані на дані, які просто здійснюють вибирання інформації;

- системи, орієнтовані на моделі, що дійсно дають змогу підтримувати прийняття проектних рішень.

У свою чергу, ці групи систем поділяються на сім окремих видів систем:

- системи накопичування файлів (File draver systems), які забезпечують доступ до елементів даних (і нагадують звичайні адміністративні інформаційні системи);

- системи аналізу даних (Data analysis systems), які уможливають проведення маніпуляцій над даними, використовуючи спеціально розроблені засоби і засоби загального користування;

- системи аналізу інформації (Analysis information systems), які забезпечують доступ до кількох баз даних і до невеликих моделей;
- розрахункові моделі або облікові і фінансові моделі (Accounting and financial models), які дають змогу проводити визначення наслідків планових дій на основі обчислювальних процедур;
- репрезентативні або образні моделі (Representational models), які генерують оцінки наслідків дій на основі частково визначених імітаційних моделей, що включають як випадкові, так і обліково визначені зв'язки;
- оптимізаційні моделі (Optimization models), які забезпечують вибір напрямів дій шляхом ідентифікації оптимальних рішень, сумісних з низкою обмежень;
- рекомендаційні моделі (Suggestion models), які виробляють конкретні рекомендовані рішення для слабоструктурованих або цілком зрозумілих завдань [18].

На рис. 1.8 зображена класифікація, яка складається із систем пошуку та аналізу даних, симуляційних та рекомендаційних типів СППР, орієнтованих на моделі.

Системи накопичування файлів забезпечують особі, що приймає рішення, інтерактивний доступ до певних елементів даних, тобто фактично вони є СППР, які містять тільки підсистеми інтерфейсу користувача і керування базою даних. Прикладом такого типу СППР може бути система контролю товарно-матеріальних запасів, яка підтримує щоденне розв'язання завдань операційного рівня; моніторинг устаткування в реальному часі; моніторинг систем.

СППР аналізу даних використовуються для аналізу файлів поточних або попередніх даних. Спеціалізовані системи аналізу фокусуються на множині конкретних вимог до аналізу і на чітко окреслених завданнях. Користувачі мають можливість маніпулювати даними й одержувати протоколи аналізу.

Системи аналізу інформації надають користувачам інформацію шляхом використання ряду баз даних, орієнтованих на прийняття рішень, і простих моделей. Такі СППР можуть накопичувати і зберігати детальну інформацію про

збут, власну і придбану інформацію про потенційних покупців, а також давати прогнози, розраховані на основі економічних моделей промислового сектору. По суті СППР цього типу об'єднують виходи системи оброблення даних, орієнтовані на обслуговування запитів користувачів, з даними від зовнішніх джерел інформації. Прикладами є прогнозування збуту на основі бази даних торгівлі, аналіз конкурентів, планування і аналіз продукції.

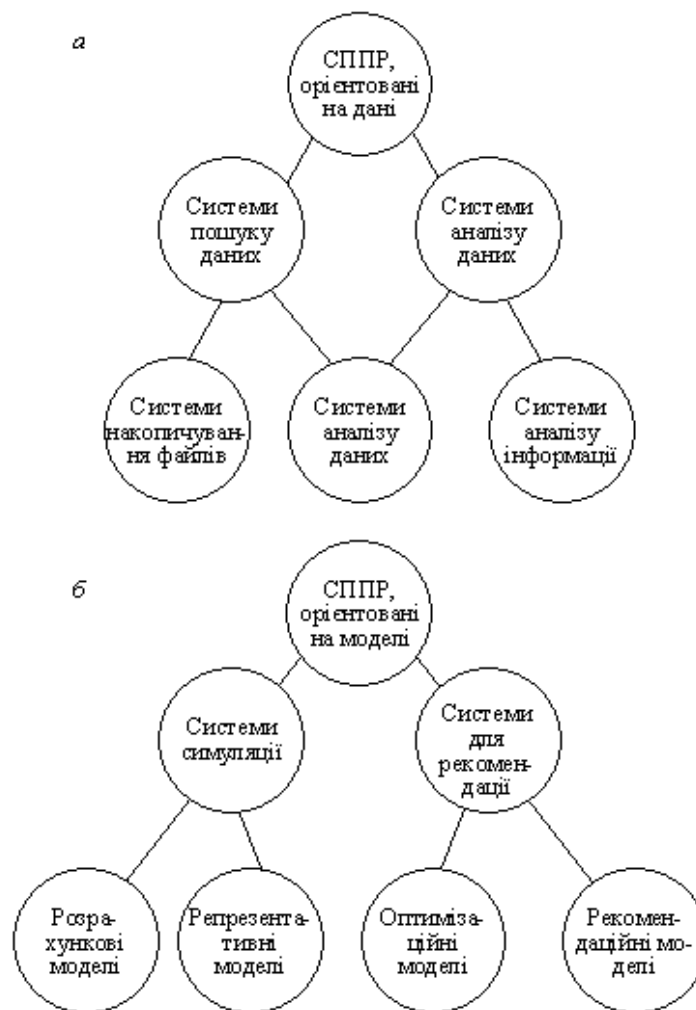


Рисунок 1.8 – Таксономія Альтера: системи підтримки прийняття рішень, орієнтовані на дані (а) і на моделі (б)

Розрахункові моделі використовують визначені зв'язки і формули для обчислення наслідків певних дій. Такого типу СППР застосовуються для покращання планування шляхом генерування оцінок, балансових звітів або

інших вихідних документів чи критеріїв. Входами моделей є оцінки різних елементів витрат. Розрахункові моделі вважаються мінімально невизначеними, коли співвідношення і фактори, використані для ведення обліку фірмою, досить виявлені. Тому розрахункові результати в загальному випадку є точними і надійними.

Репрезентативні моделі охоплюють всі імітаційні моделі, які основані на визначеннях, що переважно не є за своєю суттю обліковими. Наприклад, у розрахунковій моделі дані про ціни на комплектуючі просто вводяться в модель, у той час як у репрезентативній моделі ціна вважається елементом вхідних даних, а обсяг збуту обчислюється за моделлю, що реалізує гіпотетичний причинний механізм залежності обсягу продажу продукції від ціни на неї.

Оптимізаційні моделі пов'язані з ситуаціями, які вимагають синтезу елементів у такому порядку, щоб забезпечити досягнення певної мети з проектування ТП за умови дотримання наперед заданих обмежень. Основані на такому підході СППР використовуються, як правило, не як засіб для одержання конкретних рішень, а як інструмент аналізу, зокрема, за допомогою двоїстих оцінок наявних ресурсів.

За рекомендаційними моделями розробляють конкретні напрями дій на основі математичних перетворень і алгоритмічних процедур, зокрема, реалізованих шляхом машинного моделювання, тобто якщо оптимізаційно-орієнтовані системи підтримки надають допомогу в процесі розгляду альтернатив, визначення важливості обмежень тощо, то рекомендаційно-орієнтовані СППР спроможні давати готові розв'язки задач, які потребують комп'ютерної підтримки. Наприклад, одна із СППР такого класу виконує обчислення, необхідні для визначення найкращої альтернативи (технічного об'єкту) з існуючих, враховуючи вподобання ОПР-проектувальника. Завданням ОПР є вивчення вже поданої системою документації і прийняття рішень стосовно того, чи відповідають проведені обчислення реальній ситуації.

Розуміння типології, подібної до таксономії Альтера, допомагає аналітикам, які досліджують і обговорюють системи підтримки прийняття проектних рішень, зменшити своє збентеження від множини пропонованих варіантів. Таксономія також допомагає користувачам і розробникам узагальнити й об'єднати їхній досвід у галузі СППР [19].

Проаналізувавши види СППР можна зробити висновок, що для розробки компонентів підсистеми підтримки прийняття проектних рішень як прототип може бути вибраний СППР на основі рекомендаційних моделей.

Процес створення системи підтримки прийняття проектних рішень складається з наступних етапів:

- аналіз існуючих інформаційних потоків і процедур проектування;
- виявлення показників, що впливають на процес прийняття рішень;
- розробка процедур, що забезпечують отримання проектувальником необхідної інформації в потрібний час, в потрібному місці і в потрібному вигляді;
- тестування та налаштування програмних засобів для підтримки прийняття рішень;
- навчання проектувальника роботі з програмних засобів для підтримки прийняття рішень [20].

Проаналізувавши види СППР, зрозуміло, що для поставленої задачі як прототип актуально використовувати СППР на основі рекомендаційних моделей.

1.4 Постановка мети та задач дослідження

Ефективність роботизованих ТП, що використовуються в різних сферах виробничої діяльності, визначається рішеннями, які приймаються в процесах їх проектування. У процесі проектування здійснюється ітераційне розв'язання множини завдань структурної, параметричної, топологічної оптимізації за функціональними та вартісними критеріями. Вибір найкращого варіанту

проектного рішення з множини допустимих тільки в найпростіших ситуаціях здійснюється проектувальниками. Через комбінаторний характер задач кількість варіантів проектних рішень різко збільшується з ростом розмірності задачі.

При цьому переважна більшість варіантів проектних рішень є неефективними. Кожне з таких рішень може бути поліпшене одночасно за всіма критеріями. Виникає необхідність виділення чи формування підмножини тільки ефективних (оптимальних за Парето) проектних рішень.

Метою атестаційної роботи є підвищення ефективності систем підтримки прийняття рішень в САПР за рахунок розробки методів виділення та скорочення підмножин ефективних варіантів побудови ТП.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати огляд та аналіз сучасного стану проблеми підтримки прийняття рішень у системах проектування роботизованих ТП;
- розглянути особливості роботизованих ТП як об'єктів проектування;
- проаналізувати системи автоматизації проектування ТП та місце в них підсистем підтримки прийняття рішень;
- сформулювати постановку задачі прийняття проектних рішень;
- визначити чи розробити методи виділення та скорочення підмножин ефективних варіантів побудови ТП;
- розробити програмну реалізацію підсистеми підтримки прийняття проектних рішень;
- провести апробацію розробленого програмного засобу на контрольному прикладі.

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі здійснено огляд та аналіз сучасного стану проблеми підтримки прийняття рішень у системах проектування роботизованих ТП, розглянуто роботизовані технологічні процеси як об'єкти проектування,

існуючу технологію та системи автоматизації проектування ТП. Встановлено, що вибір найкращих варіантів проектних рішень з множини допустимих тільки в найпростіших ситуаціях може бути здійснений проектувальником. При цьому внаслідок комбінаторного характеру задач кількість варіантів проектних рішень різко збільшується з ростом розмірності задачі.

Для підтримки прийняття проектних рішень в рамках САПР ТП створюються спеціальні підсистеми. Серед основних задач таких підсистем виділяються задачі багатокритеріального оцінювання, виділення та скорочення підмножин ефективних варіантів побудови ТП. На цій основі як актуальну сформульовано мету атестаційної роботи, що полягає у підвищенні ефективності систем підтримки прийняття рішень в САПР за рахунок розробки методів виділення та скорочення підмножин ефективних варіантів побудови ТП.

2 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

2.1 Постановка задачі прийняття рішень

Спрощено можна вважати, що прийняття проектного рішення щодо ТП є вибір найкращого за множиною показників варіанта із множини існуючих чи допустимих. Генерація. Оцінювання й вибір проектних рішень здійснюється з використанням математичних моделей.

Математична модель задачі прийняття проектних рішень – це формальний опис складових її елементів (цілі, засоби, результати) та їхніх взаємозв'язків.

Визначимо такі поняття:

X – множина альтернатив (варіантів, проектних рішень, засобів). Як альтернативи $x \in X$ можуть виступати різні варіанти побудови ТП або дій ОПР-проектувальника;

S – множина станів навколишнього середовища, яка характеризує прояв невизначеності в процесі прийняття рішень;

Z – множина наслідків, тобто множина результатів розв'язання задачі прийняття рішень;

Φ – відображення виду

$$\Phi: X \times S \rightarrow Z, \quad (2.1)$$

яке задає зв'язок між альтернативами X та наслідками Z ;

P – принцип оптимальності, що виражає переваги ОПР на множині альтернатив X .

Прийняттям рішення називається вибір підмножини альтернатив із множини X відповідно до принципу оптимальності P .

Задача прийняття рішень полягає у виборі альтернативи $x \in X$, що призводить до деякого результату $z \in Z$ при стані навколишнього середовища $s \in S$.

Зв'язок між елементами задачі прийняття рішень у випадку, коли X та S – скінченні множини, указує таблиця, що називається матрицею виграшів або платіжною матрицею. Елементи матриці виграшів характеризують позитивний ефект або витрати $f_z(x, s)$, пов'язані з результатом $z \in Z$, що наступив при виборі альтернативи $x \in X$ за умов $s \in S$.

Ефективність розв'язання $x \in X$ визначається ступенем відповідності отриманого результату $z \in Z$ поставленої цілі. Кількісною характеристикою ефективності кожної альтернативи $x \in X$ є функція корисності $E(x)$, за значенням якої вибирається найкраще рішення $x^* \in X$, тобто

$$x^* = \arg \max_{x \in X} E(x). \quad (2.2)$$

Процес вибору $x^* \in X$ називається процедурою прийняття рішень, а результат вибору x^* називається найкращим (оптимальним, ефективним) рішенням.

Вибір виду функції корисності $E(x)$ залежить від класу задачі прийняття рішень і від гіпотез ОПР, які виражають його переваги.

Наведемо класифікацію задач прийняття рішень, виходячи з описів зв'язків між рішеннями та наслідками:

– задача прийняття рішень в умовах визначеності. Їй відповідає найпростіший тип зв'язку – детермінований, коли кожна альтернатива призводить до єдиного результату. У цьому випадку існує функціональна залежність між альтернативою $x \in X$ та наслідком $z \in Z$;

– задача прийняття рішень в умовах ризику або стохастичної (імовірнісної) невизначеності. У цьому випадку тип зв'язку недетермінований, тобто кожній альтернативі відповідає не єдиний результат. Якщо відомо, з якою ймовірністю кожній альтернативі відповідатиме результат або цю ймовірність можна оцінити, отримаємо статистичну залежність між $x \in X$ та $z \in Z$. За відсутності інформації про детермінований або стохастичний зв'язок між альтернативами та наслідками виникають задачі прийняття рішень в умовах невизначеності;

– задача прийняття рішень в умовах пасивної взаємодії ОПР та зовнішнього середовища;

– задача прийняття рішень в умовах конфлікту (гри). У цій ситуації зовнішнє середовище S поводить себе активно стосовно ОПР, тобто є проявом дій іншої особи. Крім того, застосування різних засобів математичного моделювання дозволяє виділити такі класи задач прийняття рішень в умовах невизначеності;

– задача прийняття рішень із вихідними даними, заданими у вигляді інтервалів. У цьому випадку елементи множин X , S або Z описуються інтервальними числами;

– задача прийняття рішень із вихідними даними, заданими у вигляді нечітких множин. Ця задача відповідає ситуації, коли хоча б одна із множин X , S або Z є нечіткою або нечітким є відображення $X \times S \rightarrow Z$ [21].

2.2 Багатокритеріальні задачі прийняття рішень

У ході розв'язування задач про прийняття проектних рішень можна виділити такі етапи:

- визначення множини альтернатив X ;
- визначення відображень $k(x)$ множини X у критерійну множину K ;
- побудова «оптимальної» функції вибору на множині K ;

– за «оптимальною» функцією вибору визначення «оптимальних» (ефективних) альтернатив.

При цьому оцінкою альтернативи x називається точка $y \in K$, що має вигляд $y = k(x)$. Якщо множина оцінок є підмножиною скінченновимірному простору R^n , то задачу про прийняття рішень називатимемо багатокритеріальною.

Скалярні функції $k_i(x)$, $i=1,2,\dots,n$, називаються частковими оцінками або частковими критеріями, якщо $k(x)$ є вектор-функцією, що складається із компонент $k_i(x)$, $i=1,2,\dots,n$, у випадку багатокритеріальної задачі.

Для побудови «оптимальних» оцінок альтернатив на критерійній множині потрібно використовувати поняття відношення домінування (яке позначається f). Воно вводиться ОПР залежно від практичної задачі [22].

2.3 Методи розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації

При розв'язанні задач багатокритеріальної оптимізації ТП вирішуються специфічні питання, пов'язані з невизначеністю цілей і несумісністю критеріїв.

Основні проблеми, що виникають при розробці методів багатокритеріальної оптимізації:

- проблема нормалізації критеріїв, тобто їх приведення до єдиного (безрозмірного) масштабу виміру;
- проблема вибору принципу оптимальності, тобто встановлення, уякому сенсі оптимальний розв'язок кращий всі інші розв'язки;
- проблема визначення пріоритетів критеріїв, що виникає в тих випадках, коли з фізичного змісту ясно, що деякі критерії мають пріоритет над іншими;
- проблема обчислення оптимуму задачі багатокритеріального оцінювання. Мова йде про те, як використати методи лінійної, нелінійної, дискретної оптимізації для обчислення оптимуму задач із певною специфікою.

Основні методи, що застосовуються при розв'язанні задач багатокритеріального оцінювання, представлені на рис. 2.1[23].

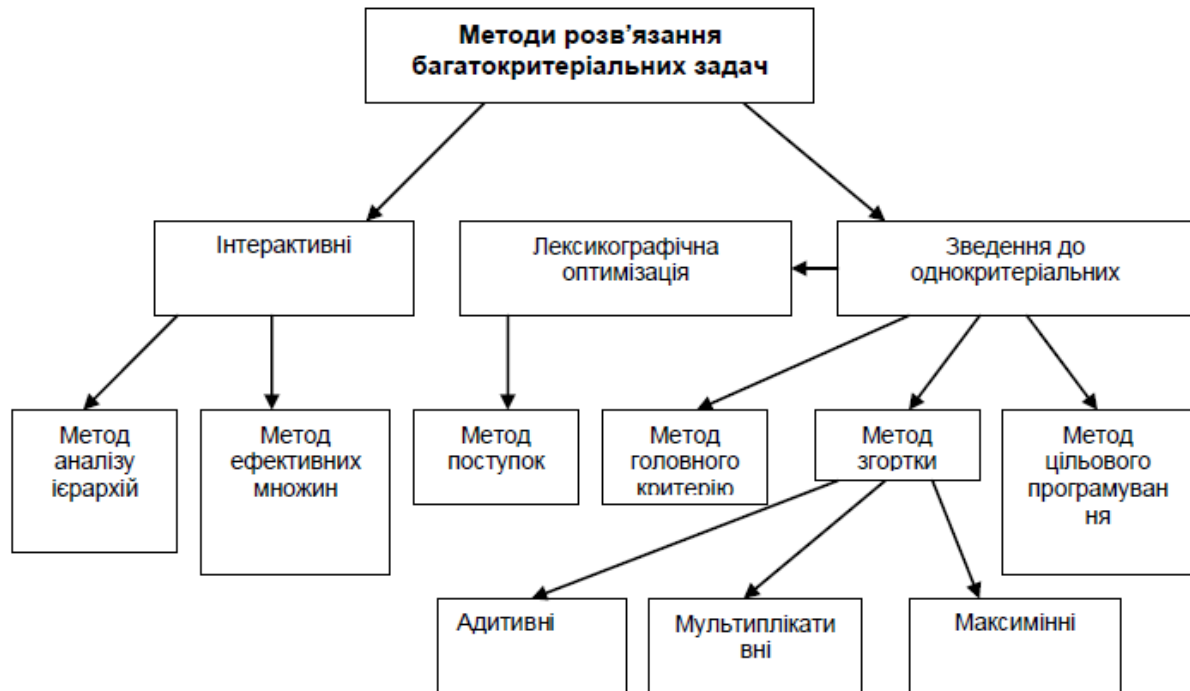


Рисунок 2.1 – Класифікація методів розв'язання багатокритеріальних задач

Одним з підходів до розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації полягає в зведенні багатокритеріальної задачі до однокритеріальної.

Існує декілька способів такого перетворення. Розглянемо деякі з них.

Наприклад, метод виділення основного критерію. Суть цього методу полягає у виділенні основного критерію й переведенні всіх інших критеріїв у систему обмежень. Із множини частинних критеріїв вибирається один – найважливіший, який береться як критерій оптимізації. Для кожного з інших частинних критеріїв призначається його граничне гірше значення.

Тоді вихідна багатокритеріальна задача (2.2) зводиться до однокритеріальної оптимізаційної задачі виду

$$x^0 = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} k_i^*(x), \quad (2.3)$$

$$X^* = \{x \in X : k_i(x) \succ k_i^-(x), i = 1, 2, \dots, n, i \neq i^*\},$$

де $k_{i^*}(x)$ – критерій оптимізації;

$k_i^-(x)$ – найгірші допустимі значення частинних критеріїв $k_i(x)$, $i \neq i^*$;

\succ – символ переваги.

При цьому, $k_i(x) \geq k_i^-(x)$, якщо критерій $k_i(x)$ максимізується та $k_i(x) \leq k_i^-(x)$, якщо критерій $k_i(x)$ мінімізується.

Зауважимо, що множина всіх розв'язків задачі задовольняє умові

$$\text{Arg extr}_{x \in X^*} k_{i^*}(x) \subset S(X). \quad (2.4)$$

Під час реалізації розглянутого методу потрібно звернути особливу увагу на те, щоб допустима множина рішень X^* не була порожньою множиною[24].

Прикладом методу звуження підмножини ефективних проектних рішень може слугувати метод аналізу ієрархій. Цей метод є систематичною процедурою для ієрархічного уявлення компонентів, що визначають суть будь-якої проблеми. Метод полягає в декомпозиції проблеми на все більш прості складові частини і подальшій обробці послідовності суджень особи, яка приймає рішення (ОПР), по парним порівнянь. В результаті може бути виражена відносна ступінь взаємодії елементів. Ці судження потім виражаються чисельно. Метод аналізу ієрархії включає процедури синтезу множинних суджень, виявлення пріоритетності критеріїв і знаходження альтернативних рішень. Отримані таким чином значення є оцінками у шкалі відносин і відповідають деяким чисельним оцінками.

Рішення проблеми – це процедура поетапного встановлення пріоритетів. На першому етапі виявляються найбільш важливі компоненти проблеми, на

другому – найкращий спосіб перевірки спостережень, випробування і оцінка альтернатив; на наступному етапі виробляється рішення і оцінюється його якість. Процес може бути проведений також над послідовністю ієрархій: в цьому випадку результати, отримані в одній з них, використовуються в якості вхідних даних при вивченні наступної. Метод багатокритеріального відбору систематизує процес вирішення такого багатоступінчастої завдання.

Основні принципи методу аналізу ієрархій:

- принцип ідентичності та декомпозиції. Передбачає структурування проблем у вигляді ієрархії або мережі;
- принцип порівняльній суджень (парних порівнянь). Припускає, що елементи завдання (альтернативи і критерії) порівнюються попарно з позиції їх впливу на загальну характеристику;
- принцип синтезу пріоритетів. Передбачає формування набору локальних пріоритетів, які виражають відносний вплив безлічі елементів на елемент примикає зверху рівня.

Метод аналізу ієрархій містить такі етапи (структуризація вказана на рис. 2.2) [25]:

- виконання попарних експертних порівнянь елементів кожного рівня ієрархії;
- визначення вектора пріоритетів;
- визначення максимальних власних значень і ступеня узгодженості матриць парних порівнянь;
- визначення індексів узгодженості та відношень узгодженості для матриць суджень;
- синтез пріоритетів рівнів;
- вибір оптимальної альтернативи.

Наступним розглянемо метод функціонально-вартісного аналізу. Як відомо, вихідна множина частинних критеріїв $K = \{k_i(x), i = 1, 2, \dots, n\}$, що за визначенням досить повно характеризує альтернативи $x \in X$, розбивається на дві

підмножини: $K_f = \{k_{fi}(x), i = 1, 2, \dots, n_f\}$ та $K_z = \{k_{zj}(x), j = 1, 2, \dots, n_z\}$,
 $n_f + n_z = n$.

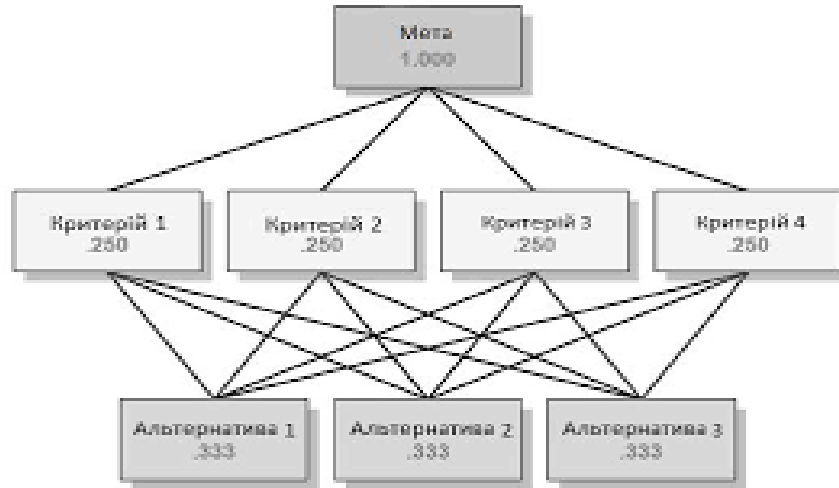


Рисунок 2.2 – Узагальнена ієрархічна структура проблеми

Перша група критеріїв K_f характеризує функціональну якість рішення, тобто ступінь досягнення цілі, а друга K_z – витрати, в широкому розумінні, необхідні для реалізації рішення x , тобто досягнення мети. У кожній із зазначених підмножин виділяється один головний критерій, позначимо їх відповідно $k_{fi^*}(x) = k_f^*(x)$ та $k_{zj^*}(x) = k_z^*(x)$, а решта частинних критеріїв $K \setminus \{k_f^*(x), k_z^*(x)\}$ переводяться в систему обмежень. У результаті отримуємо оптимізаційну задачу із двома критеріями $k_f^*(x)$ та $k_z^*(x)$. Таким чином, виникає необхідність зведення даної задачі до однокритеріальної[26].

У функціонально-вартісному аналізі використовуються такі підходи:

– якщо обидва критерії $k_f^*(x)$ та $k_z^*(x)$ мають однакову розмірність (наприклад, дохід і витрати) або їх можна звести до однакової розмірності, то використовується оптимізаційний критерій виду

$$k(x) = k_f^*(x) - k_z^*(x), \quad (2.5)$$

а оптимальне рішення визначається так

$$x^0 = \arg \max_{x \in X^*} k(x), \quad (2.6)$$

де

$$X^* = \left\{ x \in X \mid k_{fi}(x) \geq k_{fi}^-, i \neq i^*, k_{zj}(x) \leq k_{zj}^-, j \neq j^*, i = 1, \dots, n_f, j = 1, \dots, n_z \right\}; \quad (2.7)$$

—якщо критерії $k_f^*(x)$ та $k_z^*(x)$ мають різну розмірність, то використовується критерій виду

$$k(x) = \frac{k_f^*(x)}{k_z^*(x)}, \quad (2.8)$$

а оптимальне рішення записується так:

$$x^0 = \arg \max_{x \in X^*} k(x); \quad (2.9)$$

—вокремому випадку для зведення двокритеріальної задачі до однокритеріальної у функціонально-вартісному аналізі використовується принцип головного критерію, розглянутий вище. Із цією метою один із двох розглянутих критеріїв, $k_f^*(x)$ або $k_z^*(x)$, перетворюється в додаткове обмеження. Тоді оптимізаційні задачі мають відповідний вид

$$x^0 = \arg \max_{x \in \tilde{X}} k_f^*(x), \quad (2.10)$$

$$\text{де } X = \left\{ x \in X^* \mid k_z^*(x) \leq k_z^- \right\},$$

$$x^0 = \arg \min_{x \in X^*} k_z^*(x), \quad (2.11)$$

$$\text{де } X = \left\{ x \in X^* \mid k_f^*(x) \geq k_f^- \right\},$$

де k_f^-, k_z^- – допустимі рівні відповідних критеріїв $k_f^*(x)$ та $k_z^*(x)$.

Функціонально-вартісний аналіз широко розповсюджений, особливо під час дослідження економічних систем. Це обумовлено тим, що для багатьох технічних, економічних, соціальних процесів характерна однакова залежність ефекту $k_f^*(x)$ від витрат $k_z^*(x)$, яка адекватно описується логістичною кривою. При вдалому виборі головних критеріїв функціонально-вартісний аналіз таких систем наочний і має гарну змістовну інтерпретацію [27].

Далі розглянемо метод ідеальної точки. Ідея цього методу полягає в побудові та використанні при визначенні оптимального рішення x^0 так званої ідеальної точки $\hat{x} = (\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n)$, що визначається в такий спосіб

$$\hat{x}_i = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} k_i(x), \quad \hat{k}_i = \operatorname{extr}_{x \in X} k_i(x), \quad \hat{k}_i = k_i(\hat{x}_i), \quad i \in J_n. \quad (2.12)$$

Таким чином, ідеальна точка надає екстремального значення всім частинним критеріям. Зрозуміло, що в більшості випадків ідеальна точка не належить множині альтернатив, тобто $\hat{x} \notin X$, а $\hat{y} = (\hat{k}_1, \hat{k}_2, \dots, \hat{k}_n) \notin Y$, де $y = (k_1(x), k_2(x), \dots, k_n(x))$.

Метод ідеальної точки передбачає, що як оптимальне рішення x^0 слід вибрати точку з множини альтернатив, що є найближчою у вибраній метриці до ідеальної точки. Нехай

$$\rho(y, \hat{y}) = \left\{ \sum_{i=1}^n |k_i(x) - \hat{k}_i|^p \right\}^{\frac{1}{p}}, \quad p \geq 1. \quad (2.13)$$

Оптимальне рішення x^0 знайдемо в результаті розв'язання задачі оптимізації

$$\rho(y, \hat{y}) \rightarrow \min_{x \in X}, \quad x^0 \in \text{Arg} \min_{x \in X} \rho(y, \hat{y}). \quad (2.14)$$

Зазначимо, що при $1 \leq p < \infty$ отримане оптимальне рішення x^0 належить множині Парето $P(X)$, а при $p = \infty$ справедливе $x^0 \in S(X)$ [27].

Наступним розглянемо формування узагальнених багатокритеріальних оцінок. Найбільш загальний та універсальний підхід щодо розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації відомий як *проблема багатofакторного оцінювання*. Центральною задачею цієї проблеми є побудова узагальненої оцінки рішень $x \in X$.

Розв'язання задачі побудови (ідентифікації, синтезу) математичної моделі в загальному випадку вимагає вирішення таких задач:

- визначення виду (структури) математичної залежності початкових та вихідних змінних, тобто *задача структурної ідентифікації*;
- обчислення кількісних характеристик (параметрів) моделі – *задача параметричної ідентифікації*.

Теоретичною основою формування узагальнених багатокритеріальних скалярних оцінок є *теорія корисності*, яка ґрунтується на гіпотезі,

запропонованій Дж. фон Нейманом та О. Моргенштерном про те, що кожна локальна характеристика рішення, оцінювана частинними критеріями, має для ОПР деяку цінність (корисність), що може бути вимірювана кількісно й тому існує узагальнена кількісна оцінка переваги рішення. Це означає, що якщо рішення $x_1, x_2 \in X$ та x_1 краще (переважніше) x_2 , то

$$x_1 \succ x_2 \Leftrightarrow P(x_1) > P(x_2), \quad (2.15)$$

де $P(x)$ – кількісна оцінка узагальненої корисності рішення;

знак \Leftrightarrow означає, що справедливо як пряме, так і зворотне твердження.

Таким чином, узагальнена корисність є кількісною оцінкою переваги рішення.

У межах цієї гіпотези необхідно обґрунтувати правило, за яким формується корисність рішення в просторі частинних критеріїв [28].

Принциповим є те, що об'єктивного правила не існує, а принцип ранжирування рішень відображує переваги конкретного ОПР. Таким чином, теорія корисності та вибір конкретного виду функцій корисності має аксіоматичний характер, причому аксіоматика відображує переваги конкретного ОПР. У зв'язку із цим може виникнути сумнів у доцільності реалізації конструктивного підходу. Тому в основу теорії корисності покладена *гіпотеза* про існування “раціонального поведіння ОПР”, що має на увазі “*близькість*” рішень різних ОПР в однакових умовах.

У межах цієї гіпотези формалізація процесу ранжирування рішень, по-перше, допомагає ОПР обґрунтувати свої переваги, а по-друге, дозволяє сформулювати кількісну оцінку всіх $x \in X$. Процедура оцінки може здійснюватися без участі ОПР, у тому числі й за допомогою комп'ютера. Таким чином, відкривається можливість автоматизації процесів прийняття рішень.

Очевидно, що узагальнена корисність будь-якого рішення $x \in X$ визначається значеннями частинних критеріїв $k_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, n$, що

характеризують рішення, і, у загальному випадку, ці характеристики не рівнозначні, тобто мають різну «вагу» для ОПР. Це означає, що узагальнена корисність рішення $x \in X$ може бути подана у вигляді

$$P(x) = P(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, k_1(x), k_2(x), \dots, k_n(x)), \quad (2.16)$$

де λ_i – параметри, що приводять різнорідні частинні критерії $k_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, n$, до єдиного виміру.

Наступний етап полягає в ідентифікації виду відображення P .

Найбільш широко відомі дві форми функції корисності

– *адитивна*

$$P(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i k_i(x), \quad (2.17)$$

– *мультиплікативна*

$$P(x) = \prod_{i=1}^n \lambda_i k_i(x). \quad (2.18)$$

Слід зазначити, що за однакової важливості частинних критеріїв адитивна та мультиплікативна оцінка еквівалентні[29].

Таким чином, адитивна форма є більш універсальною. У деяких ситуаціях узагальнені оцінки корисності формуються у вигляді різних комбінацій адитивних і мультиплікативних форм, наприклад

$$P(x) = \sum_{i=1}^m \lambda_i k_i(x) + \prod_{i=m+1}^n \lambda_i k_i(x). \quad (2.19)$$

Розглянемо адитивну форму оцінки узагальненої корисності більш докладно. Можна говорити про коректність оцінки тільки в тому випадку, якщо коефіцієнти λ_i , $i=1,2,\dots,n$, ураховують не тільки важливість частинних критеріїв $k_i(x)$, $i=1,2,\dots,n$, але й приводять різнорідні критерії оцінки проектних рішень $k_i(x)$, $i=1,2,\dots,n$, до єдиної розмірності і єдиного інтервалу вимірювання. Прикладом такого коефіцієнта є ціна, що дозволяє звести до вартісного вираження деякий набір різнорідних показників. Однак, у загальному випадку, визначення значень таких коефіцієнтів ускладнено.

Цю обставину можна подолати, якщо зобразити адитивну функцію у вигляді:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i \bar{k}_i(x), \quad (2.20)$$

де a_i – безрозмірні вагові коефіцієнти відносної важливості частинних критеріїв, для яких виконуються обмеження:

$$0 \leq a_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1, \quad (2.21)$$

а $\bar{k}_i(x)$ – нормалізовані частинні критерії.

Нормалізація частинних критеріїв означає, що вони зводяться до однакової розмірності та інтервалу можливих значень, а також стають інваріантними до виду екстремуму (максимум або мінімум).

За визначенням a_i – безрозмірні коефіцієнти, тому розмірність кожного частинного критерію $\bar{k}_i(x)$ має збігатися з розмірністю $P(x)$, тобто $\bar{k}_i(x)$ характеризує локальну корисність i -ї характеристики рішень x . Позначимо $\bar{k}_i(x) = p_i(x)$. Відповідно до цього набуває вигляду:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i p_i(x). \quad (2.22)$$

Модель оцінювання справедлива тільки в тому випадку, якщо вагові коефіцієнти a_i частинних критеріїв $k_i(x)$ задані точними кількісними значеннями. Як ми вже зазначали вище, носіями цієї інформації є ОПР, і, отже, необхідні деякі процедури її одержання, тобто розв'язання задачі *параметричної ідентифікації моделі*. Через різні причини отримання точної кількісної інформації про коефіцієнти a_i не завжди можливе, тому, у загальному випадку, оцінювання доводиться робити в умовах невизначеності.

Основними ситуаціями є випадки, коли:

- a_i задані у вигляді точних кількісних значень;
- інформація про вагові коефіцієнти a_i задана з різним ступенем невизначеності;
- інформація про перевагу частинних критеріїв повністю відсутня[26].

2.4 Виділення підмножин ефективних проектних рішень

Для спрощення процедур багатокритеріального оцінювання й вибору в системах керування виробничими процесами пропонується розбивати множину допустимих рішень X на підмножини ефективних (таких, що не можуть бути покращені, Парето-оптимальних, компромісних) і неефективних рішень

$$X = X^S \cup X^K, X^S \cap X^K = \emptyset, \quad (2.23)$$

де X^S – підмножина згоди (неефективних рішень), будь-яке рішення з якої може бути покращене хоча б за одним із частинних критеріїв $k_i(x)$, $i = \overline{1, m}$ без погіршення якості за іншими;

X^K – підмножина компромісів, жодне з рішень з якої не може бути покращене одночасно за всіма критеріями $k_i(x)$, $i = \overline{1, m}$.

Точне визначення підмножини $X^K \subset X$ є досить складною задачею, що розв'язується методами дискретного вибору, парних порівнянь, на основі теорем Карліна (для опуклих множин) і Гермейєра (для неопуклих множин).

Підмножина ефективних на опуклій множині допустимих рішень $X^K \subset X$ на основі теореми Карліна знаходиться шляхом об'єднання варіантів x_i^o , $i = \overline{1, m}$, що оптимізують кожен з частинних критеріїв $k_i(x)$, з розв'язками задачі параметричного програмування відносно параметрів:

$$\lambda_i \in \Lambda = \{ \lambda_i : \lambda_i > 0 \quad \forall i = \overline{1, m}, \quad \sum_{i=1}^m \lambda_i = 1 \} \quad (2.24)$$

$$x_i^o = \arg \{ P(x) = \varphi(x) = \bigwedge_{i=1}^m (x) \}, \quad (x) \}, \quad (2.25)$$

де $\xi_i(x)$, $i = \overline{1, m}$ – нормоване значення або значення функції корисності i -го частинного критерію.

Корисність (цінність) значень частинних критеріїв $k_i(x)$, $i = \overline{1, m}$ пропонується подавати з використанням функцій їх належності розмитій множині «краще рішення». Ці функції мають задовольняти множині вимог: бути монотонними і безрозмірними; мати один інтервал зміни (наприклад, від 0 до 1); бути інваріантними до виду екстремуму частинного критерію (*min* чи *max*); дозволяти реалізувати як лінійні, так і нелінійні залежності від значень частинних критеріїв.

Для лінійної, опуклої чи вигнутої апроксимації оцінок значень локальних критеріїв $k_i(x)$, $i = \overline{1, m}$ можна використати функцію корисності виду:

$$\xi_i(x) = \left(\frac{k_i(x) - k_i^-}{k_i^+ - k_i^-} \right)^{\alpha_i}, \quad (2.26)$$

де $k_i(x)$ – значення частинного критерію;

k_i^+, k_i^- – відповідно найкраще та найгірше значення частинного критерію $k_i(x)$ на (x)ожині допустимих рішень $x \in X$;

α_i – параметр, що визначає вид залежності (2.26) ($\alpha_i = 1$ – лінійна, $0 < \alpha_i < 1$ – вигнута догори, $\alpha_i > 1$ – вигнута донизу).

Для більш точної нелінійної (S- і Z-подібної) апроксимації оцінок значень частинних критеріїв пропонується використовувати універсальну функцію корисності на основі склейки:

$$\xi(x) = \begin{cases} \bar{a}(b_1 + 1) \left(1 - \left(b_1 / \left(b_1 + \frac{\bar{k}(x)}{\bar{k}_a} \right) \right) \right), & \\ 0 \leq \bar{k}(x) \leq \bar{k}_a; & \\ \bar{a} + (1 - \bar{a})(b_2 + 1) \times & \\ \times \left(1 - \left(b_2 / \left(b_2 + \frac{\bar{k}(x) - \bar{k}_a}{1 - \bar{k}_a} \right) \right) \right), & \\ \bar{k}_a < \bar{k}(x) \leq 1, & \end{cases} \quad (2.27)$$

де $\xi(x)$ – $\bar{k}(x)$;

\bar{k}_a, \bar{a} – нормовані значення координат точки склейки, $0 \leq \bar{k}_a \leq 1$, $0 \leq \bar{a} \leq 1$;

b_1, b_2 – коефіцієнти, що визначають вид залежності на початковому і кінцевому відрізках функції.

Функція (2.2) має краще значення комплексного показника якості «точність-складність» для обчислення своїх значень серед відомих нелінійних функцій.

Підмножина ефективних варіантів $X^K \subset X$ на основі теореми Гермейєра знаходиться шляхом об'єднання варіантів x_i^o , $i = \overline{1, m}$, що оптимізують кожен з частинних критеріїв $k_i(x)$, з розв'язками задачі параметричного програмування відносно параметрів:

$$\lambda_i \in A = \{ \lambda_i : \lambda_i > 0 \quad \forall i = \overline{1, m}, \quad \sum_{i=1}^m \lambda_i = 1 \}, \quad (2.28)$$

$$x_i^o = \arg \max_{x \in X} \{ P(x) = \min_i \lambda_i \xi_i(x) \}, \quad (2.29)$$

Методи дискретного вибору і парних порівнянь дозволяють коректно виділяти підмножини ефективних управлінських рішень. Однак, зважаючи на високу часову складність ці методи можна застосовувати лише на відносно невеликих множинах альтернатив. Вагові методи, включаючи методи на основі теорем Карліна і Гермейєра, мають меншу регульовану часову складність, ніж точні методи. Однак вони дозволяють виділяти неповні підмножини.

Ефективним способом її спрощення задачі є попереднє визначення наближеної множини компромісів X^P . Умовами коректності процедури визначення наближеної підмножини компромісів є вимога, щоб вона містила в собі підмножину компромісів $X^K \subseteq X^P$ та простота її визначення.

Для відносно невеликих множин допустимих рішень задачу виділення ефективних з них пропонується розв'язувати методом парних порівнянь. Суть його полягає в порівнянні між собою всіх можливих пар допустимих рішень $x, y \in X$ і видаленні з подальшого розгляду тих, які за всіма частинними критеріями гірші за інші (інше).

При цьому в оптимізаційних багатокритеріальних задачах організаційного управління потужність виділених підмножин ефективних рішень $|X^K|$ може бути досить великою. Це не дозволяє ОПР здійснювати конструктивний аналіз всіх варіантів із X^K .

Для остаточного вибору ОПР пропонується надавати лише підмножину ефективних рішень $X^o \subset X^K$, що містить субоптимальні рішення, які відповідають встановленим перевагам між частинними критеріями $k_i(x)$, $i = \overline{1, m}$.

Для скорочення підмножини ефективних до підмножини субоптимальних рішень $X^o \subset X^K$ можуть бути використані методи та математичні моделі кардиналістичної теорії корисності: виділення основного критерію; функціонально-вартісного аналізу; послідовної оптимізації (лексикографічного впорядкування); ідеальної точки; формування узагальнених багатокритеріальних оцінок.

З метою програмної реалізації в розроблюваній системі обрано метод формування узагальнених багатокритеріальних оцінок на основі поліному Колмогорова-Габора:

$$P(x) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \xi_i(x) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=i}^m \lambda_{ij} \xi_i(x) \xi_j(x) + \dots, \quad (2.30)$$

де λ_i, λ_{ij} – вагові коефіцієнти частинних критеріїв і їхніх добутків;

$\xi_i(x), \xi_j(x)$ – функції корисності частинних критеріїв $k_i(x), k_j(x)$.

Частковим випадком функції узагальненої корисності (2.30) є широко використовувана в практиці прийняття рішень адитивна функція:

$$P(x) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \xi_i(x). \quad (2.31)$$

Для остаточного вибору ОПР надається підмножина $X^o \subset X^K \subseteq X$ з n рішень, що є найкращими за обраним показником (2.30) чи (2.31)[6].

2.5 Звуження підмножини ефективних проектних рішень

Звужувати підмножину ефективних рішень можливо методом послідовної оптимізації (лексикографічного впорядкування).

Основна ідея цього методу полягає в перетворенні багатокритеріальної оптимізаційної задачі в упорядковану послідовність однокритеріальних задач.

Для цього всі частинні критерії впорядковуються за спаданням важливості, тобто встановлюється лінійний порядок: $k_1 \succ k_2 \succ \dots \succ k_n$, де \succ – символ відношення порядку. Згідно цієї послідовності розв'язуються однокритеріальні оптимізаційні задачі за кожним частинним критерієм.

За принципом послідовної оптимізації із двох рішень $u \in X$, $v \in X$ перше краще, тобто $u \succ v$, якщо $k_1(u) \succ k_1(v)$ або $(k_1(u) \approx k_1(v)) \wedge (k_2(u) \succ k_2(v))$ або $(k_1(u) \approx k_1(v)) \wedge (k_2(u) \approx k_2(v)) \wedge (k_3(u) \succ k_3(v))$ і т.д.

$$\exists t \in J_{n-1}, \text{ таке, що } (k_j(u) \approx k_j(v), j \in J_t) \wedge (k_{t+1}(u) \succ k_{t+1}(v)). \quad (2.32)$$

Найкраще рішення визначається в такий спосіб.

На першому кроці з вихідної множини допустимих рішень X виділяється підмножина X_1^0 рішень, еквівалентних за першим (найбільш важливим) критерієм. Для цього розв'язується однокритеріальна оптимізаційна задача вигляду

$$X_1^0 = \underset{x \in X}{\text{Arg}} \text{extr } k_1(x). \quad (2.33)$$

Якщо множина X_1^0 містить більше одного рішення, необхідно перейти до наступного етапу, тобто розв'язати задачу вибору еквівалентних рішень

відносно другого за важливістю критерію, але вже із множини X_1^0

$$X_2^0 = \text{Arg } \underset{x \in X_1^0}{\text{extr}} k_2(x). \quad (2.34)$$

У загальному випадку

$$X_i^0 = \text{Arg } \underset{x \in X_{i-1}^0}{\text{extr}} k_i(x), \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (2.35)$$

де $X_0^0 \equiv X$.

Якщо всі частинні критерії «вичерпані» і не знайдене єдине рішення, формуються додаткові критерії. Оптимізація триває, до моменту, поки не буде знайдене єдине рішення.

Якщо вже на перших кроках оптимізації знайдене єдине рішення, тоді всі наступні частинні критерії не враховуються. У цьому випадку може бути застосований метод поступки, відповідно до якого ОПР призначає допустимий рівень зниження $\Delta k_i(x)$ частинного критерію $k_i(x)$ в порівнянні з його екстремальним значенням

$$x_{i+1}^0 = \underset{x \in X}{\text{arg extr}} k_{i+1}(x), \quad i=1, 2, \dots, n-1, \quad (2.36)$$

за умови $k_i(x) > k_i(x_i^0) - \Delta k_i(x)$, якщо $k_i(x)$ максимізується;
 $k_i(x) < k_i(x_i^0) + \Delta k_i(x)$, якщо $k_i(x)$ мінімізується.

Вибір величини поступки здійснюється ОПР евристично, і залежить від особливостей задачі оптимізації.

Якщо буде потреба ранжирування всієї множини рішень X , отримане

найкраще рішення виключається з X , а на решті повторюється описана вище процедура. У результаті визначається друге за якістю рішення. І так далі, доки не будуть упорядковані всі рішення із множини X .

Слід зазначити, що принцип послідовної оптимізації застосовується в ситуаціях, коли ОПР має інформацію про важливість частинних критеріїв[6].

2.6 Висновки до другого розділу

На основі результатів аналізу особливостей проблеми підтримки проектних рішень у САПР роботизованих ТП у другому розділі здійснено розробку математичного забезпечення задачі, сформульовано детальну постановку задачі прийняття багатокритеріальних проектних рішень, розглянуто методи існуючі методи її розв'язання.

Запропоновано реалізувати процес підтримки прийняття проектних рішень в САПР ТП в два етапи: виділення підмножини непоміжованих варіантів методом парних порівнянь та її звуження для остаточно вибору проектувальником методом лексикографічної оптимізації.

Такий підхід дозволить зменшити навантаження на проектувальника та гарантує йому остаточно вибір з підмножини лише Парето-оптимальних рішень.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПІДСИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

3.1 Діаграма прецедентів

Для кращого розуміння ходу роботи програми спочатку побудуємо діаграми прецедентів і діаграми класів.

Для програмної реалізації в системі підтримки прийняття рішень САПР ТП методів парних порівнянь та лексикографічної оптимізації розроблена діаграма прецедентів. Діаграма прецедентів в UML– це діаграма, на якій зображуються відношення між акторами та варіантами використання.

UML-уніфікована мова моделювання – це система позначень, яку можна застосовувати для об'єктно-орієнтованого аналізу і проектування. Її можна використовувати для візуалізації, специфікації, конструювання та документування програмних систем.

МінусиUML проектування:

- трата часу;
- необхідність знання різних діаграм і їх нотацій.

ПлюсиUML проектування:

- можливість подивитися на завдання з різних точок зору;
- іншим програмістам легше зрозуміти суть завдання і спосіб її реалізації;
- діаграми порівняно прості для читання після досить швидкого ознайомлення з їх синтаксисом[30].

За допомогою діаграми прецедентів можна:

- визначити спільні кордони і контекст модельованої предметної області на початкових етапах проектування системи;
- сформулювати загальні вимоги до функціонального поведінки проектованої системи;

– розробити вихідну концептуальну модель системи для її подальшої деталізації у формі логічних і фізичних моделей;

– підготувати вихідну документацію для взаємодії розробників системи з її замовниками і користувачами.

Актор – будь-який об'єкт, суб'єкт або система, що взаємодіє з моделюється системою ззовні.

Варіант використання – опис множини послідовностей дій, що виконуються системою для того, щоб актор міг отримати певний результат.

Зв'язки і взаємини, що існують між елементами моделі, в UML описуються за допомогою відносин, зображуваних на діаграмах.

Ставлення – це семантична зв'язок між окремими елементами моделі. Між акторами і прецедентами діаграми варіантів використання можуть існувати різного роду відносини, що показують, що екземпляри дійових осіб і варіантів використання взаємодіють один з одним. Дійові особи можуть взаємодіяти з декількома прецедентами і між собою, так само як і прецеденти можуть бути пов'язані між собою особливого типу відносинами.

В основному на діаграмах прецедентів використовуються наступні типи відношень:

- асоціації;
- включення;
- розширення;
- узагальнення.

Асоціація – це структурний ставлення, що показує, що об'єкт певним чином пов'язаний з іншим об'єктом

Включення говорить про те, що вихідний прецедент явно включає в себе поведінку цільового.

Розширення показує, що цільової прецедент розширює поведінку вихідного.

Стереотип – це механізм, що дозволяє категоризувати елементи моделі.

Узагальнення– це відношення між загальною сутністю і її конкретним втіленням[30].

Діаграма прецедентів наведена на рис. 3.1.

Короткий опис діаграми прецедентів приведено в таблиці 3.1.

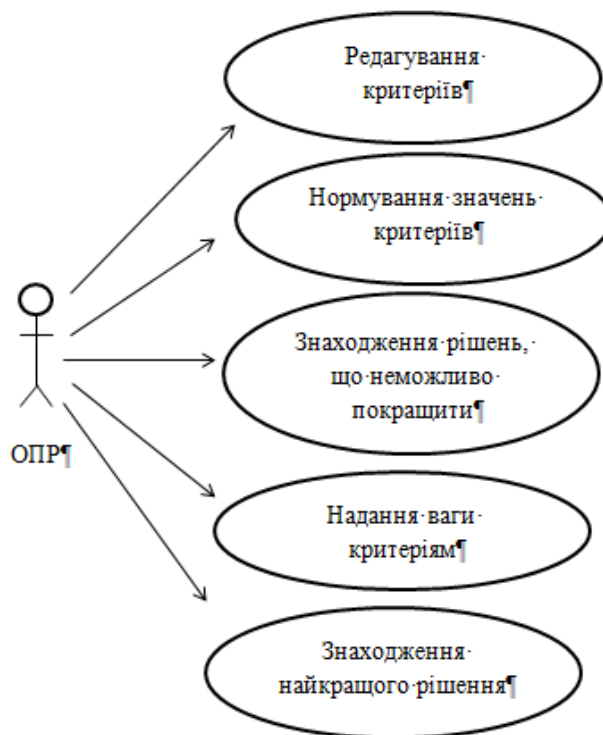


Рисунок 3.1 – Діаграма прецедентів

Таблиця 3.1 – Опис діаграми прецедентів

Актор	Прецедент	Опис
ОПР	Редагування критеріїв	ОПР може перейменувати критерій шляхом зміни текстового поля. Також може додавати і видаляти критерій за допомогою відповідних кнопок на інтерфейсі.

Кінець таблиці 3.1

Актор	Прецедент	Опис
	Нормування значень критеріїв	ОПР за допомогою програми може знайти найкраще та найгірше значення альтернатив по кожному з критеріїв та внормувати значення критеріїв одним зі способів.
	Знаходження рішень, що неможливо покращити	ОПР за допомогою програми може знайти ті рішення, що неможливо покращити за допомогою відповідних кнопок на інтерфейсі.
	Знаходження найкращого рішення	ОПР задає коефіцієнт важливості критеріїв та отримує найкраще рішення натиснувши відповідну кнопку на інтерфейсі. Для отримання рішення повинні бути додані як мінімум 2 альтернативи і 1 критерій.

3.2 Діаграма класів

Діаграма класів—структурна діаграма мови моделювання UML, визначає типи класів системи і різного роду статичні зв'язки, які існують між ними. На діаграмах класів зображуються також атрибути класів, операції класів та обмеження, які накладаються на зв'язку між класами. Вид і інтерпретація

діаграми класів істотно залежить від рівня абстракції: класи можуть представляти сутності предметної області або елементи програмної системи.

Діаграма класів наведена на рис. 3.2.

Основними елементами є класи і зв'язку між ними. Класи характеризуються за допомогою атрибутів і операцій.

Атрибути описують властивості об'єктів класу. Більшість об'єктів в класі отримують свою індивідуальність через відмінності в їх атрибутах і взаємозв'язку з іншими об'єктами. Однак, можливі об'єкти з ідентичними значеннями атрибутів і взаємозв'язків. Тобто індивідуальність об'єктів визначається самим фактом їх існування, а не відмінностями в їх властивості. Ім'я атрибута повинно бути унікально в межах класу. За ім'ям атрибута може слідувати його тип і значення за замовчуванням[31].

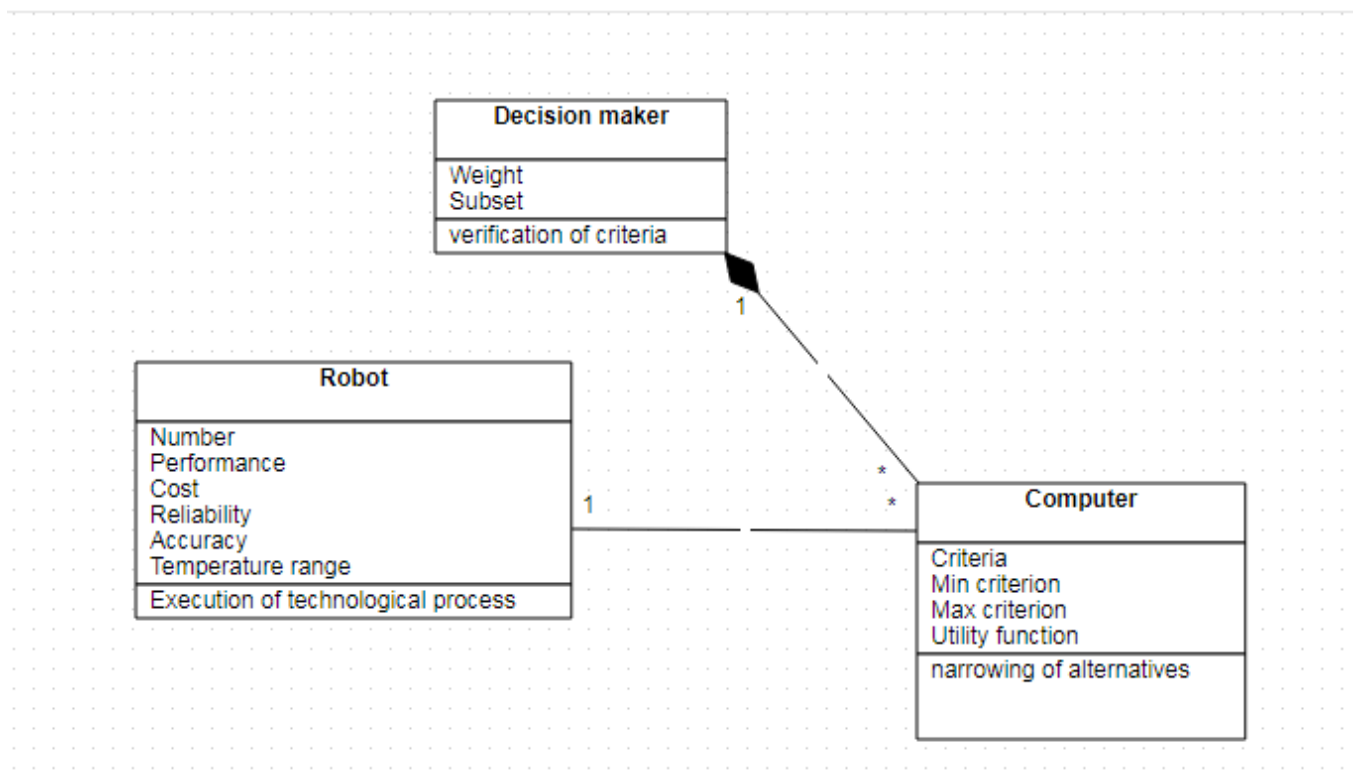


Рисунок 3.2 – Діаграма класів

Операція є функція або перетворення. Операція може мати параметри і повертати значення.

Види зв'язків:

- асоціація
- агрегація
- успадкування.

Асоціація – являє собою відносини між екземплярами класів. Кожен кінець асоціації володіє кратністю, що показує, скільки об'єктів, розташованих з відповідного кінця асоціації, може брати участь в даному відношенні. Асоціації може бути присвоєно ім'я.

Агрегація – це асоціація типу «ціле-частина». Агрегація в UML представляється у вигляді прямої з ромбом на кінці.

Композиція – це така агрегація, де об'єкти-частини не можуть існувати самі по собі і знищуються при знищенні об'єкта агрегує класи. Композиція зображується так само, як асоціація, тільки ромб зафарбований.

Спадкування – це відношення типу «загальне-приватне». Дозволяє визначити таке відношення між класами, коли один клас володіє поведінкою і структурою ряду інших класів. При створенні похідного класу на основі базового (одного або декількох) виникає ієрархія наслідування[31].

3.3 Основні функції системи

Прикладом проектування такої системи підтримки прийняття рішень у системах проектування роботизованих технологічних системах з використанням MEMS акселерометрів.

Внаслідок розробки було отримало Windows-орієнтовану програму, що знаходить найкраще рішення серед зазначених в системі і має ряд таких функцій:

- нормує значення критеріїв за допомогою функції корисності;

- визначає систему переваг критеріїв та рішення, що неможливо покращити за методом парних порівнянь;
- визначення найкращих рішень ра методом лексикографічної оптимізації, враховуючи коефіцієнти значущості критеріїв;
- ОПР обирає оптимальне рішення серед зазначених, якщо це потрібно.

Для кращого розуміння функцій системи розробимо його блок-схему. Схema алгоритму представлена на рис. 3.3.

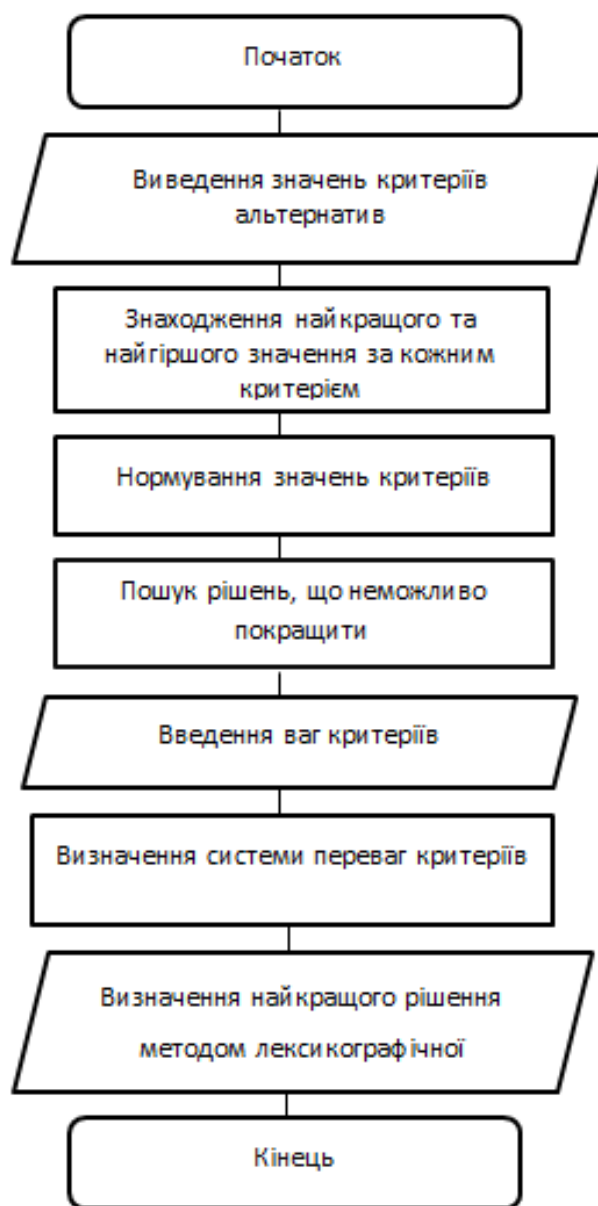


Рисунок 3.3 – Схema алгоритму розв’язання задачі

3.4 Розробка інтерфейсу користувача системи

Обґрунтуємо обраному програмування Java. Java – строго типізована об'єктно-орієнтована мова програмування загального призначення, розроблена компанією Sun Microsystems. Права на торговельну марку належать корпорації Oracle[32].

Програми на Java транслюються в байт-код Java, який виконується віртуальною машиною Java – програмою, обробній байтовий код і передавальній інструкції обладнанню як інтерпретатор.

Перевагою подібного способу виконання програм є повна незалежність байт-коду від операційної системи і устаткування, що дозволяє виконувати Java-додатки на будь-якому пристрої, для якого існує відповідна віртуальна машина.

Іншою важливою особливістю технології Java є гнучка система безпеки, в рамках якої виконання програми повністю контролюється віртуальною машиною. Будь-які операції, які перевищують встановлені повноваження програми, викликають негайне переривання.

Часто до недоліків концепції віртуальної машини відносять зниження продуктивності. Ряд удосконалень кілька збільшив швидкість виконання програм на Java:

- застосування технології трансляції байт-коду в машинний код безпосередньо під час роботи програми (JIT-технологія) з можливістю збереження версій класу в машинному коді,

- широке застосування переносних орієнтованого коду (native-код) в стандартних бібліотеках,

- апаратні засоби, що забезпечують прискорену обробку байт-коду (наприклад, технологія Jazelle, підтримувана деякими процесорами архітектури ARM).

До основних можливостей даної мови програмування можна віднести такі властивості:

- автоматичне управління пам'яттю;
- розширені можливості обробки виняткових ситуацій;
- багатий набір засобів фільтрації введення-виведення;
- набір стандартних колекцій: масив, список, стек і т. п.;
- наявність простих засобів створення мережевих;
- наявність класів, що дозволяють виконувати HTTP-запити і обробляти відповіді;
- вбудовані в мову засоби створення багатопоточних додатків, які потім були перенести на багато мов ;
- уніфікований доступ до баз даних[32].

Обґрунтуємо обране середовище програмування Eclipse. Eclipse – вільна інтегроване середовище розробки модульних кроссплатформених додатків. Розвивається і підтримується Eclipse Foundation.

Eclipse служить платформою для розробки розширень, чим він і завоював популярність: будь-який розробник може розширити Eclipse своїми модулями. Вже існують Java Development Tools, C / C ++ Development Tools, що розробляються інженерами QNX спільно з IBM, і кошти для мов Ada, COBOL, FORTRAN, PHP, X10 та ін. Від різних розробників. Безліч розширень доповнює середу Eclipse диспетчерами для роботи з базами даних, серверами додатків і ін.

Eclipse JDT (Java Development Tools) – найбільш відомий модуль, націлений на групову розробку: середа інтегрована з системами управління версіями –CVS, GIT в основний постачання, для інших систем існують плагіни. Також пропонує підтримку зв'язку між IDE і системою управління помилками. В основній постачання включена підтримка трекера помилок Bugzilla, також є безліч розширень для підтримки інших трекерів. В силу безкоштовності і високої якості, Eclipse в багатьох організаціях є корпоративним стандартом для розробки додатків.

Eclipse написана на Java, тому є платформи-незалежним продуктом, за винятком бібліотеки SWT, яка розробляється для всіх поширених платформ.

Бібліотека SWT використовується замість стандартної для Java бібліотеки Swing. Вона повністю спирається на операційну систему, що забезпечує швидкість і натуральний зовнішній вигляд призначеного для користувача інтерфейсу, але іноді викликає на різних платформах проблеми сумісності і стійкості додатків[33].

При розробці інтерфейсу користувача слід підпорядковуватись таким вимогам:

- бути інтуїтивно простим;

Інтерфейс повинен доступно відображати основні функції. Також, він повинен бути не дратівливим, без зайвих елементів, що дратують. У даній програмі мінімалістичний інтерфейс, темний фон, світлий шрифт.

- простота сприйняття;

Користувач повинен, відкривши програму, відразу зрозуміти, як нею користуватись. У програмі, що розробляється інтерфейс максимально зрозумілий:

- швидко завантажуватися;

Повільне завантаження інтерфейсу буде гальмувати роботу процесу. Програма має працювати на більшості пристроїв.

3.5 Контрольний приклад

Для перевірки працездатності розробленого засобу підтримки прийняття рішень САПР роботизованих технологічних процесів розв'язано контрольний приклад.

Опис процесу роботи програми був наведений вище. Тепер наведемо безпосередньо результати її реалізації.

Для оцінки якості ТП було використано чотири показники (часткові критерії):

- продуктивність;

- вартість;

- надійність;

– точність.

Будемо вважати, що результати роботи підсистем генерації й оцінки варіантів побудови ТП занесені до бази даних. Використовуючи генератор випадкових чисел, зімітуємо характеристики варіантів побудови ТП .

На рисунках 3.4 і 3.5 наведені екранні форми програми з характеристиками 100 варіантів за чотирма показниками.

Початковий масив альтернатив				
№ Альтернативи	Продуктивність	Ціна	Надійність	Точність
1	83.0	746168.0	0.5252587	0.6573862
2	77.0	338622.0	0.9984447	0.27575517
3	19.0	411242.0	0.41741204	0.8196263
4	21.0	630491.0	0.75692505	0.67193216
5	77.0	208791.0	0.094679594	0.5721296
6	74.0	383973.0	0.6131142	0.99647605
7	38.0	76217.0	0.14797783	0.89825946
8	93.0	778078.0	0.86333925	0.5461395
9	62.0	539057.0	0.6583708	0.9500168
10	84.0	703540.0	0.19472873	0.35995167
11	69.0	419918.0	0.39044732	0.8798861
12	88.0	729156.0	0.23379803	0.83241063
13	85.0	180951.0	0.45139468	0.9210021
14	97.0	224172.0	0.9660625	0.05728352
15	55.0	300278.0	0.61189836	0.06451529
16	94.0	171237.0	0.079841554	0.27914137
17	23.0	716241.0	0.20720267	0.5150486
18	42.0	286326.0	0.04038632	0.05277443
19	73.0	236301.0	0.17665178	0.8865354
20	34.0	617602.0	0.9490822	0.15038478
21	40.0	265836.0	0.08399707	0.74772525
22	76.0	527332.0	0.16088146	0.041185975
23	43.0	450286.0	0.19418162	0.34189713
24	41.0	136842.0	0.26875848	0.6665269
25	26.0	739116.0	0.98466307	0.6690516
26	40.0	68693.0	0.88653344	0.05666715
27	39.0	696034.0	0.19670427	0.9382965
28	92.0	284450.0	0.35237342	0.7417876
29	47.0	626834.0	0.68862754	0.42851973
30	73.0	158192.0	0.24348813	0.9655046
31	30.0	54642.0	0.073290646	0.7271203
32	89.0	364975.0	0.9569071	0.70168126
33	12.0	591915.0	0.8371322	0.95404315
34	37.0	412932.0	0.49849015	0.89565146
35	33.0	478681.0	0.32075787	0.9182243
36	35.0	353387.0	0.7836062	0.6078202
37	60.0	71485.0	0.85480785	0.099618495
38	93.0	517458.0	0.90927017	0.07744151
39	9.0	422755.0	0.0050206184	0.58519596
40	89.0	159991.0	0.6409498	0.98587286
41	29.0	542617.0	0.46436834	0.6531292
42	95.0	617150.0	0.019702792	0.43672174
43	51.0	150296.0	0.35708767	0.11479926
44	36.0	591746.0	0.014732838	0.841392
45	12.0	280979.0	0.25009227	0.80746615
46	75.0	404489.0	0.26494813	0.20418483
47	28.0	226133.0	0.85567415	0.3681295
48	10.0	53127.0	0.83857983	0.44451302
49	40.0	513910.0	0.27002817	0.05863756
50	50.0	658658.0	0.56896913	0.90893805

Поточний етап: Отримання альтернатив < Назад Наступний етап >

Рисунок 3.4 – Масив характеристик для варіантів 1-50

Початковий масив альтернатив				
№ Альтернативи	Продуктивність	Ціна	Надійність	Точність
51	84.0	13184.0	0.12678069	0.2340697
52	96.0	452645.0	0.5405261	0.19573629
53	37.0	46758.0	0.60518414	0.8055294
54	26.0	665468.0	0.004761219	0.30189675
55	34.0	15559.0	0.3760181	0.05250287
56	93.0	24242.0	0.3101108	0.06930286
57	16.0	75815.0	0.8931008	0.56735796
58	62.0	632509.0	0.9629379	0.9126773
59	52.0	500650.0	0.171494	0.6530938
60	9.0	622263.0	0.7288869	0.4268543
61	26.0	107915.0	0.8280403	0.91461957
62	50.0	197370.0	0.16921872	0.2551309
63	33.0	796698.0	0.7264269	0.83613366
64	84.0	405993.0	0.81915164	0.051532567
65	35.0	142765.0	0.65356046	0.21363878
66	68.0	522162.0	0.10371041	0.8499823
67	94.0	632809.0	0.85713065	0.55887663
68	35.0	793064.0	0.46545488	0.86147624
69	68.0	158521.0	0.23661697	0.72788507
70	95.0	553245.0	0.21813792	0.68232274
71	89.0	253240.0	0.18256587	0.88107187
72	37.0	630314.0	0.4660908	0.10246241
73	24.0	578520.0	0.1348049	0.69346964
74	41.0	319504.0	0.9004695	0.9266742
75	85.0	259643.0	0.008350134	0.5671934
76	68.0	574309.0	0.9829797	0.7135216
77	8.0	750291.0	0.46729505	0.7121409
78	12.0	259683.0	0.494415	0.4883517
79	34.0	43073.0	0.52616006	0.7935169
80	54.0	391646.0	0.32439882	0.71862745
81	18.0	131802.0	0.52095014	0.28131562
82	18.0	617884.0	0.20441544	0.37786913
83	56.0	592783.0	0.23715276	0.5221351
84	51.0	298634.0	0.15282983	0.7745751
85	53.0	373889.0	0.08965474	0.93395835
86	9.0	233075.0	0.28095102	0.17177325
87	16.0	433802.0	0.8568424	0.090807915
88	65.0	471242.0	0.837301	0.6430744
89	92.0	517819.0	0.10881293	0.2963481
90	38.0	385536.0	0.12788862	0.850769
91	95.0	546545.0	0.8133464	0.43990725
92	12.0	497044.0	0.63417506	0.23768818
93	68.0	307088.0	0.33815247	0.22194731
94	38.0	219364.0	0.5603846	0.442172
95	48.0	704261.0	0.94876766	0.12145984
96	81.0	569813.0	0.19115782	0.79795045
97	76.0	755230.0	0.62241834	0.9358533
98	15.0	484517.0	0.29141045	0.9420699
99	61.0	580441.0	0.26552528	0.9793601
100	89.0	793792.0	0.92579645	0.5788513

Поточний етап: Отримання альтернатив < Назад **Наступний етап >**

Рисунок 3.5 – Масив характеристик для варіантів 51-100

Для обчислення функцій корисності часткових критеріїв $\xi_i(x)$ обчислимо найкращі та найгірші значення k_i^+ , k_i^- часткових критеріїв $k_i(x)$, $i = \overline{1, m}$.

Знайдені найкращі та найгірші значення альтернатив за кожним критерієм подані на екранній формі, зображеній на рис. 3.7.

При обчисленні значень функцій корисності часткових критеріїв $\xi_i(x)$, $i = \overline{1, m}$ використано формулу (2.26) зі значення параметру, що визначає вид нелінійності $\alpha_i = 1$.

На екранних формах (рис. 3.8 і 3.9) зображені нормовані значення часткових критеріїв для 100 альтернативних варіантів ТП.

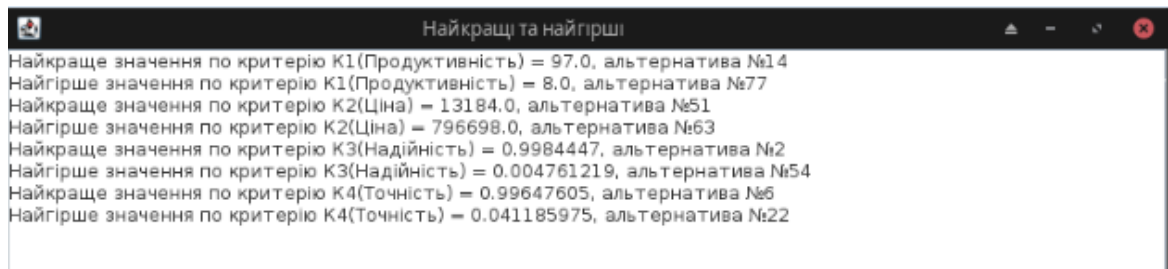


Рисунок 3.7 – Найкращі і найгірші значення за кожним критерієм

Нормалізовані значення				
№ Альтернативи	Продуктивність	Ціна	Надійність	Точність
1	0.8426966	0.06449151	0.5252587	0.6573862
2	0.7752809	0.584643	0.9984447	0.27575517
3	0.123595506	0.49195802	0.41741204	0.8196263
4	0.14606741	0.21213022	0.75692505	0.67193216
5	0.7752809	0.75034654	0.094679594	0.5721296
6	0.74157304	0.5267615	0.6131142	0.99647605
7	0.33707866	0.9195509	0.14797783	0.89825946
8	0.9550562	0.023764731	0.86333925	0.5461395
9	0.60674155	0.32882756	0.6583708	0.9500168
10	0.85393256	0.118897684	0.19472873	0.35995167
11	0.6853933	0.48088482	0.39044732	0.8798861
12	0.8988764	0.08620395	0.23379803	0.83241063
13	0.8651685	0.7858787	0.45139468	0.9210021
14	1.0	0.73071575	0.9660625	0.05728352
15	0.5280899	0.6335815	0.61189836	0.06451529
16	0.96629214	0.7982767	0.079841554	0.27914137
17	0.16853933	0.10268738	0.20720267	0.5150486
18	0.38202247	0.65138847	0.04038632	0.05277443
19	0.7303371	0.7152355	0.17665178	0.8865354
20	0.29213482	0.22858047	0.9490822	0.15038478
21	0.35955057	0.6775399	0.08399707	0.74772525
22	0.76404494	0.3437922	0.16088146	0.041185975
23	0.39325842	0.44212613	0.19418162	0.34189713
24	0.37078652	0.8421751	0.26875848	0.6665269
25	0.20224719	0.07349198	0.98466307	0.6690516
26	0.35955057	0.9291538	0.88653344	0.05666715
27	0.3483146	0.1284776	0.19670427	0.9382965
28	0.94382024	0.65378284	0.35237342	0.7417876
29	0.43820226	0.21679766	0.68862754	0.42851973
30	0.7303371	0.8149261	0.24348813	0.9655046
31	0.24719101	0.9470871	0.073290646	0.7271203
32	0.9101124	0.55100864	0.9569071	0.70168126
33	0.04494382	0.26136482	0.8371322	0.95404315
34	0.3258427	0.48980108	0.49849015	0.89565146
35	0.28089887	0.40588555	0.32075787	0.9182243
36	0.30337077	0.56579846	0.7836062	0.6078202
37	0.58426964	0.92559034	0.85480785	0.099618495
38	0.9550562	0.3563944	0.90927017	0.07744151
39	0.011235955	0.47726396	0.0050206184	0.58519596
40	0.9101124	0.81263	0.6409498	0.98587286
41	0.23595506	0.32428393	0.46436834	0.6531292
42	0.9775281	0.22915736	0.019702792	0.43672174
43	0.48314607	0.82500374	0.35708767	0.11479926
44	0.31460676	0.26158053	0.014732838	0.841392
45	0.04494382	0.6582129	0.25009227	0.80746615
46	0.752809	0.5005769	0.26494813	0.20418483
47	0.2247191	0.7282129	0.85567415	0.3681295
48	0.02247191	0.9490207	0.83857983	0.44451302
49	0.35955057	0.36092272	0.27002817	0.05863756
50	0.47191012	0.17618065	0.56896913	0.90893805

Поточний етап: Нормалізація значень

Рисунок 3.8 – Нормовані значення критеріїв для альтернатив 1-50

Нормалізовані значення				
№ Альтернативи	Продуктивність	Ціна	Надійність	Точність
51	0.6452901	1.0	0.07108239	0.2340697
52	0.975785	0.43911532	0.7113624	0.19573629
53	0.10989888	0.95714945	0.33387184	0.8055294
54	0.97631717	0.16748904	0.55573505	0.30189675
55	0.9129856	0.9969688	0.60635436	0.05250287
56	0.048163917	0.98588663	0.7711362	0.06930286
57	0.24401277	0.920064	0.24286483	0.56735796
58	0.86934537	0.20955464	0.42487884	0.9126773
59	0.27833953	0.37784648	0.9461497	0.6530938
60	0.119212344	0.22263163	0.42757136	0.4268543
61	0.4733901	0.8790947	0.0075390413	0.91461957
62	0.48616284	0.76492316	0.6160474	0.2551309
63	0.61495477	0.0	0.41249326	0.83613366
64	0.5870144	0.49865735	0.86537427	0.051532567
65	0.92841935	0.8346156	0.1087776	0.21363878
66	0.6593933	0.35039067	0.49649972	0.8499823
67	0.95928687	0.20917176	0.24394184	0.55887663
68	0.7943055	0.004638079	0.77275175	0.86147624
69	0.53805214	0.8145062	0.73667204	0.72788507
70	0.8597658	0.3107194	0.73774904	0.68232274
71	0.17802022	0.6936162	0.3489499	0.88107187
72	0.21926557	0.21235614	0.11954766	0.10246241
73	0.06572645	0.2784609	0.73667204	0.69346964
74	0.6737626	0.60904336	0.35002694	0.9266742
75	0.6894625	0.68544406	0.86537427	0.5671934
76	0.73443323	0.28383538	0.8777598	0.7135216
77	0.4183076	0.059229318	0.5255789	0.7121409
78	0.31399682	0.685393	0.84383416	0.4883517
79	0.6471527	0.9618526	0.0	0.7935169
80	0.55747736	0.5169684	0.41410878	0.71862745
81	0.8416711	0.84860766	0.5853527	0.28131562
82	0.32597128	0.22822055	0.96930534	0.37786913
83	0.6362427	0.260257	1.0	0.5221351
84	0.17589143	0.6356798	0.7797523	0.7745751
85	0.8597658	0.5396317	0.37587506	0.93395835
86	0.72990954	0.71935284	0.13893376	0.17177325
87	0.19531666	0.46316466	0.6203554	0.090807915
88	0.50931346	0.41537994	0.50080776	0.6430744
89	0.76955825	0.35593367	0.6182014	0.2963481
90	0.7871208	0.5247666	0.6930533	0.850769
91	0.5851517	0.3192706	0.92622507	0.43990725
92	0.04497073	0.38244882	0.22078621	0.23768818
93	0.0	0.6248899	0.3645665	0.22194731
94	0.72166044	0.73685217	0.050619278	0.442172
95	0.4217669	0.11797747	0.88529885	0.12145984
96	0.8903672	0.28957364	0.34087238	0.79795045
97	0.9896221	0.052925665	0.12816371	0.9358533
98	0.9797765	0.39843705	0.7517501	0.9420699
99	0.94332093	0.2760091	0.3290253	0.9793601
100	0.51250666	0.0037089319	0.21324718	0.5788513

Поточний етап: нормалізація значень

Рисунок 3.9 – Нормовані значення критеріїв для альтернатив 51-100

На екранних формі (рис. 3.10) зображені ті значення часткових критеріїв, що неможливо покращити.

Метод парних порівнянь				
№ Альтернативи	Продуктивність	Ціна	Надійність	Точність
2	0.7752809	0.584643	0.9984447	0.27575517
6	0.74157304	0.5267615	0.6131142	0.99647605
7	0.33707866	0.9195509	0.14797783	0.89825946
8	0.9550562	0.023764731	0.86333925	0.5461395
9	0.60674155	0.32882756	0.6583708	0.9500168
14	1.0	0.73071575	0.9660625	0.05728352
16	0.96629214	0.7982767	0.079841554	0.27914137
24	0.37078652	0.8421751	0.26875848	0.6665269
25	0.20224719	0.07349198	0.98466307	0.6690516
26	0.35955057	0.9291538	0.88653344	0.05666715
28	0.94382024	0.65378284	0.35237342	0.7417876
30	0.7303371	0.8149261	0.24348813	0.9655046
32	0.9101124	0.55100864	0.9569071	0.70168126
33	0.04494382	0.26136482	0.8371322	0.95404315
37	0.58426964	0.92559034	0.85480785	0.099618495
38	0.9550562	0.3563944	0.90927017	0.07744151
40	0.9101124	0.81263	0.6409498	0.98587286
42	0.9775281	0.22915736	0.019702792	0.43672174
43	0.48314607	0.82500374	0.35708767	0.11479926
47	0.2247191	0.7282129	0.85567415	0.3681295
48	0.02247191	0.9490207	0.83857983	0.44451302
51	0.85393256	1.0	0.12678069	0.2340697
52	0.98876405	0.43911532	0.5405261	0.19573629
53	0.3258427	0.95714945	0.60518414	0.8055294
55	0.29213482	0.9969688	0.3760181	0.05250287
56	0.9550562	0.98588663	0.3101108	0.06930286
57	0.08988764	0.920064	0.8931008	0.56735796
58	0.60674155	0.20955464	0.9629379	0.9126773
61	0.20224719	0.8790947	0.8280403	0.91461957
65	0.30337077	0.8346156	0.65356046	0.21363878
67	0.96629214	0.20917176	0.85713065	0.55887663
70	0.9775281	0.3107194	0.21813792	0.68232274
71	0.9101124	0.6936162	0.18256587	0.88107187
74	0.37078652	0.60904336	0.9004695	0.9266742
76	0.6741573	0.28383538	0.9829797	0.7135216
79	0.29213482	0.9618526	0.52616006	0.7935169
89	0.94382024	0.35593367	0.10881293	0.2963481
91	0.9775281	0.3192706	0.8133464	0.43990725
100	0.9101124	0.0037089319	0.92579645	0.5788513

Поточний етап: Метод парних порівнянь

Рисунок 3.10 – Знайдені рішення, що неможливо покращити

Результат роботи програми зображений на рис. 3.11. На цій екранній формі відображений результат знаходження найкращого рішення.

Метод лексикографічної оптимізації: результат				
№ Альтернативи	Продуктивність	Ціна	Надійність	Точність
40	0.9101124	0.81263	0.6409498	0.98587286

Поточний етап: Метод лексикографічної оптимізації: результат

< Назад Наступний етап >

Рисунок 3.11 – Результат знаходження найкращого рішення

3.6 Охорона праці під час роботи з комп'ютером

Розглянемо основні правила охорони праці, під час роботи з комп'ютером:

а) вимоги охорони праці перед початком роботи:

- 1) підготувати робоче місце;
- 2) відрегулювати освітлення на робочому місці, переконавшись у відсутності відблисків на екрані;
- 3) перевірити правильність підключення обладнання до електромережі;
- 4) перевірити справність проводів живлення і відсутність проводів без ізоляції;

5) переконатися в наявності заземлення системного блоку, монітора і захисного екрана;

б) протерти антистатичною серветкою поверхню екрану монітора і захисного екрана;

7) перевірити правильність установки столу, стільця, підставки для ніг, опітра, кута нахилу екрану, положення клавіатури, положення «миші» на спеціальному килимку, при необхідності провести регулювання положення робочого столу і крісла, а також розташування елементів комп'ютера відповідно до вимогами ергономіки та з метою виключення незручних поз і тривалих напруг тіла;

б) вимоги охорони праці під час роботи:

1) працівникові під час роботи на ПК забороняється:

– торкатися до задньої панелі системного блоку (процесора) під час увімкненого живлення;

– переключати роз'єми інтерфейсних кабелів периферійних пристроїв при включеному живленні;

– допускається потрапляння вологи на поверхню системного блоку (процесора), монітора, робочу поверхню клавіатури, дисководів, принтерів і інших пристроїв;

– виробляти самостійне розкриття і ремонт обладнання;

– працювати на комп'ютері при знятих кожухах;

– вимикати обладнання від електромережі і висмикувати, тримаючись за шнур;

2) під час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційної напруги, втоми зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії і гіпокінезії, виконувати комплекси вправ;

в) вимоги охорони праці під час аварійних ситуацій:

1) у всіх випадках обриву проводів живлення, несправності заземлення та інших пошкоджень, появи горілого, негайно вимкнути живлення і повідомити про аварійну ситуацію керівнику;

2) не приступати до роботи до усунення несправностей;

3) при виникненні пожежі, задимлення:

– негайно повідомити по телефону «101» в пожежну охорону, сповістити працюючих, довести до відома керівника підрозділу, повідомити про пожежу на пост охорони;

– відкрити запасні виходи з будівлі, знеструмити електроживлення, закрити вікна і прикрити двері;

– приступити до гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння, якщо це не пов'язано з ризиком для життя;

– організувати зустріч пожежної команди.;

– покинути будинок і знаходитися в зоні евакуації;

4) під час нещасного випадку:

– негайно організувати першу допомогу потерпілому і під час необхідності – доставку його в медичну організацію;

– вжити невідкладних заходів щодо запобігання розвитку аварійної або іншої надзвичайної ситуації та впливу травмуючих чинників на інших осіб;

– зберегти до початку розслідування нещасного випадку обстановку, якою вона була на момент події, якщо це не загрожує життю і здоров'ю інших осіб і не веде до катастрофи, аварії або виникнення інших надзвичайних обставин, а в разі неможливості її збереження;

5) зафіксувати обстановку (скласти схеми, провести інші заходи).

г) вимоги охорони праці після закінчення роботи:

1) відключити живлення комп'ютера;

2) привести в порядок робоче місце;

3) виконати вправи для очей і пальців рук на розслаблення [34].

Невід'ємною частиною комплексного тестування є тестування захищеності програми. Дане випробування направлено на аналіз можливих ризиків, захист від зловмисників, що намагаються зломити систему, чи

отримати доступ до конфіденційних даних, встановлення ступеню захищеності програми.

Базуючись на принципах конфіденційності, доступності та цілісності, тестування безпеки має сприяти забезпеченню збереження даних, обмеження доступів і підключень користувачів. Ця версія програми не потребує реєстрації, а значить персональні дані користувачів не можуть бути під загрозою.

Тестування зручності використання можна зробити в декілька етапів:

Оцінка швидкості зрозуміння середньостатистичного користувача інтерфейсу програми

Цей додаток має класичну колірну гамму – темний фон, світлі шрифти, чітко виділені функції, які необхідно виконати (див. рис. 3.8). А значить, користувач зможе з легкістю визначити основне призначення програми та зрозуміти, як вона працює.

Аналіз основного сценарію взаємодії – оцінка кількості кроків, які необхідно виконати у системі.

Від користувача потрібно виконання мінімальної кількості дій для отримання результату програми.

Аналіз результату програми ОПР на основі результатів попереднього етапу Виноситься рішення про їх відповідність цілям, а також оцінюється можливість їх удосконалення та підвищення зручності використання.

Можна зробити висновок, що дана розроблена програма зручна, безпечна та проста у використанні.

3.7 Висновки до третього розділу

У третьому розділі на основі обраних методів виділення підмножини ефективних варіантів побудови ТП (метод парних порівнянь) та її скорочення (метод лексикографічної оптимізації) здійснена програмна реалізація підсистеми підтримки прийняття рішень. З цією метою розроблено діаграму

прецедентів і діаграму класів, здійснено опис основних функцій системи та розробку інтерфейсу користувача.

Для програмної реалізації системи обґрунтовано обрано мову програмування Java. Працездатність розробленої системи підтверджена на основі результатів розв'язання контрольного прикладу.

Запропонована програмна реалізація методів реалізує етапи виділення підмножини недомінованих варіантів та її звуження для остаточно вибору проектувальником. Розроблений програмний засіб має інтуїтивно простий інтерфейс, дозволяє зменшити інтелектуальне навантаження на проектувальника та допомагає йому здійснити остаточно вибір з підмножини лише Парето-оптимальних рішень.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання атестаційної роботи було здійснено огляд та аналіз сучасного стану проблеми підтримки прийняття рішень у системах проектування роботизованих ТП, розглянуто роботизовані технологічні процеси як об'єкти проектування, існуючу технологію та системи автоматизації проектування ТП. При цьому встановлено, що вибір найкращих варіантів проектних рішень з множини допустимих тільки в найпростіших ситуаціях може бути здійснений проектувальником. Внаслідок комбінаторного характеру задач кількість варіантів проектних рішень різко збільшується з ростом розмірності задачі.

На основі результатів аналізу особливостей проблеми підтримки проектних рішень у САПР роботизованих ТП здійснено розробку математичного забезпечення задачі, сформульовано детальну постановку задачі прийняття багатокритеріальних проектних рішень, розглянуто методи існуючі методи її розв'язання. Запропоновано реалізувати процес підтримки прийняття проектних рішень в САПР ТП в два етапи: виділення підмножини недомінованих варіантів методом парних порівнянь та її звуження для остаточно вибору проектувальником методом лексикографічної оптимізації.

На основі обраних методів виділення підмножини ефективних варіантів побудови ТП (метод парних порівнянь) та її скорочення (метод лексикографічної оптимізації) здійснена програмна реалізація підсистеми підтримки прийняття рішень мовою програмування Java. Працездатність розробленої системи підтверджена на основі результатів розв'язання контрольного прикладу.

Запропонована програмна реалізація методів реалізує етапи виділення підмножини недомінованих варіантів та її звуження для остаточно вибору проектувальником. Розроблений програмний засіб має інтуїтивно простий інтерфейс, дозволяє зменшити інтелектуальне навантаження на

проектувальника та допомагає йому здійснити остаточний вибір з підмножини лише Парето-оптимальних рішень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 31 с.
2. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. Посіб. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. – К.: Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 320 с.
3. Методичні вказівки з «Розробки оформлення магістерської атестаційної роботи» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» [Текст]/ Упоряд. І.Ш. Невлюдов, В.В. Косенко, В.В. Євсєєв. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 55 с.
4. Положення про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ. [Електронний ресурс] / Режим доступу: [www/ URL: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/Polozhennya-pro-protidiyu-akademichnomu-plagiatu-v-HNURE-290-vid-28.04.2017.pdf](http://www.nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/Polozhennya-pro-protidiyu-akademichnomu-plagiatu-v-HNURE-290-vid-28.04.2017.pdf) – 29.08.2019р. – Загл.з екрана.
5. Коритченко, В.К. Підтримка прийняття багатокритеріальних рішень у комп'ютеризованих і робототехнічних системах // АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2020) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – Вип. 2. – С. 35-40.

6. Безкоровайний, В.В. Виділення підмножин ефективних рішень у технологіях управління виробничими системами [Текст] / В.В. Безкоровайний, С.В. Сотник, В.К. Коритченко // Виробництво & Мехатронні Системи 2020: матеріали IV-ої Міжнародної конференції (22-23 жовтня 2020 р.) / відп. ред. І.Ш. Невлюдов. – Харків: [електронний друк], 2020. – С. 105-107.

7. Типы и модификации промышленных роботов [Електронний ресурс] / Режим доступу: [www/ URL:https://www.nordwesttool.ru/statyi/promyshlennye-roboty/](http://www.nordwesttool.ru/statyi/promyshlennye-roboty/)– 29.11.2020 р. – Загол. з екрану.

8. Робототехника [Електронний ресурс] / Режим доступу: [www/ URL:http://roboticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000031/index.shtml](http://roboticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000031/index.shtml)- 29.11.2020 р. – Загол. з екрану.

9. Невлюдов, І.Ш. Імітаційна модель технологічного процесу виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів [Текст] / І.Ш. Невлюдов, В.О. Бортнікова // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського Серія: Технічні науки. – 2018. – Том 29 (68). – № 1, Частина 1. – С. 210-216.

10. Невлюдов, І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник. – Кривий Ріг: КК НАУ, 2017. – 396 с.

11. Невлюдов, І.Ш. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень в автоматизованому виробництві: Підручник. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 244 с.

12. Андрусевич, А.О. Основи САПР: технічна підготовка виробництва[Текст]:навчальний посібник/Андрусевич А.О., Євсєєв В.В., Мілютіна С.С.: Київ-58, пр.. Космонавта Комарова, 1,2014. – 360 с.

13. Бортнікова, В.О. Моделі та методи автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В.О. Бортнікова. – Харків, 2018. – 248 с.

14. Аверченков, В. И. Автоматизация проектирования технологических процессов[Текст]: учеб. / В.И. Аверченков, Ю.М. Казаков. – М.: Флинта, 2011. – 228 с.

15. Матвійків, О. Інженерне проектування складних об'єктів і систем [Текст]: навчальний посібник / О. Матвійків, С. Ткаченко, В. Хаханов; Національний університет «Львівська політехніка», Харківський національний університет радіоелектроніки. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2012. – 261 с.

16. Українська радянська енциклопедія [Текст]: у 12 т. / гол. ред. М. П. Бажан; редкол.: О. К. Антонов та ін. – 2-ге вид. – К.: Головна редакція УРЕ, 1974–1985. – 568 с.

17. Розвиток і запровадження систем підтримки прийняття рішень [Електронний ресурс] / Режим доступу: www/URL: <http://ubooks.com.ua/books/00013/inx13.php> – 24.11.2020р. – Загол. з екрану.

18. Наконечний, О.Г. Методи прийняття рішень: навч. посібник [Текст] / О.Г. Наконечний, І.В. Гребеннік, Т.Є. Романова, А.Д. Тевяшев. Харків.: ХНУРЕ, 2015. – Т. 1. – С. 10-90.

19. Класифікація систем підтримки прийняття рішень [Електронний ресурс] / Режим доступу: www/URL: <http://ubooks.com.ua/books/00013/inx21.php> – 27.11.2020р. – Загол. з екрану.

20. Шкодич, В.О. Дослідження методів підбору персонального комп'ютера [Текст] / В.О. Шкодич. Харків: ХНУРЕ, 2019. – Т. 1. – 157 с.

21. Петров, Э.Г. Формирование функций полезности частных критериев в задачах многокритериального оценивания [Текст] / Э.Г. Петров, В.В. Бескорвайный, В.П. Писклакова // Радиоэлектроника и информатика. – 1997. – №1. – С. 71-73.

22. Beskorovainyi, V. Identification of preferences in decision support systems [Текст] / V. Beskorovainyi, H. Berezovskyi // ECONTECHMOD. – 2017. – Vol. 6. – №4. – P. 15–20.

23. Beskorovainyi, Vladimir V. Specific subset effective option in technology design decisions [Текст] / Vladimir V. Beskorovainyi, Lubomyr B. Petryshyn, Olha Yu. Shevchenko. // Applied Aspect of Information Technology. 2020. – Vol. 3. – №1. – P. 443–455.

24.Бескорвайный, В. В. Функция принадлежности нечетким множествам для систем поддержки принятия многокритериальных решений [Текст] / В. В. Бескорвайный, Г. В. Березовский // Информационные системы и технологии: материалы 6-й Международ. Науч.-техн. Конф., Харьков, 11-16 сентября 2017 г.: тезисы докладов. – Харків: ХНУРЕ, 2017. – С. 130–131.

25.Алгоритм метода анализа иерархий[Электронный ресурс] / Режим доступа: [www/URL: https://studfile.net/preview/3348062/page:3.html](http://www.URL: https://studfile.net/preview/3348062/page:3.html) - 01.12.2020 р. – Загол. з екрану.

26.Безкорвайный, В. В. Синтез моделей багатокритеріального оцінювання методом компараторної ідентифікації [Текст] / В. В. Безкорвайный, О.М. Драз, В.В. Семенець // «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання»; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 14-19 травня 2018 року. – Івано-Франківськ: 2018. –С. 266–269.

27.Безкорвайный, В.В. Параметрична ідентифікація функцій корисності в моделях задач багатокритеріального оцінювання [Текст] / В.В.Безкорвайный, В.С.Януш, О.М. Драз // Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні системи та технології» ICT-2018: матеріали наук.-техн. конф. з міжнар. Участью (Коблеве-Харків, Україна, 10-15 вересня 2018 р.). 2018.–С. 60–63.

28. Semenets, V. Parametric Synthesis of Multi-Criteria Evaluation Models for UAV Design Technologies[Текст] / V. Semenets, V. Beskorovainyi, O. Shevchenko // 2019 IEEE 5th International Conference “Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments” (APUAVD). October 22-24, 2019. Kyiv, Ukraine. . –P. 83-86.

29. Семенец, Валерий. Количественная оценка предпочтений при выборе многокритериальных решений [Текст] / Валерий Семенец, Владимир Безкорвайный// «Інтелектуальні системи та інформаційні технології»; матеріали статей міжнародної науково-практичної конференції, м. Одеса, 19 – 24 серпня 2019 року / Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2019. –С. 194-197.

30. Плюсы и минусы UML проектирования [Электронный ресурс] / Режим доступа: [www/URL: https://habr.com/ru/post/458680/](http://www.URL: https://habr.com/ru/post/458680/) – 03.12.2020 г. – Загл. з экрану.

31. Построение диаграммы классов [Электронный ресурс] / Режим доступа: [www/URL: https://flexberry.github.io/ru/gpg_class-diagram.html](http://www.URL: https://flexberry.github.io/ru/gpg_class-diagram.html) – 03.12.2020 г. – Загл. з экрану.

32. Центр справки Java [Электронный ресурс] / Режим доступа: [www/URL: https://www.java.com/ru/download/help/index.html](http://www.URL: https://www.java.com/ru/download/help/index.html) - 05.12.2020 г. - Загл. з экрану.

33. The Eclipse Foundation [Электронный ресурс] / Режим доступа: [www/URL: https://www.eclipse.org/](http://www.URL: https://www.eclipse.org/) - 05.12.2020 г. - Загл. з экрану.

34. Инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере [Электронный ресурс] / Режим доступа: [www/URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/166/146180/](http://www.URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/166/146180/) - 06.12.2020 г. - Загл. сэкрана.