

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій  
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Розроблення системи підтримки прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів  
(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КІТПВм-21-1  
Здорик Н. 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'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва  
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Безкоровайний В. В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри КІТАМ

\_\_\_\_\_  
(підпис)

проф. Невлюдов І. III.  
(прізвище, ініціали)

2022 р.

*Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.*

*«02» грудня 2022 р.*

*Здорик Н.В..*

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Кафедра КІТАМ

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'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Здорику Нікіті Вікторовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розроблення системи підтримки прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів»

затверджена наказом університету від «07» листопада 2022 р. № 1464 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії «20» грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження – комп'ютерно-інтегровані виробничі процеси (ВП). Предмет дослідження – процес підтримки прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих ВП. Предмет розробки – засіб для вибору ефективного варіанту побудови комп'ютерно-інтегрованих ВП за множиною часткових критеріїв. Кількість варіантів – до 10. Кількість часткових критеріїв – до 10. Технічне забезпечення: IBM-сумісний персональний комп'ютер. Перелік використовуваних програмних засобів: ОС macOS Ventura 13.0, середовище програмування Visual Studio 2022.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ. Аналіз сучасного стану проблеми підтримки прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих ВП. Комп'ютерно-інтегровані ВП як об'єкти проектування. Автоматизація процесів проектування ВП. Підтримка прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих ВП. Постановка мети і задач кваліфікаційної роботи. Математичне забезпечення системи підтримки прийняття проектних рішень. Постановка задачі прийняття проектних рішень. Вибір методів розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації. Математична модель задачі багатокритеріальної оптимізації ВП. Розробка алгоритмів розв'язання задачі. Розробка програмного забезпечення системи. Огляд та аналіз вимог до програмного забезпечення. Моделювання задачі. Вибір мови програмування та середовища розробки. Блочна нормалізація критеріїв. Метод аналізу ієрархій. Визначення коефіцієнтів важливості критеріїв. Метод адитивної згортки. Експерименти та аналіз результатів. Охорона праці. Висновки. Перелік джерел посилання. Керівництво користувача.

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 (12-16 сторінок).

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	01.09.22	Виконано
2	Аналіз сучасного стану проблеми проєктування комп'ютерно-інтегрованих ВП	08.09.22	Виконано
3	Огляд математичних моделей і методів підтримки прийняття рішень	15.09.22	Виконано
4	Розробка математичного забезпечення задачі	29.09.22	Виконано
5	Розробка програмного забезпечення задачі	13.10.22	Виконано
6	Проведення експериментальних досліджень	27.10.22	Виконано
7	Підготовка публікацій за результатами дослідження	10.11.22	Виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	30.11.22	Виконано
9	Подання закінченої роботи науковому керівникові	01.12.22	Виконано
10	Усунення зауважень наукового керівника	08.12.22	Виконано
11	Подання роботи на рецензування	12.12.22	Виконано
12	Підготовка презентації	16.12.22	Виконано
13	Попередній захист	19.12.22	Виконано
14	Подання роботи до екзаменаційної комісії	20.12.22	Виконано

Дата видачі завдання «01» вересня 2022 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Здорик Н. В.

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

проф. Безкоровайний В. В.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 84 с., 10 табл., 38 рис., 4 дод., 33 джерела.

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ, БЛОКОВА НОРМАЛІЗАЦІЯ, ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС, ЗГОРТКА КРИТЕРІЇВ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, ПРОЄКТУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – комп'ютерно-інтегровані виробничі процеси.

Предмет дослідження – процес підтримки прийняття рішень при проєктуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення ефективності варіантів побудови комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів за рахунок розробки компонентів системи підтримки прийняття багатокритеріальних рішень.

Методи дослідження – системний підхід, методи багатокритеріального оцінювання і вибору, аналізу ієрархії, блокової нормалізації критеріїв, адитивної згортки, сучасні інформаційні технології.

Для підтримки прийняття проєктних рішень запропоновано комбінування методів аналізу ієрархії та блочної нормалізації критеріїв, розроблено алгоритми та, з використанням мови програмування C# в середовищі програмування .NET, відповідне програмне забезпечення.

Розроблені компоненти системи можуть застосовуватися на підприємствах і в організаціях, в яких вирішуються задачі проєктування чи реінжинірингу виробничих процесів. Їх практичне використання за рахунок використання комбінації методів підтримки прийняття багатокритеріальних рішень дозволить підвищувати ефективність варіантів побудови виробничих процесів.

Отримані результати апробовані на 3-х міжнародних науково-практичних конференціях.

## ABSTRACT

Explanatory note: 84 p., 10 table, 38 fig., 4 appendices, 33 sources of information.

MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION, BLOCK NORMALIZATION, MANUFACTURING PROCESS, CRITERIA CONVULSION, MATHEMATICAL MODEL, DECISION-MAKING SUPPORT, DESIGN.

The object of research is computer-integrated production processes.

The subject of the study is the process of supporting decision-making in the design of computer-integrated production processes.

The purpose of the qualification work is to increase the efficiency of options for building computer-integrated production processes due to the development of components of a multi-criteria decision support system.

Research methods – systematic approach, methods of multi-criteria evaluation and selection, hierarchy analysis, block normalization of criteria, additive convolution, modern information technologies.

To support project decision-making, a combination of methods of hierarchy analysis and block normalization of criteria is proposed, algorithms are developed and, using the C# programming language in the .NET programming environment, appropriate software.

The developed components of the system can be used at enterprises and organizations in which the problems of design or reengineering of production processes are solved. Their practical use through the use of a combination of multi-criteria decision support methods will increase the effectiveness of production process construction options.

The obtained results were tested at 3 international scientific and practical conferences.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень і термінів .....	9
Вступ .....	10
1 Аналіз сучасного стану проблеми проектування комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів .....	12
1.1 Комп'ютерно-інтегровані виробничі процеси як об'єкти проектування .....	12
1.2 Автоматизація процесів проектування комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів .....	23
1.3 Підтримка прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів .....	23
1.4 Постановка мети і задач кваліфікаційної роботи .....	27
1.5 Висновки до першого розділу .....	28
2 Математичне забезпечення підтримки прийняття проектних рішень .....	30
2.1 Постановка задачі прийняття проектних рішень .....	31
2.2 Методи розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації .....	33
2.3 Математична модель завдання багатокритеріальної оптимізації виробничих процесів з блоковою нормалізацією критеріїв .....	37
2.4 Висновки до другого розділу.....	39
3 Розроблення системи для автоматизації розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації та результати .....	40
3.1 Моделювання задачі .....	40
3.2 Огляд та аналіз вимог до програмного забезпечення .....	44

3.3 Вибір мови програмування та середовище розробки .....	47
3.4 Розробка програмного забезпечення .....	52
3.5 Висновки до третього розділу .....	56
4 Експерименти та аналіз результатів .....	58
4.1 Метод аналізу ієрархій .....	59
4.2 Блочна нормалізація критеріїв .....	67
4.5 Висновки до четвертого розділу .....	73
5 Охорона праці .....	75
5.1 Загальні вимоги щодо охорони праці при роботі з комп'ютером .....	76
5.2 Вимоги до особистого робочого місця працівника .....	77
5.3 Вимоги до профілактичних медичних оглядів, режимів праці і відпочинку при роботі з комп'ютером .....	78
5.4 Висновки до п'ятого розділу .....	79
Висновки .....	80
Перелік джерел посилання .....	82
Додаток А Керівництво користувача .....	86
Додаток Б Заява щодо самостійності виконання роботи та можливості її публікації .....	89
Додаток В Протокол перевірки тексту пояснювальної записки електронною системою на плагіат .....	90
Додаток Г Демонстраційний матеріал .....	91

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВДТ – відеодисплейні термінали.

ВП – виробничий процес.

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина.

МАІ – метод аналізу ієрархій.

ОПР – особа, яка приймає рішення.

ПЗ – програмне забезпечення.

САПР – система автоматизованого проектування.

СППР – система підтримки прийняття рішень.

СКБД – система керування базою даних.

СКБМ – система керування базою моделей.

ТП – технологічний процес.

CAD – Computer Aided Design.

CAE – Computer Aided Engineering.

CAPP – Computer Aided Process Planning.

CAQ – Computer Aided Quality Control.

CIM – Computer Integrated Manufacturing.

PPS – Productions Planning System.

UML – Unified Modeling Language.

## ВСТУП

В умовах ринкової економіки на виробничих підприємствах України значно розширилося коло завдань, які необхідно вирішувати для того, щоб залишатися на піку конкурентоспроможності не тільки серед вітчизняних виробників, а й на світовому рівні. Саме тому розвиток комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів базується на впровадженні новітніх засобів автоматизації у виробничі процеси, що обумовлює скорочення витрат і підвищення якості кінцевої продукції.

Однією з основних концептуальних напрямків подальшого розвитку автоматизації та підвищення гнучкості є інтеграція управління підприємством, технологічними процесами, виробництвом в цілому в єдину систему на основі комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем керування виробництвом на різних рівнях його організації.

Інтерес до системи підтримки прийняття рішень (СППР) як до перспективного напрямку використання обчислювальної техніки і як до інструментарію підвищення ефективності праці у сфері управління виробництвами постійно зростає. За допомогою систем підтримки прийняття рішень, в яких сконцентровані потужні методи математичного моделювання, теорії управління, інформаційних технологій, може здійснюватися вибір рішень деяких неструктурованих і слабоструктурованих задач, у тому числі й багатокритеріальних.

Оскільки комп'ютерно-інтегровані виробничі процеси функціонують в умовах постійних змін, то на певному етапі роботи вже розроблені варіанти виробничих процесів перестають задовольняти базові вимоги. Тому, виникає необхідність постійної модернізації, удосконалення та адаптації виробничих процесів та систем керування ними – реінжинірингу, даний підхід передбачає перепроєктування, яке може кардинально змінити вже існуючі виробничі процеси. Для цього необхідним є розв'язання комплексу задач структурної, параметричної, топологічної, технологічної оптимізації, багатофакторної оцінки

та вибору системних рішень, що обумовлює актуальність задач розробки систем підтримки прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення ефективності варіантів побудови комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів за рахунок розробки компонентів системи підтримки прийняття багатокритеріальних рішень.

Об'єкт дослідження – комп'ютерно-інтегровані виробничі процеси.

Предмет дослідження – процес підтримки прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів.

Методи дослідження – системний підхід, методи багатокритеріального оцінювання і вибору, аналізу ієрархії, блокової нормалізації критеріїв, адитивної згортки, сучасні інформаційні технології.

Для досягнення мети необхідно:

- провести аналіз та огляд виробничих процесів як об'єктів проектування;
- проаналізувати існуючі методи проектування виробничих процесів;
- розглянути методи багатокритеріальної оптимізації, проаналізувати їх переваги та недоліки;
- обґрунтувати вибір методів багатокритеріальної оптимізації при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів;
- обрати мову програмування та середовище розробки програми;
- розробити програмний додаток для вибору найбільш ефективних альтернатив;
- проаналізувати ефективність розробленого додатку та обраних методів;
- розглянути питання охорони праці розробника системи;
- оформити пояснювальну записку до кваліфікаційної роботи магістра відповідно до вимог ДСТУ 3008:2015 [1] та рекомендацій, викладених у методичних вказівках [2].

Результати кваліфікаційної роботи магістра апробовані та опубліковані у вигляді тез-доповідей [3-5].

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

1.1 Комп'ютерно-інтегровані виробничі процеси як об'єкти проєктування

Виробничий процес – це систематична і цілеспрямована зміна в часі і просторі, кількісних і якісних характеристик засобів виробництва і робочої сили для одержання з вихідних матеріалів готової продукції відповідно до заданої програми рис. 1.1 [6].

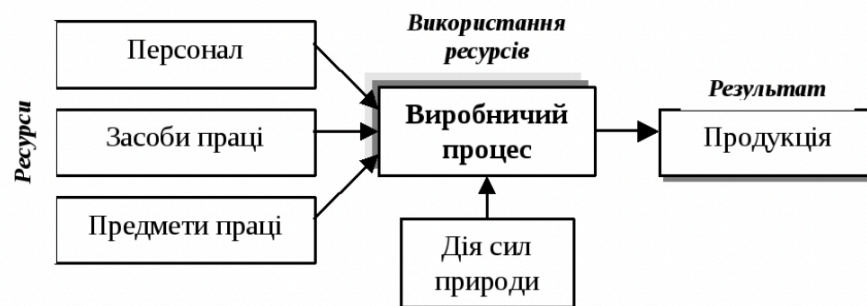


Рисунок 1.1 – Взаємозв'язок елементів виробничого процесу [7]

Виробничий процес об'єднує множину часткових процесів, що спрямовані на виготовлення готового продукту, які можна класифікувати за певними ознаками.

Залежно від ролі в загальному процесі виготовлення готової продукції розрізняють основні, допоміжні та обслуговуючі виробничі процеси.

Залежно від стадії (фази) виготовлення готового виробу основні виробничі процеси поділяють на:

- заготівельні, які здійснюються на стадії створення поковок, відливки, заготовок;
- обробні, що відбуваються на стадії перетворення заготовки або

матеріалу в готові деталі шляхом механічної, термічної обробки, а також обробки з застосуванням електричних, фізико-хімічних та інших методів;

– складальні, які характеризують стадію отримання складальних одиниць або готових виробів та процесів регулювання, доведення, обкатки.

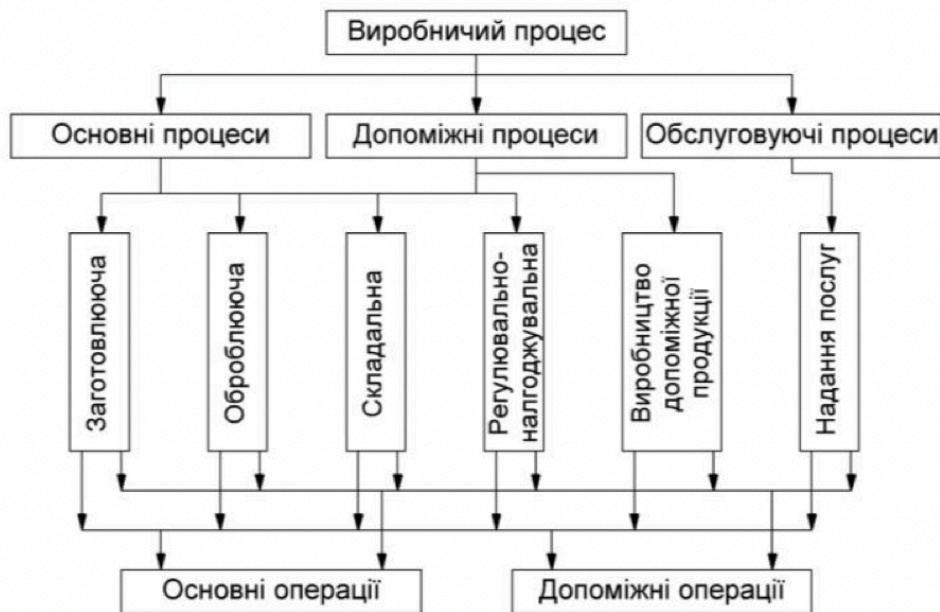


Рисунок 1.2 – Структура виробничого процесу [6]

В умовах автоматизованого виробництва під операцією слід розуміти закінчену частину ТП, виконувану безперервно на автоматичній лінії, яка складається з декількох одиниць технологічного обладнання, пов'язаних автоматично діючими транспортно-завантажувальними пристроями.

Під організацією виробничих процесів розуміють різні методи сполучення всіх елементів системи в просторі і часі з метою досягнення ефективного їх використання.

Принцип спеціалізації – форма розподілу праці, яка характеризується виготовленням продукції обмеженої номенклатури, мінімізацією різновидів робіт, процесів, операцій, режимів обробки ні інших елементів виробничого процесу.

Спеціалізація підвищує ступінь однорідності виробництва на робочих місцях, дільницях, цехах; збільшує випуск однорідної продукції; спрощує організацію виробництва і створює умови для механізації і автоматизації всіх процесів; сприяє ефективному використанню устаткування і виробничих площ, поліпшенню економічних показників за рахунок можливості використання спеціального, продуктивнішого устаткування, а також зниження собівартості і підвищення якості продукції [8].

Внутрішню заводську спеціалізацію підвищують шляхом проведення конструктивної, технологічної і організаційної уніфікації.

Уніфікація – приведення продукції, способів і методів її виробництва або їх елементів до єдиної форми, розмірів, структури, складу.

Рациональна організація виробничого процесу має відповідати низці вимог і будуватися на таких принципах, як: спеціалізація, диференціація, концентрація, інтеграція, паралельність, пропорційність, безперервність, ритмічність, прямоточність, автоматичність, гнучкість, гомеостатичність (рис. 1.3).

Принцип диференціації передбачає поділ виробничого процесу і їй окремі технологічні процеси, операції, переходи, прийоми. Під час диференціації ручних операцій треба враховувати фізіологічні, психологічні та економічні межі поділу праці. Надмірна диференціація підвищує стомлюваність робітників унаслідок монотонності праці, велика кількість операцій призводить до зайвих витрат на устанавлення, закріплення деталей тощо.

Принцип інтеграції впливає з принципу диференціації операцій і виробничих процесів. Він реалізується, наприклад, у гнучких виробничих системах повного технологічного циклу, на яких деталі або вироби обробляються без участі людини з 100 % готовністю для складання [9].

Принцип паралельності передбачає одночасне виконання окремих частин виробничого процесу (операцій) з виготовлення виробу. Він забезпечує одночасність виконання робіт, застосування багатопредметної обробки, суміщення за часом виконання технологічних і допоміжних операцій (машинна обробка, завантаження та розвантаження агрегата). Рівень паралельності

виробничого процесу визначається відношенням тривалості виробничого циклу за паралельного руху предметів праці до фактичної його тривалості [10].



Рисунок 1.3 – Взаємозв’язок принципів раціональної організації ВП [9]

Принцип пропорційності зводиться до забезпечення рівної пропускної спроможності (відносної продуктивності за одиницю часу) виготовлення продукції у всіх частинах виробничого процесу (виробничих підрозділів – основних, допоміжних і обслуговуючих цехів, а всередині них – дільниць і ліній, груп устаткування і робочих місць).

Досягнення пропорційності ґрунтується на нормах, що визначають кількісний взаємозв'язок між елементами виробництва, коли продуктивність устаткування на всіх операціях технологічного процесу пропорційна трудомісткості обробки виробів на всіх операціях. Вона забезпечує безперебійне виробництво, найповніше використання виробничої потужності, запобігає виникненню «вузьких» місць. Пропорційність виробництва підтримується шляхом упровадження організаційно-технологічних заходів, передових методів праці, удосконалювання оперативного-виробничого планування [11].

Ступінь пропорційності виробництва характеризується величиною відхилення пропускної спроможності (потужності) кожної стадії процесу виробництва (переділу) від запланованого ритму випуску продукції.

Принцип безперервності передбачає скорочення або зведення до мінімуму перерв у процесі виготовлення продукції, особливо в умовах багато ланцюгового виробництва. Безперервність є однією з найважливіших умов скорочення термінів виготовлення продукції і підвищення рівня використання виробничих ресурсів, забезпечення рівномірної роботи підприємства і випуску продукції в заданому ритмі.

Ступінь безперервності визначається відношенням тривалості технологічної частини виробничого циклу до його повної тривалості.

Принцип ритмічності полягає в забезпеченні випуску за рівні проміжки часу тієї самої або рівномірно зростаючої кількості продукції на всіх стадіях і операціях виробничого процесу.

Ритмічність виробничого процесу є одною з основних передумов раціонального використання всіх його елементів і забезпечується високою технологічною дисципліною, раціональною організацією забезпечення робочих місць, надійною роботою устаткування, застосуванням прогресивній систем оперативно-виробничого планування та управління. Вона сприяє чіткому виконанню договорів з постачання продукції споживачам, поліпшенню фінансового стану підприємства [12].

Принцип прямоочності полягає в забезпеченні найкоротшого шляху проходження предметами праці всіх стадій і операцій виробничого процесу. Він характеризується співвідношенням тривалості транспортних операцій і загальної тривалості виробничого циклу.

Можна визначити рівень прямоочності шляхом обчислення співвідношення оптимальної довжини маршруту проходження предмета праці і фактичної довжини маршруту.

Принцип автоматичності передбачає максимально можливе її економічно доцільне вивільнення людини від безпосередньої участі у виробничому процесі. Автоматизація виробничих процесів забезпечує збільшення обсягів виробництва, скорочення витрат живої праці, заміну ручної праці інтелектуальною працею операторів, наладчиків, вивільнення ручної праці на

шкідливих роботах, підвищення якості робіт.

Ступінь автоматизації визначається відношенням трудомісткості робіт, виконуваних автоматизовано, до загальної трудомісткості робіт. Даний коефіцієнт може розраховуватися як для всього підприємства, так і стосовно кожного його підрозділу [10].

Принцип гнучкості вможливує пристосування виробничого процесу до змін економічних, організаційних умов, а також конструктивно-технологічних вимог до продукції, що виготовляється. Він забезпечує скорочення часу і витрат на переналагодження устаткування під час випуску деталей і виробів широкої номенклатури. Основний показник – ступінь гнучкості – визначається кількістю часу, що витрачається, і необхідних додаткових витрат при переході на випуск нової продукції.

Принцип гомеостатичності передбачає створення технічних та організаційних механізмів саморегулювання і стабілізації у виробничій системі, щоб вона була здатною стабільно виконувати свої функції в межах допустимих відхилень і протистояти дисфункціональним впливам.

До стабілізаційних організаційних систем належать системи оперативного планування і регулювання виробництва, експлуатаційного обслуговування устаткування, резервних запасів та ін.

Розглянуті принципи раціональної організації виробничого процесу тісно пов'язані між собою, доповнюють один одного і різною мірою реалізуються на практиці. Правильне використання зазначених принципів з урахуванням методів організації виробництва забезпечує скорочення тривалості виробничого процесу і підвищення його ефективності [12].

Для перспективного розвитку сучасного виробництва на виробничих підрозділах необхідно постійне оновлення технологічного устаткування, систем автоматизації і засобів вимірювання. Необхідне постійне та своєчасне підвищення кваліфікації персоналу та якості його роботи, що дозволяє освоювати нові види продукції, підвищення її якості та скорочування витрат палива, енергії, матеріалів на її виробництво [1].

Автоматизація виробничих процесів – комплекс заходів з розробки нових прогресивних виробничих процесів і проектування на їх основі високопродуктивного технологічного обладнання, що здійснює робочі і допоміжні процеси без безпосередньої участі людини [1].

На рис. 1.4 приведена функціональна схема автоматизованого ВП, на якій показані місце і взаємозв'язок ТП, їхніх режимів тощо.

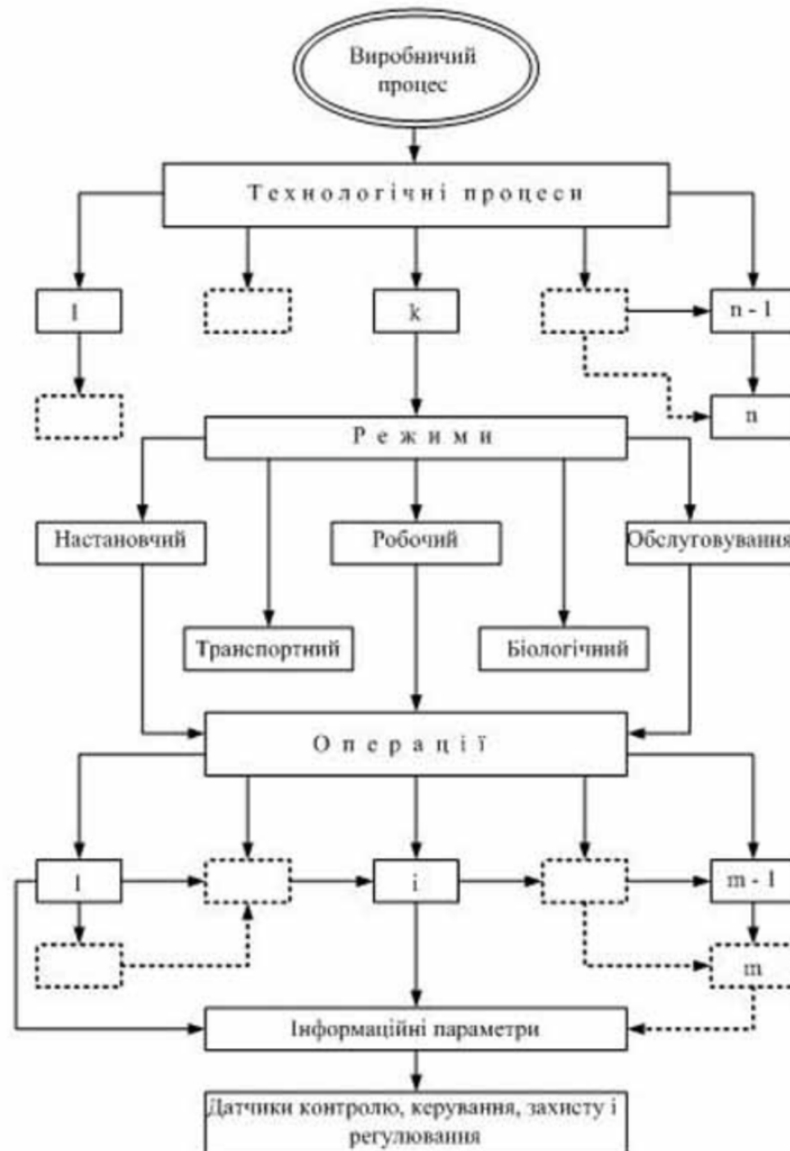


Рисунок 1.4 – Функціональна схема автоматизованого виробничого процесу [13]

Автоматизація виробничих процесів, як правило, пов'язана з великими капітальними вкладеннями, має мету – підвищення продуктивності праці, якості продукції, що випускається за рахунок виключення суб'єктивного фактора,

скорочення кількості обслуговуючих робітників у порівнянні з неавтоматизованим виробництвом.

При розробці систем за основу беруть виробничий процес, який являє собою сукупність технологічних процесів, спрямованих на створення кінцевого продукту. Виробничий процес розділяють на технологічні процеси, що, у свою чергу, поділяються на робочі операції.

## 1.2 Автоматизація процесів проєктування комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів

Одна з основних функцій інженера – проєктування виробів або технологічних процесів їх виготовлення.

Під проєктуванням розуміють комплекс робіт щодо дослідження, розрахунків та конструювання на основі перетворення початкового опису об'єкта для отримання технічної документації, що повністю й однозначно описує всі відомості, необхідні й достатні для виготовлення виробів або реалізації нового процесу.

Система автоматизованого проєктування (САПР) – це організаційно-технічний комплекс засобів автоматизованого проєктування, взаємопов'язаних з необхідними підрозділами проєктної організації чи колективом спеціалістів, який виконує автоматизоване проєктування для простої та швидкої розробки проєктів, моделей та креслень.

Основним призначенням САПР – є прийняття ефективних рішень при розробці об'єкта проєктування. Рівень ефективності виконання проєктних процедур оцінюється через техніко-економічні показники, аналіз яких виявляє фактори впливу на технологічний процес проєктування [14].

Відображаючи практику послідовної реалізації процесів конструювання та розробки технології, САПР прийнято ділити на два основні види [15]:

- САПР конструювання виробів (CAD – Computer Aided Design);
- САПР технології їхнього виготовлення (CAPP – Computer Aided

Process Planning).

CAD – технологія проєктування, котра виконує 2D- та 3D-моделювання, інженерний аналіз, оцінку проєктних рішень, отримання креслень.

Інколи, як самостійну автоматизовану систему виділяють науково-дослідницький етап САПР, яку називають автоматизованою системою інжинірингу – CAE (Computer Aided Engineering), котра входить до комплексу засобів САПР, як засіб автоматизації інженерних розрахунків, аналізу та симуляції фізичних процесів, динамічного моделювання, перевірки та оптимізації виробів.

CAPP – автоматизована система, яка допомагає автоматизувати процес підготовки виробництва, а саме проєктування технологічних процесів та технологічного оснащення.

Іншими словами, CAPP представляє собою процес перетворення конструкторської інформації на технологічні рішення (розробка технологічної документації (маршрутної, операційної), яка регламентує майбутній процес виготовлення деталі).

Крім цього, розрізняють: систему виробничого планування і управління PPS (Produktions Plannig System), та систему управління якістю CAQ (Computer Aided Quality Control).

Технології CAD / CAM застосовуються в багатьох галузях промисловості, включаючи: обробку металів, електроніку, проєктування та виготовлення виробів. Вони є практично єдиним засобом для виготовлення деталей складної конфігурації і скорочення циклу їх виробництва. У САМ-системах використовується тривимірна модель деталі, яка створена в САД-системі [16].

Основні системи комп'ютерно-інтегрованого виробництва (СІМ – Computer Integrated Manufacturing) показано на рис. 1.5. Етапи створення виробів можуть перекриватися у часі, тобто – частково чи повністю виконуватись паралельно. На схемі (рис. 1.5) показані основні зв'язки етапів життєвого циклу виробів та автоматизованих систем [17, 18].

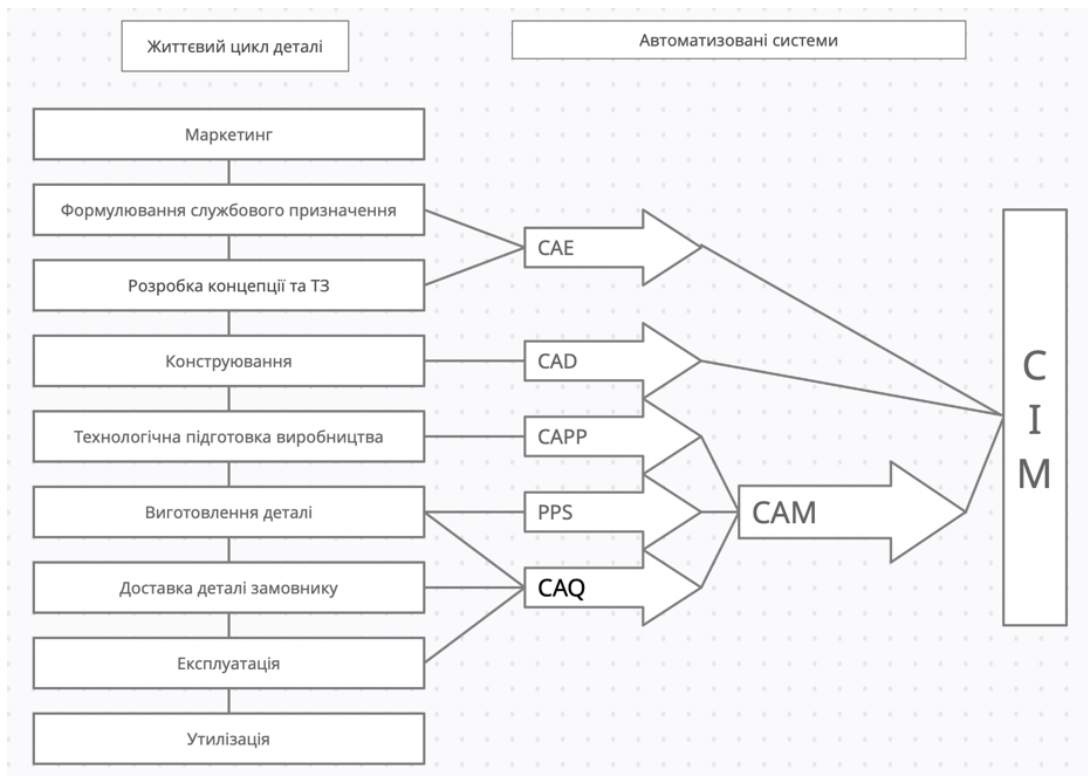


Рисунок 1.5 – Основні системи CIM

У даний час, для досягнення високої конкурентоспроможності підприємств, відбувається перехід від окремих замкнутих САПР до впровадження моделі CIM.

Інформаційна структура CIM показана на рис. 1.6.

CIM включає в себе всі інженерні функції САПР та бізнес-функції фірми, тобто усі види діяльності, які стосуються виготовлення.

Ці бізнес-функції включають в себе замовлення, облік витрат, облік часу та оплати праці працівників та виставлення рахунків клієнтам. В ідеальній системі CIM – комп'ютерні технології використовуються для всіх операцій та обробки інформації компанії (від замовлень клієнтів через проектування та виготовлення (CAD/CAM) до відвантаження товарів та обслуговування клієнтів).

CIM являє собою найвищий рівень автоматизації у виробництві.

У структурі CIM виділяються три основні ієрархічні рівні (рис. 1.7).

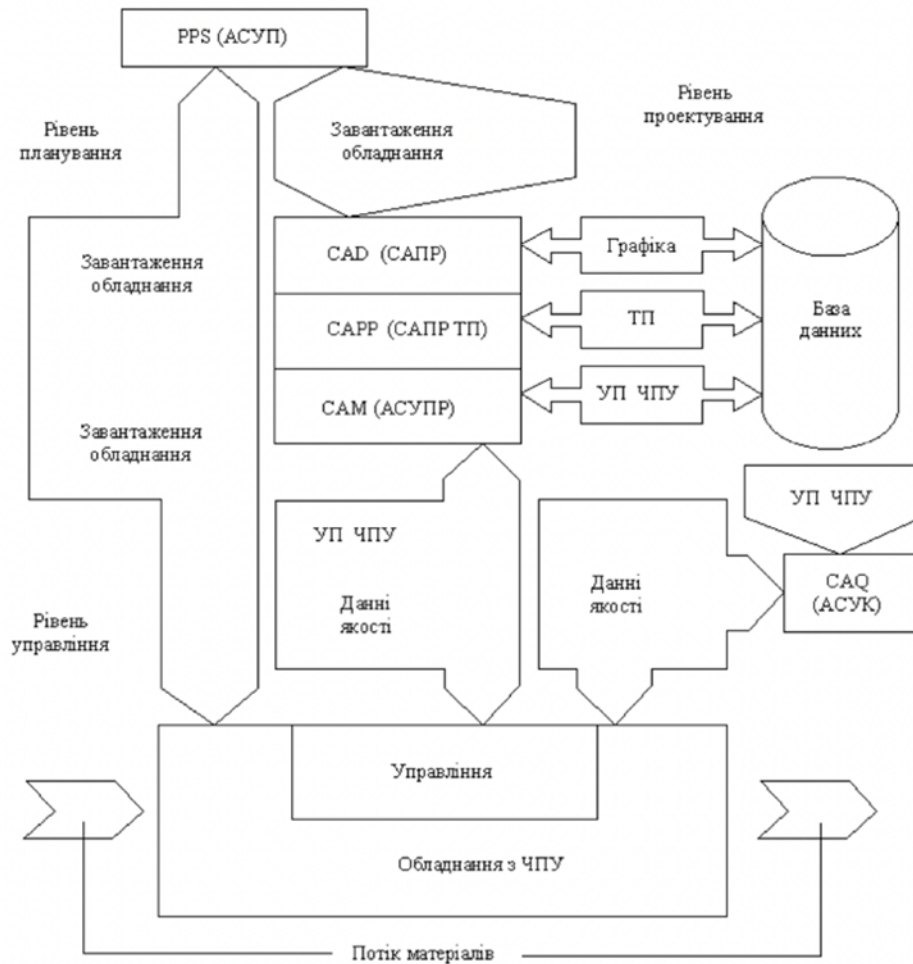


Рисунок 1.6 – Інформаційна структура CIM

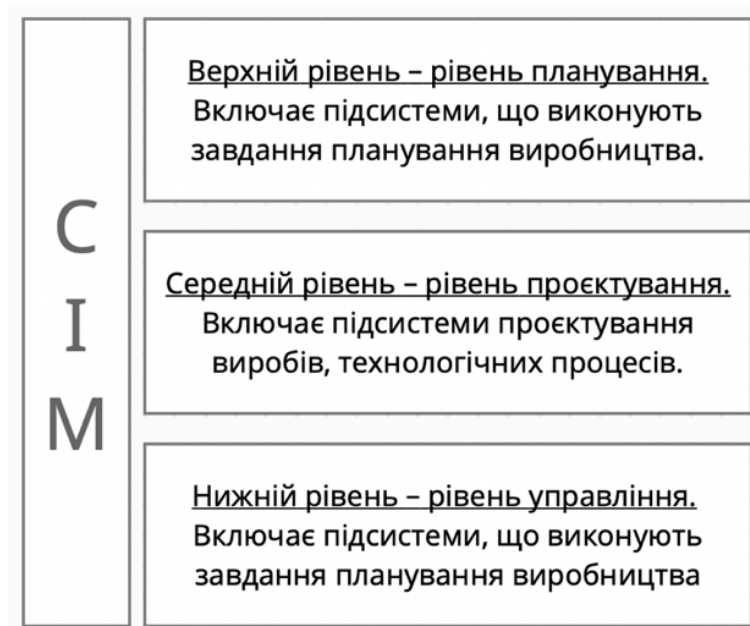


Рисунок 1.7 – Основні ієрархічні рівні CIM

Отже, побудова СІМ включає вирішення наступних проблем [19]:

- інформаційного забезпечення (відхід від принципу централізації та перехід до координованої децентралізації на кожному з розглянутих рівнів, як шляхом збирання та накопичення інформації всередині окремих підсистем, так і в центральній БД);

- обробки інформації (адаптація програмного забезпечення різних підсистем);

- фізичного зв'язку підсистем (створення інтерфейсів, тобто стикування апаратних засобів ЕОМ, включаючи використання обчислювальних систем).

Впровадження СІМ значно скорочує загальний час проходження замовлень за рахунок [7]:

- зменшення часу передачі замовлень з однієї ділянки на іншу;
- зменшення часу простою при очікуванні замовлень;
- переходу від послідовної до паралельної обробки;
- усунення або суттєвого обмеження повторюваних ручних операцій підготовки та передачі даних.

### 1.3 Підтримка прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів

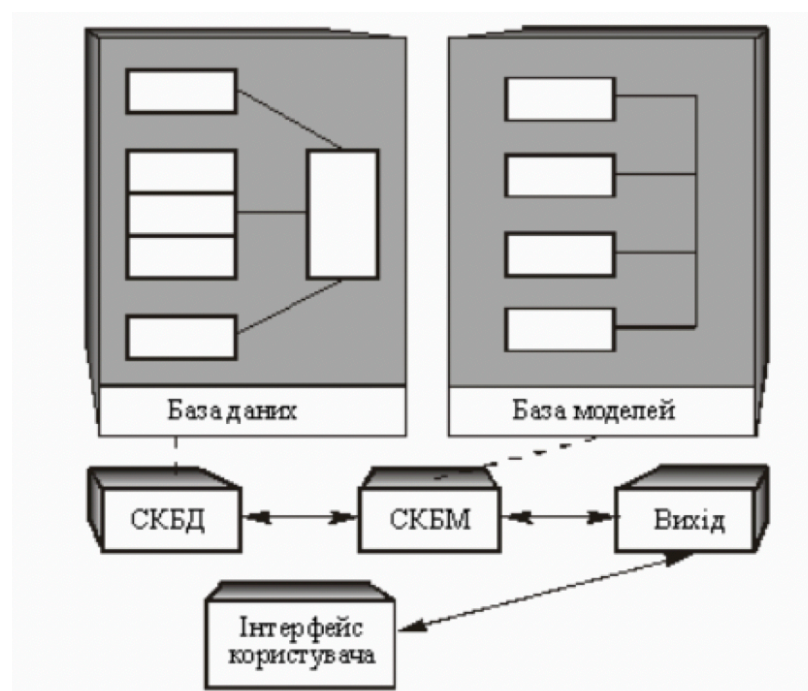
Важливим етапом у будь-якому процесі управління є розробка, вибір і прийняття оптимальних, раціональних та ефективних управлінських рішень. Проблеми, які виникають у процесі прийняття рішень, зокрема, управлінських, не нові, про що свідчить наявність великої кількості робіт вітчизняних і зарубіжних вчених, зокрема, В. А. Василенка, В. М. Колпакова, І. Б. Сіроджі, М. Еддоуса, Р. Стенсфілда, З. Міколайчика.

Сьогодні все більше уваги приділяється створенню систем підтримки прийняття рішень (СППР) в різних областях людської діяльності, які є однією із найважливіших складових САД-систем. Це пов'язано з потребою приймати

ефективніші рішення в будь-якій сфері людської діяльності зокрема: управлінні складними процесами, юриспруденції, військовій справі, медицині, автоматизації проєктування тощо.

Системи підтримки прийняття проєктних рішень (СППР) – інтерактивні автоматизовані системи, які забезпечують користувачеві (проєктувальнику) легкий доступ до моделей і даних для того, щоб підтримати процес прийняття проєктно-конструкторських рішень.

До складу СППР включається три головні компоненти: інтерфейс користувача, підсистема керування базою даних і підсистема керування базою моделей (рис. 1.8) [20].



СКБД – система керування базою даних;

СКБМ – система керування базою моделей

Рисунок 1.8 – Структура системи підтримки прийняття рішень [20]

У загальному розумінні СППР – це комп'ютерна, автоматизована система, метою якої є допомога менеджерам, які приймають рішення в складних умовах

для повного і об'єктивного аналізу предметної діяльності. За її допомогою можуть вирішуватися неструктуровані і слабоструктуровані багатокритеріальні задачі.

СППР, як правило, є результатом синтезу теорії баз даних, штучного інтелекту, інтерактивних комп'ютерних систем, методів імітаційного моделювання.

На даний час існує значна кількість різноманітних систем підтримки прийняття рішень, всі вони мають однотипну структуру, яка включає три базові підсистеми [16]:

- інтерфейс користувача, основною функцією якого є забезпечення можливості проводити діалог із системою, використовуючи різні способи введення інформації і формати її виведення;

- підсистему роботи з даними, головна функція якої – збереження, управління, вибірка, відображення, аналіз даних;

- підсистему роботи з моделями, призначенням якої є збереження, управління та вибір моделей для забезпечення користувача відповідями на множину його запитів.

Кожна математична модель являє собою систему математичних виразів, яка відображає основні властивості та закономірності функціонування відповідного об'єкта. Сукупність програмних засобів, які забезпечують користувачам можливість вибору, застосування та зміни моделей, утворює систему управління базою моделей.

Ще одним важливим і все частіше використовуваним компонентом системи підтримки прийняття рішень є база знань (БЗ).

Знання – це виявлені людиною закони й закономірності предметної галузі, які дозволяють ставити та вирішувати задачі. Знання, хоч й засновані на емпіричних даних, але являють собою результат розумової діяльності людини, спрямованої на узагальнення її практичного досвіду. У базі знань зберігаються знання про раніше вирішені проблеми та способи їхнього вирішення, а також різні рекомендації, які узагальнюють досвід експертів щодо процесу прийняття

рішень.

Модель системи підтримки прийняття рішень, що базуються на знаннях, поєднує технології підтримки рішень і технології штучного інтелекту, що є перспективним напрямком їх розвитку.

Модель СППР, що базується на знаннях, зображена на рис. 1.9.

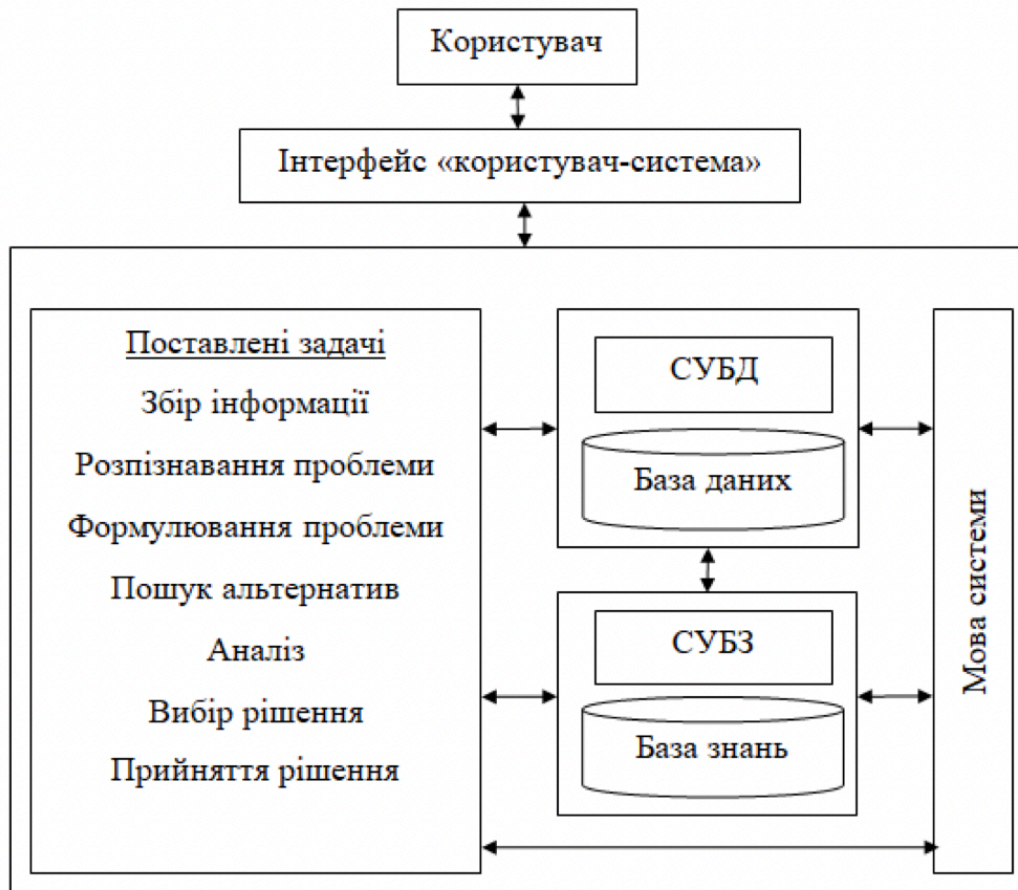


Рисунок 1.9 – Узагальнена структура системи підтримки прийняття рішень [22]

Підсистема роботи з даними об'єднує базу даних (БД) і систему управління базою даних (СУБД).

Підсистема роботи з моделями об'єднує базу моделей (БМ) і систему управління нею (СУБМ). База моделей – це спеціально організований набір формалізованих моделей, насамперед математичних.

#### 1.4 Постановка мети і задач кваліфікаційної роботи

Комп'ютерні-інтегровані виробничі процеси функціонують в умовах, що безперервно змінюються, оскільки в умовах ринкової економіки та активної конкуренції особливу гостроту для виробничих підприємств набуває проблема регулярного оновлення продукції, її швидкого проєктування і підготовки виробництва. Тому, на певному етапі існуючі варіанти побудови мереж стають неефективними бо перестають задовольняти новим умовам.

Аналізуючи проблеми прийняття рішень при проєктуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів були виділені такі основні задачі: вибір оптимального методу багатокритеріальної оптимізації комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу, визначення основних критеріїв для проєктування комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів.

У процесі вирішення багатокритеріальної задачі, з метою підвищення якості їх вирішення, використовується блокова нормалізація критеріїв. Підвищення якості при використанні даного алгоритму відбувається за рахунок вирівнювання діапазонів критеріальних шкал, що в свою чергу: зменшує кореляцію та дисперсію нормованих значень; дозволяє з вихідних даних добути додаткові знання, що полегшує порівняння рішень задачі.

Цей підхід є ефективним для розв'язання складних багатокритеріальних задач, які характеризуються великою кількістю параметрів з різними діапазонами та шкалами. Значущість полягає в підвищенні ефективності рішень у складних системах.

Обчислювальна складність алгоритму блокової нормалізації становить  $O(n^3)$  [23].

Сучасні системи автоматизованого проєктування (САПР) – автоматизують весь спектр конструкторсько-технологічних задач, що дозволяє: підвищувати якість продукції, що випускається; скорочувати терміни розробки нових виробів і розширювати асортимент продукції, що випускається; скорочувати виробничі цикли. Для їх адаптації використовується підхід на основі реінжинірингу, який

передбачає їх радикальне перепроєктування [24].

Для цього необхідно розв'язати комплекс задач: структурної, параметричної, технологічної оптимізації, багатофакторної оцінки та вибору системних рішень.

Це обумовлює актуальність задач розробки систем підтримки прийняття рішень при проєктуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності варіантів побудови комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів за рахунок розробки компонентів системи підтримки прийняття багатокритеріальних рішень.

Для досягнення мети необхідно:

- розглянути методи багатокритеріальної оптимізації, проаналізувати їх переваги та недоліки;
- обґрунтувати вибір методів багатокритеріальної оптимізації при проєктуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів;
- обрати мову програмування та середовище розробки програми;
- розробити програмний додаток для вибору найбільш ефективних альтернатив;
- проаналізувати ефективність розробленого додатку та обраних методів;
- розглянути питання охорони праці розробника системи.

### 1.5 Висновки до першого розділу

Проведено огляд та аналіз процесів проєктування комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів, існуючих сучасних систем підтримки прийняття рішень, види САПР та комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів. Розглянуто структуру виробничих процесів та функціонування автоматизованого виробничого процесу.

За результатами огляду та аналізу встановлено, що при підтримці прийняття рішень при проєктуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів необхідним є розв'язання таких основних задач: вибір методу

багатокритеріальної оптимізації комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу, визначення основних критеріїв для проєктування комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів, розробка алгоритмів та відповідного програмного забезпечення.

Виходячи з особливостей основної задачі, як одні з найбільш ефективних, обрано методи аналізу ієрархій та блочної нормалізації критеріїв. Їх спільне використання дозволить підвищувати якість проєктних рішень.

## 2 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

Одним з ключових напрямків розвитку виробничих процесів (ВП) останніх десятиліть є подальший розвиток автоматизації та підвищення гнучкості, інтеграція управління підприємством, технологічними процесами (ТП), виробництвом в цілому в єдину систему на основі комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем керування виробництвом на різних рівнях його організації [1].

Ефективність ТП закладається на етапах їх проектування, модернізації та реінжинірингу. Процеси проектування, модернізації чи реінжинірингу ТП передбачають, зокрема, розв'язання множини багатокритеріальних задач оптимізації їх структури, топології (територіальної чи просторової реалізації) та параметрів обладнання. Задачі оптимізації виробничих ТП полягають у виборі кращого варіанту з множини таких, що задовольняють функціональним і вартісним обмеженням за множиною показників (продуктивність, завантаження устаткування, якість, собівартість продукції, тощо).

За результатами декомпозиції проблеми оптимізації комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів на етапі проектування можна виділити таку сукупність задач [25]:

$$Task = \{Task_i\}, i = 1,6, \quad (2.1)$$

де  $Task_1$  – вибір принципів побудови ВП;

$Task_2$  – оптимізація структури ВП;

$Task_3$  – оптимізація топології ВП;

$Task_4$  – визначення параметрів елементів ВП;

$Task_5$  – вибір технологій ВП;

$Task_6$  – оцінка ефективності і вибір кращого варіанта ВП.

При цьому, кожна з задач (2.1) передбачає необхідність вибору варіантів рішень за множиною показників. На практиці для скалярного кількісного оцінювання варіантів з множини допустимих  $x \in X$  за множиною часткових критеріїв  $k_i(x)$ ,  $i = \overline{1, m}$  найчастіше використовується адитивна функція виду [25]:

$$P(x) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \xi_i(x), \quad (2.2)$$

$$\xi_i(x) = \{ [k_i(x) - k_i^-] / [k_i^+ - k_i^-] \}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.3)$$

де  $\lambda_i$ ,  $\xi_i(x)$ ,  $k_i^+$ ,  $k_i^-$  – ваговий коефіцієнт, функція корисності, найкраще та найгірше значення  $i$ -го критерію  $i = \overline{1, m}$ .

## 2.1 Постановка задачі прийняття проєктних рішень

Для постановки задачі розробки системи підтримки прийняття проєктних рішень у комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесах необхідно сформулювати завдання та математичну модель задачі багатокритеріальної оптимізації виробничих процесів.

Для того, щоб чітко сформулювати математичну модель, необхідно визначити множину допустимих рішень, критерій ефективності, цільову функцію та обмеження задачі. У рамках кваліфікаційної роботи необхідно вирішити задачу створення системи підтримки прийняття багатокритеріальних рішень при оптимізації комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів. Для цього слід проаналізувати доступні методи багатокритеріальної оптимізації, обрати найбільш ефективний для вирішення поточної задачі метод, проаналізувати його переваги та недоліки, покращити його використанням блокової нормалізації критеріїв.

Результатом методу багатокритеріальної оптимізації оптимізації

виробничих процесів слугує покращене значення критерію ефективності.

Отже, щоб продемонструвати результати роботи методу багатокритеріальної оптимізації виробничих процесів та визначити його переваги, необхідно порівняти його з існуючими методами. Наступним кроком, слід провести опис переваг, які надає запропонований метод.

Для порівняння варто запрограмувати запропоновані методи. Зіставлення методів здійснюється на основі заданого критерію ефективності. У якості порівняння необхідно навести діаграми, які описують процеси функціонування, порівняння кінцевих результатів.

Характеристика розробки. Розроблюване програмне забезпечення – консольний додаток, написаний мовою програмування – C#, що робить додаток універсальним.

Низька складність коду дозволяє розробнику, ознайомившись з інструкцією, виконувати підтримку додатку та виправлення помилок, проводити процедури рефакторингу та портування.

Призначення розробки – дана система виконує задачу з вибору оптимального варіанту при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів, які задаються системою автоматизованого проектування та розрахунку (САПР).

Користувачем розроблюваної системи є проектувальник комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів під час створення проєкту або його реінжинірингу для задоволення вимог, які змінюються з часом через постійний розвиток технологій та для покращення ефективності системи підтримки прийняття рішень.

Система використовується періодично після створення проєкту для задоволення потреб, які змінюються з плином часу. Поставлені вимоги на початку стають застарілими, тому необхідний перегляд вимог та проведення періодичного реінжинірингу.

Розроблена система є універсальною та використовується для підтримки прийняття багатокритеріальних рішень з оптимізації комп'ютерно-інтегрованих

процесів в процесі їхнього проектування, планування, розвитку та реінжинірингу.

Мета створення системи:

- оптимізація затрат трудових ресурсів на проектування та експлуатацію комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів;
- покращення вибору оптимального варіанту комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу, враховуючи пріоритетні вимоги до нього;
- зменшення часу необхідного для проектування комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу;
- покращення часу на пошук оптимального рішення.

Основні функціональні можливості системи:

- задавання індивідуальних критеріїв відповідно до яких проектується комп'ютерно-інтегрований виробничий процес;
- розрахунок варіанту комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу, який найбільше задовольняє поставленим вимогам;
- спрощення процесу проектування та оптимізації комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу;
- забезпечення вибору ефективного варіанту.

Вхідні дані – критерії за якими відбуватиметься вибір найбільш ефективної альтернативи – задаються користувачем.

Вихідні дані – сформована оптимальна, найбільш ефективна альтернатива серед запропонованих, яка відповідає заданим обмеженням критеріїв.

## 2.2 Методи розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації

Задача оптимізації – зводиться до задачі на знаходження екстремуму речової функції в деякій області, а методи, за допомогою яких розв'язуються задачі оптимізації, підрозділяються на види, які відповідають завданням, до яких вони застосовуються .

Основні методи, що застосовуються при розв'язанні задач, представлені на рис. 2.1.

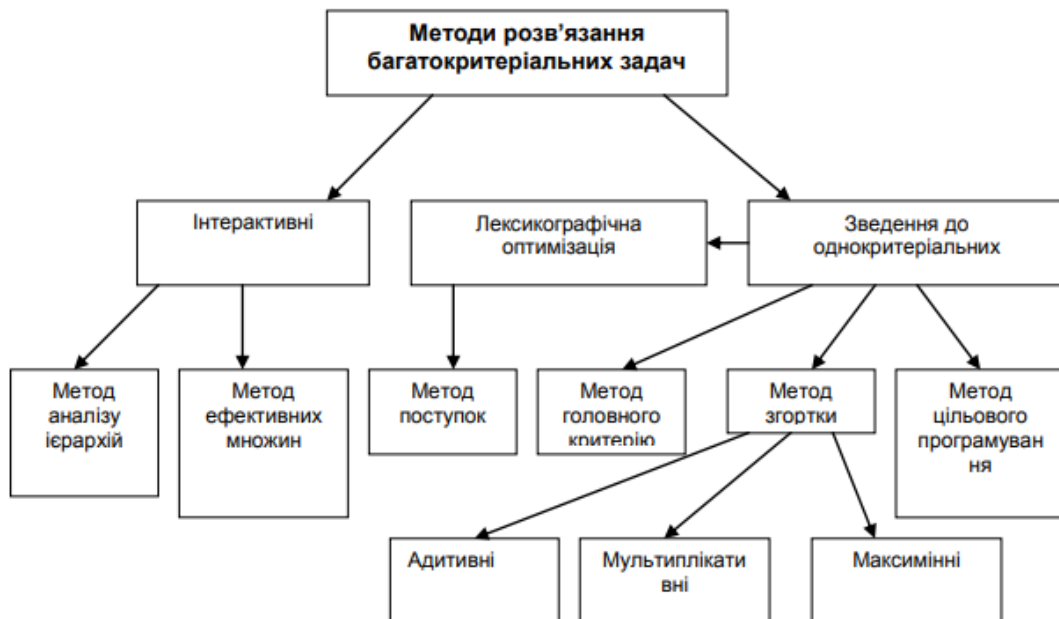


Рисунок 2.1 – Класифікація методів розв'язання багатокритеріальних задач [21]

Кожен метод для вирішення багатокритеріальної задачі з оптимізації має свої переваги та недоліки, що можна побачити у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз методів розв'язання багатокритеріальних оптимізаційних задач

№	Назва методу	Недоліки методу	Переваги методу
1	2	3	4
1	Методи без участі ОПР	Не враховуються переваги, вдоволення ОПР	Строге математичне підґрунтя
2	Методи, які ґрунтуються на скалярній згортці критеріїв в один	Експертне встановлення вагових коефіцієнтів	Визначення ключових, пріоритетних критеріїв

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
3	Методи, які використовують обмеження на критерії	Необхідність обґрунтування обмежень на критерії	Можливість розгляду допустимих інтервалів змін значень критеріїв
4	Метод головного критерію	Встановлення пріоритету лише одному критерію	Акцентування уваги ключовому критерію і можливість управління
5	Метод послідовних поступок	Розв'язок слід перевіряти на предмет належності до області компромісів	Реалізація концепції обмежень, які накладають на значення критеріїв
6	Методи цільового програмування	Невеликі зміни параметрів задачі можуть призвести до істотної зміни розв'язку	Врахування переваг ОПР
7	Метод, де застосовується принцип гарантованого результату	Встановлення нижніх меж змін показників	Розв'язок є ефективним
8	На основі концепції функції корисності	Необхідність надання інформації ОПР для побудови функції корисності	Врахування вподобань ОПР
9	Метод аналізу ієрархій	Необхідність надання інформації ОПР в порівнянні критеріїв	Врахування переваг ОПР
10	Метод ELECTRE	Необхідність обґрунтування ОПР вагових коефіцієнтів для частинних критеріїв, визначення ціни переходу із класу в клас для побудови індексів узгодженості	Критерії можуть бути як кількісні, так і якісні показники.
11	Метод Джоффраона-Дайера-Файнберга (GDF)	Багатократне попарне порівняння потупок	Швидка збіжність методу

Кінець таблиці 2.1

1	2	3	4
12	Метод Зайонца-Валеніуса	Багатократне порівняння двох багатовимірних альтернатив	Достатньо швидка збіжність методу
13	Метод Штойєра	Метод є складним, оскільки ОПР потрібно вибирати з $3m$ багатокритеріальних альтернатив	Необов'язковість умови лінійності функції корисності
14	Метод Штойєра–Чу	Складність реалізації обчислювального алгоритму	Можливість розв'язування нелінійних задач
15	Метод STEM	Евристичний вибір змін значень критеріїв	Розв'язок оптимальний за Парето
16	Методи з використанням нечіткої логіки	Втрата чітких границь змін критеріїв	Можливість використання в умовах повної або часткової визначеності та використання неметричних величин
17	Метод FFANN	Необхідність програмної реалізації у спеціальних програмних середовищах	Використання інформації ОПР та діалогова процедура пошуку розв'язку
18	Методи, які використовують генетичні алгоритми на імітаційні моделі	Складність обчислень, необхідність програмної реалізації у спеціальних програмних середовищах	Використання апроксимації, універсальних процедур пошуку

У теперішній час існують певні проблеми багатокритеріальної оптимізації:

- пов'язані з вибором принципу оптимальності, котрий визначає властивості оптимального рішення і відповідає на питання, в якому сенсі це рішення перевершує всі інші допустимі;

- пов'язані з нормалізацією векторного критерію ефективності, через різні масштаби вимірювання, що ускладнює їх порівняння. Через це доводиться приводити критерії до єдиного масштабу вимірювання, тобто нормалізувати їх;

- пов'язана з урахуванням пріоритету (або різного ступеня важливості)

локальних критеріїв. Хоча при виборі рішення слід добиватися найвищої якості по всіх критеріях, проте ступінь досконалості по кожному з них, як правило, має різну значимість. Тому, для врахування пріоритету, вводиться вектор розподілу важливості критеріїв, за допомогою якого корегується принцип оптимальності або проводиться диференціація масштабів вимірювання критеріїв [26].

Зважаючи на вищеперераховані проблеми, існують певні шляхи їх вирішення, а саме: застосування різних згорток і способів нормалізації або використання еволюційних (генетичних) алгоритмів.

### 2.3 Математична модель завдання багатокритеріальної оптимізації виробничих процесів з блоковою нормалізацією критеріїв

Оскільки одна з проблем вирішення багатокритеріальних задач обумовлена різними одиницями та масштабами вимірювання показників чи складових загального критерію, тому при розв'язанні багатокритеріальної задачі часто виникає необхідність нормалізації критеріїв, яка приводить усі критерії до єдиного масштабу та безрозмірного виду діапазону  $[0, 1]$ .

Для нормалізації критеріїв часто використовується класична лінійна нормалізація, яка зводиться до ділення значень всіх критеріїв на максимальне значення або виду (2.3).

Однак, в ході даного перетворення жодним чином не враховується щільність розподілення критеріальних значень, що призводить до виникнення викривлених оцінок важливості критеріїв, оскільки максимальні та мінімальні значення критеріальних шкал являють собою викиди [4].

Схема алгоритму блокової нормалізації має такий вигляд.

Крок 1. Обчислення різниці ліній матриці  $\beta$  за формулою (2.4):

$$L_j^{cs} = \beta_{cj} - \beta_{sj}, (c, s) \in I \vee (c, s) \in J, \quad (2.4)$$

де  $I, J$  – множини рядків\стовпців матриці  $\beta$ .

Вихідний масив  $L$  необхідно розбити на блок. Він обчислюється як різниця двох рядків або стовпців  $s$ ,  $s$  матриці багатокритеріальної задачі  $\beta$ .

Крок 2. Обчислення мінімуму і максимуму  $L$ .

Крок 3. Обчислення номерів блоків елементів  $L$  за формулою (2.5):

Для довільного масиву  $L$ , довжини  $n$ , формула визначення номера блока елемента  $L_j^{cs}$  має вигляд

$$g_j^{cs} = \left\lfloor \frac{(n-1)(L_j^{cs} - \min(L^{cs}))}{(\max(L^{cs}) - \min(L^{cs}) + 1)} \right\rfloor. \quad (2.5)$$

Можна вважати, що масив  $g$  являє собою апроксимацію початкової послідовності  $L$ . Мінімальний елемент масиву  $L$  є нульовим в  $g$ , а максимальний попадає в апроксимуючий масив  $g$  в блок з номером  $(n - 1)$ . Формула (2.5) інвертує оцінки послідовності  $L$  по відношенню до  $g$ .

Значення мінімуму чи максимуму є обчислювальним, що зручно при розв'язанні багатокритеріальних задач, в яких екстремальні значення шкал важко визначити [4].

Крок 4. Підсумовування номерів блоків відповідно до формули (2.6).

Щоб отримати інтегральну оцінку  $C_{ab}$  (нормоване значення) елемента  $\beta_{ab}$  матриці необхідно просумувати його оцінки по всіх рядках і стовпцях матриць оцінок  $G^{a'}$  та  $G^{b''}$

$$C_{ab} = g(\beta_{ab}) = 2(n - 1)^2 - g'(\beta_{ab}) - g''(\beta_{ab}), \quad (2.6)$$

де

$$g'(\beta_{ab}) = \sum_i G_{ib}^{a'} ; g''(\beta_{ab}) = \sum_j G_{aj}^{b''} ; (a, i) \in I, (b, j) \in J.$$

Використання алгоритму блокової нормалізації критеріїв відбувається з

метою підвищення якості при отриманні результатів вирішення багатокритеріальних задач для проєктування комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів. Завдяки вирівнюванню діапазонів критеріальних шкал при використанні даного алгоритму: зменшується кореляція та дисперсія нормованих значень; дозволяється з вихідних даних добути додаткові знання, що полегшує порівняння рішень задачі. Його практична значимість полягає у можливості підвищенні якості багатокритеріальних проєктних рішень, що обираються.

## 2.4 Висновки до другого розділу

Під час аналізу сучасного стану проблеми та особливостей розроблення системи підтримки прийняття рішень при проєктуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів було проведено огляд процесів їх проєктування, існуючих сучасних систем підтримки прийняття рішень, види САПР та комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів. Розглянуто структуру виробничих процесів та функціонування автоматизованого виробничого процесу.

Проведений аналіз підтвердив доцільність спільного використання методів аналізу ієрархій та блочної нормалізації критеріїв, що в свою чергу повинно підвищити якість вирішення задач багатокритеріальної оптимізації. Підвищення якості при використанні майбутнього алгоритму відбудеться за рахунок вирівнювання діапазонів критеріальних шкал, завдяки чому: зменшується кореляція та дисперсія нормованих значень; дозволяється з вихідних даних добути додаткові знання, що полегшує порівняння рішень задачі.

### 3 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

Багатокритеріальна оптимізація є невід'ємною частиною діяльності з оптимізації та має величезне практичне значення, оскільки майже всі реальні задачі оптимізації ідеально підходять для моделювання з використанням кількох конфліктуючих критеріїв. Класичні засоби розв'язування таких проблем були в основному зосереджені на скаляризації критеріїв цілей в один, тобто зведення до однокритеріальної задачі.

Оптимізація проекту по одному критерію призводить до погіршення показників інших критеріїв, тому актуальність даної роботи полягає у тому, що завдяки багатокритеріальній оптимізації є можливість отримати оптимальний проект, який буде максимально покращувати усі значення критеріїв.

#### 3.1 Моделювання задачі

Функціональні вимоги визначають функціональність розроблюваної системи, яка повинна бути створена для надання можливості виконання користувачами своїх обов'язків в рамках бізнес-вимог і в контексті призначених для користувача вимог.

Під час розробки ПЗ – елементи та структури даних об'єднуються у відповідну модель даних – так званий набір знань про предметну область. Найбільш інформативними описами є ті, що виконані за допомогою спеціалізованих графічних нотацій.

UML – графічна мова моделювання загального призначення, що використовується для специфікації, візуалізації, проектування та документування усіх артефактів, що створюються при розробці програмних систем [27].

Візуальне моделювання в UML можна представити як ієрархію (від

узагальненої, абстрактної моделі до логічної та фізичної моделі відповідної програмної системи).

Для досягнення цих цілей будується модель у формі діаграми – use case diagram, котра описує функціональне призначення системи (опис роботи системи під час функціонування).

Функціональні вимоги визначають поведінку розроблюваного програмного засобу, який створюється для отримання можливості виконання користувачами своїх обов'язків в рамках бізнес-вимог та в контексті визначених для користувача вимог.

На діаграмі (рис. 3.1) відображено відношення між акторами (особами які приймають рішення) і прецедентами, що дозволяє описати програмний засіб на концептуальному рівні.

Користувачем розроблюваної системи є проєктувальник комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів під час створення проєкту або його реінжинірингу для задоволення вимог, які змінюються з часом через постійний розвиток технологій та для покращення ефективності системи підтримки прийняття рішень.

Актор – в даному випадку, це ОПР – зовнішня сутність по відношенню до програмного засобу, яка взаємодіє з системою. ОПР може бути як людина, так і будь-яка зовнішня система. Актор – це не конкретна людина або пристрій, а роль, у котрій він виступає по відношенню до розроблюваного програмного засобу. Одна конкретна людина може грати кілька ролей.

Актор повинен мати ім'я, яке повинне відображати його роль. На діаграмах варіантів використання актор зображується у вигляді людської фігурки. В якості актора в нашій моделі може виступає особа, що приймає рішення – це проєктувальник виробничих систем.

При взаємодії актора з системою остання виконує ряд робіт (рис. 3.2), які утворюють варіант використання системи (use case). При проєктуванні програмного засобу було розроблено діаграму прецедентів для візуального відображення можливостей користувача у системі. Діаграма прецедентів має

одного актора – проєктувальника комп'ютерно-інтегрованої виробничої системи.

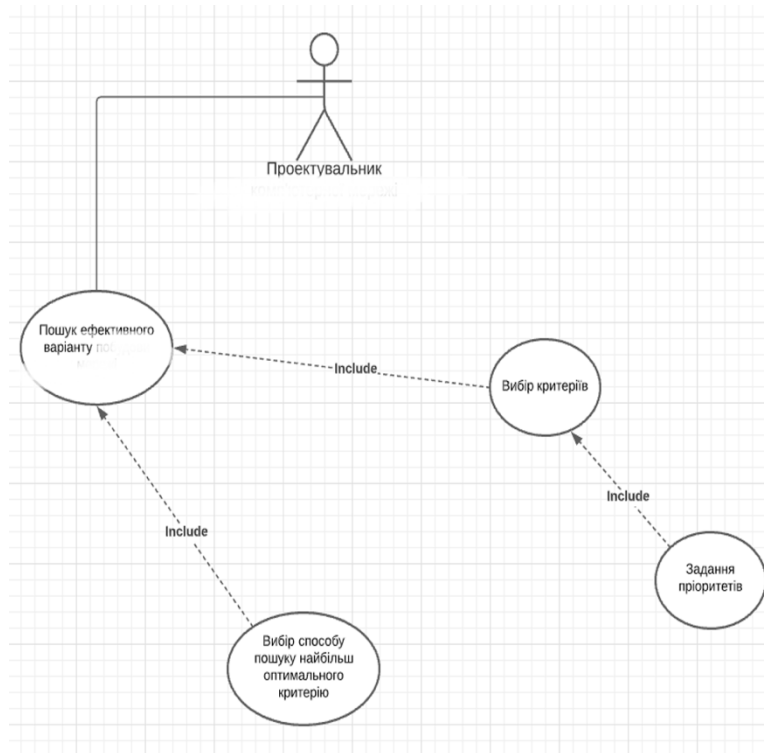


Рисунок 3.1 – Відношення між акторами і прецедентами

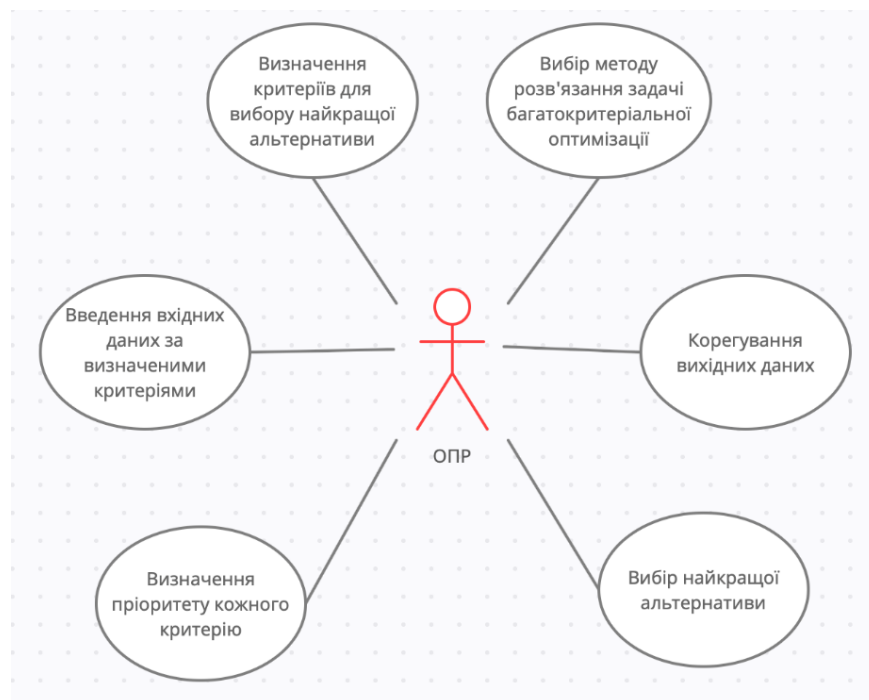


Рисунок 3.2 – Діаграма прецедентів

Актор може ініціювати виконання різних варіантів використання або прецедентів. Отже, кожен прецедент, по суті, являє собою деяку функціональну вимогу до системи. На діаграмах варіантів використання зображується у вигляді овалу. Для представлення функціональних вимог засобу розроблено діаграму варіантів використання.

На діаграмі послідовностей (рис. 3.3) відображена система на вищому рівні абстракції та взаємодію основних компонентів – користувача, підсистеми та САПР.

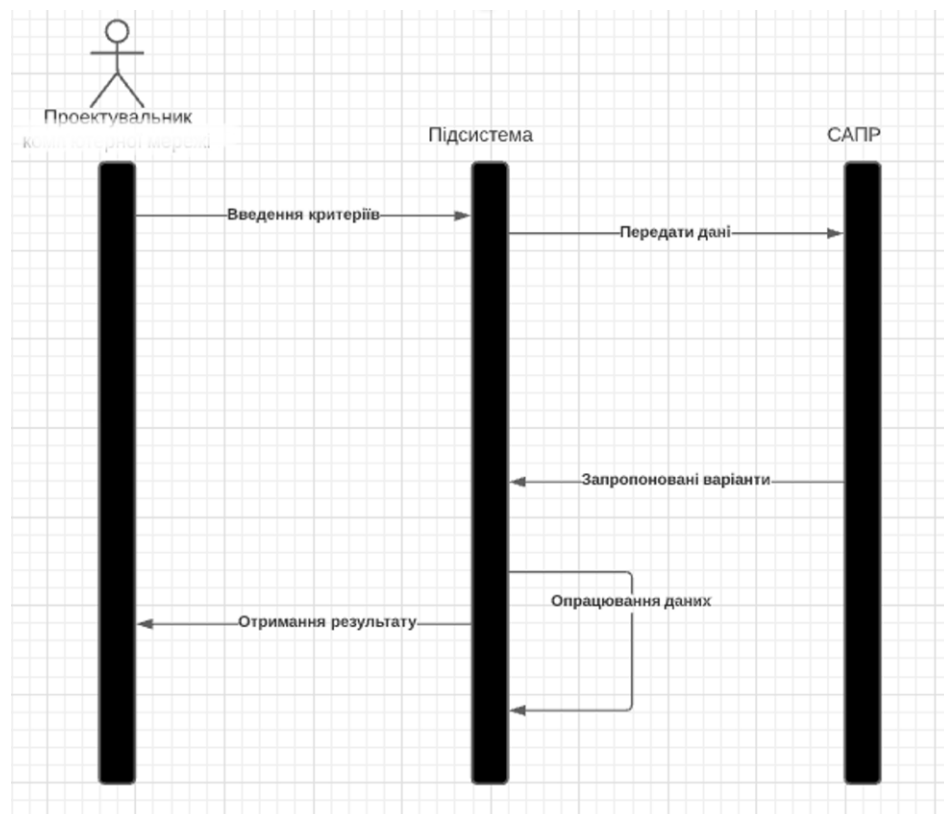


Рисунок 3.3 – Діаграма послідовностей

Проекувальник комп'ютерно-інтегрованої виробничої системи задає критерії та передає дані до САПР, у відповідь на які вона пропонує n-ну кількість варіантів, які опрацьовує підсистема та пропонує найбільш ефективні варіанти.

Розроблена система є універсальною та використовується для підтримки прийняття рішень з оптимізації комп'ютерно-інтегрованих процесів в процесі їхнього проектування, планування, розвитку та реінжинірингу.

### 3.2 Огляд та аналіз вимог до програмного забезпечення

Природа програмного забезпечення істотно змінилась в останні роки. Акцент змістився з виробництва автономних програмних продуктів на виробництво програмних систем як широких систем (System-of-Systems), інтегрованих з великої кількості компонентів (підсистем) з інтерфейсами взаємодії між ними [28, 29]. Оскільки ПЗ стає дедалі складнішим, розроблення саме програмних систем відіграватиме все більш важливу роль в діяльності розробника [30]. 25-55% всіх помилок програмного проєкту – складають помилки формування та формулювання вимог і проєктування архітектури, причому, чим більший обсяг ПЗ – тим більше помилок вноситься саме на ранніх етапах.

Аналіз великої кількості програмних проєктів, підтверджує той факт, що головне місце виникнення помилок у ПЗ – це етап формування та формулювання вимог (специфікації), потім на етапі проєктування архітектури, тобто фактично вже в кінці цього етапу можна виявити та усунути левову частку всіх помилок ПЗ (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Етапи тестування ПЗ

Слід зазначити, що програмування та тестування – це різні види діяльності. Програмування – процес синтезу, а тестування – це процес аналізу.

Тестування – діяльність конкретного постачальника, що виконується з метою оцінки та покращення якості ПЗ.

Ця діяльність полягає у виявленні дефектів і проблем програмного забезпечення. Тестування ПЗ включає в себе діяльність із планування робіт (Test Management), проектування тестів (Test Design), виконання тестування (Test Execution) та аналіз отриманих результатів (Test Analysis).

Одним з найбільш об'єктивних методів оцінки якості ПЗ є випробування програми. Випробування програми можна провести, наприклад, для визначення ступеня відповідності готової програми вимогам, сформульованим у завданні.

Тестування є етапом процесу розробки програмного забезпечення, який включає підбір тестових випадків і тестування програми на них для виявлення помилок [31].

Налагодження є етапом у процесі створення програми, який включає пошук та виправлення помилок, виявлених під час трансляції та тестування.

Етап тестування включає три головних елементи:

- врахування внеску кожного тестового прикладу в процес тестування;
- аналіз вихідних і проміжних результатів ПЗ;
- генерація тестових прикладів і контроль процесу тестування.

Перший елемент визначається критерієм повноти тестування, який тісно пов'язаний з конкретним методом тестування.

Для другого і третього елементів вихідними даними є документація ПЗ, на основі якої генеруються тестові приклади. Ці приклади надають спосіб виконання програми, визначають ступінь узгодження з результатом, отриманим у прикладі.

Висхідне тестування передбачає, що програма будується і тестується знизу вгору. Модулі (компоненти найнижчого рівня) тестуються автономно. Від надійності тестування цих модулів залежить успіх подальшого процесу. Після цього відбувається перехід до модулів, які посилаються на модулі, які вже були

протестовані. На цьому етапі необхідно перевірити інтерфейс.

Щоб реалізувати тестування знизу вгору, потрібно написати невелику управляючу процедуру для кожного модуля, іншими словами - драйвер. Значення вхідних змінних і структура даних надаються драйвером. Драйвер викликає тестований модуль один за одним і пропонує йому новий тестовий приклад кожного разу, коли він викликається.

Основними недоліками тестування знизу вгору є:

- серйозні помилки в специфікаціях, алгоритмах і інтерфейсах можуть виникати лише при тестуванні комплексів на високому рівні, на завершальному етапі;
- необхідність розробки драйверів і тестів для кожного рівня тестування, що призводить до великої кількості додаткових програм, які стають непотрібними при завершенні роботи над комплексом.

Під час спадного тестування, автономно тестується тільки головний модуль (головна програма). Після тестування основного модуля до нього поступово підключаються комплекси (модулі) та компоненти наступного рівня тощо, поки програма не буде повністю зібрана та протестована.

Недоліки тестування «спадного» такі ж, як і для «висхідного». Підвищуються вимоги до складності та якості заглушок, які потім прибираються.

Переваги тестування:

- метод дозволяє поєднувати модульне тестування, тестування зв'язків і тестування функцій введення;
- рівномірний розподіл тестової роботи на всьому періоді створення комплексу, і такий розподіл дозволяє виявити помилки в основному модулі на ранній стадії розробки.

Методи тестування компонентів. Під час тестування компонентів перший метод розглядає тестування програм як «чорний ящик», без урахування внутрішньої структури програми (компонентів), тести будуються на основі функціональних властивостей програми, тобто спираються на її функціональні властивості. Такий підхід називається функціональним тестуванням.

При використанні структурного тестування враховується внутрішня структура програми. Інформація шляхом аналізу проходження даних від входу до виходу служить для раціональної організації тестування.

Для оцінки повноти тестування використовуються три критерії:

- якщо кожен оператор був виконаний хоча б один раз, то тестування вважається завершеним;
- якщо принаймні один перехід був здійснений для кожної дуги блок-схеми програми в процесі вирішення тестового прикладу, то тестування вважається завершеним;
- якщо кожен шлях проходить від входу до виходу принаймні один раз у процесі вирішення тестового прикладу, тестування завершується.

Налагодження – діяльність певного виконавця, яка зосереджується на процесі пошуку й налагодження програми на основі результатів самої програми, повідомлення компілятора та операційної системи. Важливою особливістю процесу налагодження є здатність виконавця експериментувати на ЕОМ для виявлення помилок.

Виявлення помилки при налагодженні здійснюється шляхом прорахунку спеціально підібраних завдань на ЕОМ, результати яких відомі заздалегідь. Якщо тестовий приклад розв'язано правильно, то виникає більш складне завдання. Якщо програма не запускається, значить, вона має хоча б одну помилку.

### 3.3 Вибір мови програмування та середовища розробки

Вибір платформи напряму залежить від того, створення яких програмних продуктів є на меті.

.NET – це платформа від Microsoft, яка дозволяє створювати програмні додатки. Перший випуск .NET Framework відбувся в 2002 році. Вважається, що .NET Framework було створено в якості альтернативи платформі Java від компанії Sun. Головна відмінність полягає в тому, що .NET Framework офіційно

розрахована на роботу саме з операційними системами родини Microsoft Windows.

.Net Framework – це інтегрована в Windows платформа, для створення програмних додатків різних типів, серед яких Windows-додатки, Web- додатки, додатки для мобільних телефонів і т.д. При розробці .Net Framework переслідувалися наступні цілі [32]:

- створення узгодженого середовища виконання програм в незалежності від того де вони розміщені на локальному комп'ютері чи в Інтернеті;
- мінімізація конфліктів між різними версіями програмного забезпечення;
- гарантування безпеки виконання стороннього коду;
- забезпечення єдиних принципів розробки програм для різних типів додатків;
- створення середовища розробки для платформонезалежних гетерогенних додатків.

Перш ніж обрати .NET або будь-яку іншу платформу, в першу чергу слід проаналізувати відповідні положення теорії алгоритмів і теорії інформації.

Лише після цього можна переходити до вибору платформи, і тільки після цього – до мови, яка підтримується даною платформою. Щоб зробити правильний вибір, необхідне знання актуальних платформ і технологій, а також розуміння, як вони взаємодіють між собою, які протоколи передачі інформації використовують і так далі.

Мови й платформи створені для вирішення конкретних завдань і розробки відповідних програмних продуктів. .NET також має свою специфіку. При цьому діапазон продуктів, над створенням яких працюють .NET-розробники, дуже широкий: від фінансової та торговельної до наукової та соціальної галузей – які використовують .NET. Загалом, все різноманіття програмних продуктів, які створюються під .NET, можна згрупувати наступним чином (рис. 3.5).

.NET – це платформа яка відображає найновіші тенденції в розробці та пропонує спеціалістам-початківцям багато можливостей.

Найпопулярнішою мовою серед українських розробників залишається

JavaScript (18,8%). На другому місці C#, у неї другий рік поспіль позитивна динаміка.

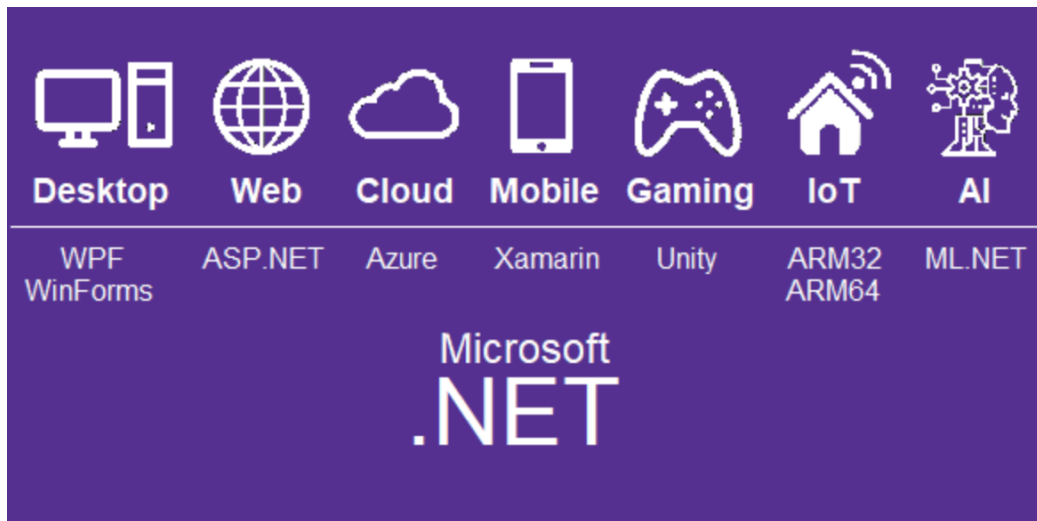


Рисунок 3.5 – Програмні продукти під .NET

C# – це сучасна, об'єктно-орієнтована мова програмування загального призначення, яка вимовляється як «C Sharp». Він був розроблений Microsoft під керівництвом Андерса Хейлсберга та його команди в рамках ініціативи .NET і був схвалений Європейською асоціацією виробників комп'ютерів (ЕСМА) і Міжнародною організацією стандартів (ISO). C# є однією з мов для спільної мовної інфраструктури. Синтаксично C# дуже схожий на Java.

Мова має строгу статичну типізацію, підтримує поліморфізм, перевантаження операторів, вказівники на функції-члени класів, атрибути, події, властивості, винятки, коментарі у форматі XML. Перейнявши багато що від своїх попередників – мов C++, Delphi, Модула і Smalltalk – C#, спираючись на практику їхнього використання, виключає деякі моделі, що зарекомендували себе як проблематичні при розробці програмних систем, наприклад множинне спадкування класів (на відміну від C++).

Мова має строгу статичну типізацію, підтримує поліморфізм, перевантаження операторів, вказівники на функції-члени класів, атрибути, події, властивості, винятки, коментарі у форматі XML. Перейнявши багато що від

своїх попередників — мов C++, Delphi, Модула і Smalltalk – C#, спираючись на практику їхнього використання, виключає деякі моделі, що зарекомендували себе як проблематичні при розробці програмних систем, наприклад множинне спадкування класів (на відміну від C++) (рис. 3.6).

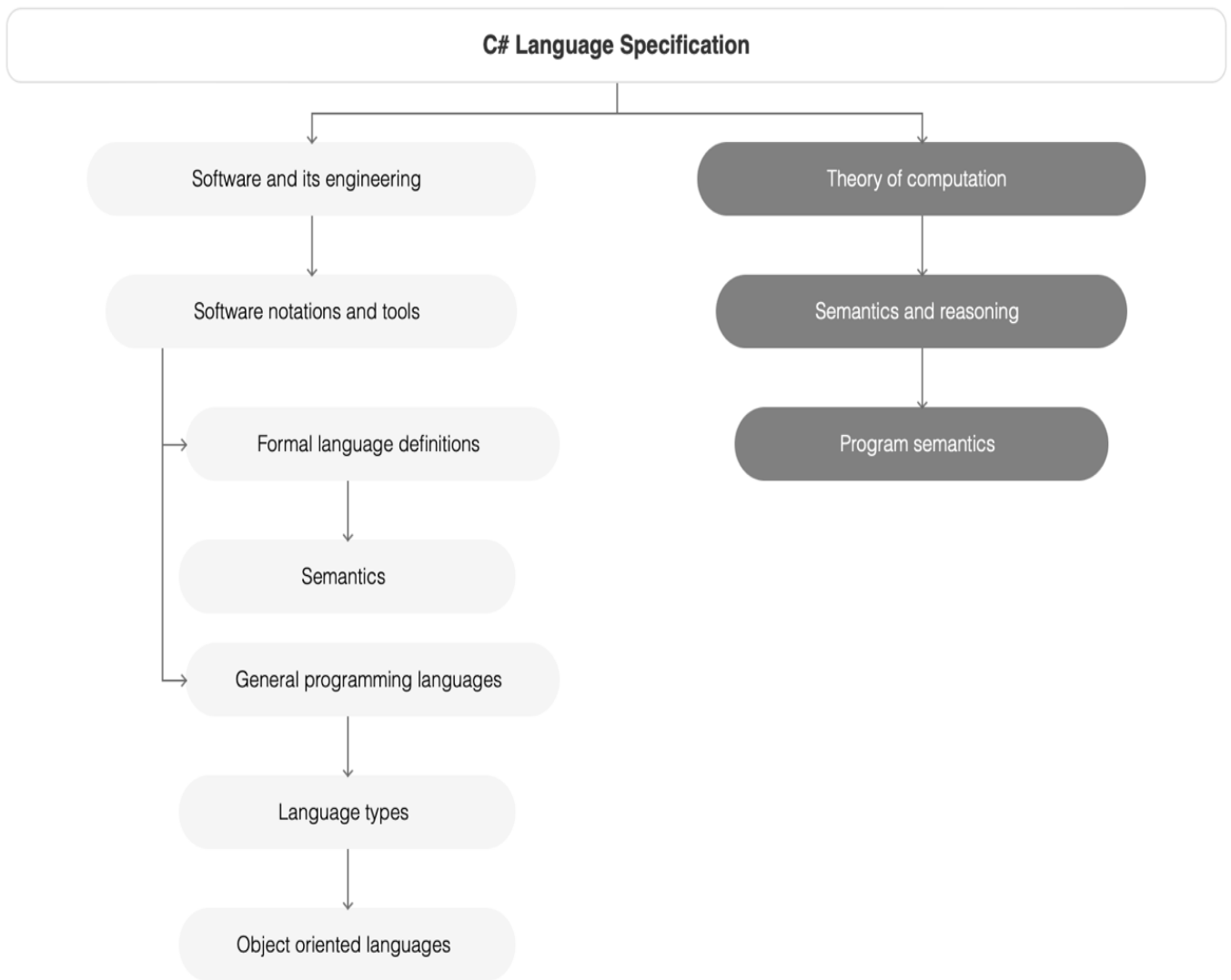


Рисунок 3.6 – Специфікація мови програмування C#

Порівнюючи основні мови програмування можна відзначити такі їхні основні відмінності (табл. 3.1 – 3.2).

Таблиця 3.1 – Порівняння мови програмування C# та Java

Особливість	C#	Java
Перевантаження оператора	C# підтримує перевантаження операторів для кількох операторів.	Java не підтримує перевантаження операторів.
Середовище виконання	C# підтримує CLR (Common Language Runtime).	Java підтримує JVM (Віртуальна машина Java).
Контроль API	C# API контролюється спільнотою з відкритим кодом.	Java API також контролюється відкритим процесом .
Public Classes	У C# у вихідному кодї може бути багато публічних класів.	У Java може бути лише один публічний клас у вихідному кодї, інакше виникне помилка компіляції.
Перевірені винятки	C# не підтримує перевірені винятки. У деяких випадках перевірені винятки дуже корисні для плавного виконання програми.	Java підтримує як перевірені, так і неперевірені винятки.
Залежність від платформи	C# є кросплатформним і працює як на системах Windows, так і на Unix.	Java є надійною та незалежною від платформи мовою. Незалежність Java від платформи здійснюється через JVM.

Таблиця 3.2 – порівняння мови програмування C# та Python

C#	Python
C# розроблено компанією Microsoft і доступне безкоштовно навіть для комерційних цілей. Екосистема .NET є повністю відкритою та належить .NET Foundation, яка є незалежною організацією.	Python також є платформою з відкритим кодом і доступна безкоштовно навіть для комерційних цілей.
C# підтримує об'єктно-орієнтоване програмування, структурне програмування, функціональне програмування та багато інших.	Python підтримує багатопарадигмальну мову програмування, таку як ООП, структуроване програмування та багато інших.
C# потребує .NET SDK і середовища виконання. Екосистема .NET пропонує взаємодію з такими мовами, як F#, VB.NET, JavaScript, Python тощо.	Також можна інтегрувати з .NET, C, JavaScript і Java.
Багатопотоковість C# досить проста завдяки використанню .NET Framework.	Python багатопотоковість вимагає багато процесів через глобальне блокування інтерпретатора.
C# є мовою статичного типу.	Мова python є мовою динамічного типу.
У C# тип змінної має бути оголошений перед використанням.	В python немає необхідності оголошувати тип змінної перед використанням.

### 3.4 Розробка програмного забезпечення

Під час виконання поставленої задачі – необхідно розробити систему для пошуку найкращих альтернативних варіантів комп'ютерно-інтегрованих виробничих систем у процесі їх проектування або оптимізації.

Було розроблено консольний додаток, який виконує необхідні розрахунки методом блокової нормалізації.

В процесі використання особа, яка приймає рішення (у нашому випадку, це проєктувальник системи) задає кількість критеріїв та альтернатив (рис. 3.7), для пошуку оптимального рішення та заповнює необхідний масив даних (рис. 3.8), який після заповнення виводиться у вигляді матриці вхідних даних.

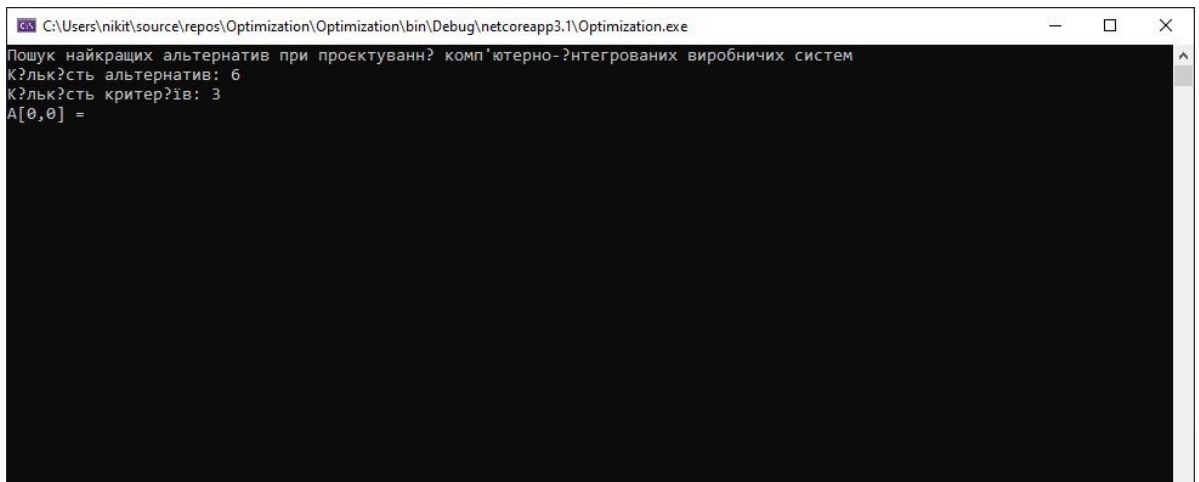


Рисунок 3.7 – Скриншот роботи розроблюваного додатку

```

A[0,0] = 345
A[0,1] = 0
A[0,2] = 90
A[1,0] = 150
A[1,1] = 1
A[1,2] = 70
A[2,0] = 145
A[2,1] = 1
A[2,2] = 75
A[3,0] = 421
A[3,1] = 0
A[3,2] = 124
A[4,0] = 283
A[4,1] = 0
A[4,2] = 87
A[5,0] = 300
A[5,1] = 0
A[5,2] = 87
3,45  0,52  0,9
1,5   0,65  0,7
1,45  0,37  0,75
4,21  0,71  1,24
2,83  0,7   0,87
3     0,83  0,87

```

Рисунок 3.8 – Заповнений масив даних

Через різноманітність шкал, необхідно привести вхідні дані до одного вигляду – безрозмірної величини використавши функцію корисності часткових критеріїв (рис. 3.9).

```
private static int[,] Formalization(int[,] matrix, int maxValue, int minValue)
{
    for (var i = 0; i < matrix.Length; i++)
    {
        for (var j = 0; j < matrix.Rank; j++)
        {
            matrix[i, j] = (matrix[i, j] - minValue) / (maxValue - minValue);
        }
    }

    return matrix;
}
```

Рисунок 3.9 – Скриншот коду з функцією корисності часткових критеріїв

Після використання функції корисності часткових критеріїв виводиться нова матриця з узагальненими значеннями, які знаходяться в діапазоні [0;1], де 0 – найгірше значення, а 1 – найкраще значення (рис. 3.10).

Ф у н к ц і я к о р и с н о с т і ч а с т к о в и х к р и т е р і ї в :		
0.275	1	0.37
0.982	0	0
1	0	0.093
0	1	1
0.5	1	0.315
0.438	1	0.315

Рисунок 3.10 – Відображення роботи додатку

Далі відповідно до алгоритму методу блокової нормалізації:

– відбуваються дії над рядками та стовбцями, на першій ітерації виконується віднімання першого рядка/стовбця з інших рядків/стовбців матриці за формулою (рис. 3.11), та аналогічні дії відбуваються з усіма рядками та стовбцями отриманої матриці (рис. 3.11);

- обчислюється суму оціночних значень та визначаються нормовані значення критеріїв;
- останнім етапом є визначення домінуючого критерію рис. 3.13, у нашому випадку – максимального критерію кожного елемента.

```

private static int[,] Formalization(int[,] matrix, int maxValue, int minValue)
{
    for (var i = 0; i < matrix.Length; i++)
    {
        for (var j = 0; j < matrix.Rank; j++)
        {
            matrix[i, j] = (matrix[i, j] - minValue) / (maxValue - minValue);
        }
    }

    return matrix;
}

private static int[,] NormalizationCast(int[,] matrix, int maxValue, int minValue)
{
    const int n = 100;

    for (var i = 0; i < matrix.Length; i++)
    {
        for (var j = 0; j < matrix.Rank; j++)
        {
            matrix[i, j] = (matrix[i, j] - minValue) / (maxValue - minValue + 1) * (n - 1);
        }
    }

    return matrix;
}

private static int[,] Normalization(int[,] matrix, int newSum)
{
    var sum = matrix.Cast<int>().Sum();

    var scaler = newSum / sum;

    for (var i = 0; i < matrix.Length; i++)
    {
        for (var j = 0; j < matrix.Rank; j++)
        {
            matrix[i, j] -= scaler;
        }
    }

    for (var i = 0; i < matrix.Rank; i++)
    {
        for (var j = 0; j < matrix.Length; j++)
        {
            matrix[i, j] -= scaler;
        }
    }
}

```

Рисунок 3.11– Скриншот коду програми

Результатом розрахунку методу блочної нормалізації є вихідна матриця (рис. 3.12.)

```

Визначення домінуючого критерію :
0.493  0.67  0.767
0.605  0.555  0.796
0.737  0.384  0.843
0.697  1      0.482
0.615  0.743  0.698
0.51   0.842  0.663
Альтернативи з коефіцієнтами важливості:
0.083876  0.220973  0.38336
0.10278   0.183123  0.398087
0.125278  0.126653  0.421391
0.118468  0.33      0.24081
0.104514  0.245344  0.348814
0.08672   0.277864  0.33144

```

Рисунок 3.12 – Відображення роботи додатку

Далі відбувається згортка значень по кожному рядку та сортування від найбільш ефективної до найменш ефективної (рис. 3.13).

```

Згортка та сортування альтернатив (від найбільш ефективної до найменш):
0.699
0.696
0.689
0.688
0.684
0.673

```

Рисунок 3.13 – Відображення роботи додатку

### 3.5 Висновки до третього розділу

Проаналізувавши доступні основні середовища розробки та мови програмування, для роботи було обрано середовище програмування .NET з використанням мови програмування C#.

На цій основі було розроблено консольний додаток, що дозволяє обрати серед множини альтернатив найбільш ефективну, зазначивши коефіцієнти важливості критеріїв, а кінцевим результатом роботи програми є матриця з заданими альтернативами, відсортована від найбільш ефективного до найменш ефективного варіанту.

Для підтвердження працездатності розробленої програми було проведено тестування, на сьогодні, є самим надійним способом забезпечення якості програмного забезпечення. З технічної точки зору тестування полягає в запуску програми на наборі вихідних даних і порівнянні отриманих результатів з раніше відомими, з метою визначення відповідності різних властивостей і характеристик програмного продукту очікуваним функціям.

#### 4 ЕКСПЕРИМЕНТ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Необхідно визначити найкращий по множині функціонально-вартісних показників варіант комп'ютерної-інтегрованої виробничої системи  $x^0 \in X$  (де  $X$  – допустима множина варіантів).

Для визначення коефіцієнтів важливості критеріїв, необхідно провести ранжування. Обчислення коефіцієнтів важливості критеріїв здійснюється з дотриманням таких вимог:

$$0 < \lambda_i < 1, i = 1 \dots n; \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1. \quad (4.1)$$

Оскільки маємо  $n$ -ну кількість критеріїв, то той критерій що матиме найбільшу важливість матиме  $n$  балів, відповідно менш важливий матиме  $n-1$ , а останній 1 бал.

Будемо вважати, що для комп'ютерної-інтегрованої виробничої системи найважливішим критерієм є продуктивність, тому цей критерій матиме 3 бали, надійність – 2 бали і відповідно витрати – 1 бал. Одержані оцінки необхідно розділити на їх суму, щоб задовольнити умову (4.1), тобто  $\frac{3}{6} = 0,5$ ;  $\frac{2}{6} = 0,33$ ;  $\frac{1}{6} = 0,17$ ,  $0,5+0,33+0,17=1$ .

Отримуємо вхідні дані, які задає особа, що приймає рішення (ОПР) (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Вхідні дані

Варіант	Витрати, млн. грн	Надійність	Продуктивність, тис. шт.
A1	3,45	0,52	0,9
A2	1,50	0,65	0,7
A3	1,45	0,37	0,75
A4	4,21	0,71	1,24
A5	2,83	0,7	0,87
A6	3,00	0,83	0,87

#### 4.1 Метод аналізу ієрархій

Метод аналітичної ієрархії – це систематична процедура, що ґрунтується на ієрархічному поданні елементів, які визначають суть проблеми. Проблему піддають декомпозиції на простіші складові з подальшим оцінюванням децидентом відносного ступеня взаємодії елементів отриманої ієрархічної структури. Метод базується на принципі ідентичності та декомпозиції, згідно з яким структурування проблем у вигляді ієрархії чи мережі містить процедури синтезу множинних тверджень, оцінювання пріоритетності критеріїв та знаходження альтернативних рішень [33].

У процесі проектування комп'ютерно-інтегрованої виробничої системи ми визначаємо об'єкти чи ідеї та відношення між ними. Визначаючи, ОПР виконує декомпозицію складного процесу, з яким зустрічається, а виявивши відношення, здійснює синтез. В основі пізнання лежить фундаментальний процес, що включає декомпозицію та синтез.

Загальна послідовність етапів МАІ є наступною [33].

Крок 1. Формулювання проблеми, яку потрібно розв'язати (рис. 4.1).

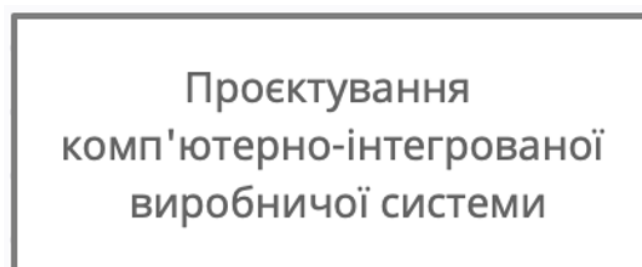


Рисунок 4.1 – Проблема для вирішення

Крок 2. Ідентифікація критеріїв, за якими буде оцінено якість розв'язання проблеми (рис. 4.2).

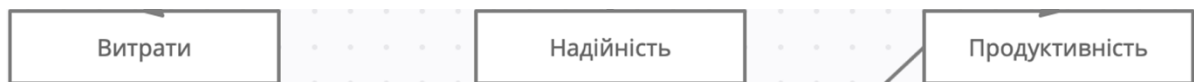


Рисунок 4.2 – Критерії для вибору альтернатив

Крок 3. Побудова ієрархії спільних критеріїв, окремих критеріїв, властивостей альтернатив і самих альтернатив. Щоб усунути неясність, необхідно ретельно визначити кожен елемент в ієрархії (рис. 4.3).

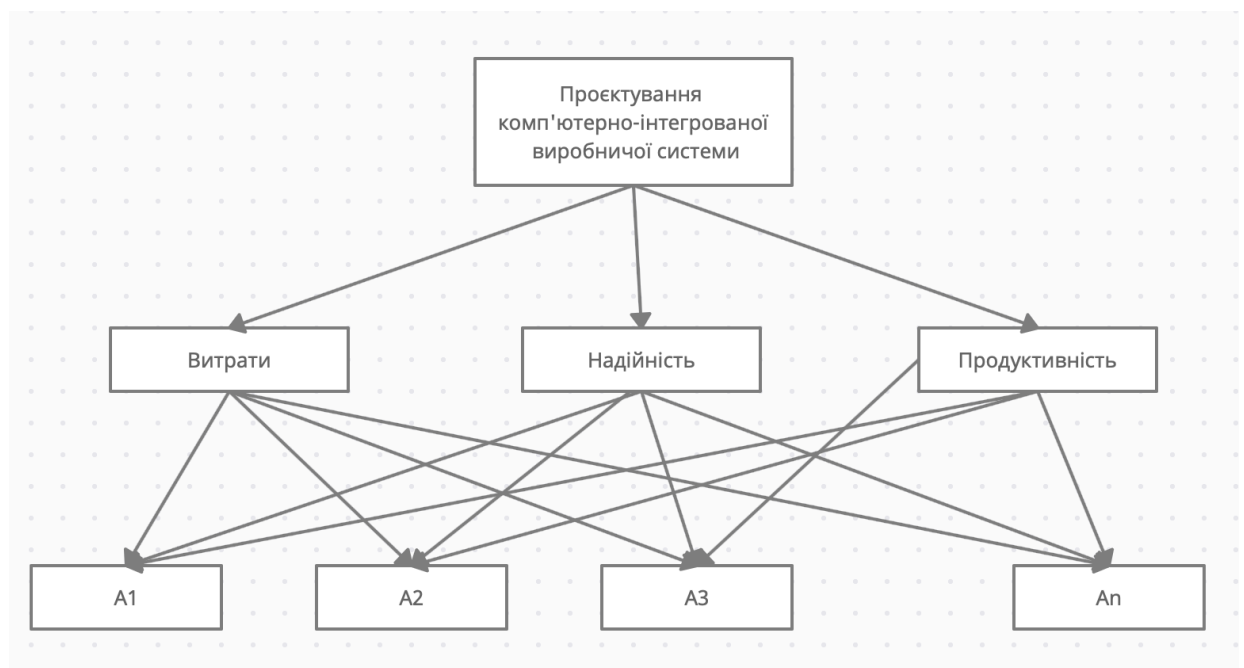


Рисунок 4.3 – Ієрархічна структура моделі задачі

Крок 5. Задавання пріоритетів первинних критеріїв, відповідно до умови (4.1).

Крок 6. Чітке формулювання питання для попарних порівнянь у кожній матриці з увагою на орієнтацію кожного питання (наприклад, витрати мають зменшуватись, а продуктивність збільшуватися).

Для встановлення відносної важливості елементів ієрархії використовується шкала відношень (шкала попарних порівнянь Т. Сааті),

наведена в табл. 4.2. Ця шкала дозволяє експерту ставити у відповідність ступеням переваги одного порівнюваного об'єкта над іншим деяке число.

Таблиця 4.2 – Шкала Т. Сааті (ступеня значимості дій)

Оцінка	Градація важливості	Пояснення важливості
1	Однакова значимість	Дві дії вносять однаковий вклад у досягнення мети
3	Слабка значимість	Існують не достатньо переконливі міркування на користь переваги однієї з дій
5	Істотна значимість	Є надійні дані для того, щоб довести перевагу однієї з дій
7	Очевидна значимість	Існують переконливі свідчення на користь переваги однієї дії над іншою
9	Абсолютна значимість	Є найвищою мірою переконливі свідчення на користь переваги однієї дії над іншою
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між сусідніми судженнями	Ситуація, коли необхідне компромісне рішення

Для кожного з рівнів ієрархії треба побудувати матриці парних порівнянь. Для ієрархії зображеної на рис. 4.3 треба побудувати  $N + 1$  матрицю попарних порівнянь: одну матрицю порядку  $N$  попарних порівнянь важливості критеріїв і  $N$  матриць порядку  $n$  попарних порівнянь переваги альтернатив за кожним з критеріїв (табл. 4.3-4.6).

Таблиця 4.3 – Матриця попарних порівнянь критеріїв

Критерії	$K1$	$K2$	$K3$	Середнє геометричне	Вектор пріоритетів
$K1$	1	1/4	1/7	0,33	0,073
$K2$	4	1	1/5	0,93	0,205
$K3$	7	5	1	3,27	0,722
Сума	12,00	6,25	1,34	4,53	1

Таблиця 4.4 – Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм  $K1$ 

$A_i/A_j$	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Середнє геометричне	Вектор пріоритетів
A1	1	8	9	1/2	2	2	2,29	0,264
A2	1/8	1	2	1/5	1/2	1/2	0,48	0,055
A3	1/9	1/8	1	1/7	1/3	1/4	0,23	0,027
A4	2	5	7	1	8	5	3,75	0,432
A5	1/2	2	3	1/8	1	2	0,95	0,110
A6	1/2	2	4	1/5	1	1	0,97	0,112

Таблиця 4.5 – Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм  $K2$ 

$A_i/A_j$	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Середнє геометричне	Вектор пріоритетів
A1	1	1/2	3	1/3	1/3	1/4	0,59	0,080
A2	2	1	8	2	2	1/2	1,78	0,241
A3	1/3	1/8	1	1/4	1/4	1/5	0,28	0,038
A4	3	1/2	4	1	2	1/2	1,35	0,182
A5	3	1/2	4	1/2	1	1/2	1,07	0,145
A6	4	2	5	2	2	1	2,33	0,315

Таблиця 4.6 – Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм  $K3$ 

$A_i/A_j$	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Середнє геометричне	Вектор пріоритетів
A1	1	3	4	1/3	1/2	1/2	1,00	0,125
A2	1/3	1	2	1/4	1/3	1/3	0,51	0,064
A3	1/4	1/2	1	1/4	1/3	1/3	0,39	0,049
A4	3	4	4	1	8	8	3,81	0,476
A5	2	3	3	1/8	1	1	1,14	0,143
A6	2	3	3	1/8	1	1	1,14	0,143

Крок 7. Задавання пріоритетів часткових критеріїв щодо загальних та збір результатів попарних порівнянь.

Крок 8. Опрацювання зібрані дані згідно з алгоритмом МАІ для обчислення пріоритетів і узгодженості результатів.

У практичних задачах кількісна (кардинальна) і транзитивна (порядкова) однорідність (узгодженість) матриці попарних порівнянь порушується, оскільки

експерт оцінює переваги шляхом попарних порівнянь.

Чим більші порушення цих рівностей, тим меншою мірою ми можемо довіряти результатам опитування експерта, і це свідчитиме насамперед про суперечливість тверджень експерта або ж (як один з виявів цього й є суперечливість) про його некомпетентність у дані предметній області.

За міру узгодженості обирають два показника:

- індекс узгодженості ( $CI$ );
- відношення узгодженості ( $CR$ ).

Повній узгодженості відповідає рівність  $\lambda_{\max}(A) = m$ , де  $\lambda_{\max}(A)$  – максимальне власне значення матриці  $A$ . Тому індекс узгодженості ( $CI$ ) вводять так:

$$CI = \frac{\lambda_{\max}(A) - m}{m - 1}. \quad (4.2)$$

Для того, щоб оцінити, чи є отримана узгодженість прийнятною,  $CI$  порівнюють з випадковим індексом  $RI$ . Значення випадкового індексу  $RI$  були обчислені експериментальним шляхом за формулою (1.1) для обернено симетричних матриць різного порядку, елементи яких генерувались випадково з набору чисел  $\frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \dots, \frac{1}{2}, 1, 2, \dots, 8, 9$ . В табл. 1.2 наведено значення випадкового індексу  $RI$  для різних  $m$ .

Таблиця 4.7 – Значення випадкового індексу  $RI$

$m$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$RI$	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Тоді відношення узгодженості ( $CR$ ) визначається рівністю

$$CR = \frac{CI}{RI}. \quad (4.3)$$

Аналіз результатів експертного оцінювання, які подані у вигляді обернено симетричних матриць попарних порівнянь, полягає у математичній обробці матриці з метою отримання вектора пріоритетів об'єктів, що порівнюються.

З математичної точки зору задача зводиться до обчислення головного власного вектора, який після нормування і стає вектором пріоритетів.

Власний вектор, який відповідає  $\lambda_{max}(A)$ , можна обчислити, наприклад, степеневим методом.

При ручних розрахунках гарне наближення дає така обчислювальна схема. Компоненти вектора пріоритетів наближено дорівнюють

$$p_i \approx \frac{x_i}{\sum_{j=1}^m x_j}, \quad (4.4)$$

де  $x_i = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m a_{ij}}$  – середнє геометричне значень  $i$ -го рядка матриці  $A$ , а

$$\lambda_{max}(A) \approx \sum_{j=1}^m y_j p_j, \quad (4.5)$$

де  $y_j = \sum_{i=1}^m a_{ij}$  – сума елементів  $j$ -го стовпчика матриці  $A$ .

Для обчислення індексу узгодженості знаходимо суми елементів матриці за стовбцями:

$$\begin{aligned} y_1 &= 1 + 4 + 7 = 12, \\ y_2 &= \frac{1}{4} + 1 + 5 = 6,25, \\ y_3 &= \frac{1}{7} + \frac{1}{5} + 1 = 1,34. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Тоді

$$\lambda_{max}^k \approx 12 \cdot 0,073 + 6,25 \cdot 0,205 + 1,34 \cdot 0,722 = 3,124 \quad (4.7)$$

та індекс узгодженості

$$CI^k = \frac{3,124-3}{3-1} = 0,062. \quad (4.8)$$

Оскільки матриця попарних порівнянь критеріїв є матрицею третього порядку, то  $RI^k = 0,58$ , і то відношення узгодженості

$$CR^k = \frac{CI^k}{RI^k} = \frac{0,062}{0,58} = 0,107. \quad (4.9)$$

Оскільки відношення узгодженості є близьким до 0,1, то вважатимемо, що матриця парних порівнянь критеріїв побудована правильно.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв відносно проблеми вибору дорівнює:

$$\vec{p}^k = (0,073; 0,205; 0,722). \quad (4.10)$$

Для кожної матриці (аналогічно як і для матриці попарних порівнянь критеріїв) розраховуємо вектори локальних пріоритетів:

$$\begin{aligned} & 0,264 \\ & 0,055 \\ \vec{p}_1^A &= \begin{matrix} 0,027 \\ 0,432 \\ 0,110 \\ 0,112 \end{matrix}, \\ & 0,080 \\ & 0,241 \\ \vec{p}_2^A &= \begin{matrix} 0,038 \\ 0,182 \\ 0,145 \\ 0,315 \end{matrix}, \end{aligned} \quad (4.11)$$

$$\vec{p}_3^A = \begin{pmatrix} 0,125 \\ 0,064 \\ 0,049 \\ 0,476 \\ 0,143 \\ 0,143 \end{pmatrix}$$

Оскільки матриці попарних порівнянь альтернатив – це матриці шостого порядку, то  $RI^A = 1,24$ . Індокси узгодженості та відношення узгодженості для матриць парних порівнянь альтернатив за кожним критерієм дорівнюють:

$$\begin{aligned} CI_1^A &= 0,076, \\ CI_2^A &= 0,053, \end{aligned} \quad (4.12)$$

$$\begin{aligned} CI_3^A &= 0,203, \\ CR_1^A &= 0,061, \\ CR_2^A &= 0,043, \\ CR_3^A &= 0,164. \end{aligned} \quad (4.13)$$

Усі відношення узгодженості близькі до 0,1, що свідчить про добру узгодженість думок експерта.

Розрахуємо вектор глобальних пріоритетів альтернатив. Для цього з векторів локальних пріоритетів альтернатив за кожним критерієм складемо матрицю

$$p^A = \begin{pmatrix} 0,264 & 0,080 & 0,125 \\ 0,055 & 0,241 & 0,064 \\ 0,027 & 0,038 & 0,049 \\ 0,432 & 0,182 & 0,476 \\ 0,110 & 0,145 & 0,143 \\ 0,112 & 0,315 & 0,143 \end{pmatrix} \quad (4.14)$$

і скористаємося формулою (4.15)

$$\vec{p} = p^A \overrightarrow{p^k}. \quad (4.15)$$

Отже, вектор глобальних пріоритетів дорівнює

$$\vec{p} = \begin{pmatrix} 0,264 & 0,080 & 0,125 \\ 0,055 & 0,241 & 0,064 \\ 0,027 & 0,038 & 0,049 \\ 0,432 & 0,182 & 0,476 \\ 0,110 & 0,145 & 0,143 \\ 0,112 & 0,315 & 0,143 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,073 \\ 0,205 \\ 0,722 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,126 \\ 0,100 \\ 0,045 \\ 0,413 \\ 0,141 \\ 0,176 \end{pmatrix}. \quad (4.16)$$

Розрахуємо індекс узгодженості та відношення узгодженості для всієї ієрархії:

$$\begin{aligned} CI &= CI^k + (p^k, CI^A) = \\ &= 0,062 + 0,073 \cdot 0,076 + 0,205 \cdot 0,053 + 0,722 \cdot 0,203 = 0,225, \\ RI &= RI^K + RI^A = 0,58 + 1,24 = 1,82, \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0,124. \quad (4.18)$$

що теж можна вважати доброю узгодженістю.

Крок 9. У разі вибору серед альтернатив обираємо ту, що має найбільше значення пріоритету.

Максимальна компонента вектора глобальних пріоритетів відповідає четвертій альтернативі.

Якщо відсортувати отримані варіанти альтернатив у порядку від найбільш ефективної до найменш, то вони розмістяться наступним чином: А4, А6, А5, А1, А2, А3.

#### 4.2 Блочна нормалізація критеріїв

Одним зі способів вирішення багатокритеріальної задачі з оптимізації – є

метод блочної нормалізації, для формування нормувальної матриці для матриці векторів пріоритетів альтернатив та матрицю структурного критерію, він дасть можливість зменшити кореляцію нормованих значень та зменшити дисперсію значень елементів вузьких критеріальних шкал, що дасть можливість спростити процедури порівняння рішень даної задачі.

З поетапною схемою блочної нормалізації можна ознайомитися на рис. 4.4.

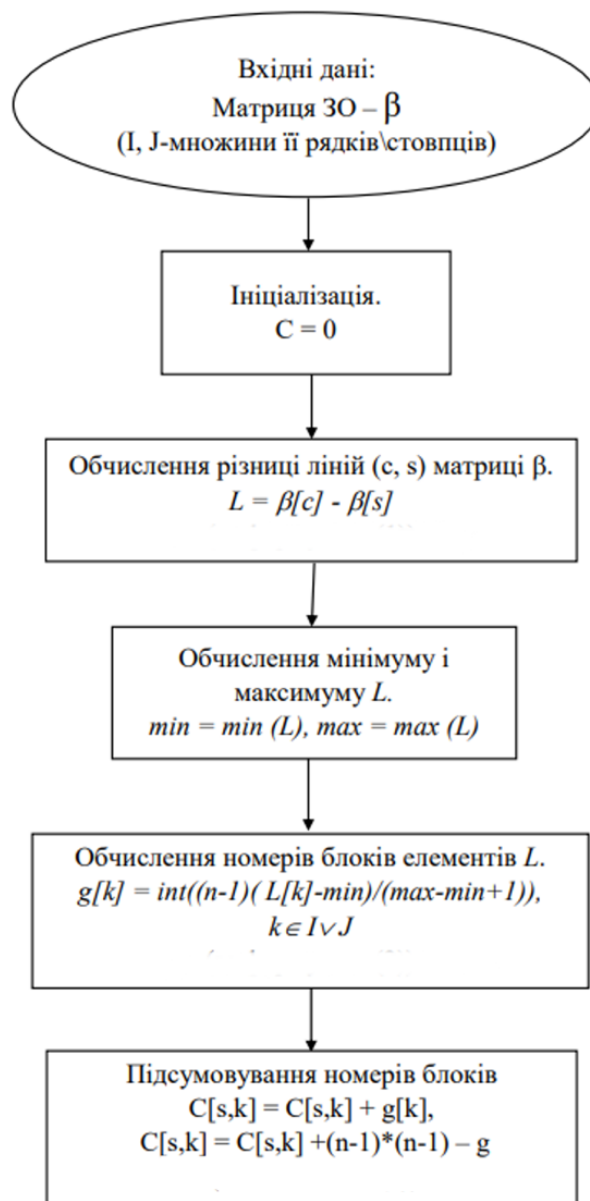


Рисунок 4.4 – Поетапна схема виконання метода блочної нормалізації

Покрокове виконання методом блочної нормалізації має наступний вигляд.

Крок 1. Обчислення різниці ліній матриці  $\beta$  за формулою (4.19), процес виконання відображений на рис. 4.5 – 4.6 :

$$L_j^{cs} = \beta_{cj} - \beta_{sj}, (c, s) \in I \vee (c, s) \in J, \quad (4.19)$$

де  $I, J$  – множини рядків\стовпців матриці  $\beta$ .

Вихідний масив  $L$  необхідно розбити на блок. Він обчислюється як різниця двох рядків або стовпців  $c, s$  матриці багатокритеріальної задачі  $\beta$ .

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
L <sub>11</sub>	0,000	0,000	0,000
L <sub>12</sub>	0,707	0,283	0,588
L <sub>13</sub>	0,725	-0,326	0,441
L <sub>14</sub>	-0,275	0,413	-1,000
L <sub>15</sub>	0,225	0,391	0,088
L <sub>16</sub>	0,163	0,674	0,088

Рисунок 4.5 – Результат 1 ітерації за формулою (4.19)

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
L <sub>11</sub>	-0,707	-0,283	-0,588
L <sub>12</sub>	0,000	0,000	0,000
L <sub>13</sub>	0,018	-0,609	-0,147
L <sub>14</sub>	-0,982	0,130	-1,588
L <sub>15</sub>	-0,482	0,109	-0,500
L <sub>16</sub>	-0,543	0,391	-0,500

Рисунок 4.6 – Результат ітерації 2 за формулою (4.19)

Далі аналогічні дії відбуваються для усіх рядків та стовпців матриці.

Крок 2. Обчислення мінімуму і максимуму  $L$ .

Крок 3 – 4. Обчислення номерів блоків елементів  $L$  за формулою (4.20).

Для довільного масиву  $L$ , довжини  $n$ , формула визначення номера блока елемента  $L_j^{CS}$  має вигляд

$$g_j^{CS} = \left\lfloor \frac{(n-1)(L_j^{CS} - \min(L^{CS}))}{(\max(L^{CS}) - \min(L^{CS}) + 1)} \right\rfloor. \quad (4.20)$$

Підсумовування номерів блоків (рис. 4.7 – 4.8) відповідно до (4.20).

Щоб отримати інтегральну оцінку  $C_{ab}$  (нормоване значення) елемента  $\beta_{ab}$  матриці необхідно просумувати його оцінки по всіх рядках і стовпцях матриць оцінок  $G^{a'}$  та  $G^{b''}$

$$C_{ab} = g(\beta_{ab}) = 2(n-1)^2 - g'(\beta_{ab}) - g''(\beta_{ab}), \quad (4.21)$$

де

$$g'(\beta_{ab}) = \sum_i G_{ib}^{a'},$$

$$g''(\beta_{ab}) = \sum_j G_{aj}^{b''},$$

$$(a, i) \in I, (b, j) \in J.$$

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
g <sub>11</sub>	0,000	0,000	0,000
g <sub>12</sub>	18,096	38,194	23,704
g <sub>13</sub>	17,238	67,051	30,676
g <sub>14</sub>	64,646	32,010	99,000
g <sub>15</sub>	40,942	33,040	47,408
g <sub>16</sub>	43,862	19,642	47,408
	184,784	189,937	248,197

Рисунок 4.7 – Результат ітерації 1 за формулою (4.20)

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
g <sub>21</sub>	69,704	55,618	65,773
g <sub>22</sub>	0,000	0,000	0,000
g <sub>23</sub>	45,626	66,453	51,115
g <sub>24</sub>	78,853	41,894	99,000
g <sub>25</sub>	62,240	42,617	62,842
g <sub>26</sub>	64,286	33,227	62,842
	320,709	239,809	341,571

Рисунок 4.8 – Результат ітерації 2 за формулою (4.20)

Далі аналогічні дії відбуваються для усіх рядків та стовпців матриць, у результаті чого отримуємо оціночні значення для рядків (рис.4.9).

	K1	K2	K3
A1	0,348	0,358	0,468
A2	0,605	0,452	0,644
A3	0,694	0,358	0,675
A4	0,697	1,000	0,482
A5	0,615	0,708	0,658
A6	0,510	0,734	0,573

Рисунок 4.9 – Оціночні значення за рядками за формулою (4.21)

Далі аналогічні операції проводяться зі стовпцями матриці. У результаті чого отримуємо оціночні значення для стовпців (рис.4.10).

	K1	K2	K3
A1	0,493	0,670	0,767
A2	0,592	0,555	0,796
A3	0,737	0,384	0,843
A4	0,500	1,000	0,431
A5	0,488	0,743	0,698
A6	0,414	0,842	0,663

Рисунок 4.10 – Оціночні значення для стовпців за формулою (4.21)

Далі обчислюється сума оціночних значень по рядках і стовпцях і визначаються нормовані значення критеріїв (рис. 4.11).

	K1	K2	K3
A1	0,493	0,670	0,767
A2	0,605	0,555	0,796
A3	0,737	0,384	0,843
A4	0,697	1,000	0,482
A5	0,615	0,743	0,698
A6	0,510	0,842	0,663

Рисунок 4.11 – Визначення домінуючого критерію (максимально важливого критерію)

Маючи коефіцієнти важливості критеріїв, використовуємо їх до матриці домінуючого критерію (рис. 4.12).

	K1	K2	K3
A1	0,084	0,221	0,383
A2	0,103	0,183	0,398
A3	0,125	0,127	0,421
A4	0,118	0,330	0,241
A5	0,105	0,245	0,349
A6	0,087	0,278	0,331

Рисунок 4.12– Матриця домінуючого критерію з використанням коефіцієнтів важливості критеріїв

Виконаємо згортку по кожному рядку та відсортуємо ці значення у порядку від найкращого варіанту до найгіршого (рис. 4.13).

A2	0,699
A4	0,696
A1	0,689
A5	0,688
A6	0,684
A3	0,673

Рисунок 4.13 – Узагальнені результати

Відповідно до отриманих результатів варіантів комп'ютерно-інтегрованих виробничих систем, альтернативи розмістилися у наступному порядку: А2, А4, А1, А5, А6, А3.

Аналізуючи результати нормованих значень за кожним критерієм отриманих двома методами (рис. 4.14 – 4.16), можна досягти висновку, що блочна нормалізація суттєво зменшує дисперсію значень елементів критеріальних шкал, це надає змогу спростити процедури порівняння рішень при розв'язанні багатокритеріальних задач.



Рисунок 4.14 – Діаграма «Нормовані значення критерію вартості»



Рисунок 4.15 – Діаграма «Нормовані значення критерію надійності»



Рисунок 4.16 – Діаграма «Нормовані значення критерію швидкодії»

#### 4.3 Висновки до четвертого розділу

В процесі експерименту, задачу багатокритеріальної оптимізації було розв’язано двома методами. Отримані результати дещо різняться між методами.

Розв’язання MAI дало наступні результати: отримані варіанти альтернатив у порядку від найбільш ефективної до найменш: A4, A6, A5, A1, A2, A3.

У практичних задачах кількісна (кардинальна) і транзитивна (порядкова) однорідність (узгодженість) матриці попарних порівнянь порушується, оскільки експерт оцінює переваги шляхом попарних порівнянь.

Чим більші порушення цих рівностей, тим меншою мірою ми можемо довіряти результатам опитування експерта, і це свідчитиме насамперед про суперечливість тверджень експерта або ж (як один з виявів цього й є суперечливість) про його некомпетентність у дані предметній області.

Метод блокової нормалізації показав наступний результат: альтернативи розмістилися у такому порядку: A2, A4, A1, A5, A6, A3.

Метод блокової нормалізації зменшує дисперсію значень елементів різнокритеріальних шкал, що надає змогу спростити процедури порівняння рішень, цей підхід може бути застосований для розв’язання задач, критерії яких представлено порядковими шкалами.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Сучасний розвиток технічного та технологічного стану виробництва передбачає постійну автоматизацію та оптимізацію виробничих процесів. На сьогоднішній день, напевно, важко уявити підприємства, господарська діяльність в яких здійснювалась би без використання комп'ютерної техніки.

Через масовий характер робіт, що виконуються працівниками за допомогою комп'ютера, законодавством України [34] чітко врегульовано норми та вимоги до використання комп'ютерної техніки на підприємстві, а саме:

- правилами охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин (далі – Правила), затверджені, наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 26.03.2010 № 65. Ці Правила поширюються на всіх суб'єктів господарювання незалежно від форм власності, які у своїй діяльності здійснюють роботу, пов'язану з електронно-обчислювальними машинами (далі – ЕОМ) з відеодисплейними терміналами (далі - ВДТ), у тому числі на тих, які мають робочі місця, обладнані ЕОМ з ВДТ і периферійними пристроями. Правила встановлюють вимоги безпеки до обладнання робочих місць операторів ЕОМ з ВДТ та ПП (далі – оператори) та до роботи із застосуванням ЕОМ з ВДТ і ПП;

- державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98 (далі – Державні санітарні правила і норми), затверджені Постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10 грудня 1998 р. № 7. Правила поширюються на умови й організацію праці при роботі з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) усіх типів вітчизняного та зарубіжного виробництва на основі електронно-променевих трубок (ЕПТ), що використовуються в електронно-обчислювальних машинах (ЕОМ) колективного використання та персональних ЕОМ (ПЕОМ).

## 5.1 Загальні вимоги щодо охорони праці при роботі з комп'ютером

Приміщення, в яких планується установка та подальша робота з комп'ютером, повинні відповідати проектній документації будинку, погодженій з уповноваженими державними органами. Крім того, роботодавець повинен враховувати існуючі санітарні нормативи освітлення, вимоги до параметрів мікроклімату (температура, відносна вологість), ступеня і сили вібрації, звукового шуму і вогнестійкості приміщення, а також характеристики електромагнітного, ультрафіолетового та інфрачервоного полів. Конкретні показники зазначених санітарних норм вказані у Державних санітарних правилах і нормах.

Так, наприклад, роботодавцю заборонено установлювати комп'ютери в приміщеннях, розташованих у підвалах будинків та у цокольному поверсі. Приміщення де встановлені відеодисплейні термінали повинні бути укомплектовані системами центрального або індивідуального опалення, кондиціонування чи вентиляції повітря. Але при установці зазначених систем, необхідно переконатись, що батареї опалення, водопровідні труби, вентиляційні кабелі тощо, надійно сховані під захисними щитками, які перешкоджатимуть можливому потраплянню робітника під напругу.

У кожній кімнаті, де обладнуватимуться робочі місця співробітників, що працюватимуть на комп'ютері, повинні бути наявні елементи природного та штучного освітлення. При цьому, на вікнах слід встановити легко регульовані жалюзі чи штори, які дозволять працівникам коригувати рівень освітлення в приміщенні. Робочі місця з відеодисплейними терміналами слід так розташовувати відносно світових прорізів, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

З метою досягнення максимального рівня безпеки і охорони праці при роботі з комп'ютером, виробничі приміщення необхідно обладнати аптечками першої медичної допомоги, системами автоматичної пожежної сигналізації і вогнегасниками. У приміщенні, де одночасно експлуатуються понад п'ять

комп'ютерів, тощо, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

## 5.2 Вимоги до особистого робочого місця працівника

У кожній кімнаті, де обладнуватимуться робочі місця співробітників, що працюватимуть на комп'ютері, повинні бути наявні елементи природного та штучного освітлення. При цьому, на вікнах слід встановити легко регульовані жалюзі чи штори, які дозволять працівникам коригувати рівень освітлення в приміщенні.

Робочі місця з відеодисплейними терміналами слід так розташовувати відносно світових прорізів, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. При розміщенні робочих столів з відеодисплейними терміналами слід дотримувати такі відстані між бічними поверхнями відеодисплейних терміналів – 1,2 м, відстань від тильної поверхні одного відеодисплейного терміналу до екрана іншого відеодисплейного терміналу 2,5 м.

Конструкція робочого столу має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовованого обладнання (дисплея, клавіатури, принтера) і документів.

Робочий стілець має бути підйомно-поворотним, регульованим за висотою, з кутом і нахилу сидіння та спинки. Поверхня сидіння і спинки стільця має бути напівм'якою з нековзним, повітронепроникним покриттям, що легко чиститься і не електризується. Площу та об'єм для одного робочого місця має бути не менше 6,0 кв.м, об'єм – не менше 20,0 куб.м.

На столі працівника можливо розмістити допоміжні для роботи пристрої (принтери, колонки, сканери), а також місця для зберігання документів, за умови, що це не обмежуватиме видимість екрану і не заважатиме працівнику. У разі надмірного шуму чи вібрації технічного обладнання, роботодавець повинен забезпечити працівників антивібраційними килимками.

Щодня необхідно проводити вологе прибирання приміщення, та очищати робоче місце та безпосередньо монітор комп'ютера від запиленості.

На підприємстві забороняється [35]:

- проводити ремонт та технічне обслуговування комп'ютера за робочим місцем працівника;
- самочинно ремонтувати або намагатись здійснити технічне налагодження комп'ютера без залучення компетентних спеціалістів;
- складувати на робочому місці зайві документи, деталі та предмети, що не потрібні для роботи;
- працювати на комп'ютері, у яких під час роботи з'являються нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані тощо;
- відключати захисні пристрої, самочинно проводити зміни у конструкції та складі комп'ютерів ;
- допускати до роботи осіб, що в установленому порядку не пройшли інструктаж та перевірку знань з охорони праці, пожежної безпеки.

5.3 Вимоги до профілактичних медичних оглядів, режимів праці і відпочинку при роботі з комп'ютером

При прийнятті на роботу кожна особа має пройти медичний огляд. Окрім того, при подальшій трудовій діяльності на підприємстві, така особа підлягає регулярному медичному огляду не рідше ніж раз на 2 роки. Обов'язковим є проходження таких лікарів як терапевта, невропатолога та офтальмолога.

На підприємстві мають бути чітко встановлені перерви для відпочинку працівників (окрім обідньої), як правило, тривалістю 10-15 хвилин раз на годину або дві, в залежності від складності роботи. В будь-якому випадку, роботодавець повинен передбачити такий розпорядок роботи на підприємстві, щоб час безперервної роботи з комп'ютером був не більше ніж 4 години.

Додатково, для збереження належного рівня здоров'я та професійної придатності робітників, рекомендується виділити на підприємстві окреме

побутове приміщення для перепочинку працівників і зняття ними нервово-емоційного напруження, що виникає при роботі з комп'ютером.

#### 5.4 Висновки до п'ятого розділу

Охорона праці – це багатогранне поняття, під яким слід розуміти не лише забезпечення безпеки працівників у процесі виконання ними їх посадових обов'язків, але й різні заходи, серед яких доцільно виокремити профілактичні та превентивні процедури щодо професійних захворювань, організацію різних форм повноцінного відпочинку і харчування працівників, забезпечення їх необхідним спецодягом та гігієнічними засобами і навіть надання соціальних пільг і гарантій.

Правильний підхід до організації-охорони праці на підприємстві, грамотне використання різних нематеріальних способів стимулювання працівників дають останнім необхідне почуття надійності, стабільності й зацікавленості керівництва у своїх співробітниках. Таким чином, завдяки налагодженій охороні праці знижується також плинність кадрів, що в свою чергу благотворно впливає на стабільність усього підприємства.

В процесі дослідження охорони праці було визначено засоби, які сприяють зменшенню або уникненню негативних й шкідливих дій на організм людини при наявності деяких чинників. Виконано розрахунки для заходів щодо запобігання поганому освітленню та заземленні устаткування.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено компоненти системи підтримки прийняття рішень для підвищення ефективності технологій проектування комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів.

Аналізуючи проблеми прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів були виділені такі основні задачі: вибір оптимального методу багатокритеріальної оптимізації комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу, визначення основних критеріїв для проектування комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів.

Однією з основних концептуальних напрямків подальшого розвитку автоматизації та підвищення гнучкості є інтеграція управління підприємством, технологічними процесами, виробництвом в цілому в єдину систему на основі комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем керування виробництвом на різних рівнях його організації.

В процесі функціонування комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів виникає необхідність модернізації та адаптації виробничих процесів та систем керування ними – реінжинірингу, даний метод передбачає радикальне перепроєктування.

Для виконання поставленої задачі необхідно вирішити комплекс задач оптимізації, багатофакторної оцінки та вибору системних рішень, що в свою чергу обумовлює актуальність задачі розробки систем підтримки прийняття рішень з оптимізації комп'ютерно-інтегрованих виробничих систем.

Встановлено, що в процесі вирішення задач багатокритеріальної оптимізації виникають проблеми через різні критеріальні шкали, для вирішення якої необхідне формування узагальненої оцінки корисності.

Також, у практичних задачах кількісна і порядкова узгодженість матриці попарних порівнянь порушується, оскільки експерт оцінює переваги шляхом попарних порівнянь.

Чим більші порушення цих рівностей, тим меншою мірою ми можемо довіряти результатам опитування експерта, і це свідчатиме насамперед про суперечливість тверджень експерта або ж (як один з виявів цього й є суперечливість) про його некомпетентність у дані предметній області, що дає певну похибку під час вирішення задачі.

На основі аналізу обраних методів та математичних моделей, розроблено алгоритм та програмне забезпечення для розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації з використанням блочної нормалізації критеріїв.

Результати роботи можуть використовуватися в подальших дослідженнях методів вирішення багатокритеріальних задач та способів нормалізації критеріїв для спрощення процедури порівняння альтернатив та підвищенні ефективності рішень з оптимізації систем.

Галуззю застосування є технології підтримки прийняття багатокритеріальних рішень з оптимізації комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів в процесі їхнього проектування, планування розвитку та реінжинірингу. Їх практичне використання за рахунок використання комбінації методів підтримки прийняття багатокритеріальних рішень дозволить підвищувати ефективність варіантів побудови виробничих процесів.

Результати кваліфікаційної роботи апробовані на: III Міжнародній студентській науковій конференції «Теоретичне та практичне застосування результатів сучасної науки» (м. Біла Церква, 7 жовтня 2022 р.) [3]; XI Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні системи та технології» (Харків, 22-25 листопада 2022 року) [4]; Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві» (м. Харків, 23 листопада 2022 року) [5].

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017 29 с.
2. 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. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2021. 55 с.
3. Здорик Н. В., Безкоровайний В. В. Системи автоматизованого проектування в комп'ютерно-інтегрованих виробничих // Теоретичне та практичне застосування результатів сучасної науки. Матеріали конференцій МНЛ. 2022. С. 160–163. URL: <https://archive.liga.science/index.php/conference-proceedings/issue/view/inter-07.10.2022/9> (дата звернення: 02.12.2022 р.).
4. Здорик Н., Безкоровайний В. Підтримка прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів // Інформаційні системи та технології: матеріали 11-ї Міжнародної наук.-техн. конф. Ч. 2 (м. Харків, 22-25 листоп. 2022 р.), Х.: ХНУРЕ, 2022. С. 19–20. URL: [https://istconf.sedep.online/archive/ist\\_2022\\_part\\_2.pdf](https://istconf.sedep.online/archive/ist_2022_part_2.pdf) (дата звернення 03.12.2022).
5. Здорик Н. В., Безкоровайний В. В. Синтез моделі прийняття рішень при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів // Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві. Матеріали всеукраїнської наук.-практ. конф. здобув. вищої освіти і молод. учених (м. Харків, 23 листоп. 2022 р.), Харків:

ХНАДУ. 2022. С. 151–154. URL: [https://mf.khadi.kharkov.ua/fileadmin/user\\_upload/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8\\_%D0%9A%D0%86%D0%A2-2022.pdf](https://mf.khadi.kharkov.ua/fileadmin/user_upload/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8_%D0%9A%D0%86%D0%A2-2022.pdf) (дата звернення 10.12.2022).

6. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації / Кривий Ріг: КК НАУ, 2017. 444 с.

7. Пирог О.В., Щипанова О.В.. Економіка підприємства: управлінські аспекти: Навчальний посібник. Дніпро.: ЧП Біла К., 2017. 172 с.

8. Шадура-Никипорець Н.Т. Економічна модель виробництва. Тексти лекцій для студентів напрямів підготовки 6.050902 – Радіоелектронні апарати, 6.051001 – Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології, 6.050802 – Електронні пристрої та системи всіх форм навчання / Чернігів: ЧНТУ, 2017. 100 с.

9. Жван В.В. Конспект лекцій з курсу «Організація виробництва» (для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр денної і заочної форм навчання напряму підготовки 0501 (6.030504) – «Економіка і підприємництво») / Харків: ХНАМГ, 2018. 225 с.

10. Кожемяченко О.О. Організація виробництва: курс лекцій: навч. посіб. / Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 233 с.

11. Горелов Д.О. Організація виробництва: Конспект лекцій. / Харків: ХНАДУ, 2019. 544 с.

12. Прохорова В. В. Організація виробництва : навч. посібник / за ред. В. В. Прохорова, О. Ю. Давидова. – Харків : Вид-во Іванченка І.С., 2018. 275 с.

13. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навч. посіб. / О.В. Барало, П.Г. Самойленко, С.Є. Гранат, В.О. Ковальов. Київ: Аграрна освіта, 2017. 557 с.

14. Tullio T. Design of Flexible Production Systems: Methodologies and Tools // URL: [https://www.researchgate.net/publication/321609625\\_Design\\_of\\_Flexible\\_Production\\_Systems\\_Methodologies\\_and\\_Tools](https://www.researchgate.net/publication/321609625_Design_of_Flexible_Production_Systems_Methodologies_and_Tools). (дата звернення: 17.11.2022).

15. Барандич К. С. Системи автоматизованого проєктування: конспект

лекцій / за ред. К. С. Барандич, О. О. Подолян, М. М. Гладський. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021.

16. Братушка С. М., Новак С. М., Хайлук С. О. Системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. / Суми: ДВНЗ «УАБС НБУ», 2017. 265 с.

17. Manufacturing Applications Of Automation And Robotics. Encyclopædia Britannica Online // URL: <https://www.britannica.com/technology/automation>. (дата звернення: 23.11.2022).

18. Ушаков Д. Введение в математические основы САПР / Litres. 2022.

19. Авер'янов В. С. Конспект с лекцій з дисципліни «САПР технологічних процесів при експлуатації та ремонті автомобілів» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / Кам'янське: ДДТУ. 2021.

20. Системи підтримки прийняття рішень. URL: <http://ubooks.com.ua/books/00013/inx13.php> (дата звернення: 15.11.2021).

21. Системи і методи підтримки прийняття рішень / П. І. Бідюк, О. Л. Тимошук, А. Є. Коваленко, Л. О. Коршевніюк. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського 2022. 610 с.

22. Кухар М. А. Концептуальні моделі підтримки прийняття рішень в багаторівневих системах адміністрування // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2020. № 3.

23. 1. Подоляка О.О., Подоляка О.М. Розв'язання двокритеріальної транспортної задачі на основі блокової нормалізації критеріїв // Вісник ХНАДУ. 2021. С. 60–65.

24. Хобот М. В. Підсистема підтримки прийняття рішень для технології автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів // Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2021): збірник студентських наукових статей. Харків: ХНУРЕ, 2021. Вип. 2. С. 62–167.

25. 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: <http://journals.uran.ua/itssi/article/view/ITSSI.2020.14.013> (дата звернення 10.12.2022).

26. Анохин А.М., Глотов В.А., Павельев В.В., Черкашин А.М. Методы определения коэффициентов важности критериев // Автоматика и телемеханика. 1997. № 8. С. 3–35.

27. Буч Г., Якобсон А., Рамбо Д. UML. / пер. с англ. Мухин Н. Питер: 2005, 736 с.

28. Поморова О. В., Говорущенко Т. О. Аналіз методів та засобів оцінки якості програмних систем // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2009. № 6 (40). С. 148–158.

29. Канер С., Фолк Д., Нгуен Е.К. Тестирование программного обеспечения / пер. с англ. Киев. 2018. 532 с.

30. Коротун Т.М. Модели и методы инженерии тестирования программных систем в условиях ограниченных ресурсов: автореф. дис. На получение канд.-физ.- мат. наук. / Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, 2005. 21 с.

31. Рихтер Д. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.5 на языке C#. Вид. 4-е. : Питер Пресс, 2019, 896 с.

32. Настенко Д.В., Нестерко А. Б. Об'єктно-орієнтоване програмування. Частина 1. Основи об'єктно-орієнтованого програмування на мові C#: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2017. 76 с.

33. Катренко А. В., Пасічник В. В., Пасько В. П. Теорія прийняття рішень: навч. посіб. Київ. 2019. 445 с.

34. Закон України «Про охорону праці» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). 1992. с.668. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. (дата звернення 03.12.2022).

35. Єфремова О. С. Збірник інструкцій з охорони праці: навч.посіб. 2008. 384 с.