

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)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Розроблення підсистеми підтримки прийняття рішень для технології
автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів роботизованих систем

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КТРСм-20-1

Хобот М. В.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютеризовані

та робототехнічні системи

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Безкоровайний В. В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри КІТАМ

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2021 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики та комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

Рівень вищої освіти Другий (магістерський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва)

Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютеризовані та робототехнічні системи
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Хоботу Максиму Вадимовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розроблення підсистеми підтримки прийняття рішень для технології автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів роботизованих систем»
затверджена наказом університету від «08» листопада 2021 р. № 1698 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії «13» грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження – гвинтоколісні механізми роботизованих систем. Предмет дослідження – процес підтримки прийняття рішень в технологіях проектування механізмів роботизованих систем. Функція – визначення характеристик механізмів та їх скалярне багатокритеріальне оцінювання. Кількість механізмів – до 10. Кількість параметрів для оцінки – до 6. Технічне забезпечення – IBM-сумісний персональний комп'ютер.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ; огляд сучасного стану проблеми підтримки прийняття рішень при проектуванні механізмів роботизованих систем; постановка задачі; математичне забезпечення задачі проектування гвинтоколісних механізмів; підсистема підтримки прийняття проектних рішень; метод підтримки прийняття проектних рішень; розробка алгоритмів та програмного забезпечення задачі; контрольний приклад; питання охорони праці та безпеки життєдіяльності; висновки; перелік джерел посилання; презентація; відомість кваліфікаційної роботи.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п. 5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) на 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	Отримання, аналіз завдання, уточнення плану роботи	01.09.21	Виконано
2	Аналіз огляд сучасного стану проблеми проектування механізмів роботизованих систем	08.09.21	Виконано
3	Огляд існуючих технологій підтримки прийняття проектних рішень	15.09.21	Виконано
4	Розробка математичного забезпечення задачі	29.09.21	Виконано
5	Розробка програмного забезпечення задачі	13.10.21	Виконано
6	Проведення експериментальних досліджень	27.10.21	Виконано
7	Підготовка публікацій за результатами дослідження	10.11.21	Виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	24.11.21	Виконано
9	Подання закінченої роботи науковому керівникові	03.12.21	Виконано
10	Усунення зауважень наукового керівника	05.12.21	Виконано
11	Підготовка презентації	07.12.21	Виконано
12	Подання роботи на рецензування	08.12.21	Виконано
13	Попередній захист	11.12.21	Виконано
14	Подання роботи до екзаменаційної комісії	13.12.21	Виконано

Дата видачі завдання «01» вересня 2021 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Безкоровайний В. В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 95 с., 24 табл., 30 рис., 2 дод., 30 джерел.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ, ГВИНТОКОЛІСНИЙ МЕХАНІЗМ, ПІДСИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА, АНАЛІЗ ІЄРАРХІЙ.

Об'єкт дослідження – гвинтоколiсний механiзм роботизованої системи.

Предмет дослідження – процес підтримки прийняття рішень в технологіях проектування механізмів роботизованих систем.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка підсистеми підтримки прийняття рішень для технології автоматизації проектування гвинтоколiсних механiзмiв роботизованих систем.

Методи дослідження – методи автоматизації проектування, метод аналізу ієрархій сучасних інформаційних технологій.

У кваліфікаційній роботі визначені співвідношення для оцінки основних функціональних характеристик механізмів роботизованої системи, для процедури підтримки прийняття багатокритеріальних рішень з вибору механізмів роботизованої системи за методом аналізу ієрархій розроблено алгоритми та програмне забезпечення.

Визначення характеристик механізмів та їх скалярне багатокритеріальне оцінювання з використанням підсистеми підтримки прийняття рішень дозволить підвищити ступінь автоматизації технологій проектування механізмів роботизованих систем і підвищити їх якість.

Результати кваліфікаційної роботи апробовані в 1 статті у збірнику студентських наукових статей та 1 всеукраїнській конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених.

ABSTRACT

Explanatory note contains: 95 p., 24 tab., 30 fig., 2 additions, 30 sources.

DESIGN AUTOMATION, SCREW WHEEL MECHANISM, DECISION SUPPORT SUBSYSTEM, ROBOTIC SYSTEM, ANALYSIS OF HIERARCHY.

The object of research is a screw wheel mechanism of a robotic system.

The subject of the research is the process of decision support in technologies for designing mechanisms of robotic systems.

The purpose of the qualification work is to develop a decision support subsystem for the technology of automation of the design of screw wheel mechanisms of robotic systems.

Research methods – methods of design automation, method of analysis of hierarchies, modern information technology.

In the qualification work the relations for estimation of the basic functional characteristics of mechanisms of the robotic system, for procedure of support of acceptance of multicriteria decisions on a choice of mechanisms of the robotic system by a method of the analysis of hierarchies algorithms and the software are defined.

Determining the characteristics of mechanisms and their scalar multicriteria evaluation by methods of the decision support subsystem will automate the design technology of helical mechanisms of robotic systems.

The results of the qualification work were tested in 1 article in the collection of student scientific articles and 1 all-Ukrainian conference of applicants for higher education and young scientists.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	6
Вступ	9
1 Огляд та аналіз основних теоретичних відомостей про механізми роботизованих систем.....	12
1.1 Роботизовані системи як об’єкти проектування.....	12
1.2 Аналіз і класифікація конструкції модулю гвинтоколісного механізму	16
1.3 Автоматизація проектування гвинтоколісних механізмів.....	20
1.4 Підтримка прийняття проектних рішень.....	29
1.5 Висновки до 1 розділу	31
2 Математичне забезпечення задачі автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів роботизованих систем	33
2.1 Вихідні дані до проектування.....	33
2.2 Визначення обертального моменту.....	33
2.3 Розрахунок загального коефіцієнту корисної дії модуля	33
2.4 Визначення передавального відношення елементів модуля	34
2.5 Розрахунок параметрів черв’ячної передачі	35
2.6 Розрахунок параметрів циліндричних прямозубих коліс	39
2.7 Оцінка похибки механізму.....	41
2.8 Висновки до 2 розділу	42
3 Підсистема підтримки прийняття рішень.....	43
3.1 Задачі підтримки прийняття рішень	43
3.2 Структурування множини альтернатив	46
3.3 Умови і ситуації прийняття рішень.....	47
3.4 Групові рішення	48
3.5 Архітектура підсистеми підтримки прийняття рішень.....	50
3.6 Висновки до 3 розділу	55
4 Методи підтримки прийняття рішень	56

4.1	Задачі вибору в умовах повної визначеності.....	56
4.1.1	Метод рівномірної оптимізації	56
4.1.2	Метод справедливого компромісу	56
4.1.3	Метод згортання критеріїв	57
4.1.4	Метод головного критерію	58
4.1.5	Метод ідеальної точки	58
4.2	Методи підтримки прийняття рішень вибору в умовах невизначеності та ризику	59
4.2.1	Аксіоматичний метод	60
4.2.2	Метод прямих	60
4.2.3	Метод компенсації	61
4.2.4	Метод аналізу ієрархій	62
4.3	Висновки до 4 розділу	63
5	Розробка алгоритмів та програмного забезпечення	65
5.1	Алгоритмічне забезпечення	65
5.2	Вибір мови програмування та середовища розробки.....	67
5.3	Опис програми програмного забезпечення.....	68
5.4	Висновки до 5 розділу	72
6	Контрольний приклад	74
6.1	Вирішення завдання про вибір серед кількох альтернатив методом аналізу ієрархій.....	74
6.2	Розв'язання задачі про вибір серед кількох альтернатив за допомогою математичного аналізу.....	79
6.3	Висновки до 6 розділу	87
7	Питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.....	88
	Висновки	91
	Перелік джерел посилання	93
	Додаток А Лістинг коду.....	96
	Додаток Б Демонстраційний матеріал	106

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БД – база даних;

БМ – база моделей;

ВУ – відношення узгодженості;

ІУ – індекс узгодженості;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

МАІ – метод аналізу ієрархій;

СУБД – система управління базами даних;

СУБМ – система управління базою моделей;

ОПР – особа яка приймає рішення;

ОС – операційна система;

ПППР – підсистема підтримки прийняття рішень;

ПР – промисловий робот;

РТК – роботизований технологічний комплекс;

САПР – система автоматизованого проектування;

СІ – система інтернаціональна;

GUI – graphical user interface.

ВСТУП

У всі періоди своєї історії людство знаходило способи покращення технологій своєї діяльності в плані швидкості, якості, безпеки та витрат ресурсів. Це особливо прозоро прослідковується в сфері автоматизованого проектування механізмів.

Людство вступило в ХХІ ст., в якому доводиться вирішувати низку складних проблем, пов'язаних з екологією, пошуком нових джерел енергії, матеріалів, технологій, проектування, відповідних постіндустріальному суспільству. Визначальна роль у вирішенні названих проблем відводиться інформаційним технологіям. Серед інформаційних технологій автоматизація проектування посідає особливе місце. По-перше, автоматизація проектування – синтетична дисципліна, її складовими частинами є багато інших сучасних інформаційних технологій. Так, технічне забезпечення систем автоматизованого проектування (САПР) засноване на використанні обчислювальних мереж та телекомунікаційних технологій, в САПР використовуються персональні комп'ютери. Математичне забезпечення САПР відрізняється багатством і різноманітністю використовуваних методів обчислювальної математики, статистики, математичного програмування, дискретної математики, штучного інтелекту. Програмні комплекси САПР належать до найскладніших сучасних програмних систем, заснованих на операційних системах Unix, Windows-NT, мовами програмування C, C++, Java та інших, сучасних CASE-технологіях, реляційних та об'єктно-орієнтованих системах управління базами даних (СУБД), стандартах відкритих систем та обміну даними у комп'ютерних середовищах.

У процесах проектування, впровадження та використання механізмів роботизованих систем виникає задача оцінки їх функціональних характеристик. В сучасних умовах вона розв'язується методами підсистеми підтримки прийняття рішень.

Це обумовлює актуальність науково прикладних завдань розроблення ефективних підсистем підтримки прийняття рішень для технології автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів роботизованих систем.

Таким чином метою кваліфікаційної роботи є розробка підсистеми підтримки прийняття рішень для технології автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів роботизованих систем.

Об'єкт дослідження – гвинтоколісний механізм роботизованої системи.

Предмет дослідження – функціональні характеристики механізму роботизованої системи.

Методи дослідження – методи порівняння та оцінки багатокритеріальних альтернатив в умовах визначеності вихідної інформації або в умовах невизначеності вихідної інформації, методи засновані на кількісному вираженні переваг ОПП (особа, яка приймає рішення) на безлічі критеріїв, метод аналітичних ієрархій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати огляд та аналіз проблеми автоматизації проектування механізмів роботизованих систем;
- розглянути особливості роботизованих систем як об'єктів проектування;
- обрати співвідношення для оцінки функціональних характеристик механізмів роботизованих систем;
- обрати метод, розробити алгоритми та програмне забезпечення підсистеми підтримки прийняття рішень для автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів роботизованих систем;
- оформити атестаційну роботу відповідно ДСТУ 3008-2015 [1], навчальному посібнику з дипломного проектування [2], методичних вказівок до випускної кваліфікаційної роботи рівня «Магістр» [3] та положенню про протидію академічному плагіату [4].

Метою виконання розділу "Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях" є забезпечення безпечних умов праці для працівників.

У процесі виконання роботи потребуються знання в сфері підсистем підтримки прийняття рішень, систем автоматизованого проектування, робототехніки, будови гвинтоколiсного механiзму. Процес розроблення ПППР для технологiї автоматизацiї проектування передбачає вибiр середовища та мови програмування, з використанням яких буде здiйснено побудову програмного засобу. Виходячи з цього необхідними будуть також знання та навички щодо середовищ та мов програмування для рацiонального їх вибору за показниками їх зручностi, швидкостi та доступностi.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕОРЕТИЧНИХ ВІДОМОСТЕЙ ПРО МЕХАНІЗМИ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

1.1 Роботизовані системи як об'єкти проектування

Головна ідея роботизованого технологічного комплексу полягає в тому, що промисловий робот повинен використовуватися в поєднанні з певним технологічним обладнанням, як, наприклад, зварювальні установки, металорізальні верстати, преси, установки для нанесення покриттів тощо, і призначений для виконання однієї або декількох конкретних технологічних операцій [5].

Застосування промислових роботів можна підрозділити на виконання роботами безпосередньо основних технологічних операцій, і виконання допоміжних операцій з обслуговування основного технологічного обладнання. До перших відносяться автоматичне виконання роботами процесів зварювання, складання, фарбування, нанесення покриттів, пайки, проведення контрольних операцій, упакування, транспортування і складування. До другої категорії відносяться автоматизація за допомогою роботів процесів механічної обробки (обслуговування різних металорізальних верстатів, шліфувальних і протяжних верстатів), пресів холодної та гарячої штампування, ковальського та ливарного устаткування, установок для термообробки, а також завантаження-розвантаження напівавтоматів дугового зварювання та контактних зварювальних машин, при автоматизації операцій складання [5].

Промисловий робот – це багатоланковий механічний маніпулятор, що імітує рухи людської руки і забезпечений керуючим пристроєм. Робот може бути обладнаний також засобами переміщення.

Основне призначення робота – механізувати і автоматизувати маніпуляції, що дозволяє замінити людей на вже діючих виробничих ділянках без істотної перебудови їх технологічної і організаційної структури.

На базі існуючих промислових роботів (ПР) створено дуже багато різних роботизованих технологічних комплексів (РТК) для механічної обробки деталей. Вони за конструктивним виконанням також дуже різноманітні. Це залежить від особливостей обслуговуваного верстату, використовуваного робота та допоміжних пристроїв, їх конструкції та компоувального розміщення тощо. Токарний РТК, виконаний з порталним промисловим роботом із двозахватним пристроєм та накопичувачем деталей, розміщеним із торця верстату, представлений на рис. 1.1. Така компоновка займає невелику виробничу площу, а також має зручне розміщення обладнання для його обслуговування [6].



Рисунок 1.1 – Токарний патронно-центровий з ЧПУ 16K20Ф3

Оригінальним є РТК, де промисловий робот РБ-242 приєднаний до передньої частини станини верстата (рис.1.2). Робот здійснює два обертових та один поступальний рух руки, яка переміщує двозахватний пристрій. Заготовки та оброблені деталі розміщуються на позиціях тактового столу.

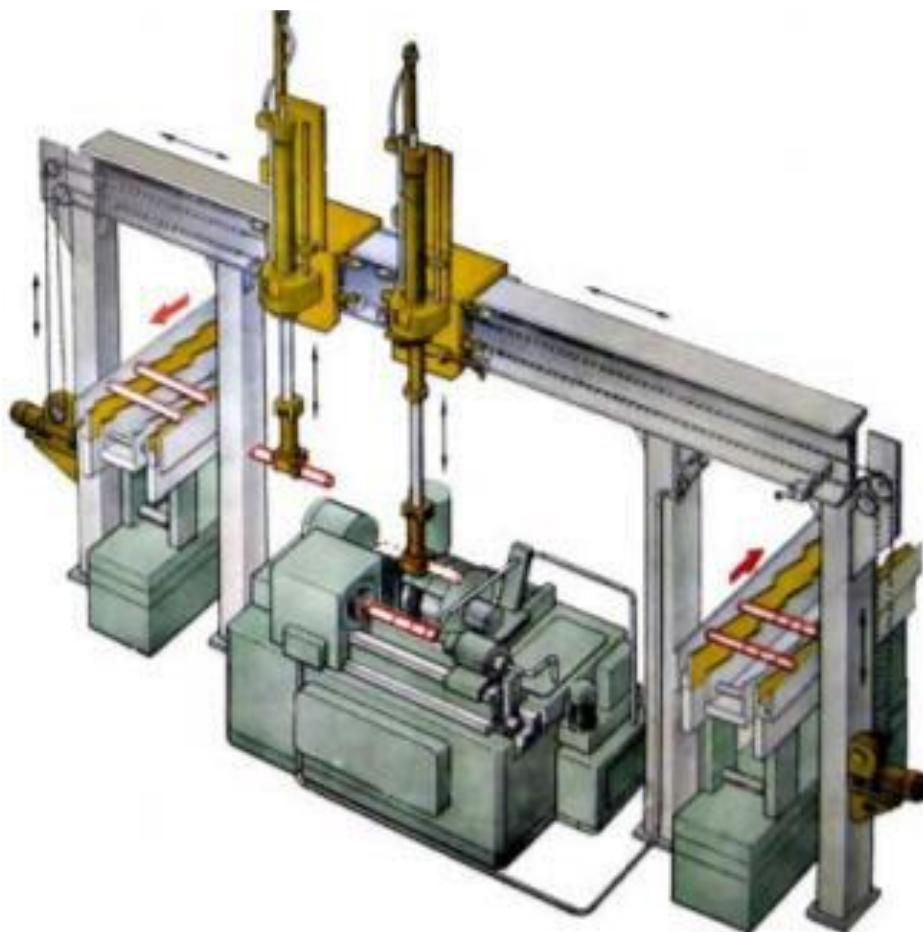


Рисунок 1.2 – Шліфувальний роботизований комплекс

З іншого боку, для їх завантаження на металорізальні верстати, в основному, використовують роботи з механічними захватами, які, в свою чергу, є також найбільш розповсюдженим виконанням таких пристроїв. Великих успіхів у створенні та впровадженні роботів досягли провідні технічно розвинені країни, які організували масове виробництво ПР. Так, у США широко використовуються роботи: Версатран, Юнімейт, Prab-4200H, Mark II, S-900 та ін. Особливо інтенсивно впроваджуються роботи у виробництво Японії. Це такі відомі моделі: Fanuc, Kuka, Mitsubishi, Unimate Ltd, Tokyo keiki, AM-3, Robitus-RS. Серед розробок роботів інших країн можна відзначити: ABB та Bosh (Німеччина), Electrolux (Швеція), Hawker Siddeley (Англія), Tralffa (Норвегія), Пирин (Болгарія), Sigma (Італія) і ін. Приклади деяких із них наведено на рис.1.3-1.4.



Рисунок 1.3 – Промисловий робот RV6L Reis (Німеччина)



Рисунок 1.4 – Промисловий робот MX-420L Kawasaki (USA)

Розроблені конструкції роботів мають дуже різноманітні виконання. Так, вони можуть розміщуватися на підлозі з різних боків верстату, що обслуговується, встановлюватися на самому верстаті або над ним. Роботи

конструктивно виконуються з однією рукою і одним захватом. Все більшого поширення набувають дворуки чи багаторуки роботи з двозахватними чи багатозахватними пристроями, що дозволяє значно підвищити продуктивність їх роботи. Роботи також відрізняються за типом системи координат, в якій вони працюють та іншими технічними характеристиками: вантажністю, типом приводу та системою керування, кількістю ступенів рухомості, швидкістю та точністю рухів тощо [6].

Ефективність автоматизації за рахунок застосування робототехники може бути досягнута тільки при комплексному підході до створення і впровадження промислових роботів, оброблювального устаткування, засобів управління, допоміжних механізмів та пристроїв тощо. Проводити значний об'єм організаційно-технологічних заходів для одиничного впровадження ПР нерентабельно. Тільки розширене застосування ПР у складі складних роботизованих систем буде виправдано технічно, економічно і соціально. У порівнянні з традиційними засобами автоматизації, застосування ПР забезпечує велику гнучкість технічних і організаційних рішень, зниження термінів комплектації і запуску у виробництво гнучких автоматизованих систем. Підвищуючи продуктивність праці, відбувається зниження собівартості деталі, а, отже, і зниження ціни деталі. Так, застосовуючи РТК для всіх верстатів по технологічному процесу виготовлення деталі, досягають максимальної продуктивності і мінімальної собівартості виготовлення деталі. Крім того, застосовуючи такі автоматизовані системи, відбувається заміна важкої ручної праці людини на функцію контролю за роботою самого РТК, тобто відбувається поліпшення умов праці людини [6].

1.2 Аналіз і класифікація конструкції модулю гвинтоколісного механізму

Гвинтоколісний механізм – механічна передача, що складається із гвинта та колеса, що здійснюється зачепленням черв'яка і зв'язаного з ним черв'ячного колеса. Передача призначена для істотного збільшення

До недоліків відноситься:

- низький ККД;
- застосування для колеса дорогих антифрикційних матеріалів.

Черв'яки у залежності від профілю гвинтової нарізки підрозділяють на наступні основні типи:

- архімедів (рис. 1.5); у осьовому перерізі такий черв'як має трапецеїдальний профіль з кутом нахилу бічних сторін(профілю) $\alpha_x = 20^\circ$; у торцевому перерізі витки обкреслені по архімедівській спіралі. Черв'як може нарізатися на звичайних токарних верстатах, проте їх шліфівка ускладнена зважаючи на необхідність застосування шліфувальних кругів спеціального профілю;

- конволюнтний має криволінійний профіль в осьовому розрізі і прямокутний в нормальному до витка розрізі; він може шліфуватися кругами;

- евольвентні в розрізі, перпендикулярні до осі, бокової сторони різьблення мають евольвентний профіль. Евольвентний черв'як подібний косозубому евольвентному колесу, у якого число зубів дорівнює числу витків черв'яка. Його перевагою є можливість шліфування профілю витків плоскою торцевою стороною шліфувального круга на спеціальних черв'ячно-шліфувальних верстатах; черв'ячне колесо зазвичай нарізують черв'ячною фрезою.

Черв'ячні передачі відносяться до зубчасто-гвинтових. Якщо в зубчасто-гвинтовій передачі кути нахилу зубів прийняти такими, щоб зуби шестерні охоплювали її навкруги, то ці зуби перетворюються на витки різьблення, шестерня – в черв'як, а передача – з гвинтової зубчастої в черв'ячну.

Провідна ланка черв'ячної передачі у більшості випадків – черв'як, а ведене – черв'ячне колесо.

Перевага черв'ячної передачі в порівнянні з гвинтовою зубчастою в тому, що початковий контакт ланок відбувається по лінії, а не в точці. Кут схрещування валів черв'яка і черв'ячного колеса може бути яким завгодно, але зазвичай він дорівнює 90° . На відміну від косозубого колеса обід черв'ячного

колеса має увігнуту форму, сприяючи деякому облягання черв'яка і відповідно до збільшення довжини контактної лінії.

Напрямок і кут підйому зубів черв'ячного колеса такі ж, як і у витків різьблення черв'яка. Різьблення черв'яка може бути однозахідним або багатозахідним, а також правою або лівою. Найбільш поширено праве різьблення з числом заходів $z_1=1\dots 4$.

Розрізняють два основні види черв'ячних передач: циліндричні, або просто черв'ячні, передачі (з циліндричними черв'яками) і глобоїдні (з глобоїдними черв'яками).

В порівнянні із звичайними зубчастими передачами, передатне відношення (передатне число) черв'ячної передачі може бути значно великим. Так, наприклад, при однозахідному черв'яку ($z_1=1$) і черв'ячному колесі з $z_2=100$ передатне число $u=100$. При одному і тому ж передатному числі редуктор, що використовує черв'ячну передачу, набагато компактніше за звичайну зубчасту передачу. Можливість здійснення великого передатного числа при одному ступені передачі, компактність, плавність і безшумність роботи – основні достоїнства черв'ячної передачі. Завдяки цим достоїнствам редуктори з черв'ячною передачею широко застосовують в підйомно-транспортних машинах, різних верстатах і деяких інших машинах. Передатне число черв'ячної передачі приймають зазвичай в межах $u=8\dots 90$, але в спеціальних установках воно доходить до $u=1000$ і більше.

У черв'ячній передачі окрім втрат передавальної потужності, властивих зубчастій передачі, є втрати потужності, властиві гвинтовій парі. Отже, ККД черв'ячного редуктора значно менше, що є основним недоліком черв'ячних передач. До недоліків відносяться також схильність витків різьблення черв'яка і зубів колеса до заїдання і необхідність застосування для вінців черв'ячних коліс дорогих антифрикційних матеріалів.

Через ці недоліки черв'ячні передачі застосовують значно рідше зубчастих і тільки для передачі невеликих і середніх потужностей, зазвичай до 50 кВт і рідше – до 200 кВт.

1.3 Автоматизація проектування гвинтоколісних механізмів

Система автоматизованого проектування (САПР) – це комплекс засобів автоматизації проектування взаємопов'язаних із підрозділами або колективом фахівців, що виконують автоматизоване проектування. САПР поєднує технічні засоби математичне, програмне, методичне, інформаційне, лінгвістичне, та організаційне забезпечення, параметри та характеристики яких вибирають з максимальним врахуванням особливостей завдання проектування та конструювання [8].

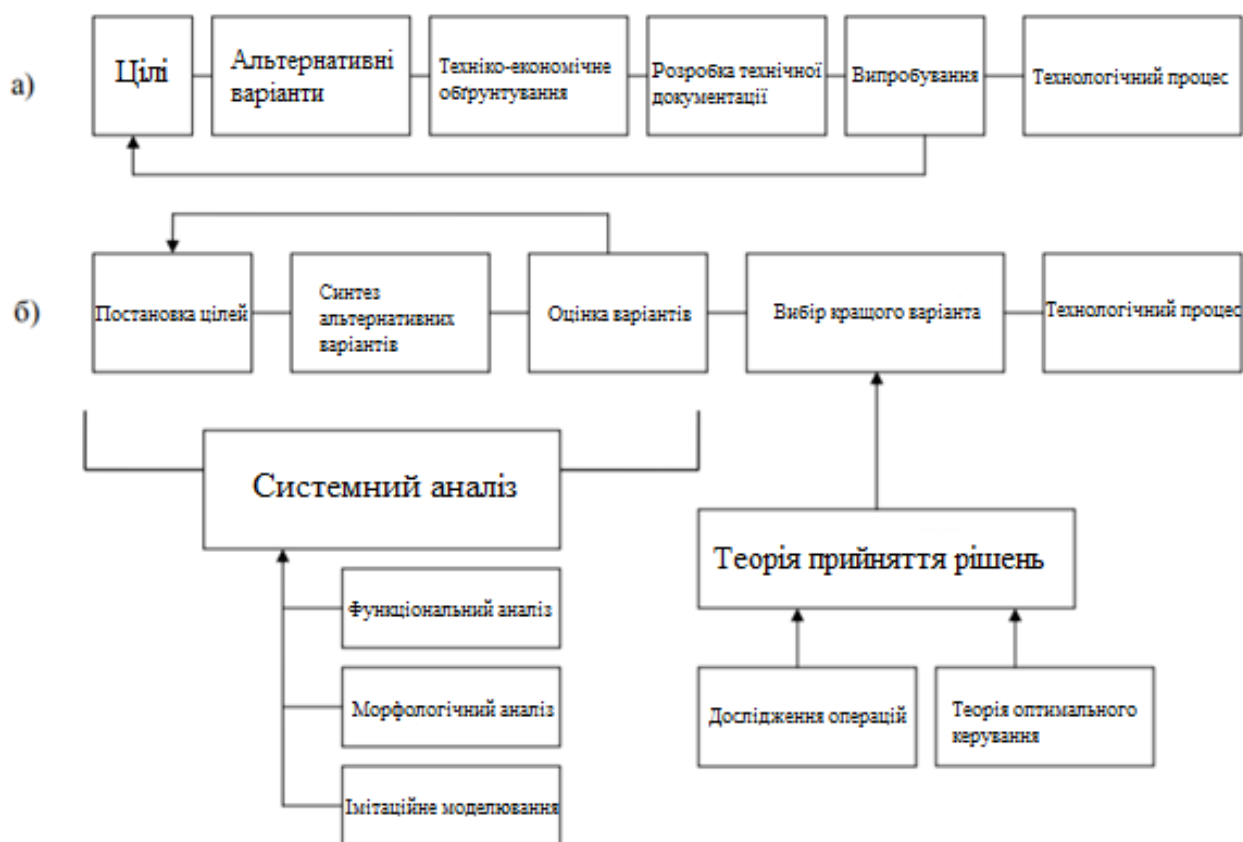
Автоматизованим називається проектування, яке виконується у процесі взаємодії користувача та ЕОМ. Автоматизація проектування заснована на систематичному використанні засобів обчислювальної техніки при раціональному розподілі функцій між проектувальником та ЕОМ та обґрунтованому виборі методів машинного вирішення задач.

Раціональність розподілу функцій між проектувальником та ЕОМ передбачає що людина повинна вирішувати в основному завдання творчого характеру, а ЕОМ задачі, що надходять формалізоване опис у вигляді алгоритму. Перевагою машинних методів проектування є можливість проводити на ЕОМ експерименти на математичних моделях об'єктів проектування, що значно скорочує дороге фізичне моделювання.

Систему автоматизованого проектування (САПР) можна визначити, як організаційно-технічну систему, що використовується в ході автоматизованого проектування та що складається з комплексу засобів автоматизації проектування, що взаємодіє із підрозділами проектної організації. У свою чергу, комплекс засобів автоматизації проектування складається з різних видів забезпечення автоматизованого проектування рис. 1.6.

Науковою основою моделювання як методу пізнання і дослідження різних об'єктів і процесів є теорія подібності, в якій головним є поняття аналогії, тобто схожості об'єктів за деякими ознаками. Подібні об'єкти

називаються аналогами. Аналогія між об'єктами може встановлюватись за якісними і (або) кількісними ознаками.



а – традиційне проектування;

б – проектування на основі системного аналізу та теорії прийняття рішень

Рисунок 1.6 Схеми автоматизованого проектування

Основним видом кількісної аналогії є математична подібність, коли об'єкти описуються за допомогою рівнянь і функцій. Функції та незалежні змінні називаються схожими, якщо вони співпадають з точністю до деякої константи. Окремими видами математичної подібності є геометрична подібність, яка встановлює подібність геометричних образів, і часова, що визначає подібність функції часу, для якої константа часу (масштаб) показує, в

яких відношеннях знаходяться параметри функцій, такі як період, часова затримка тощо.

Іншим видом кількісної аналогії, який слід відзначити, є фізична подібність. Критерії фізичної подібності можна отримати, не маючи математичного опису об'єктів, наприклад на основі значень фізичних параметрів, які характеризують досліджуваний процес у природі й на моделі. За типом процесу розрізняють види подібності, для яких розроблено відповідні критерії – гідравлічні, електричні, аеродинамічні та ін.

Вивчення переходу від властивостей реальних об'єктів до властивостей системи є найважливішим завданням теорії систем. У загальній теорії систем визнається об'єктивність їх існування. Згідно з цією теорією, якщо реально існують взаємозв'язки між об'єктами, то існують і системи, які їм відповідають. Ця теорія ґрунтується на постулаті функціонально-структурного ізоморфізму об'єктів і явищ природи .

Якщо структура однієї системи і зовнішні функції її елементів ізоморфні структурі іншої системи і зовнішнім функціям її елементів, то зовнішні властивості цих систем не розрізняються в області їх ізоморфізму. У теорії систем цей постулат має не менше значення, ніж закони збереження матерії у фізиці або аксіоми в математиці. Разом з іншими постулатами він є підґрунтям для логічного, доказового розгортання теорії і дає можливість пояснити єдність закономірностей природи для об'єктів, які здаються несхожими і незалежними один від одного. Ізоморфізм реальних систем є основою і логічним наслідком вищезазначеного постулату.

У теорії систем існує ще один важливий для моделювання постулат, який визначає, що описом структури і функцій деякої системи може бути інша ізоморфна стосовно неї система. Ця ізоморфність (подібність) двох систем стосується структур систем і функцій їх елементів. Одна з таких систем є моделлю іншої (оригіналу) і навпаки. Таких ізоморфних систем може бути безліч. Виникає проблема вибору або побудови системи, яка може бути моделлю досліджуваної системи.

Теорія подібності дає змогу встановити відношення еквівалентності (відповідності, схожості) між двома розглядуваними системами за деякими ознаками. Будь-яка з цих систем може існувати реально або бути абстрактною. Якщо система існує реально, то її можна вивчати, досліджуючи, яким чином пов'язані вхідні впливи з виходами системи. На основі результатів досліджень будується деяка абстрактна система, де відношення еквівалентності визначають тільки ті істотні властивості та аспекти поведінки, які у вихідній та абстрактній системах мають бути однаковими. М. Месарович відзначає, що, базуючись на спостереженнях і дослідженнях однієї системи, можна робити висновки про властивості та поведінку іншої. Здебільшого на практиці абстрактна система простіша за вихідну, якщо не враховувати тих аспектів, що визначають відношення еквівалентності.

Таким чином, можна перейти до визначення терміну «модель». У філософській літературі терміном «модель» позначають «деяку реально існуючу систему або ту, що представляється в думках, яка, заміщаючи і відображаючи в пізнавальних процесах іншу систему-оригінал, знаходиться з нею у відношенні схожості (подібності), завдяки чому вивчення моделі дає змогу отримати нову інформацію про оригінал». У цьому визначенні закладено генетичний зв'язок моделювання з теорією подібності, принципом аналогії. Таким чином, моделлю можна називати систему, яку використовують для дослідження.

Термін «модель» походить від латинського слова «modulus», тобто зразок, пристрій, еталон. У широкому значенні – це будь-який аналог (уявний, умовний: зображення, опис, схема, креслення тощо) певного об'єкта, процесу, явища («оригіналу» даної моделі), що використовується як його «замінник». Цей термін можна застосовувати також для позначення системи постулатів, даних і доведень, формального опису деякого явища або стану речей. Словник Вебстера визначає модель як «спрощений опис складного явища або процесу».

У сучасній теорії управління використовуються моделі двох основних типів. Для технологічних об'єктів цей поділ відповідає «феноменологічним» і

«дедуктивним» моделям. Під феноменологічними моделями розуміють переважно емпірично поновлені залежності вихідних даних від вхідних, як правило, з невеликою кількістю входів і виходів. Дедуктивне моделювання передбачає з'ясування та опис основних фізичних закономірностей функціонування всіх компонентів досліджуваного процесу і механізмів їх взаємодії. За допомогою дедуктивних моделей описується процес у цілому, а не окремі його режими.

Перший тип моделей – моделі даних, які не потребують, не використовують і не відображають будь-яких гіпотез про фізичні процеси або системи, з яких ці дані отримано. До моделей даних належать усі моделі математичної статистики. Останнім часом ця сфера моделювання пов'язується з експериментально-статистичними методами і системами, що істотно розширює методологічну базу для прийняття рішень під час розв'язання завдань аналізу даних і управління.

Другий тип моделей – системні моделі, які будуються в основному на базі фізичних законів і гіпотез про те, як система структурована і, можливо, як вона функціонує. Використання системних моделей передбачає можливість працювати в технологіях віртуального моделювання — на різноманітних тренажерах і в системах реального часу (операторські, інженерні, біомедичні інтерфейси, різноманітні системи діагностики і тестування тощо). Саме системні моделі будуть ядром моделювання на сучасному етапі.

Для того щоб визначити види моделей, перш за все, потрібно вказати ознаки класифікації. Якщо враховувати, що моделювання – це метод пізнання дійсності, то основною ознакою класифікації можна назвати спосіб подання моделі. За цією ознакою розрізняють абстрактні і реальні моделі (рис. 1.7). Під час моделювання можливі різні абстрактні конструкції, проте, основною є віртуальна (уявна) модель, що відображає ідеальне уявлення людини про навколишній світ, який фіксується у свідомості через думки і образи. Віртуальна модель може представлятися у вигляді наглядної моделі за допомогою графічних образів і зображень [13].

Наглядні моделі залежно від способу реалізації можна поділити на дво- або тривимірні графічні, анімаційні і просторові. Графічні й анімаційні моделі широко використовуються для відображення процесів, які відбуваються в модельованій системі. Графічні моделі застосовуються в системах автоматизованого проектування (computer-aided design, СА). Для відтворення тривимірних моделей за допомогою комп'ютера існує багато графічних пакетів, найбільш поширені з яких: Corel DRAW, 3D Studio Max і Maya. Графічні моделі є базою всіх комп'ютерних ігор, а також застосовуються під час імітаційного моделювання для анімації.

Щоб побудувати модель у формальному вигляді, створюють символічну, або лінгвістичну, модель, яка відповідала б високому рівню абстрактного опису, як це було вказано вище. На базі її отримують інші рівні опису.

Основним видом абстрактної моделі є математична модель [26]. Її вид залежить як від природи реального об'єкта, так і від задач дослідження об'єкта та необхідної достовірності і точності розв'язку цієї задачі. Будь-яка математична модель, як і всяка інша, описує реальний об'єкт лише з деякою мірою наближення до дійсності.

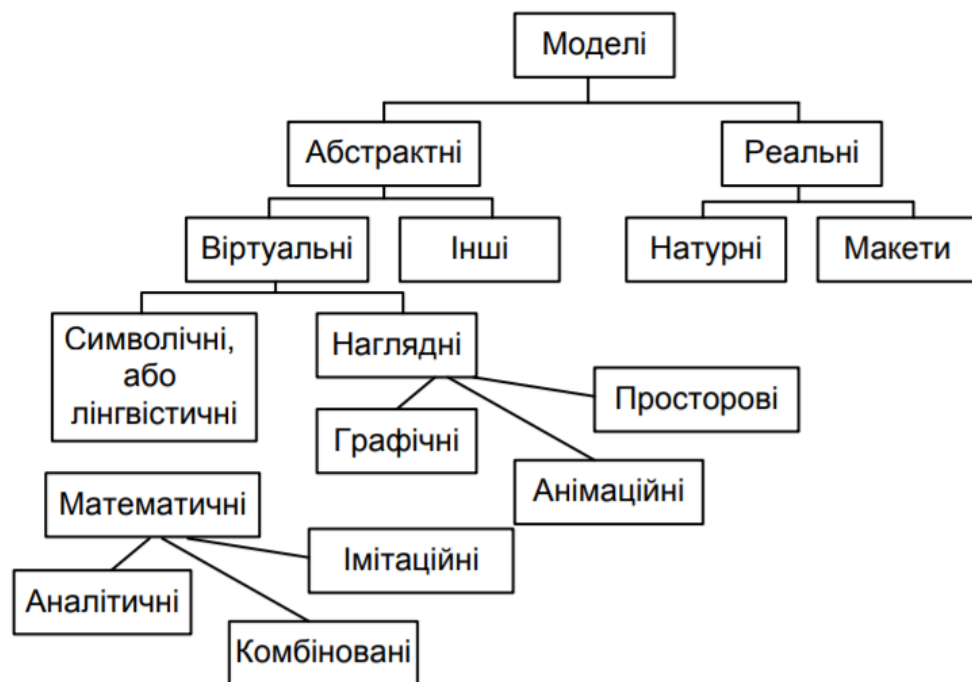


Рисунок 1.7 – Основні типи моделей

Для аналітичної моделі характерно те, що процеси функціонування елементів системи записуються у вигляді деяких функціональних співвідношень (алгебри, інтегрально-диференціальних, кінцево-різницевих тощо) або логічних умов. Аналітична модель може бути досліджена такими методами:

- аналітичним, коли прагнуть отримати в загальному вигляді явні залежності для шуканих характеристик;

- чисельним, коли, не вміючи розв'язувати рівняння в загальному вигляді, прагнуть отримати числові результати при конкретних початкових даних;

- якісним, коли, не маючи розв'язку в явному вигляді, можна знайти деякі властивості розв'язку (наприклад, оцінити сталість розв'язку).

Якнайповніше дослідження процесу функціонування системи можна провести, якщо відомі явні залежності, що пов'язують шукані характеристики з початковими умовами, параметрами і змінними системи S . Проте такі залежності вдається отримати тільки для порівняно простих систем. При ускладненні систем дослідження їх аналітичним методом наштовхується на значні труднощі, які часто бувають нездоланими. Тому, бажаючи використовувати аналітичний метод, в цьому випадку йдуть на суттєве спрощення початкової моделі, аби мати можливість вивчити хоча б загальні властивості системи. Таке дослідження на спрощеній моделі аналітичним методом допомагає отримати орієнтовні результати для визначення точніших оцінок іншими методами. Чисельний метод дозволяє досліджувати порівняно з аналітичним методом ширший клас систем, але при цьому отримані розв'язки носять приватний характер. Чисельний метод особливо ефективний при використанні комп'ютерів [13].

В окремих випадках дослідника системи можуть задовольнити і ті висновки, які можна зробити при використанні якісного методу аналізу математичної моделі. Такі якісні методи широко використовуються, наприклад,

в теорії автоматичного управління для оцінки ефективності різних варіантів систем управління.

В імітаційній моделі відтворюється процес функціонування системи S у часі, імітуються елементарні явища, що складають процес, із збереженням їх логічної структури і послідовності протікання в часі, що дозволяє за початковими даними отримати зведення про стани процесу в певні моменти часу, які дають можливість оцінити характеристики системи S .

Основною перевагою використання імітаційних моделей порівняно з аналітичними моделями є можливість розв'язання складніших задач. Імітаційні моделі дозволяють досить просто враховувати такі фактори, як наявність дискретних і безперервних елементів, нелінійні характеристики елементів системи, численні випадкові дії тощо, які часто створюють труднощі при аналітичних дослідженнях. Нині імітаційне моделювання – найбільш ефективний метод дослідження великих систем, а часто і єдиний практично доступний метод отримання інформації про поведінку системи, особливо на етапі її проектування.

Коли результати, отримані при відтворенні на імітаційній моделі процесу функціонування системи S , є реалізаціями випадкових величин і функцій, тоді для знаходження характеристик процесу потрібне його багаторазове відтворення з подальшою статистичною обробкою інформації і доцільно як метод машинної реалізації імітаційної моделі використовувати метод статистичного моделювання. Спочатку був розроблений метод статистичних випробувань, що є чисельним методом, який застосовувався для моделювання випадкових величин і функцій, імовірнісні характеристики яких співпадали з розв'язками аналітичних задач (така процедура отримала назву метода Монте-Карло). Потім цей прийом почали застосовувати і для машинної імітації з метою дослідження характеристик процесів функціонування систем, схильних до випадкових дій, тобто з'явився метод статистичного моделювання [14].

Таким чином, методом статистичного моделювання надалі називатимемо метод машинної реалізації імітаційної моделі, а методом статистичних

випробувань (Монте-Карло) називатимемо чисельний метод розв'язання аналітичних задач.

Метод імітаційного моделювання дозволяє розв'язувати задачі аналізу великих систем S , включаючи задачі оцінки: варіантів структури системи, ефективності різних алгоритмів управління системою, впливу зміни різних параметрів системи. Імітаційне моделювання може бути покладене також в основу структурного, алгоритмічного і параметричного синтезу великих систем, коли потрібно створити систему із заданими характеристиками при певних обмеженнях, яка є оптимальною за деякими критеріями оцінки ефективності.

Використання комбінованих (аналітико-імітаційних) моделей при аналізі і синтезі систем дозволяє об'єднати переваги аналітичних й імітаційних моделей. При побудові комбінованих моделей проводиться попередня декомпозиція процесу функціонування об'єкта на складові підпроцеси, і для тих з них, де це можливо, використовуються аналітичні моделі, а для решти підпроцесів будуються імітаційні моделі. Такий комбінований підхід дозволяє охопити якісно нові класи систем, які не можуть бути досліджені з використанням тільки аналітичного й імітаційного моделювання окремо.

На відміну від абстрактних, реальні моделі існують у природі, і з ними можна експериментувати. Реальні моделі – це такі моделі, в яких хоча б один компонент є фізичною копією реального об'єкта. Залежно від того, в якому співвідношенні перебувають властивості системи і моделі, реальні моделі можна поділити на натурні і макетні.

Натурні (фізичні) моделі – це існуючі системи (або їх частини), на яких ведуться дослідження. Натурні моделі повністю адекватні реальній системі, що дає можливість отримувати високу точність і достовірність результатів моделювання. Істотні недоліки натурних моделей – це неможливість моделювання критичних й аварійних режимів їх роботи і висока вартість.

Макетні моделі – це реально існуючі моделі, що відтворюють модельовану систему в певному масштабі. Іноді такі моделі називаються

масштабними. Параметри моделі і системи відрізняються між собою. Числове значення цієї відмінності називається масштабом моделювання, або коефіцієнтом схожості. Ці моделі розглядаються в рамках теорії схожості, яка в окремих випадках передбачає геометричну схожість оригіналу і моделі для відповідних масштабів параметрів. Прості макетні моделі – це пропорційно зменшені копії існуючих систем, які відтворюють основні властивості системи або об'єкта залежно від мети моделювання. Макетні моделі широко використовуються під час вивчення фізичних та аеродинамічних процесів, гідротехнічних споруд і багатьох інших технічних систем.

Залежно від можливості змінювати в часі свої властивості моделі поділяються на статичні і динамічні. Статичні моделі, на відміну від динамічних, не змінюють своїх властивостей в часі. Динамічні моделі, як правило, є імітаційними. Залежно від того, яким чином відтворюються в часі стани моделі, розрізняють дискретні, неперервні і дискретно-неперервні (комбіновані) моделі.

Відповідно до співвідношень між станами системи і моделі розрізняють детерміновані і стохастичні моделі. Останні, на відміну від детермінованих моделей, враховують імовірнісні явища і процеси, що відбуваються в системі.

Враховуючі ці данні було обрано імітаційну модель. На відміну від інших видів моделей вона дозволяє розв'язувати складні задачі. Є найбільш ефективний метод дослідження великих систем, а часто і єдиний практично доступний метод отримання інформації про поведінку системи, особливо на етапі її проектування.

1.4 Підтримка прийняття проектних рішень

Підтримка прийняття рішень є однією з найважливіших компонентів інтелектуально розвинених автоматизованих систем проектування, планування та управління.

Основна функція ППР в САПР – вироблення обґрунтованих рекомендацій щодо раціональних проектних рішень (або їх фрагментів) на різних стадіях процесу проектування у конкретних проблемних ситуаціях на основі відповідних моделей та методів. При цьому може виконуватись і ряд наступних допоміжних функцій [9]:

- збір та первинний аналіз інформації, необхідної для прийняття рішень у конкретній проектній ситуації;
- подання цієї інформації у зручному для проектанта вигляді;
- аналіз проектних ситуацій, включаючи (за необхідності) генерацію дерева проектних підзадач, які мають бути вирішені у процесі вирішення вихідного проектного завдання;
- аналіз відібраних варіантів проектних рішень щодо сукупності прийнятих критеріїв (зазвичай, техніко-економічного характеру).

Підтримка прийняття рішень і полягає у допомозі особі, яка приймає рішення (ОПР), у процесі прийняття рішень. Вона включає:

- допомога ОПР при аналізі об'єктивної складової, тобто у розумінні та оцінці ситуації, що склалася, та обмежень, що накладаються зовнішнім середовищем;
- виявлення переваг ОПР, тобто виявлення та ранжування пріоритетів, облік невизначеності в оцінках ОПР та формування його переваг;
- генерацію можливих рішень, тобто формування списку альтернатив;
- оцінку можливих альтернатив, виходячи з переваг ОПР, та обмежень, що накладаються зовнішнім середовищем;
- аналіз наслідків прийнятих рішень;
- вибір кращого з точки зору ОПР варіанта.

До складу ПППР входять такі компоненти (рис. 1.8): джерела даних, модель даних, база моделей та програмна підсистема, що складається із системи управління базою даних (СУБД), системи управління базою моделей (СУБМ) та системи управління інтерфейсом між користувачем та комп'ютером.

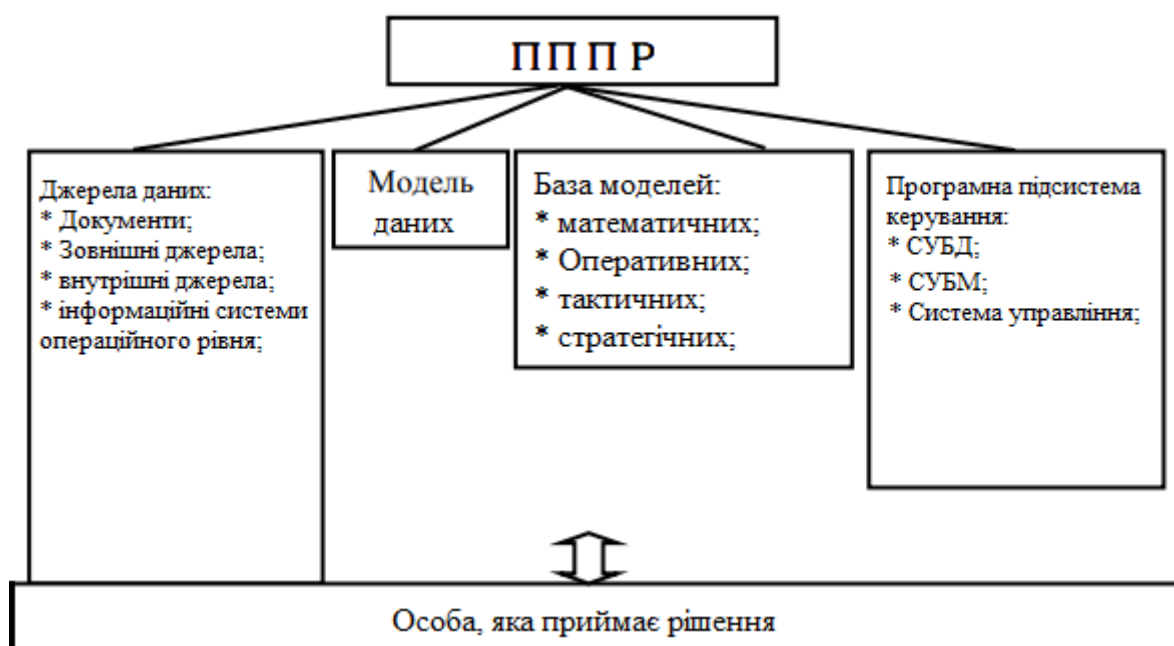


Рисунок 1.8 – Структура підсистеми підтримки прийняття рішень

Широко використовується підхід до побудови ПППР – імітаційний. Цей підхід є класичним для кібернетики з одним із її базових понять – чорної скриньки. Чорна скринька – пристрій, програмний модуль або набір даних, інформація про внутрішню структуру та зміст яких відсутні повністю, але відомі специфікації вхідних та вихідних даних. Об'єкт, поведінка якого імітується, якраз і представляє собою такий «чорний ящик». Нам не важливо, що в нього і в моделі всередині та як він функціонує, головне, щоб наша модель в аналогічних ситуаціях вела себе так само. Таким чином, тут моделюється інша властивість людини – здатність копіювати те, що роблять інші, не вдаючись у подробиці, навіщо це потрібно. Найчастіше ця здатність економить йому багато часу, особливо на початку його життя [9].

Основним недоліком імітаційного підходу також є низька інформаційна спроможність більшості моделей, побудованих за його допомогою.

1.5 Висновки до 1 розділу

На основі огляду та аналізу теоретичних відомостей САПР, ПППР та гвинтоколійних механізмів роботизованих систем як об'єктів проектування

визначено мету дослідження, яка передбачає розроблення підсистеми підтримки прийняття рішень для технології автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів роботизованих систем. Для досягнення мети передбачається розв'язання таких задач:

- виконати огляд та аналіз проблеми автоматизації проектування механізмів роботизованих систем;
- розглянути особливості роботизованих систем як об'єктів проектування;
- обрати співвідношення для оцінки функціональних характеристик механізмів роботизованих систем;
- обрати метод, розробити алгоритми та програмне забезпечення підсистеми підтримки прийняття рішень для автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів роботизованих систем.

2 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ГВИНТОКОЛІСНИХ МЕХАНІЗМІВ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

2.1 Вихідні дані до проектування

Вихідними даними до проектування є:

- обертальний момент T ;
- кількість обертів на виході n .

Обертальний момент – векторна фізична величина, рівна відношенню радіус-вектора, проведеного від осі обертання до точки прикладення сили, на вектор цієї сили. Характеризує обертальну дію сили на тверде тіло.

2.2 Визначення обертального моменту T_{ex}

$$T_{ex} = \frac{T_{вих}}{i_{заг} \cdot \eta_{заг}}, \quad (2.1)$$

де $i_{заг}$ – передавального відношення елементів модулю;

$\eta_{заг}$ – загальний коефіцієнт корисної дії модулю.

2.3 Розрахунок загального коефіцієнту корисної дії модуля

$$\eta = \eta_{чп} \eta_{зн} \eta_{nn}^2 = 0,5 * 0,96 * 0,98 = 0,46, \quad (2.2)$$

де $\eta_{чп} = 0,5$

$\eta_{mn} = 0,98$ – ККД пар підшипників (2 пара);

$\eta_{zn} = 0,96$ – ККД зубчатої передачі.

Характеристики двигуна ДП-1-26:

- номінальна напруга живлення $27 \pm 2,7$;
- частота – постійна напруга;
- напруга, що споживається – $0,25\text{В}$;
- номінальний момент на валу – $0,02\text{кг/см}$;
- оберти – 7000об/хв ;
- потужність, що споживається – 7Вт ;
- період служби – 100 год .

2.4 Визначення передавального відношення елементів модуля

$$i_{заг} = U_{12} * U_{23} = \frac{n_{двиг}}{n_{вых}} = \frac{7000}{15} = 466,6, \quad (2.3)$$

Виберемо $U_{12} = 9$, тоді визначаємо U_{23} :

$$U_{23} = \frac{i_{заг}}{U_{12}} = \frac{466,6}{9} = 51,8. \quad (2.4)$$

Виходячи з формули (2.4) найближче ціле значення передавального відношення U_{23} дорівнює $51,8$.

Таким чином обчислюємо $T_{вх}$:

$$T_{\text{вх}} = \frac{T_{\text{вих}}}{i_{\text{зар}} \cdot \eta_{\text{зар}}} = \frac{0,8}{(466,6 \cdot 0,46)} = 0,0037 \text{ кг} \cdot \text{см}. \quad (2.5)$$

2.5 Розрахунок параметрів черв'ячної передачі

У черв'ячній передачі з архімедівським черв'яком розрізняють (рис.2.1) початкові діаметри d_{w1} і d_{w2} ділильні діаметри черв'яка 1 і колеса 2 d_1 і d_2 . У передачах без зміщення початкового контуру при нарізуванні $d_{w1}=d_1$, $d_{w2}=d_2$.

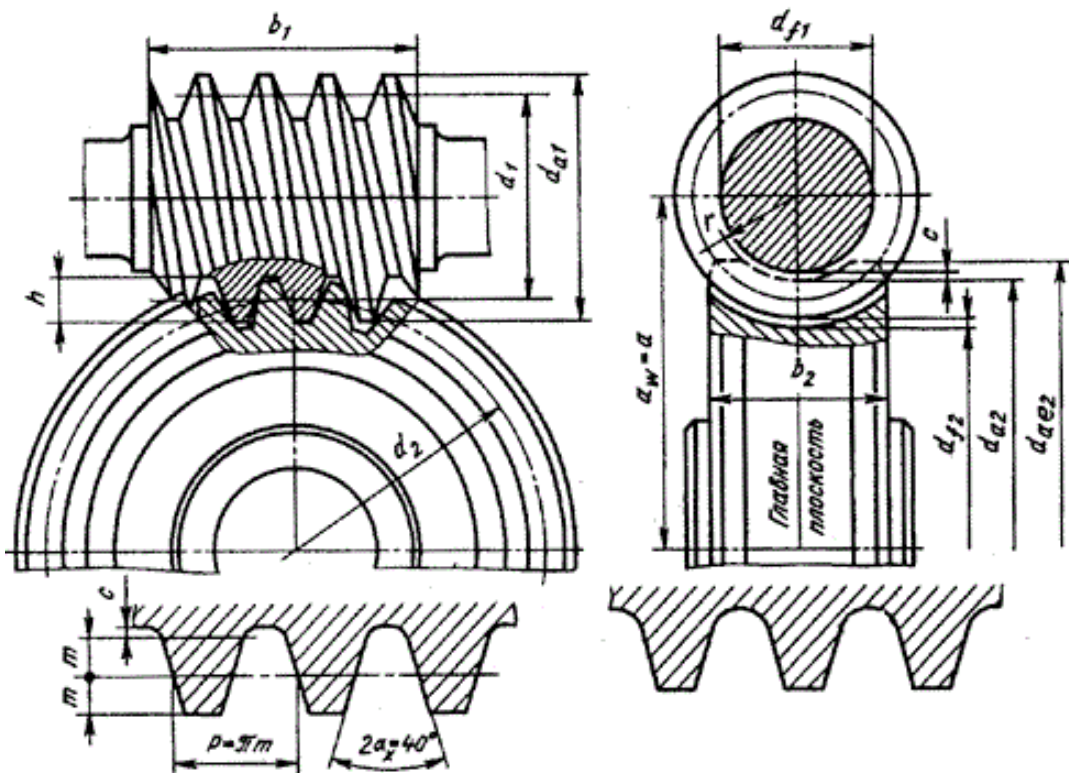


Рисунок 2.1 – Основні геометричні параметри черв'ячної передачі

Відстань P_x осьової нарізки черв'яка називають кроком, а відношення $P_x/\pi=m$ – модулем зачеплення в осьовому перерізі черв'яка.

Черв'як може бути дно західний і дно західний м; число витків черв'яка означають z_1 , число зубів на колесі z_2 . У цьому дослідженні був узятий дно західний черв'як. Згідно СТ СЭВ 267-76 модулів переважного ряду в осьовому перерізі черв'яка повинні вибиратися з ряду $m = 0,10; 0,125; 0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0$ і т. д.; допускається

використання модулів 0,12; 0,15; 0,3; 0,6; 1,5; 3,0; 3,5 і т. д. Рекомендуються наступні коефіцієнти діаметру черв'яка q (ряд 1) : 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0.

Аналіз розрахунку модулю зачеплення в осьовому діаметрі:

$$m \geq K_H \sqrt[3]{\frac{T \cdot K_\delta \cdot K_{HB} K_{FU}}{z_2^2 \cdot \psi \cdot b \cdot d \cdot [\delta F]} Y_F}, \quad (2.6)$$

де T – обертальний момент(кг\мм);

z – кількість зубів на колесі.

$$T = \frac{T_{вих}}{i_{U12} \cdot \eta_{заг}} = \frac{0,8}{9 \cdot 0,96 \cdot 0,98} = 0,09 \text{ кг*см}, \quad (2.7)$$

$$K_H = 1,4.$$

Для механізмів характерний режим роботи, близький до статичного, тому можна прийняти $K_\delta = 1$, $K_H = 1,4$.

Коефіцієнт K_{HB} враховує нерівномірність розподілу навантаження по довжині контактної лінії, що з'являється у зв'язку з деформацією валів, корпусу, опор; він залежить від ширини та твердості матеріалу зубчастих колес та точності їх виготовлення [7].

Для визначення K_{HB} необхідно скористатися графіками, наведеними у діючій нормативно-технічній документації. $K_{HB} = 1,2$.

Y_F - коефіцієнт форми зуба. Визначається з таблиці 8.10. $Y_F = 3,85$.

z - кількість зубів на колесі, $z_2 = 20$, у цьому випадку $\psi_{bd} = 0,4$.

σ_F – обирається згідно з матеріалом колеса. Для нашого випадку це Сталь 45: $\sigma_F = 115 \text{ Н} = 11,5 \text{ кз}$

$$m \geq 1,43 \sqrt{\frac{0,09 \cdot 1 \cdot 1,2}{20^2 \cdot 0,4 \cdot 11,5}} 3,85 = 0,2 \text{ мм.} \quad (2.8)$$

Обираємо з табл. 2.1 взаємопов'язані значення (ГОСТ 2144–76):

Таблиця 2.1 – Поєднання m , q і z_1 .

m	q	z_1	m	q	z_1
1,0	16	1	1,6і	10; 12,5; 16; 20	1; 2; 4
	20	1; 2; 4			
1,25	12,5; 16; 20	1; 2; 4	2,0; 2,5; 3,15	8; 10; 12,5; 16; 20	1; 2; 4

– модуль зачеплення в осьовому зрізі прямозубої передачі $m = 0,2$ мм;

– коефіцієнт діаметра прямозубої передачі $q = 12,8$;

– число зубів шестерні $z_1 = 20$;

– кількість зубів шестерні $z_2 = 36$;

Ділильний діаметр d і діаметр вершин d_a та впадин d_f витків при $h_a^* = 10$, $h_f^* = h_a^* + c^*$, при $c^* = 0,2$ виражається у вигляді:

$$\begin{cases} d_1 = m q = 0,2 \cdot 12,8 = 2,56 \text{ мм;} \\ d_{a1} = d_1 + 2 m = m \cdot (q + 2) = 0,2(12,8 + 2) = 2,96 \text{ мм;} \\ d_{f1} = d_1 - 2 (h_a^* + c^*) m = m \cdot (q - 2,4) = 0,2(12,8 - 2,4) = 2,08 \text{ мм.} \end{cases} \quad (2.9)$$

Довжина нарізної частини черв'яка:

$$b_1 \geq (11 + 0,06z_2) m = (11 + 0,06 \cdot 30) \cdot 0,2 = 2,26 \text{ мм.} \quad (2.10)$$

Кут обхвату витків черв'яка дорівнює $2\delta = 70^\circ \div 120^\circ$, кут зачеплення $\alpha_w = 20^\circ$, d_2 – діаметр колеса z_2 :

$$\begin{cases} d_2 = m \cdot z_2 = 0,2 \cdot 20 = 4 \text{ мм;} \\ d_{a2} = d_2 + 2h_a^* m = m (z_2 + 2) = 0,2(20 + 2) = 4,4 \text{ мм;} \\ d_{f2} = m \cdot (z_2 - 2,4) = 0,2(20 - 2,4) = 3,52 \text{ мм;} \\ d_h \leq d_a^2 + k_h = 4,4 + 1,6 = 6 \text{ мм.} \end{cases} \quad (2.11)$$

При $z_1 = 1$, $k_h = 2m$.

Ширина вінця b_2 знаходиться у відповідності з кутом обхвату черв'яка колесом 2δ :

$$b_2 \leq 0,75 d_{a1} \leq 19,2 \text{ мм.} \quad (2.12)$$

Ділильний кут підйому гвинтової лінії γ вичислюється з виразу:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\pi \cdot m \cdot z_1}{\pi \cdot d_1} = \frac{z_1}{q} = \frac{1}{12,8} = 0,08. \quad (2.13)$$

Міжосьова відстань у черв'ячній передачі без зміщення:

$$a_w = 0,5 m \cdot (z_2 + q) = 0,5 \cdot 0,2 \cdot (20 + 12,8) = 3,28 \text{ мм.} \quad (2.14)$$

Число зубів другого колеса:

$$z = z_1 \cdot U_{2'3} z = 18 \cdot 2,9 = 52,2. \quad (2.15)$$

2.6 Розрахунок параметрів циліндричних прямозубих коліс

Зубчасте колесо зображено на рисунку 2.5.

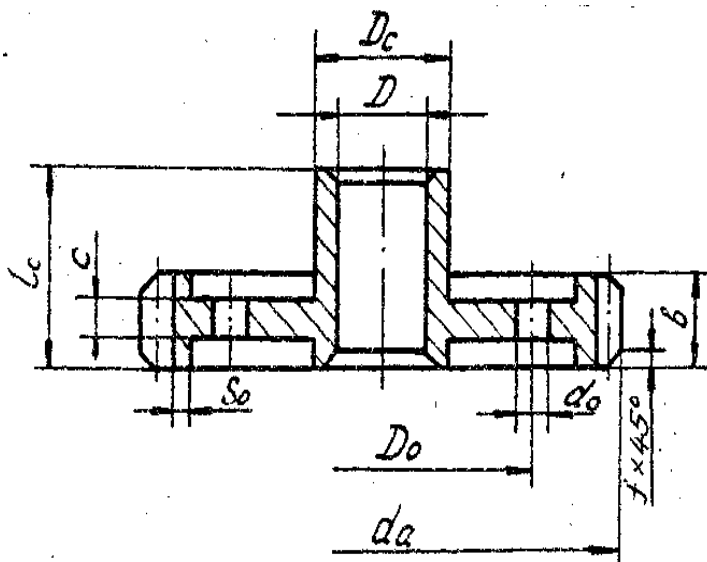


Рисунок 2.2 – Ескіз зубчатого колеса

При нарізанні прямозубчастого колеса нормального зачеплення для колеса

z_2 :

$$d_{w1} = d_1 = mz_2 = 0,2 \cdot 20 = 4. \quad (2.16)$$

При нарізанні зубчатого колеса нормального зачеплення для колеса z_3 ;

$$d_{w2} = d_2 = mz_3 = 0,2 \cdot 36 = 7,2. \quad (2.10)$$

Висота зуба приймається рівній:

$$h = h_a + h_f = 2,4; \quad (2.11)$$

$$h_a = h_a^* \cdot m = 1 \cdot 0,2 = 0,2, \quad (2.12)$$

де h_a^* – коефіцієнт висоти головки зуба. $h_a^* = 1$ (згідно з діючою нормативно-технічною документацією)

$$h_f = h_f^* \cdot c^* = 1,8, \quad (2.13)$$

де c^* – коефіцієнт радіального зазору. $c^* = 0,25$ (згідно з діючою нормативно-технічною документацією).

Діаметр вершини зубів для колеса z_2 розраховується за формулою:

$$d_a = d + 2 \cdot h \cdot a \cdot m = m(z_2 + 2) = 0,2 \cdot (20 + 2) = 4,4 \text{ мм.} \quad (2.14)$$

Для колеса z_3 :

$$d_a = d + 2 \cdot h \cdot a \cdot m = m(z_2 + 2) = 0,2 \cdot (36 + 2) = 7,6 \text{ мм.} \quad (2.15)$$

Діаметр впадин для колеса z_2 розраховується за формулою:

$$d_f = m(z_2 - 2,5) = 0,2 \cdot (20 - 2,5) = 3,5 \text{ мм.} \quad (2.16)$$

Для колеса z_3 :

$$d_f = m(z_3 - 2,5) = 0,2 \cdot (36 - 2,5) = 6,7 \text{ мм.} \quad (2.17)$$

Міжосьова відстань зубчатої пари:

$$a_w = 0,5m(z_2 + z_3) = 0,5 \cdot 0,2(20 + 36) = 5,6 \text{ мм.} \quad (2.18)$$

Ширина зубчатого колеса:

$$b = \alpha_w \cdot \psi_{ba} = 5,6 \cdot 0,1 = 0,56 \text{ мм.} \quad (2.19)$$

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт ширини зубчатого вінця

ψ_{ba}	Примітки
0,01 – 0,3	Кінематичні та легко навантажені передачі
0,3 – 0,45	Легко и навантажені передачі при підвищеній жорсткості валів
0,45 – 0,70	Передачі підвищеної завантаженості и при достатній жорсткості валів

2.7 Оцінка похибки механізму

$$\delta_{\varphi} = \delta_{fh} + \delta_{\varphi h} + \delta_{fcc} + \delta_{foo} + \delta_{\varphi m} + \delta_{\varphi t} = 27,42, \quad (2.20)$$

де δ_{fh} – похибка мертвого ходу;

δ_{fcb} – похибка скручування валів;

δ_{fop} – похибка від зазору в опорах;

$\delta_{\varphi m}$ – похибка муфти;

$\delta_{\varphi t}$ – похибка температури;

δ_{fi} – похибка на ведучому колесі.

Похибка для колеса z_1 :

$$\delta_{f_2^m} = \frac{7,4 \cdot j_n}{m \cdot z} = 28,3. \quad (2.21)$$

Похибка для колеса z_3 :

$$\delta_{f_{3M}} = \frac{\delta_{f_{2M}}}{U_{2'3}} = 14,15. \quad (2.22)$$

Похибка для колеса z_3 :

$$\delta_{f_{3M}} = \frac{7,4 \cdot j_n}{m \cdot z} = \frac{7,4 \cdot 55}{0,3 \cdot 50} = 27,2. \quad (2.23)$$

2.9 Висновки до 2 розділу

У розділі обрано математичні співвідношення математичного забезпечення задачі для визначення функціональних характеристик гвинтоколісного механізму роботизованої системи та з'ясовано, що зубці коліс в таких передачах розташовані під прямим кутом. Їх наявність допомагає збільшити вихідний крутний момент за рахунок забезпечення необхідного передавального числа.

Було встановлено, що довговічність досліджуваного механізму значно більша ніж у розглянутих аналогів, але поточності на виході та ККД менша. Цей факт буде використано при багатокритеріальній оцінці варіантів побудови механізмів роботизованої системи

3 ПІДСИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

3.1 Задачі підтримки прийняття рішень

Підтримка прийняття рішень призначена для підтримки багатокритеріальних рішень у складному інформаційному середовищі. Людям доводиться приймати рішення постійно, але донедавна ніхто не замислювався у тому, як приймаються рішення. Виявляється, алгоритм процедури прийняття рішення залежить від предметної області, з цього випливає, що закони прийняття рішень однакові у всіх областях [24].

ППР вирішує два основні завдання:

- вибір найкращого рішення з множини можливих (оптимізація);
- упорядкування можливих рішень щодо переваг (ранжування).

В обох завданнях першим і найбільш важливим моментом є вибір сукупності критеріїв, на основі яких надалі оцінюватимуться і зіставлятимуться можливі рішення (зватимемо їх альтернативами).

Для того, щоб зробити певний вибір, людина повинна виконати набір інструкцій, а саме:

- сформувані множини альтернатив (можливих варіантів вирішення);
- сформувані множини критеріїв, за якими оцінюватимуться альтернативи;
- отримати оцінки альтернатив за критеріями;
- вибрати найкращу альтернативу, яка видається системою підтримки прийняття рішень як раціональний варіант рішення.

Такий варіант інструкцій відповідає завданням з критеріями.

Для завдань без використання критеріїв необхідно:

- сформувані безліч альтернатив;
- отримати результати порівняння альтернатив;

– вибрати найкращу альтернативу, яка видається системою підтримки прийняття рішень як раціональний варіант рішення.

При цьому під багатокритеріальністю розуміється той факт, що результати прийнятих рішень оцінюються не по одному, а за сукупністю багатьох показників (критеріїв), що розглядаються одночасно. Інформаційна складність визначається необхідністю обліку великого обсягу даних, обробка яких без допомоги сучасної обчислювальної техніки практично нездійсненна. У умовах кількості можливих рішень, зазвичай, дуже велике, і вибір найкращого їх “на око”, без всебічного аналізу може призводити до грубих помилок [11].

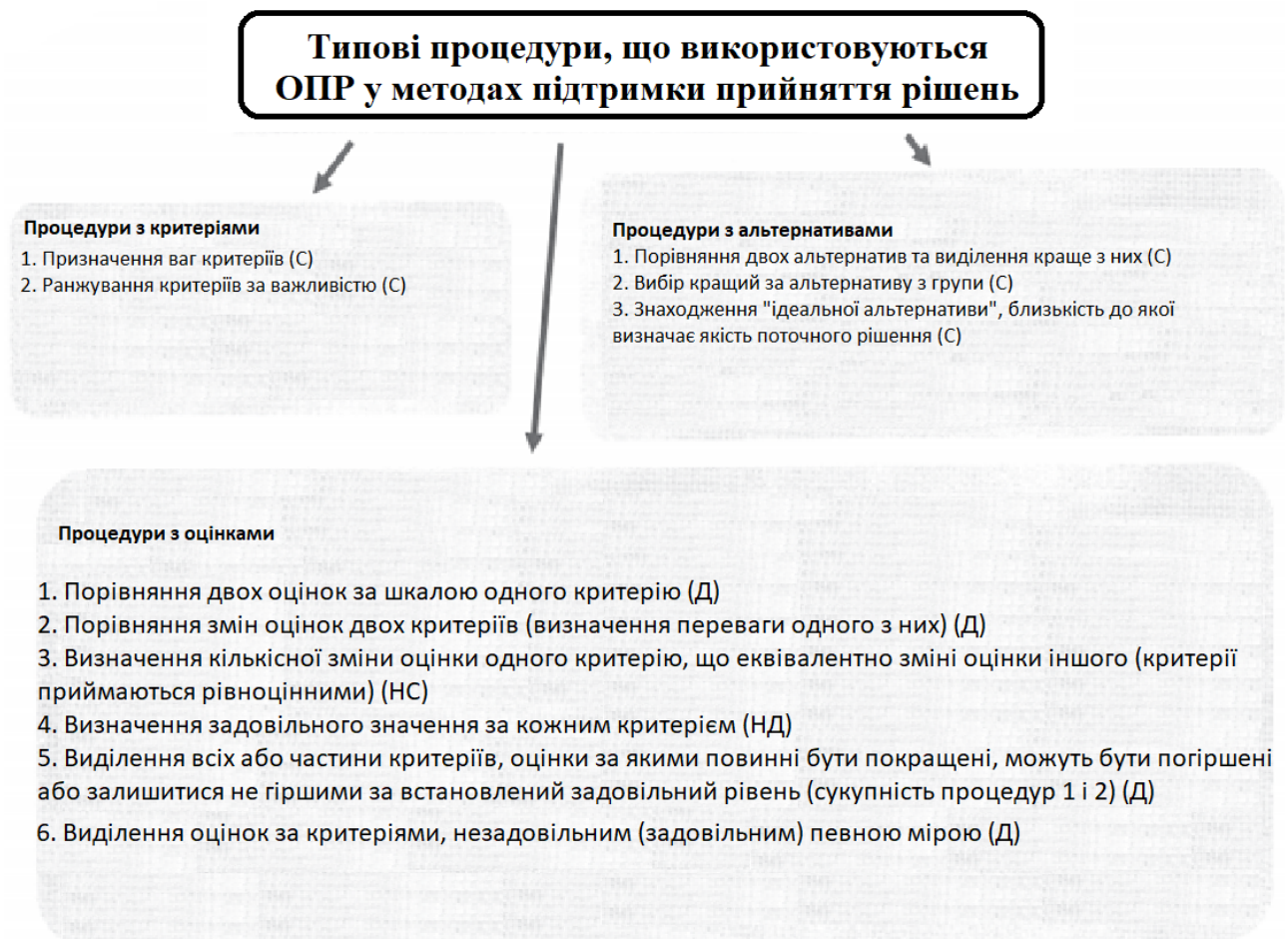


Рисунок 3.1 – Процедури, які використовуються ОПР у методах ППР

Почати варто з того, що прийняття рішень за своєю суттю це вибір. Аналізовану інформацію можна умовно розділити на три групи: операції з

критеріями, операції з оцінками альтернатив за критеріями, операції з альтернативами [11] (рис. 3.1).

Основою оцінки інформації є аналіз трудомісткості елементарних операцій. Елементарні операції, що виконуються особою, що приймає рішення (далі – ОПР), можна розділити на: С – складні (при виконанні цих операцій ОПР допускає багато суперечностей, використовує спрощені моделі), Д – допустимі (ОПР виконує ці операції з невеликою кількістю суперечностей, може використовувати складні моделі) та Н – невизначені (немає результатів психологічних досліджень за цими операціями, але є факти, що говорять на користь їхньої допустимості (НД) або складності (НС)) (рис. 3.2).

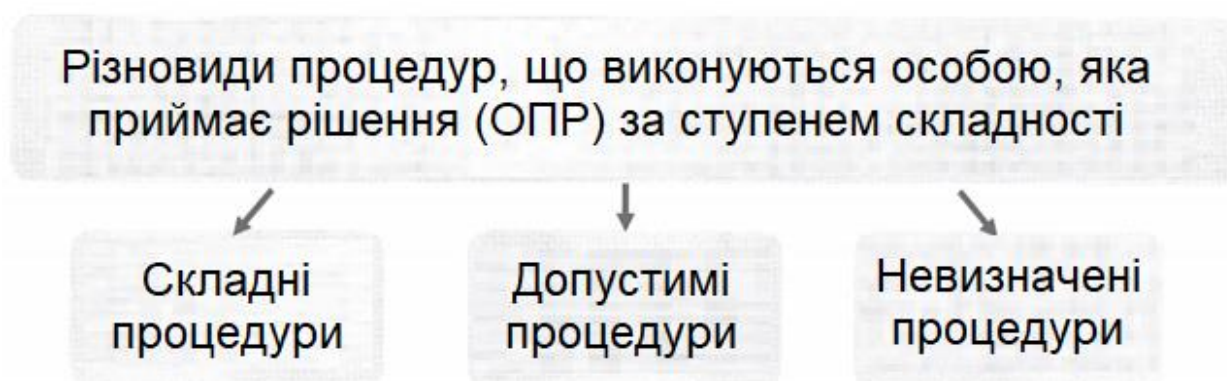


Рисунок 3.2 – Різновиди процедур за ступенем складності

Теоретично прийняття рішень альтернативами називаються варіанти вибору можливих рішень. Використання поняття «підтримка» (прийняття рішень) означає, що безпосередній вибір робить ОПР, а система лише допомагає прийняти раціональніше рішення, даючи рекомендації. До підсистеми підтримки прийняття рішень застосовується скорочення ПППР.

Спочатку множин альтернатив може і не бути зовсім. Отже першим етапом є формування множин альтернатив. Найчастіше безліч альтернатив не структуровано. Це означає, що не можна відразу судити про перевагу однієї альтернативи іншій. Для вирішення цієї проблеми необхідно структурувати безліч альтернатив.

3.2 Структурування множини альтернатив

Класифікація – це розподіл безлічі альтернатив класи. Кожен клас є якимось підкласом безлічі альтернатив. Поділ за класами відбувається відповідно до поділу всіх альтернатив за якоюсь важливою ознакою. Між собою класи не впорядковані. Щодо них не можна провести сортування за перевагою, не можна сказати, що один клас перевершує інший. Прикладом може бути поділ предметів за кольорами, людей за національністю, книжки за кількістю сторінок.

Стратифікація – це розкладання множини альтернатив на шари. Відмінністю класифікації є впорядкованість страт щодо одне одного, проте альтернативи що у одній страті рівнозначні між собою.

Так само порівнюючи між собою страти можна сказати, не тільки яка з них краща, але і на скільки. Наприклад, п'ятизірковий готель не просто кращий за двозірковий, наявність більшої кількості зірок говорить на скільки він кращий.

Ранжування зовні він нагадує стратифікацію. При ранжируванні не можна сказати, наскільки одна альтернатива перевершує іншу, відомо лише факт домінування однієї над іншою. Рівні ранжирування не втілюють у собі деякі якості, а інтерпретуються лише як номер списку.

Упорядкування називається ранжуванням, якщо відомо лише положення альтернативи у списку. Прикладом може бути оголошення списку місць, отриманих спортсменами за підсумками змагань (без оприлюднення результатів) [11].

Положення в ранжируванні отримали назву ранги. Перший ранг слід надавати найкращій альтернативі. На відміну від стратифікації, ранжування має значення лише положення об'єкта щодо інших. Один і той самий ранг може відповідати декільком альтернативам (не суворе ранжування) [23]. У суворому ранжируванні кожній альтернативі дається унікальний номер рангу.

Проаналізувавши методи структурування безлічі альтернатив можна зробити висновок щодо використання структуризації та її місця у ПППР.

Частіше використовуються стратифікація і ранжування, тому що вони дають більше можливостей для вибору, тоді як у класифікації вибір заснований на виборі класу, в який слід віднести ту чи іншу альтернативу [12].

3.3 Умови і ситуації прийняття рішень

Усі ситуації, у яких приймаються рішення, можна розділити на три їх види:

- умови визначеності;
- ймовірно визначені умови або умови ризику;
- умови невизначеності.

В умовах визначеності ситуація характеризується тим, що результат виконання кожного з варіантів відомий, залишається лише вибрати найбільше відповідний з них, виходячи з цілей поставленого завдання.

Умови ризику має на увазі, що кожен варіант передбачає зведення до одного з деякої кількості приватних результатів, кожен з яких має свідомо відому ОПР ймовірністю виникнення. Якщо вплив випадкових чинників зводиться до відомих закономірностей, можна вирахувати ймовірність тієї чи іншої результату при різному збігу обставин. Часто під ймовірністю мають на увазі кількість успішних результатів (ймовірність успіху), отриманих в результаті багатьох експериментів.

Умови невизначеності позначають, що дії мають багато приватних результатів, ймовірність яких невідома (не може бути підрахована). Прикладом може бути висновок закладу, реакція незнайомої людини на певну дію, попит на продукцію [25].

До умов невизначеності також належать проблеми з неповнотою та неточністю інформації.

Можливі ситуації прийняття рішень за умови невизначеності:

- невелика кількість варіантів зі зрозумілою логікою їх розвитку (можливо передбачити перебіг подій, бути готовим до них);
- велика кількість варіантів рішення (підготуватися до них практично неможливо);
- непрогнозовані ситуації.

3.4 Групові рішення

У прийнятті рішень може брати участь не лише один ОПР, а експертна група, тоді рішення є груповим. Групове вирішення проблем набирає все більшої ваги в міру збільшення складності та масштабності розв'язуваних проблем. Дедалі більша кількість фахівців та експертів працюватимуть у групах для прийняття важливих рішень. Не так з самотійного рішення, як тому, що будуть змушені. Для вирішення багатьох виробничих, проектних та інших завдань потрібні компетентна думка у всіх питаннях і галузях, що торкаються цих завдань, що не під силу одній людині.

Плюси групового розв'язання задач:

- великий запас знань. Група є носієм найбільших знань та інформації, ніж найбільш авторитетний та поінформований фахівець у цій групі. Одна людина не може запропонувати всього варіацій рішень, різнобічних та різнорідних ідей, які беруть свій початок у численних різноманітних групах експертів;
- найбільше підходів. Зазвичай людина мислить відповідно до своїх внутрішніми звичними підходами, а розв'язання завдань потребує різноманітності у підходах та типах мислення. Груповий процес зароджує різноманітності більше, ніж індивідуальний, у своїй, чим різноманітніший і різноманітніший первинний досвід учасників, тим вище ймовірність утворення інноваційного рішення;
- висока активність учасників. Учасники відчують бажання поділитися наявною інформацією та боротися з тенденційно підібраною, спотвореною чи

неповною інформацією. Групове вирішення проблем, природно, включає в себе зіставлення різних думок його учасників, відстоювання ними своїх точок зору, змагання за більший внесок у вирішення проблеми і необхідність захищати рішення, що віддають перевагу;

– найкраще розуміння обраного рішення. У груповому прийнятті рішень всі члени обговорення розуміють остаточне рішення, спосіб, яким його було досягнуто, причину непридатності інших альтернатив. В результаті зменшується можливість непорозуміння рішень, відкидається необхідність вселяти комусь з учасників правильність прийнятого рішення.

Недоліки групового розв'язання задач:

– тиск думки більшості та створюване ним конформне мислення. Намір бути добрим учасником групи, бажання бути прийнятим групою, призводить до відмови від власної думки у прийнятті оригінальних рішень. Якщо ж учасник обговорення не бажає відмовлятися від своєї точки зору та постановки проблеми, він часто з навмисно ігнорується;

– головування сильної особи. Часто групи виявляється людина з вищим статусом, чи має виражені ораторські можливості. Він утискує інших учасників, припиняє чужі висловлювання, що суперечать його точці зору або не узгоджені з нею, глушить ініціативу. Це призводить до згасання групової роботи або зміни думки членів групи на користь цієї людини;

– механізм психологічного самозахисту. Психологічний клімат самозахисту та емоційної напруженості. В умовах негативного ставлення до чужих думок, їхньої критики в учасників можуть прокинутися психологічні механізми захисту. Такі члени групи робляться нездатними до подальшого висловлювання своєї думки і висловлювання нових варіантів рішення, а починають займатися лише відстоюванням своєї точки зору і закриваються щодо прийняття чужих точок зору та аргументів;

– підвищена оцінка ймовірності успішного результату та знижена ймовірності невдалого. Це приходить через надмірне сподівання учасника на

позитивний ефект від групових рішень, знімаючи з себе персональну відповідальність за процес і результат роботи.

3.5 Архітектура підсистеми підтримки прийняття рішень

Розглянемо архітектуру ПППР (рис. 3.3), а також функції складових її блоків, які визначають основні технологічні операції [13]. Компоненти ПППР можна зарахувати до двох основних типів: сховища даних та аналітичних засобів. Сховище даних надає єдине середовище зберігання корпоративних даних, організованих структурах, оптимізованих до виконання аналітичних операцій. Аналітичні засоби дозволяють кінцевому користувачеві, який не має спеціальних знань в області інформаційних технологій, здійснювати навігацію та подання даних у термінах предметної галузі. Для користувачів різної кваліфікації ПППР мають у своєму розпорядженні різні типи інтерфейсів доступу до своїх сервісів[13].

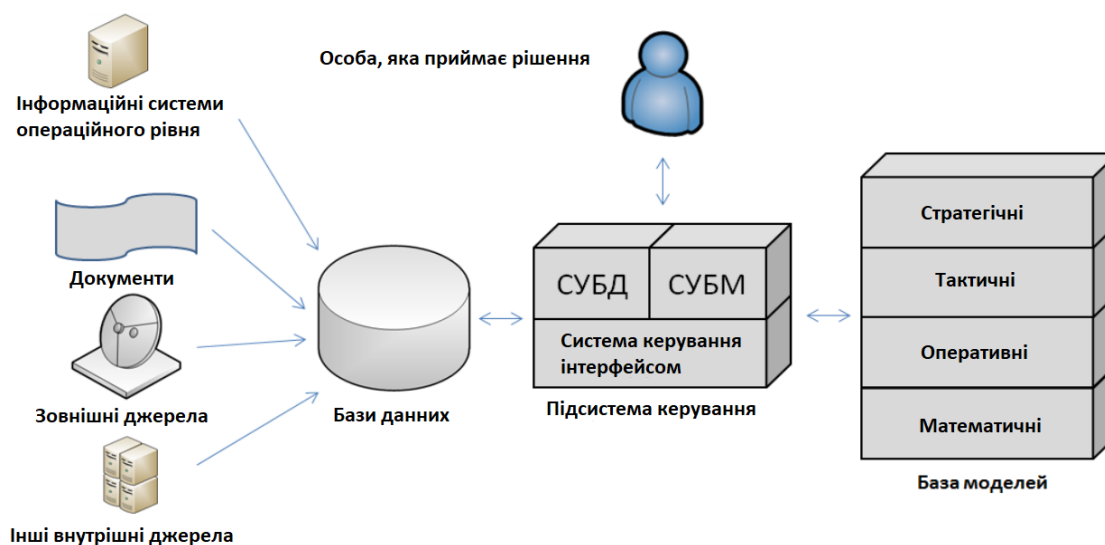


Рисунок 3.3 – Архітектура ПППР

До складу ПППР входять три основні компоненти: БД, база моделей (БМ) та програмна підсистема, що складається з СУБД, системи управління базою

моделей (СУБМ) та системи управління інтерфейсом між користувачем та комп'ютером [14].

БД грає в підсистемі підтримки прийняття рішень важливу роль. Часто використовується термін «сховище даних», яке є банком даних певної структури, що містить інформацію про завдання, що вимагає ухвалення рішення в історичному контексті. Головне призначення сховища – забезпечувати швидке виконання довільних аналітичних запитів.

Основними типами підсистем підтримки прийняття рішень є [15]:

- прийняття рішень на основі звичайного сховища даних;
- прийняття рішень з використанням незалежних вітрин даних;
- прийняття рішень на основі дворівневого сховища даних;
- прийняття рішень на основі тривірневого сховища даних.

Прийняття рішень на основі звичайного сховища даних з архітектурної точки зору є найпростішою. ПППР такої архітектури зустрічаються в основному на невеликих підприємствах, діяльність яких не пов'язана з аналітикою (рис 3.4).

Основною відмінністю звичайного сховища даних ПППР те, що вона використовує дані з операційних систем (ОС) щодо аналізу [14].

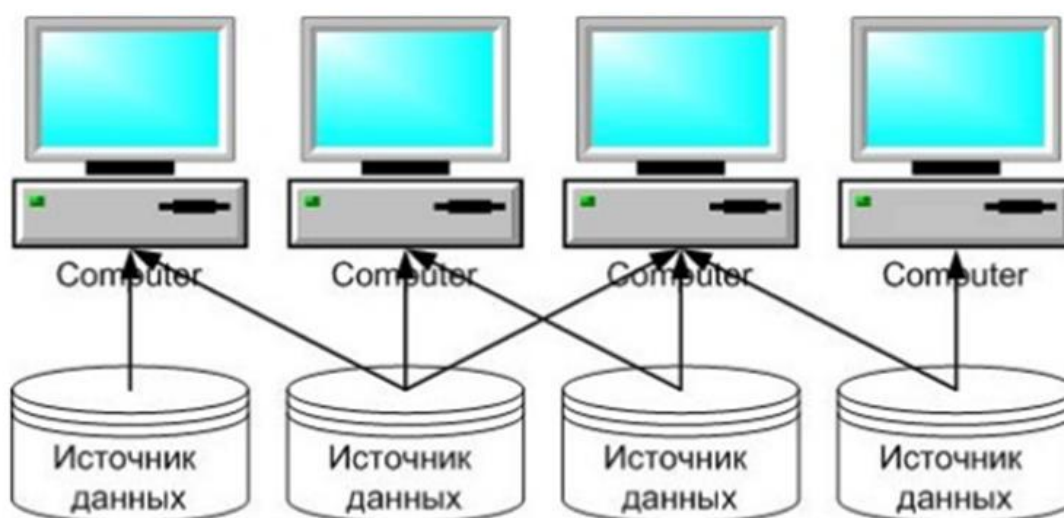


Рисунок 3.4 – Прийняття рішень на основі звичайного сховища даних

До плюсів звичайного сховища даних відносяться:

- відсутність завантаження даних у спеціалізовану систему, що дозволяє проводити швидко впровадження системи;
- витрати зводяться до мінімуму за рахунок використання однієї платформи.

До мінусів можна віднести:

- дуже вузьке коло завдань, які можуть вирішувати системи через використання одного джерела інформації;
- низька якість інформації, внаслідок відсутності можливості очищення даних;
- значне навантаження на ОС.

Незалежні вітрини даних часто формуються в організаціях з декількома незалежними один від одного відділами з окремою інформаційною інфраструктурою (рис. 3.5).

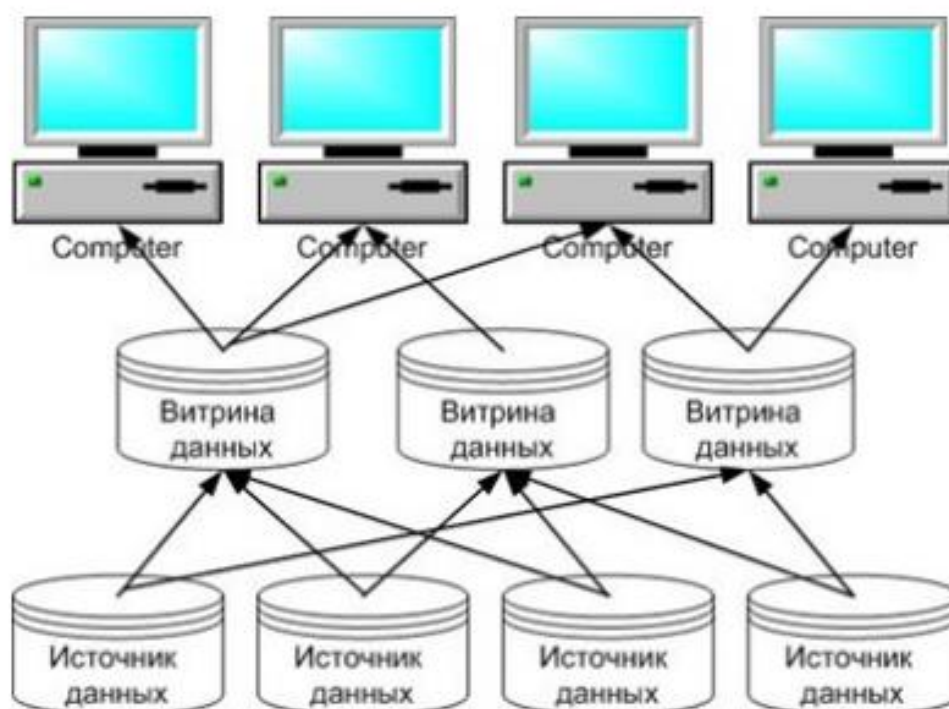


Рисунок 3.5 – Прийняття рішень з використанням незалежних вітрин даних

Плюси незалежних вітрин:

- швидке використання;
- кожна вітрина використовується для вирішення певного кола задач;
- до кожної вітрини допускається певне коло користувачів.

Мінуси незалежних вітрин:

- можливе дублювання інформації на кількох вітринах;
- складність у заповненні вітрин даними при великій кількості джерел інформації;
- дані вітрин не поєднуються, тому відсутня повна картина роботи підприємства.

Дворівневе сховище даних будується на основі загального для всієї організації сховища даних. Для впровадження та обслуговування такої системи потрібна команда людей, що спеціалізуються у сфері сховищ даних (рис. 3.6).

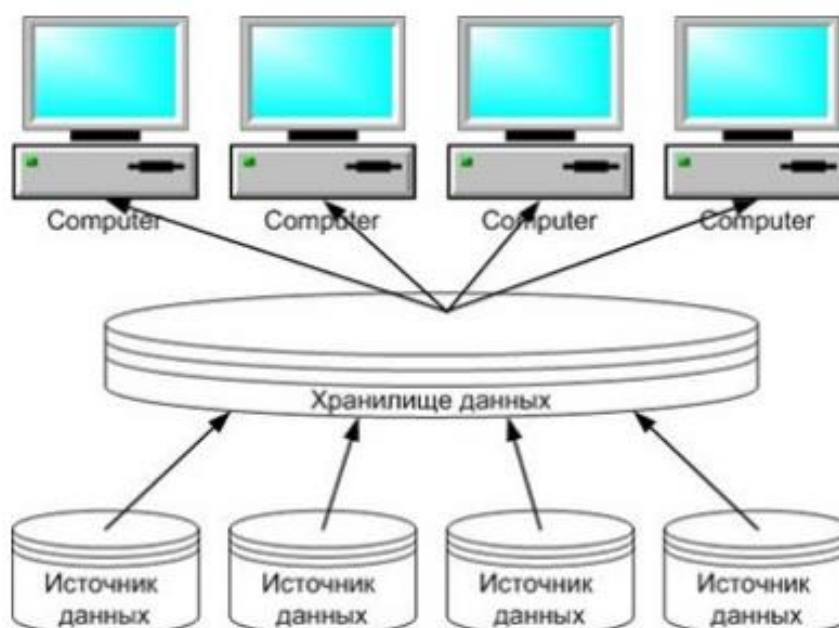


Рисунок 3.6 – Прийняття рішень на основі дворівневого сховища даних

Плюси дворівневих сховищ даних:

- дані не дублюються, зберігаючись у єдиному екземплярі;

- мінімізовані витрати на зберігання даних;
- загальна картина роботи підприємства через використання централізованого сховища.

Мінуси дворівневих сховищ даних:

- немає можливості організувати окремі кола користувача з різним доступом;
- невелика продуктивність системи.

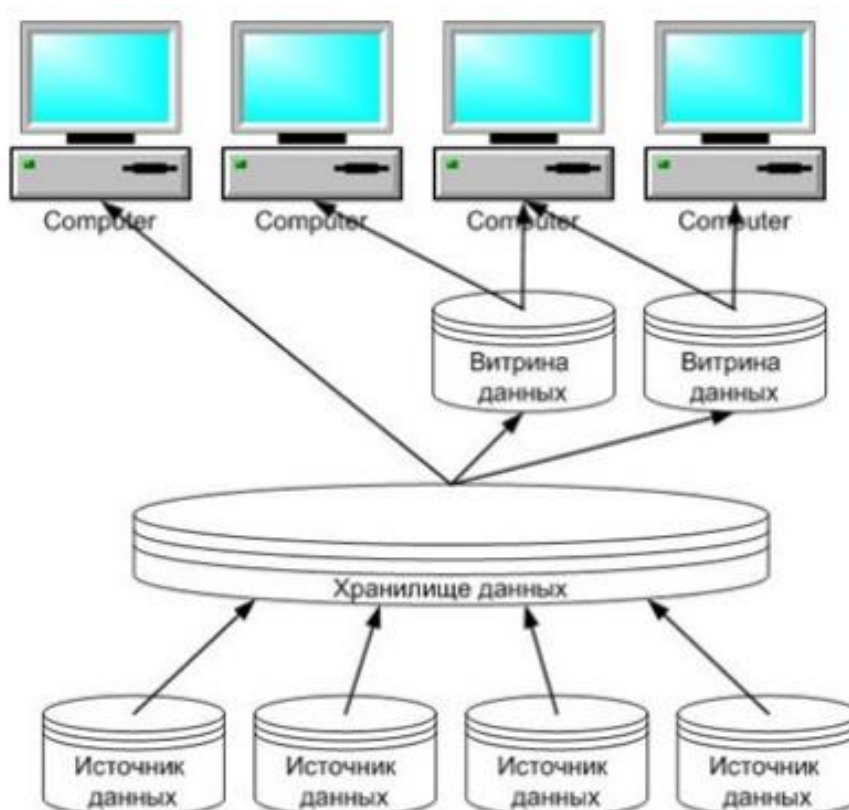


Рисунок 3.7 – ПППР на основі трирівневого сховища даних

Трирівневе сховище даних утворилося злиття ПППР на основі дворівневого сховища даних та незалежних вітрин і являє собою централізованим сховищем (рис. 3.7). Для вирішення проблем доступу і оптимального надання даних різним групам користувачів системи також мають місце вітрини. Якщо даних із вітрини недостатньо, є можливість доступу до центрального сховища.

Плюси трирівневого сховища:

- спрощене наповнення вітрин, у зв'язку з використанням як джерела даних централізованого сховища;
- спрощене розширення сховища даних та створення нових вітрин, наявність корпоративної моделі даних;
- забезпечується гарантована продуктивність.

Мінуси трирівневого сховища:

- спостерігається характерне зростання вимог зберігання даних через їх надмірність;
- потрібна узгодженість з архітектурою великої кількості областей з різними вимогами.

3.7 Висновки до 3 розділу

Головними критеріями вибору методу підсистем підтримки прийняття рішень будуть велика кількість критеріїв та альтернатив. Також метод повинен підтримувати роботу як з чисельними, і з лінгвістичними значеннями критеріїв. Оскільки програма призначена для використання конкретною особою, а не кількома людьми, метод повинен покладатися на переваги однієї ОПР. Готова програма виводитиме список більш відповідних альтернатив, виводячи на екран по порядку, починаючи з кращої альтернативи, відповідно до релевантності. Для таких умов потрібно застосовувати метод, який використовує ранжування альтернатив.

4 МЕТОДИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

4.1 Задачі вибору в умовах повної визначеності

4.1.1 Метод рівномірної оптимізації

Вихідною посилкою (принципом) цього методу і те, що це критерії оптимальності вважаються економічно рівноцінними. Відповідно до цього методу найкращим вважається варіант, у якого сумарна величина всіх числових значень цільових функцій набуває максимального значення. Тобто. основна формула для даного методу має вигляд:

$$f(A^*) = \max_i \sum_{j=1}^n f_j A_{ij}, \quad (4.1)$$

де i – код цільової функції ($i = \overline{1, n}$);

j – номер альтернативного варіанта ($j = \overline{1, m}$);

$\{A_{ij}\}$ – множина варіантів.

Метод рівномірної оптимізації застосовується, якщо глобальна якість альтернативи є сумою локальних (приватних) якостей і, крім того, всі критерії мають ту саму одиницю виміру, наприклад, грошовий вираз або безрозмірні величини [16].

Головний недолік методу – це можливість компенсації малих значень деяких критеріїв досить велике значення інших. Також аналізований метод неактуальний у разі, якщо завдання має кілька критеріїв з різними одиницями виміру.

4.1.2 Метод справедливого компромісу

Вибір кращої альтернативи визначається з урахуванням максимального значення твори аналізованих критеріїв.

$$f(A^*) = \max_i \sum_{j=1}^n f_j A_{ij}, \quad (4.2)$$

де A_{ij} – безліч допустимих значень вектора параметрів, що варіюються i .

Цей метод використовується у разі, коли всі критерії однаково важливі. Однак, далеко не в кожному завданні всі критерії однаково важливі, отже, можна дійти невтішного висновку, що це метод не актуальний, так як орієнтований малий спектр задач.

4.1.3 Метод згортання критеріїв

Вирішення завдань вибору на основі лінійного згортання критеріїв полягає у призначенні тим чи іншим способом невід'ємних (а частіше позитивних) коефіцієнтів a_1, a_2, \dots, a_n , які у сумі дають одиницю (хоча це необов'язково), і наступної максимізації лінійної комбінації критеріїв.

$$f^*(a_i) = \sum_{j=1}^n a_j f_j^* \rightarrow \max, \quad \sum_{j=1}^n a_j = 1, \quad (4.3)$$

де a_i – коефіцієнт важливості за i -м критерієм;

$f_j^*(a_i)$ – чисельне значення нормалізованого i -го критерію j -го варіанта.

В цьому випадку кожному з аналізованих критеріїв присвоюється ваговий коефіцієнт, який відбиває його ступінь значимості у системі цілей підприємства. Кінцевим результатом є один найважливіший за результатами аналізу критерій.

Але у разі кількох показників виникає проблема згортання критеріїв. Однак не можна сказати, що даний метод не підходить для вирішення

постановленого завдання, але якщо один з наступних методів виявиться оптимальнішим по відношенню до методу згортання критеріїв, то метод, що розглядається, буде відкинтий.

4.1.4 Метод головного критерію

В цьому випадку встановлюється найбільш значимий критерій (з урахуванням експертних оцінок), котрій вибирається максимальне значення. Інші критерії розглядаються як обмеження у вирішенні задачі.

$$f_j^* = f_j^*(a) \rightarrow \max, f_j^* \geq D_j, \quad (4.4)$$

де D_j – нижня межа, що відповідає будь-якому граничному значенню.

Іншими словами, на основі виконаних вище оцінок (принципів оптимальності) розробляється економіко-математична модель, в якій можуть одержати відображення різні варіанти нормалізації показників, а також альтернативи вибору принципу оптимальності [26].

Цей метод поганий тим, що далеко не в кожному завданні присутні експертні оцінки, а тим більше в задачах з нечіткою інформацією [21]. Таким чином, не завжди легко вибрати головний критерій, а іноді й зовсім неможливо.

4.1.5 Метод ідеальної точки

Шукається план, який задовольняє умові:

$$A_i = \sum_{i=1}^n (W_i I_i - X_i), \quad (4.5)$$

де A – ставлення ОПР до варіанта;

W – показник важливості i -ї характеристики варіанта;

I – “ідеальне” значення i -ї характеристики варіанта;

X – думка про фактичну величину i -ї характеристики варіанта;

n – число i -х показників варіанта.

У першому етапі застосовується метод нормалізації критеріїв (отримання безрозмірної форми критеріїв). Оскільки критерії можуть мати різні масштаби та шкали вимірювання, то перш ніж приступити до вирішення задачі вибору, їх необхідно привести до однієї одиниці виміру (зазвичай до безрозмірного виду). Цей процес називається нормалізацією. Існують різні методи нормалізації, Пропонується наступний спосіб отримання безрозмірної форми критеріїв:

$$f_j^n A_i = \frac{f_i A_i - \min_i f_i A_i}{\max_j f_i A_i - \min_j f_i A_i}, \quad (4.6)$$

де $j = \overline{1, n}$, $\min_j \{f_j A_i\} \neq \max_i \{f_i A_j\}$.

Цей метод має ряд недоліків, таких як неоднозначність вибору метрики; нездійсненність аксіоми незалежності. Крім того, може статися таке, що найгірша альтернатива домінуватиме над кращою альтернативою.

Усі розглянуті вище методи передбачають роботу за умов повної визначеності, що досить рідкісним явищем у реальному житті. Таким чином, має сенс розглянути методи, що передбачають вирішення задачі про вибір в умовах невизначеності та ризику.

4.2 Методи підтримки прийняття рішень вибору в умовах невизначеності та ризику

Методи для роботи в умовах невизначеності та ризику дещо відрізняються від методів, розглянутих вище. Враховується те, що критерії можуть сильно варіюватися, а деякі критерії можуть бути невідомі. Нижче буде розглянуто та проаналізовано кілька методів критеріального аналізу нечіткої інформації [21].

4.2.1 Аксіоматичний метод

Аксіоматичний метод, в логіці, процедура, за допомогою якої вся ціла система (наприклад, наука) генерується відповідно до зазначених правил

шляхом логічного виведення з деяких основних положень (аксіом або постулатів), які, у свою чергу, будуються з декількох термінів, прийнятих в якість початкових даних. Ці терміни та аксіоми можуть бути або довільно визначені та побудовані, або задумані відповідно до моделі, в якій, як вважається, існує якийсь інтуїтивний критерій, що вказує на їхню істинність. Найстарішими прикладами аксіоматизованих систем є силогістика Аристотеля та геометрія Евкліда.

Всі методи оцінки критеріальних альтернатив, так чи інакше, використовують вимір корисності, але аксіоматичні методи підходять до цих вимірів найбільш теоретично: вони розглядають їх як певні кроки, що підтверджують справедливість вибору деяких аксіом і що ведуть можливість використання певної функції корисності.

Аксіоматичні способи безпосередньо спираються на теорію очікуваної корисності фон Неймана і Моргенштерна або на більш сучасні критеріальні теорії корисності. Слід зазначити штучність аксіоматичних методів. Головна практична проблема – багатокритеріальне порівняння альтернатив – відступає на другий план перед суто формальною (математичною) проблемою пошуку функції корисності у певній формі [17].

4.2.2 Метод прямих

Тут залежність загальної корисності альтернативи від оцінок за окремими критеріями вважається заздалегідь відомою.

Існує велика кількість методів, у яких форма залежності результуючої корисності альтернативи від її оцінок за багатьма критеріями визначається без будь-яких теоретичних підстав, а параметри цієї залежності задаються так:

- нормативно, виходячи з затверджених методик (закон є закон);
- безпосередньо встановлюються особою, яка приймає рішення (начальник завжди правий) або цією особою та консультантами (система колективної відповідальності);
- визначаються зі статистики, якщо вона є в достатньому обсязі та надійна (статистика знає все).

До основних методів цієї групи належать такі: метод виважених сум та його аналоги, метод матриці рішень, метод дерева рішень та низку інших [17].

Даний метод хороший тим, що особа, яка приймає рішення, може встановити зручні для нього критерії та параметри. Наприкінці буде отримано результат з урахуванням переваг, зазначених на початковій стадії. Таким чином, цей метод можна використовувати для різних замовників з різними уподобаннями.

4.2.3 Метод компенсації

Раціональна модель прийняття рішень, у якій вибір систематично оцінюється за різними критеріями. Вигідніші атрибути альтернативи можуть компенсувати менш вигідні. Для цього необхідно слідувати систематичній процедурі прийняття рішень компенсуючої моделі, оскільки позитивний бал по одному атрибуту може переважити негативний результат за іншим атрибутом.

Рішення компенсації має на увазі, що деякий продавець торгує добрими та поганими атрибутами продукту. Наприклад, автомобіль може мати низьку ціну та малий пробіг, але повільне прискорення. Або автомобіль має швидке прискорення, але в такому разі ціна буде вищою, і палива він споживатиме більше.

Іноді рішення буде включати не компенсуючу стратегію. Наприклад, виробник може відмовитися від усіх безалкогольних напоїв, які містять штучні підсолоджувачі. Тут інші добрі функції, такі як смак та низькі калорії, цей атрибут не підлягає обговоренню.

Обсяг зусиль, які споживач ставить на пошук, залежить від ряду таких факторів, як ринок (кількість конкурентів та наскільки великі відмінності між брендами, які, як очікується, будуть), характеристики продукту (важливість продукту, його складність, очевидність його якості), споживчі Показники (інтерес споживача, правильність аналізу показників товару і вчинення найкращої можливої угоди) тощо.

По ідеї, це найпростіший метод, у якому людина виписує переваги та недоліки кожної з альтернатив і, викреслюючи попарно еквівалентні переваги (недоліки), вивчає те, що залишилося і робить вибір.

Перехід від порівняння якостей за різними критеріями до порівняння альтернатив може бути здійснено різними шляхами. Серед них слід виділити побудову кривих байдужості та порівняння різниць оцінок альтернатив за критеріями.

Методи побудови кривих або поверхонь байдужості є дуже трудомісткими і малоприматними при кількості критеріїв $n \geq 3$. Для альтернатив, що залишилися, простіше використовувати метод аналізу ієрархій (МАІ) або один з прямих методів [17].

4.2.4 Метод аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій (МАІ) був розроблений для оптимізації прийняття рішень, коли перед людиною стоїть поєднання якісних, кількісних і іноді суперечливих факторів, які враховуються в ході аналізу. МАІ дуже ефективний у прийнятті складних, часто необоротних рішень.

МАІ використовує рішення осіб, які приймають рішення для розкладання проблем в ієрархії. Складність є кількістю рівнів в ієрархії, побудованої з урахуванням моделі прийняття рішень. Ієрархія використовується для отримання відносин між об'єктами, а також відносною цінністю. МАІ використовує матричну алгебру для визначення коефіцієнтів, щоб отримати математично оптимальне рішення. МАІ використовувався у багатомільярдних рішеннях [28].

МАІ виводить коефіцієнти співвідношення парних порівнянь факторів та варіантів вибору. Типові ситуації, в яких використовується МАІ, належать до:

- встановлення пріоритетів факторів та вимог, що впливають на розробку та продуктивність програмного забезпечення;
- вибору серед кількох стратегій покращення функцій безпеки в автомобілях;

– вибір необхідних програмних компонентів у кількох постачальників програмного забезпечення;

– оцінки якості дослідницьких чи інвестиційних пропозицій тощо [18].

Метод аналізу ієрархій на сьогоднішній день є найбільш оптимальним, поширеним та зручним. З його допомогою, не витрачаючи великих зусиль, можна приймати рішення за умов ризику та невизначеності, так як кожна альтернатива буде проаналізована і можливість вибору найгіршої з них вкрай мала. Недоліком є громіздкість побудови ієрархії [29].

4.3 Висновки до 4 розділу

В якості аналізу методів критеріального аналізу було складено таблицю, у якій порівнюються розглянуті методи за виявленими раніше критеріями.

Таблиця 4.1 – Порівняння методів критеріального аналізу.

Критерії Метод	Робота з нечіткою інформацією	Робота з критеріями, що мають різні одиниці виміру та значимість	Робота з великою кількістю критеріїв	Простота обчислень	Разом
Метод рівномірної оптимізації	-	-	+	+	2
Метод справедливого компромісу	-	-	+	+	2
Метод згортання критеріїв	-	+	-	-	1

Продовження табл. 4.1

Метод головного критерію	-	-	-	-	0
Метод ідеальної точки	-	+	-	-	1
Аксиоматичний метод	+	+	+	-	3
Прямі методи	+	+	-	-	2
Метод компенсації	+	+	-	-	2
Метод аналізу ієрархій	+	+	+	+	4

Проаналізувавши методи критеріального аналізу, на вирішення поставленої завдання було обрано метод аналізу ієрархій, так як є можливість роботи з нечіткою інформацією, немає значення одиниця виміру критерію, можна з великою кількістю критеріїв, показники яких непостійні, математичні обчислення досить прості. Єдиним мінусом виступає громіздкість ієрархії за великої кількості критеріїв.

5 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Алгоритмічне забезпечення задачі

Використовуючи для вирішення поставленої задачі метод аналізу ієрархій, мають бути виконані такі етапи (рис. 5.1):

- визначення проблеми та типу шуканого рішення.
- структуризація ієрархії рішень зверху (мета рішення), через проміжні рівні (критерії, яких залежать наступні елементи), до найнижчого рівня (який зазвичай є набір альтернатив).
- побудова наборів парних матриць порівняння. Кожен елемент із верхнього рівня використовується для порівняння з елементом із рівня нижче.
- використання пріоритетів, отриманих із порівнянь, для зважування пріоритетів рівня, розташованого нижче. Зробити це з кожним елементом. Потім для кожного елемента з рівня нижче додати його виважені значення та отримати загальний або глобальний пріоритет. Продовжувати цей процес зважування та додавання доти, доки не будуть отримані остаточні пріоритети альтернатив на найнижчому рівні.

Виходячи з етапів, описаних вище, алгоритм знаходження оптимального рішення за допомогою методу аналізу ієрархій виглядає так:

Щоб зробити порівняння альтернатив, необхідна шкала чисел, яка показує, як один елемент домінує над іншим елементом по відношенню до критерію або властивості, за яким вони порівнюються [30]. Також ця шкала називається шкалою інтенсивності.

Застосуємо цей алгоритм в підсистемі підтримки прийняття рішень для технології проектування гвинтоколесних механізмів роботизованих систем .

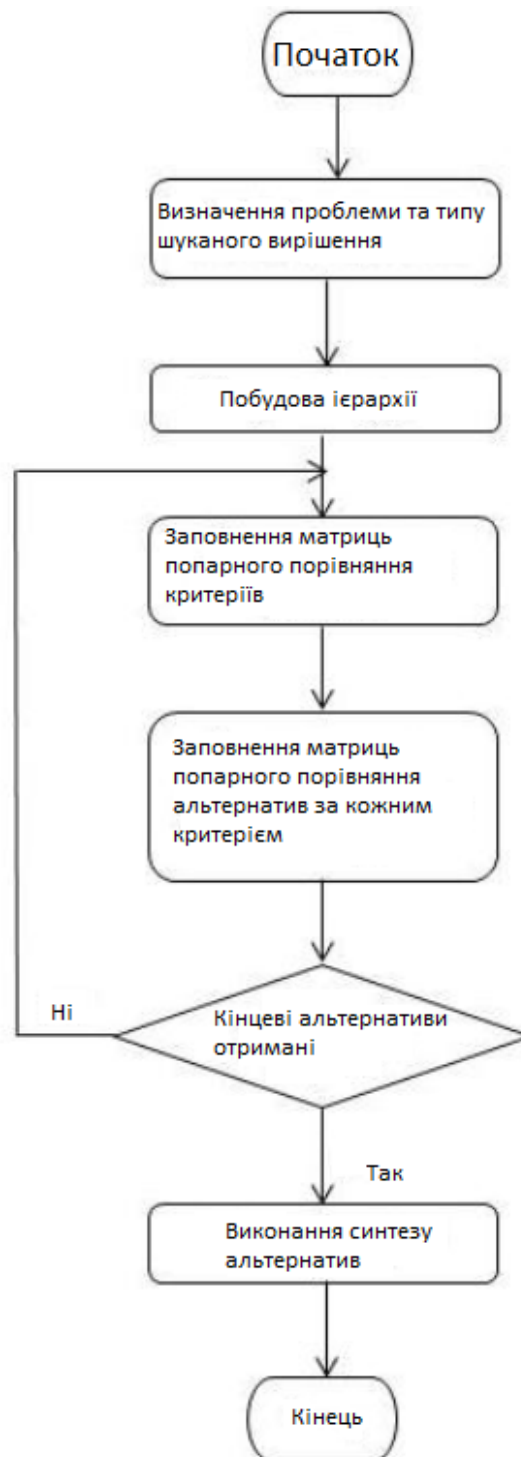


Рисунок 5.1 – Алгоритм розв'язання задачі багатокритеріального аналізу нечіткої інформації

5.2 Вибір мови програмування та середовища розробки

Для створення графічних інтерфейсів за допомогою платформи .NET застосовуються різні технології – Window Forms, WPF, додатки для магазину

Windows Store (для ОС Windows 8 / 8.1 / 10). Однак найбільш простою та зручною платформою досі залишається Window Forms або Форми.

Швидкість і зручність створення користувацьких інтерфейсів у Visual C # забезпечується завдяки Windows Form Designer або Windows Presentation Foundation (WPF) Designer. Створення призначених для користувача інтерфейсів відбувається в три основних етапи:

- додавання елементів керування на поверхню розробки;
- встановлення початкових властивостей для елементів управління;
- написання обробників для заданих подій.

Хоча призначений для користувача інтерфейс можна створити вручну, написавши власний код, за допомогою конструкторів це можна зробити набагато швидше.

Елементи управління, які є компонентами з візуальним представленням (наприклад, кнопки, текстові поля, лейбли) можна перетягнути мишкою на поверхню розробки одного з конструкторів.

Під час роботи у візуальному режимі конструктор Windows Forms переводить їх дії у вихідний код C # і записує їх у файл проекту з ім'ям ім'я.designer.cs, де ім'я – ім'я, що призначене формі. Таким чином, конструктор WPF переводить дії на поверхні розробки у код мови XAML і записує його до файлу проекту з ім'ям Window.xaml. Коли додавання буде виконано, вихідний код (Windows Form) або XAML (WPF) розмістить елементи призначеного для користувача інтерфейсу та скоригує їх розмір таким чином, як вони відображаються на поверхні побудови.

Після додавання елемента керування на поверхню розробки у вікні «Властивості» можна задати його властивості, такі як колір фону, розмір, позицію, текст за умовчанням та багато іншого корисного і необхідного.

У конструкторі Windows Form значення, що задаються у вікні «Властивості», є початковими значеннями, які будуть призначені відповідним властивостям під час створення елемента управління у процесі виконання. У

конструкторі WPF значення, що задаються у вікні «Властивості», зберігаються як атрибути у файлі XAML вікна.

У багатьох випадках доступ до значень і їх зміна можливі, із застосуванням програмних засобів під час виконання шляхом отримання і установки властивостей в екземплярі класу елемента управління в додатку. Вікно «Властивості» може виявитися корисним під час виконання, оскільки з його допомогою можна переглядати всі властивості, події та методи, які підтримуються елементом управління.

Програми з графічним інтерфейсом користувача перш за все сконцентровані на події. Такі програми очікують дій користувача, наприклад, введення тексту до текстового поля, натискання кнопки або зміни вибору у полі зі списком. Під час виконання дії елемент управління, який всього лише є екземпляром класу .NET Framework, відправляє подію у додаток. Для обробки події пишеться спеціальний метод в додатку, який буде викликаний під час отримання події.

У вікні «Властивості» можна вказати події, які мають оброблятися в коді. Для перегляду подій елемента керування слід вибрати його в конструкторі та натиснути кнопку «Події» із зображенням блискавки на панелі інструментів вікна «Властивості».

Під час додавання обробника подій через вікно «Властивості» конструктор автоматично заповнює порожнє тіло методу. Щоб метод виконав деяку дію, необхідно написати код. Більшість елементів управління створюють багато подій, але часто з додатком доведеться обробляти лише частину з них або навіть тільки одну.

5.3 Опис програми програмного забезпечення

Створений додаток повинен здійснити рішення багатокритеріального аналізу за допомогою МАІ. МАІ працює на основі оцінок, які надає особа, яка приймає рішення. Отже, вони можуть змінюватись в залежності від переваг

ОПР і прописувати їх як оцінки за умовчанням було б нелогічно. Отже, необхідне введення оцінок критеріїв та оцінок альтернатив вручну за допомогою GUI або за допомогою вводу параметрів в текстовий файл, який можна буде зчитати та відобразити в графічному вікні матриць. Оцінка критеріїв вводиться в таблицю, де елементи головної діагоналі незмінно рівні одиниці. Проміжні значення розраховуються динамічно, одразу після введення користувачем оцінок. Також є кнопки навігації по програмі, та кнопки які виконують певну роль (рис. 5.2–5.12):

- вихідні дані (описується завдання, список критеріїв, їх вільно можна редагувати і вводити цільові значення);
- розрахунок та результат;
- налаштування (можна налаштувати кількість критеріїв та механізмів);
- створити (за її допомогою можна створити текстовий файл де лежатимуть дані);
- відкрити (відкриває файл з даними);
- зберегти (зберігає введені оцінки в файл);
- вирішити (виконує певні розрахунки та повертає кінцевий розрахунок).

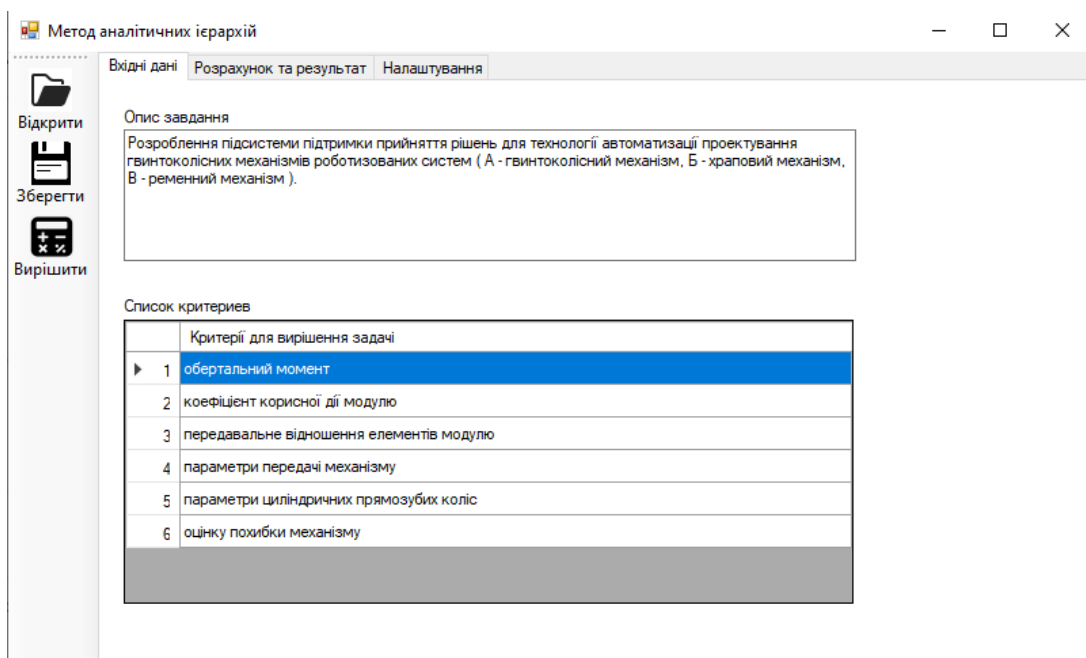


Рисунок 5.3 – Головне вікно програми

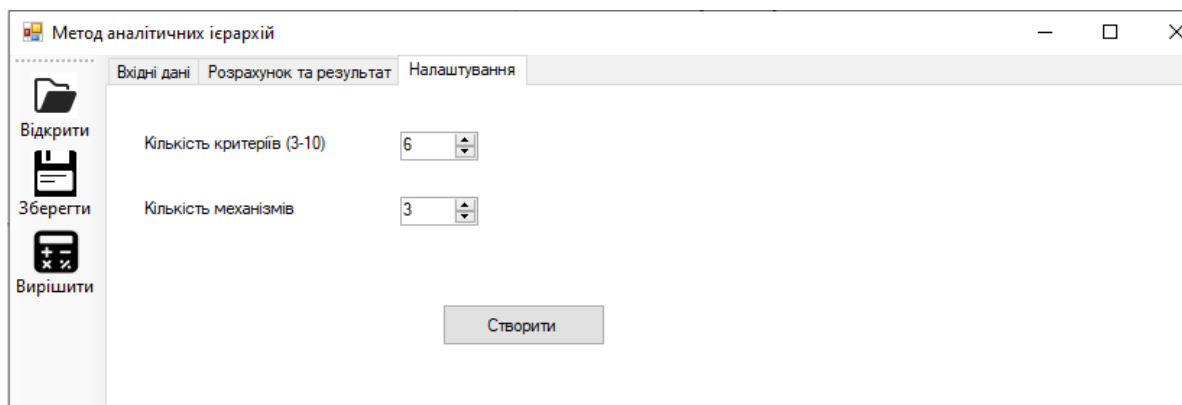


Рисунок 5.2 – Вікно для налаштування програми

Матриця парних порівнянь рівня 2

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	корінь	ВП
A	1	3	1/6	1/7	1/6	1/8	0.33789	0.03941
A	1/3	1	1/5	1/4	1/2	1/6	0.33402	0.03896
A	6	5	1	1/5	1/6	1/7	0.72302	0.08433
A	7	4	5	1	1	1	2.27870	0.26577
A	6	3	6	3	2	2	3.30193	0.38515

ЛямбдаМакс=7.24841 IU=0.24968 VU=0.20136

Рисунок 5.4 – Матриця парних порівнянь рівня 2

Матриця парних порівнянь рівня 3 - A1

	A	Б	В	корінь	ВП
A	1	7	9	3.97906	0.76076
Е	1/7	1	7	1.00000	0.19119
Е	1/9	1/7	1	0.25132	0.04805
с	1.25397	8.14286	17.00000	5.23038	

ЛямбдаМакс=3.32765 IU=0.16383 VU=0.28246

Рисунок 5.5 – Матриця парних порівнянь рівня 3 – A₁

Матриця парних порівнянь рівня 3 - A2

	A	Б	В	корінь	ВП
A	1	5	2	2.15443	0.58417
Е	1/5	1	7	1.11869	0.30333
Е	1/2	1/7	1	0.41491	0.11250
с	1.70000	6.14286	10.00000	3.68803	

ЛямбдаМакс=3.98140 IU=0.49070 VU=0.84604

Рисунок 5.6 – Матриця парних порівнянь рівня 3 – A₂

Матриця парних порівнянь рівня 3 - A3

	A	Б	В	корінь	ВП
▶ A	1	1/7	1/5	0.30571	0.06680
E	7	1	5	3.27107	0.71471
E	5	1/5	1	1.00000	0.21849
с	13.00000	1.34286	6.20000	4.57678	

ЛямбдаМакс=3.18279 ІУ=0.09140 ВУ=0.15758

Рисунок 5.7 – Матриця парних порівнянь рівня 3 – A₃

Матриця парних порівнянь рівня 3 - A4

	A	Б	В	корінь	ВП
▶ A	1	1	1	1.00000	0.33333
E	1	1	1	1.00000	0.33333
E	1	1	1	1.00000	0.33333
с	3.00000	3.00000	3.00000	3.00000	

ЛямбдаМакс=2.99997 ІУ=0.00001 ВУ=0.00003

Рисунок 5.8 – Матриця парних порівнянь рівня 3 – A₄

Матриця парних порівнянь рівня 3 - A5

	A	Б	В	корінь	ВП
▶ A	1	7	1	1.91293	0.55678
E	1/7	1	7	1.00000	0.29106
E	1	1/7	1	0.52276	0.15216
с	2.14286	8.14286	9.00000	3.43569	

ЛямбдаМакс=4.93260 ІУ=0.96630 ВУ=1.66604

Рисунок 5.9 – Матриця парних порівнянь рівня 3 – A₅

Матриця парних порівнянь рівня 3 - A6

	A	Б	В	корінь	ВП
▶ A	1	2	3	1.81712	0.56892
E	1/2	5	1/6	0.74690	0.23385
E	1/2	1/2	1	0.62996	0.19723
с	2.00000	7.50000	4.16667	3.19398	

ЛямбдаМакс=3.71351 ІУ=0.35675 ВУ=0.61509

Рисунок 5.10 – Матриця парних порівнянь рівня 3 – A₆

Матриця глобальних пріоритетів

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	ГП
▶	0.03941	0.03896	0.08433	0.26577	0.38512	0.18641	
A	0.76076	0.58417	0.06680	0.33333	0.55678	0.56892	0.46744
E	0.19119	0.30333	0.71471	0.33333	0.29106	0.23385	0.32390
E	0.04805	0.11250	0.21849	0.33333	0.15216	0.19723	0.20866

Рисунок 5.11 – Матриця глобальних пріоритетів

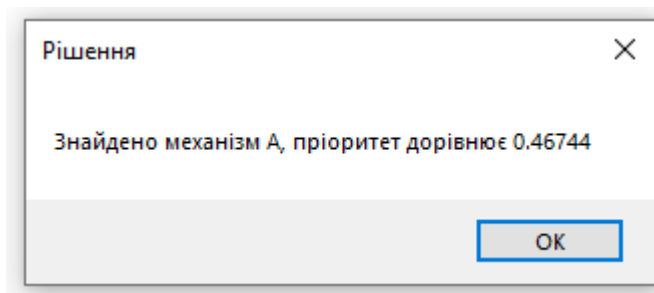


Рисунок 5.12 – Вікно з результатами

5.6 Висновки до 5 розділу

Було спроектовано інтерфейс користувача та використано алгоритм МАІ, а також реалізовано візуальне подання оптимальності альтернатив.

Алгоритми та інтерфейс були реалізовані у середовищі розробки Microsoft Visual Studio з використанням мови програмування C#. У ході виконання роботи реалізовані такі функції:

- можливе введення користувачем оцінок через GUI або файл, що відображають його переваги;
- відображення проміжних розрахунків;
- реалізовано візуальне уявлення оптимальності альтернатив;
- налаштування програми;
- створення файлу даних;
- відкриття файлу з даними;
- зберігання введених даних через GUI;

– розрахунок та виведення результатів.

6 КОНТРОЛЬНИЙ ПРИКЛАД

6.1 Вирішення завдання про вибір серед кількох альтернатив методом аналізу ієрархій

Нехай є кілька альтернатив A_n , де $n=1,2,\dots$. Також є деяка кількість критеріїв K_n , де $n=1,2,\dots$, по яким ці альтернативи оцінюються. Необхідно провести оцінку критеріїв щодо цілі та альтернатив щодо критеріїв, враховуючи переваги ОПР. Оцінка проводиться за шкалою, представленою в таблиці 5.1. Дані записуються у вигляді квадратної матриці розмірності $n \times n$. У загальному вигляді матриця оцінювання критеріїв щодо цілі та матриця порівняння альтернатив щодо критерію представлені в таблицях 6.1 та 6.2 відповідно, де a_{ij} – оцінка переваг ОПР.

Таблиця 6.1– Шкала інтенсивності

Інтенсивність важливості	Визначення	Примітка
1	2	3
1	Рівна важливість	Два критерії однаково сприяють досягненню мети
2	Слабкий чи незначний	–
3-4	Помірна перевага	Досвід та судження одного критерію трохи домінують над іншим
5-6	Значна перевага	Досвід та судження одного критерію значно домінують над іншим

Продовження табл. 6.1

1	2	3
9	Максимальна перевага	Докази, що сприяють домінуванню одного критерію над іншим, мають найвищий можливий порядок затвердження

Таблиця 6.2 – Матриця порівняння критеріїв щодо цілі

Ціль	K_1	K_2	...	K_n
K_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
K_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...
K_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}

Таблиця 6.3 – Матриця порівняння альтернатив щодо критерію

K_n	A_1	A_2	...	A_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...
A_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}

Далі необхідно за даною формулою обчислити геометричне середнє для кожного рядка матриць, представлених у таблицях 6.3 та 6.4.

$$\omega_i = \sqrt[n]{\sum_{j=1}^n a_{ij}} , \quad (6.1)$$

де a_{ij} – елемент матриці, що є оцінкою, $i, j = \overline{1, n}$;

n – розмірність матриці.

Далі знаходиться нормуючий коефіцієнт для кожної матриці:

$$r = \sum_{i=1}^n \omega_i , \quad (6.2)$$

де ω_i – раніше знайдене геометричне середнє.

І в останню чергу обчислюється вектор пріоритетів для кожної матриці:

$$q_i = \frac{\omega_i}{r} , \quad (6.3)$$

де r – нормуючий коефіцієнт;

ω_i – геометричне середнє, $i = \overline{1, n}$

Отриманий вектор додається до матриці попарного порівняння критеріїв та альтернатив. Внаслідок чого матриці набувають наступного вигляду, представленого в таблицях 6.4 та 6.5.

Таблиця 6.4 – Матриця порівняння критеріїв щодо цілі

Ціль	K_1	K_2	...	K_n	q_i
K_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	q_{1i}
K_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	q_{2i}
...	
K_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}	q_{ni}

Таблиця 6.5 – Матриця порівняння альтернатив щодо критерію

K_n	A_1	A_2	...	A_n	q_i
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	q_{1i}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	q_{2i}
...	
A_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}	q_{ni}

Далі кілька етапів визначається узгодженість локальних пріоритетів кожної з матриць, розглянутих вище. На першому етапі визначається сума кожного j -го стовпця матриці, для якої знаходиться цей показник:

$$s_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}, \quad (6.4)$$

де a_{ij} – елемент матриці, $i, j = \overline{1, n}$;

n – розмірність матриці.

Потім отриманий результат множиться на i -ту компоненту нормалізованого вектора пріоритетів q_i :

$$p_i = s_i \cdot q_i, \quad (6.5)$$

де s_i – сума кожного j -го стовпця матриці, $i = \overline{1, n}$;

q_i – вектор пріоритетів, $i = \overline{1, n}$.

Сума чисел p_i відображає пропорційність переваг λ_{\max} , чим ближче ця величина до n (числу об'єктів і видів впливу на матриці парних порівнянь), тим більше узгоджені судження [6]:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n p_i. \quad (6.6)$$

Відхилення від узгодженості виражається індексом узгодженості (ІУ):

$$IU = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (6.7)$$

де n – розмірність матриці;

λ_{\max} – пропорційність переваг.

Відношення ІУ до середнього значення випадкового індексу узгодженості (СІ) називається відношення узгодженості (ВУ), де СІ є табличною величиною.

Таблиця 6.6 – Середні значення випадкового індексу узгодженості

Розмір матриці, n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СІ	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.4	1.45	1.49

Формула знаходження відносин узгодженості має такий вигляд:

$$BU = \frac{IU}{CI}. \quad (6.8)$$

На завершення здійснюється безпосередньо синтез альтернатив для кожної альтернативи, які будуть представлені в умові завдання. Обчислюються пріоритети альтернатив згідно з формулою:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n q_i \cdot q_j, \quad (6.9)$$

де q_i – вектор пріоритету із матриці порівняння критеріїв;

q_j – вектор пріоритету з матриць порівняння альтернатив.

Серед отриманих значень вибирається найбільше, і саме воно є оптимальною альтернативою для особи, яка приймає рішення.

6.2 Розв'язання задачі про вибір серед кількох альтернатив за допомогою математичного аналізу

Розглянемо приклад роботи алгоритму МАІ. Нехай є три механізми роботизованих систем. Вони мають певні характеристики, а саме обертальний момент, коефіцієнт корисної дії модулю, передавальне відношення елементів модулю, параметри передачі механізму, параметри циліндричних прямозубих коліс, оцінку похибки механізму. У результаті вирішення поставленого завдання необхідно зробити оптимальний вибір механізму.

Потрібно зробити вибір із трьох запропонованих механізмів:

- гвинтоколісний механізм;
- храповий механізм;
- ремінний механізм.

На першому етапі МАІ здійснюється уявлення проблеми у вигляді ієрархії. Є три види механізмів:

- A_1 – гвинтоколісний механізм;
- A_2 – храповий механізм;
- A_3 – ремінний механізм.

Вони становлять третій нижчий рівень ієрархії і є альтернативами.

Критеріями, стосовно яких оцінюються альтернативи, є:

- K_1 – обертальний момент;
- K_2 – коефіцієнт корисної дії модулю;
- K_3 – передавальне відношення елементів модулю;
- K_4 – параметри передачі механізму;
- K_5 – параметри циліндричних прямозубих коліс;
- K_6 – оцінка похибки механізму

Побудована ієрархія представлена рисунку 6.1

На другому етапі необхідно встановити пріоритети критеріїв та провести оцінку кожної з альтернатив за критеріями [19].

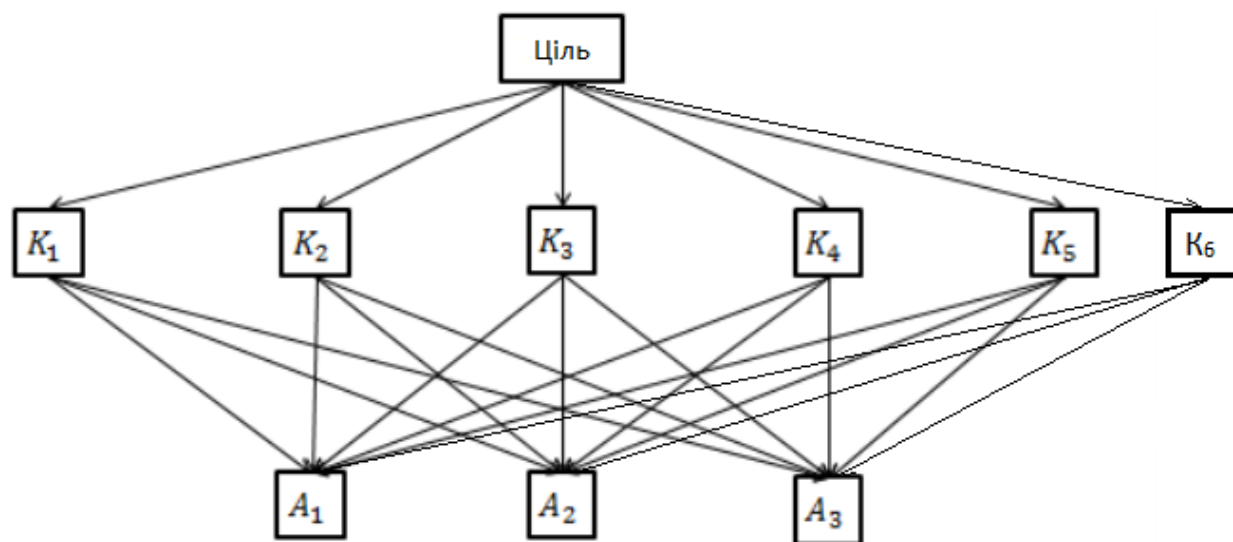


Рисунок 6.1 – Побудована ієрархія

Складемо матрицю для попарного порівняння критеріїв на другому рівні по відношенню загальної мети, розташованої на першому рівні. Для цього будуть використані дані таблиці 6.1. Отримані відомості будуть занесені до таблиці 6.7. Матриці попарного порівняння кожної альтернативи на третьому рівні по відношенню до критеріїв другого рівня будуть відповідно занесені до таблиць 6.8-6.13. Дані матриці, як правило, складаються на основі переваг ОПР.

Таблиця 6.7 – Матриця попарного порівняння критеріїв

Ціль	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
K_1	1	3	1/6	1/7	1/6	1/8
K_2	1/3	1	1/5	1/4	1/2	1/6
K_3	6	5	1	1/5	1/6	1/7
K_4	7	4	5	1	1	1
K_5	6	3	6	3	2	2
K_6	5	5	1/3	1	1	2

Таблиця 6.8 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_1

K_1	A_1	A_2	A_3
A_1	1	7	9
A_2	1/7	1	7
A_3	1/9	1/7	1

Таблиця 6.9 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_2

K_2	A_1	A_2	A_3
A_1	1	5	2
A_2	1/5	1	7
A_3	1/2	1/7	1

Таблиця 6.10 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_3

K_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	1/7	1/5
A_2	7	1	5
A_3	5	1/5	1

Таблиця 6.11 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_4

K_4	A_1	A_2	A_3
A_1	1	1	1
A_2	1	1	1
A_3	1	1	1

Таблиця 6.12 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_5

K_5	A_1	A_2	A_3
A_1	1	7	1
A_2	1/7	1	7
A_3	1	1/7	1

Таблиця 6.13 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_6

K_6	A_1	A_2	A_3
A_1	1	2	3
A_2	1/2	5	1/6
A_3	1/2	1/2	1

На третьому етапі здійснюється синтез пріоритетів. Для цього необхідно знайти геометричне середнє кожного рядка матриці, що нормує вектор і потім вектор пріоритетів.

Розмірність матриці попарного порівняння критеріїв, представленої в таблиці 3, дорівнює $n = 6$. Відповідно, геометричне середнє для кожного рядка цієї матриці обчислюється за формулою (6.1). В результаті маємо:

$$\begin{aligned}\omega_1 &= \sqrt[n]{a_{11} \cdot a_{12} \cdot a_{13} \cdot a_{14} \cdot a_{15} \cdot a_{16}} = \sqrt[6]{1 \cdot 3 \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{8}} \approx 0,33789, \\ \omega_2 &= \sqrt[n]{a_{21} \cdot a_{22} \cdot a_{23} \cdot a_{24} \cdot a_{25} \cdot a_{26}} = \sqrt[6]{\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6}} = 0,33402, \\ \omega_3 &= \sqrt[n]{a_{31} \cdot a_{32} \cdot a_{33} \cdot a_{34} \cdot a_{35} \cdot a_{36}} = \sqrt[6]{6 \cdot 5 \cdot 1 \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{7}} = 0,72302, \\ \omega_4 &= \sqrt[n]{a_{41} \cdot a_{42} \cdot a_{43} \cdot a_{44} \cdot a_{45} \cdot a_{46}} = \sqrt[6]{7 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1} = 2,27870, \\ \omega_5 &= \sqrt[n]{a_{51} \cdot a_{52} \cdot a_{53} \cdot a_{54} \cdot a_{55} \cdot a_{56}} = \sqrt[6]{6 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2} = 3,30193, \\ \omega_6 &= \sqrt[n]{a_{61} \cdot a_{62} \cdot a_{63} \cdot a_{64} \cdot a_{65} \cdot a_{66}} = \sqrt[6]{5 \cdot 5 \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2} = 1,59824.\end{aligned}$$

Далі знаходиться нормуючий коефіцієнт згідно з формулою (6.2).

Відповідно:

$$r = 0,33789 + 0,33402 + 0,72302 + 2,27870 + 3,30193 + 1,59824 = 8,5738. \quad (6.3)$$

І в останню чергу обчислюється вектор пріоритетів матриці, представленої в таблиці 3 згідно з формулою:

$$q_1 = \frac{\omega_1}{r} = 0,33789 / 8,5738 \approx 0,03941,$$

$$q_2 = \frac{\omega_2}{r} = 0,33402 / 8,5738 \approx 0,03896,$$

$$q_3 = \frac{\omega_3}{r} = 0,722 / 8,5738 \approx 0,08433,$$

$$q_4 = \frac{\omega_4}{r} = 2,27870 / 8,5738 \approx 0,26577,$$

$$q_5 = \frac{\omega_5}{r} = 3,30193 / 8,5738 \approx 0,38512,$$

$$q_6 = \frac{\omega_6}{r} = 1,59824 / 8,5738 \approx 0,18641.$$

Отриманий вектор додається до матриці попарного порівняння критеріїв, результат представлений у таблиці 6.14

Таблиця 6.14 – Матриця попарного порівняння критеріїв

Ціль	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	q ₁
K ₁	1	3	1/6	1/7	1/6	1/8	0.03941
K ₂	1/3	1	1/5	1/4	1/2	1/6	0.03896
K ₃	6	5	1	1/5	1/6	1/7	0.08433
K ₄	7	4	5	1	1	1	0.26577
K ₅	6	3	6	3	2	2	0.38512
K ₆	5	5	1/3	1	1	2	0.18641

Аналогічну процедуру здійснюємо для всіх матриць попарних порівнянь. Результати представлені у таблицях 6.15-6.20.

Таблиця 6.15 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_1

K_1	A_1	A_2	A_3	q_1
A_1	1	7	9	0.76076
A_2	1/7	1	7	0.19119
A_3	1/9	1/7	1	0.04805

Таблиця 6.16 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_2

K_2	A_1	A_2	A_3	q_1
A_1	1	5	2	0.58417
A_2	1/5	1	7	0.30333
A_3	1/2	1/7	1	0.11250

Таблиця 6.17 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_3

K_3	A_1	A_2	A_3	q_1
A_1	1	1/7	1/5	0.06680
A_2	7	1	5	0.71471
A_3	5	1/5	1	0.21849

Таблиця 6.18 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_4

K_4	A_1	A_2	A_3	q_1
A_1	1	1	1	0.33333
A_2	1	1	1	0.33333
A_3	1	1	1	0.33333

Таблиця 6.19 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_5

K_5	A_1	A_2	A_3	q_1
A_1	1	7	1	0.55678
A_2	1/7	1	7	0.29106
A_3	1	1/7	1	0.15216

Таблиця 6.20 – Матриця попарного порівняння альтернатив щодо K_6

K_6	A_1	A_2	A_3	q_1
A_1	1	2	3	0.56892
A_2	1/2	5	1/6	0.23385
A_3	1/2	1/2	1	0.19723

Далі визначається узгодженість локальних цінностей кожної з матриць, аналізованих вище. Знайдемо відношення до узгодженості (ВУ) для матриці попарного порівняння критеріїв, наведених у таблиці 6.2.

На першому етапі визначається сума кожного j -го стовпця матриці згідно з формулою (6.4):

$$s_1 = 1 + \frac{1}{3} + 6 + 7 + 6 + 5 = 25,33333333,$$

$$s_2 = 3 + 1 + 5 + 4 + 3 + 5 = 21,$$

$$s_3 = \frac{1}{6} + \frac{1}{5} + 1 + 5 + 6 + \frac{1}{3} = 12,7,$$

$$s_4 = \frac{1}{7} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + 1 + 3 + 1 = 5,59286,$$

$$s_5 = \frac{1}{6} + \frac{1}{2} + \frac{1}{6} + 1 + 2 + 1 = 4,833333,$$

$$s_6 = \frac{1}{8} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + 1 + 2 + 2 = 5,43452.$$

Потім отриманий результат множиться на i -му компоненту нормалізованого вектора пріоритетів q згідно з формулою (6.5). Звідси випливає:

$$p_1 = s_1 \cdot q_{11} = 25,33333333 \cdot 0,03941 = 0,998386665353,$$

$$p_2 = s_2 \cdot q_{21} = 21 \cdot 0,03896 = 0,81816,$$

$$p_3 = s_3 \cdot q_{31} = 12,7 \cdot 0,08433 = 1,070991,$$

$$p_4 = s_4 \cdot q_{41} = 5,59286 \cdot 0,26577 = 1,4864144022,$$

$$p_5 = s_5 \cdot q_{51} = 4,83333 \cdot 0,38512 = 1,8614120496,$$

$$p_6 = s_6 \cdot q_{61} = 5,43452 \cdot 0,18641 = 1,0130488732.$$

Далі знайдемо узгодженість суджень за формулою (6.6):

$$\lambda_{\max} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 0,998386665353 + 0,81816 + 1,070991 + 1,4864144022 + 1,8614120496 + 1,0130488732 = 7,248412990353.$$

Потім знайдемо індекс узгодженості згідно з формулою (6.7):

$$IU = \frac{7,248412990353 - 6}{6 - 1} = 0,24968.$$

Після цього необхідно знайти відношення узгодженості за формулою (6.8). Звідси випливає:

$$BU = \frac{0,24968}{1,24} = 0,20136.$$

Аналогічно обчислимо ВУ для матриць, представлених у таблицях 6.8-6.13. В результаті виконаних обчислень маємо:

– для K_1 : $BU = 0,28246$;

– для K_2 : $BU = 0,84604$;

– для K_3 : $BU = 0,15758$;

– для K_4 : $BU = -0,00003$;

– для K_5 : $BU = 1,66604$;

– для K_6 : $BU = 0,61509$.

На завершення здійснюється безпосередньо синтез альтернатив, обчислюються пріоритети всіх трьох альтернатив за формулою (6.9):

$$Q_1 = 0,76076 \cdot 0,03941 + 0,58417 \cdot 0,03896 + 0,06680 \cdot 0,08433 + 0,33333 \cdot 0,26577 + 0,55678 \cdot 0,38512 + 0,56892 \cdot 0,18641 = 0,46744,$$

$$Q_2 = 0,19119 \cdot 0,03941 + 0,30333 \cdot 0,03896 + 0,71471 \cdot 0,08433 + 0,33333 \cdot 0,26577 + \\ + 0,29106 \cdot 0,38512 + 0,23385 \cdot 0,18641 = 0,32390,$$

$$Q_3 = 0,04805 \cdot 0,03941 + 0,11250 \cdot 0,03896 + 0,21849 \cdot 0,08433 + 0,33333 \cdot 0,26577 + \\ + 0,15216 \cdot 0,38512 + 0,19723 \cdot 0,18641 = 0,20866.$$

6.3 Висновки до 6 розділу

Дані пріоритети, отримані внаслідок синтезу альтернатив, є показниками оптимальності. Оптимальним вибором є той, що якого найбільший пріоритет Q_n . Пріоритет у альтернативи A_1 , яким є гвинтоколiсний механiзм, вищий, нiж у решти. Таким чином, вибiр гвинтоколiсного механiзму ОПР є найкращим за обраною множиною показникiв.

7 ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Живлення комп'ютерів здійснюється від двофазної чотирьох електричної мережі змінного струму з глухо-заземленою нейтраллю і напругою 220/380 В, частотою 50 Гц.

Згідно НПАОП 40.1-1.21-98 робоче місце можна віднести до категорії без підвищеної небезпеки, через те, що в приміщенні відсутні чинники, які викликають підвищену або особливу небезпеку.

Для створення безпечних умов праці необхідно провести ряд організаційних і технічних заходів. Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 для запобігання ураження людини електричним струмом у приміщенні застосовується заземлення.

Згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.12-05 проводиться вступний, первинний на робочому місці, повторний, цільовий і позаплановий інструктажі. Зміст інструктажу відповідає вимогам НПАОП 0.00-4.12-05. Факт проведення інструктажу відзначається у відповідних журналах з підписами інструктованих та інструктуючого.

Оптимальні норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень для категорії робіт Іа є наступними відповідно до ДСН 3.3.6.042-99:

– у холодний період: температура 26-33° С, відносна вологість 40-60 %, швидкість руху повітря менше або дорівнює 0,1 м/с;

– у теплий період: температура 30-38° С, відносна вологість 40-60 %, швидкість руху менше або дорівнює 0,1 м/с.

Зорова робота користувача програмного засобу є роботою високої точності, найменший розмір об'єкта розрізнення 0,2 мм- 0,4 мм і розряд зорової роботи – ІІІ.

Згідно вимог ДБН В.25-28-2006 величина коефіцієнта природного освітлення дорівнює 4 %. Природне світло проникає до приміщення через бічні вікна, що відповідає вимогам. Штучне освітлення встановлюємо у вигляді суцільних або переривчастих ліній ламп розжарювання, розташованих паралельно лінії зору операторів. Освітленість під час роботи з екраном, у поєднанні з роботою над документами не менше 500 лк. В якості джерел світла застосовані лед-лампи.

Одним з варіантів контролювання температурних показників є використання системи кондиціонування.

Мета перевірного розрахунку – вибір кондиціонера, який забезпечить оптимальні значення мікрокліматичних параметрів у приміщенні.

За умови виділення надлишкової теплоти кількість повітря визначається з умови асиміляції надлишків цієї теплоти. Кількість необхідного припливного повітря можна визначити.

За умови виділенні надлишкової теплоти кількість повітря визначається з умови асиміляції надлишків цієї теплоти. Кількість необхідного припливного повітря можна визначити так:

$$L_{np} = \frac{Q_{надл.}}{c \cdot p \cdot (t_{уд.} - t_{np.})}, \quad (7.1)$$

де $Q_{надл.}$ – надлишкове виділення явної теплоти;

c – питома теплоємність повітря за постійного тиску (1,009 кДж/кг·град або 0,24 ккал/кг·град);

p – питома вага повітря у приміщенні (за нормальних умов 1,2928 кг/м³);

$t_{уд.}$ – температура повітря, що видаляється;

$t_{np.}$ – температура припливного повітря (повинна бути на 4-8 °С нижчого за температуру повітря у робочій зоні).

У приміщенні джерелами надлишкового тепла $Q_{надл.}$ є: надходження тепла від людей і виділення тепла від ПК.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської атестаційної роботи було виконано огляд та аналіз основних теоретичних відомостей механізмів роботизованих систем, розглянуто особливості роботизованих систем як об'єктів моделювання, проаналізовано сучасну систему автоматизованого проектування та основну функцію ППР в САПР.

За результатами аналізу встановлено, що у процесах проектування механізмів роботизованих систем виникає задача оцінки їх функціональних характеристик. Тому було проведено математичне забезпечення та досліджено функціональні характеристики гвинтоколісного механізму роботизованої системи та з'ясовано, що зуб'я коліс в таких передачах розташовані під прямим кутом. Їх наявність допомагає збільшити вихідний крутний момент за рахунок забезпечення необхідного передавального числа. Також у ході проведення досліджень було встановлено, що довговічність досліджуваного механізму значно більша ніж у розглянутих аналогів, але поточності на виході та ККД менша.

На основі досліджень теоретичних відомостей САПР, ППР та гвинтоколісних механізмів роботизованих систем як об'єктів проектування було встановлено, що головними критеріями вибору методу підсистем підтримки прийняття рішень є велика кількість критеріїв та альтернатив. Також метод повинен підтримувати роботу як з чисельними, і з лінгвістичними значеннями критеріїв. Оскільки програма призначена для використання конкретною особою, а не кількома людьми, метод повинен покладатися на переваги одного ОПР. Готова програма виводитиме список більш відповідних альтернатив, виводячи на екран по порядку, починаючи з кращої альтернативи, відповідно до релевантності. Для цих цілей підійде метод, який використовує ранжування альтернатив.

Для ПППР було обрано методи критеріального аналізу, тобто на вирішення поставленого завдання було обрано метод аналізу ієрархій, так як є можливість роботи з нечіткою інформацією, немає значення одиниця виміру критерію, можна з великою кількістю критеріїв, показники яких непостійні, математичні обчислення досить прості. Пріоритети, отримані внаслідок синтезу альтернатив, є показниками оптимальності. Оптимальним вибором є той, що якого найбільший пріоритет Q_n .

На цій основі алгоритми та інтерфейс були реалізовані у середовищі розробки Microsoft Visual Studio з використанням мови програмування C#. В ході виконання роботи реалізовані наступні функції:

- можливе введення користувачем оцінок через GUI або файл, що відображають його переваги;
- відображення проміжних розрахунків;
- реалізовано візуальне уявлення оптимальності альтернатив;
- налаштування програми;
- створення файлу даних;
- відкриття файлу з даними;
- зберігання введених даних через GUI;
- розрахунок та виведення результатів;

В кінцевому виді бачимо розроблену підсистему підтримки прийняття рішень для технології автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів роботизованих систем.

Визначення характеристик механізмів та їх скалярне багатокритеріальне оцінювання з використанням підсистеми підтримки прийняття рішень дозволить підвищити ступінь автоматизації технологій проектування механізмів роботизованих систем і підвищити їх якість.

Результати кваліфікаційної роботи апробовані в 1 статті у збірнику студентських наукових статей [21] та 1 всеукраїнській конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених [22].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. К.: ДП “УкрНДНЦ”. 2016. 30 с.
2. Невлюдов І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. К. : пр. Космонавта Комарова, 1. 2016. 245 с.
3. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп’ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкорвайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. 55 с.
4. Положення про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ URL: <https://nure.ua/polozhennya-pro-protidiyu-akademichnomu-plagiatu-v-hnure-290-vid-28> (дата звернення 11.12.2021).
5. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. Кіровоград: КНТУ, 2007. 420с.
6. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник.-2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1988. 392 с.
7. Зезин Н. Л., Рощин Г.И., Самойлов Е.А. Детали машин и основы конструирования: учебник для бакалавров. М.: Издательство Юрайт. 2013. 415 с. URL: <https://web3.ura.it.ru/bcode/369841> (дата звернення 03.11.2021).
8. Кудрявцев Е.М. Основы автоматизированного проектирования: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия». 2011. 304 с.

9. Системы автоматизированного проектирования: учебное пособие для вузов. Принципы построения и структура. В 9 кн. / Под ред. И.П. Норенкова. М.: Высш. шк. 1986. 127 с/

10. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов: 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002. 336 с.

11. Ларичев О. И., Петровский А. В. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. Т.21. М.: ВИНТИ. 1987. С. 131–164.

12. Little I.D. C.Models and Managers. The Concept of a Decision Calculus // Management Science. 1970. Vol. 16. №8. P. 10-12.

13. Системи підтримки прийняття рішень / В.Ф. Ситник, О.С. Олексюк, В.М. Гужва [та ін.]. К.: Техніка. 1995. 162 с.

14. Класифікація СППР URL:
https://uchebnikionline.com/informatika/informatsiyni_sistemi_i_tehnologiyi_na_pid_priyemstvah_pleskac_h_vl/klasifikatsiya_sppr.htm. (дата звернення 03.11.2021).

15. Архитектуры систем поддержки принятия решений. – Режим доступа: <http://lissianski.narod.ru/dwarch/dwarch.html>. (дата звернення 03.11.2021).

16. Beskorovainyi V. Estimating the properties of technological systems based on fuzzy sets / V. Beskorovainyi, G. Berezovskyi // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2017. № 1 (1). С. 14–20.

17. Beskorovainyi V. Parametric synthesis of models for multicriterial estimation of technological systems // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2017. №2 (2). С. 5–11.

18. Beskorovainyi V., Berezovskyi H. Identification of preferences in decision support systems // ECONTechMOD. 2017. Vol. 06. №4. P. 15–20.

19. Vladimir V. Beskorovainyi, Lubomyr B. Petryshyn, Olha Yu. Shevchenko. Specific subset effective option in technology design decisions //

Applied Aspects of Information Technology. 2020. Vol.3 No.1. P. 443–455.
<https://aait.opu.ua/?fetch=articles&with=info&id=40> (дата звернення 14.11.2021).

20. Beskorovainyi V. Combined method of ranking options in project decision support systems // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2020. No 4 (14). P. 13–20. URL: <https://itssi-journal.com/index.php/itssi/article/view/230> (дата звернення 14.11.2021).

21. Хобот М.В. Підсистема підтримки прийняття рішень для технології автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів // АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2021) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. Харків : ХНУРЕ, 2021. Вип. 2. С. 163–166.

22. Хобот М. В., Безкоровайний В. В. Підсистема підтримки прийняття рішень для технології автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів // Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. Харків, ХНАДУ, 2021. С. 114–118. URL: <https://mf.khadi.kharkov.ua/departments/avtomatizaciji-ta-kompjuter-no-integrovanikh-tekhnologii/konferencija-kit/kit-2021/> (дата звернення 11.12.2021).

23. Петров К. Э., Дейнеко А. А., Чалая О. В., Панферова И. Ю. Метод ранжирования вариантов при проведении процедуры коллективного экспертного оценивания // Радиоелектроніка, інформатика, управління. 2020. № 2. С. 84–94.

24. Подоляка О.А., Подоляка А.Н. Применение порядковой нормализации и скремблирования критериев для решения многокритериальных задач // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2015. №8. С. 60–69.

25. Govindan K., Fattahi M., Keyvanshokooh E. Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions // European Journal of Operational Research. 2017. Vol. 263. P. 108–141.

26. Pascual C. P., Faustino A. V. Identification of Reverse Logistics Decision Types from Mathematical Models // Journal of Industrial Engineering and Management. 2018. No. 11 (2). P. 239–249.
27. Beskorovainyi V., Imanhulova Z. Technology of large-scale objects system optimization // ECONTECHMOD. 2017. Vol. 06, No. 4. P. 3–8.
28. Zlaugotne B., Zihare L., Balode L., Kalnbalkite A., Khabdullin A., Blumberga D. Multi-Criteria Decision Analysis Methods Comparison // Environmental and Climate Technologies. 2020. No. 24(1). P. 454-471.
29. Iastremska O. Logistics at an enterprise: the peculiarities of procurement activities // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2018. No. 3 (5). P. 141–148. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.141>.
30. Shadura O. Modification of genetic algorithms based on the method of non-centered principal components and standard tests // World Science. 2019. No. 4 (44). P. 4–11.