

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

Розроблення методу відстежування траєкторій рухомих об'єктів  
в Індустрії 5.0

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи АУТПм-21-1

Дмитрієв О.Е.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизоване управління  
технологічними процесами

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Бронніков А.І.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри КІТАМ

\_\_\_\_\_

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(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.

12.12.2022

Дмитрієв О.Е.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизоване управління технологічними процесами

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАМ \_\_\_\_\_

(підпис)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Дмитрієву Олексію Едуардовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення методу відстежування траєкторій рухомих  
об'єктів в Індустрії 5.0

затверджена наказом університету від . № 07.11.2022 № 1463Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 26.12.2022

3. Вихідні дані до роботи Траєкторії рухомих об'єктів,  
Індустрія 5.0,

Мова програмування Java або Python

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

1. Системний аналіз предметної області

2. Вибір і обґрунтування методу розв'язання

3. Програмна реалізація

4. Результати обчислювального експерименту

5. Аналіз можливих застосувань

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) \_\_\_\_\_

1. (2022 КІТАМ Дмитрієв О Е презентація.pptx) – с. формату А4

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір та вивчення технічної літератури за темою роботи	7 – 14 вересня 2022 р.	виконано
2	Вибір та обґрунтування методу	15 вересня – 5 жовтня 2022 р.	виконано
3	Розробка алгоритму і програми	6 – 18 жовтня 2022 р.	виконано
4	Проведення аналітичних досліджень та розрахунків	19 – 31 жовтня 2022 р.	виконано
5	Оформлення тексту пояснювальної записки	1 – 16 листопада 2022 р.	виконано
6	Представлення роботи на рецензію в ЕК	12 грудня 2022 р.	виконано

Дата видачі завдання 7.11.2022

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Дмитрієв О.Е.  
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

доц. Бронніков А.І.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 90 с., 8 табл., 28 рис., 1 дод., 16 джерел.

### ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СТАНЦІЯ ТРАЄКТОРИХ ВИМІРЮВАНЬ, РУХОМИЙ ОБ'ЄКТ, ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЇ

Об'єкт дослідження – задача відстеження траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0.

Предмет дослідження – траєкторії рухомих об'єктів в Індустрії 5.0.

Мета роботи – розроблення програмного забезпечення та дослідження задачі відстеження траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0.

В роботі розглядається методика відстеження траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0 за результатами обробки даних, отриманих за допомогою оптико-електронних станцій траєкторних вимірювань, об'єднаних в єдину сенсорну інфокомунікаційну мережу без використання лазерних далекомірів для вимірювання похилої дальності.

У даній роботі було вирішено задачу відстеження траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0 за допомогою мови програмування Java та середовища розробки IntelliJ IDEA 2021 , а також було проведено порівняльний аналіз алгоритмів та методів відстеження траєкторій руху наземних об'єктів та створено програмний продукт.

## ABSTRACT

Introductory note: 90 pages, 8 tables, 28 figures, 1 appendix, 16 sources.

### ARTIFICIAL INTELLIGENCE, MOVABLE OBJECT, OPTOELECTRONIC TRAJECTORY MEASUREMENT STATION, TECHNOLOGY ASSESSMENT

The object of research is the task of tracking the trajectories of moving objects in Industry 5.0.

The subject of the study is the trajectories of moving objects in Industry 5.0.

The purpose of the work is to develop software and research the task of tracking the trajectories of moving objects in Industry 5.0.

The paper examines the method of tracking the trajectories of moving objects in Industry 5.0 based on the results of data processing obtained with the help of optical-electronic trajectory measurement stations, combined into a single sensor information communication network without the use of laser rangefinders for measuring the inclined range.

In this work, the task of tracking the trajectories of moving objects in Industry 5.0 was solved using the Java programming language and the IntelliJ IDEA 2021 development environment, and a comparative analysis of algorithms and methods for tracking the trajectories of ground objects was performed and a software product was created.

## ЗМІСТ

	С.
Перелік умовних скорочень і термінів .....	9
Вступ .....	10
1 Аналіз та підходи до виробництва за допомогою Індустрії 5.0 .....	12
1.1 Індустрія 4.0 та її концепція .....	12
1.2 Індустрія 5.0 .....	17
1.2.1 П'ята промислова революція як підхід до виробництва .....	19
1.2.2 Індустрія 5.0 погляд з середини .....	23
1.2.3 Від суспільства 5.0 до промисловості 5.0 – майбутнє Європи .....	30
1.3 Висновки до першого розділу .....	43
2 Вибір та обґрунтування методу розв'язання відстежування траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0. ....	44
2.1 Модель системи відстежування траєкторій рухомих об'єктів .....	44
2.1.1 Морфологічний опис системи .....	44
2.1.2 Функціональна модель системи .....	44
2.1.3 Інформаційна модель системи .....	49
2.2 Аналіз сценаріїв вирішення задачі відстеження траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0. ....	50
2.2.1 Модель аналізу проблеми .....	50
2.2.2 Оцінювання вектора пріоритетів незадоволеностей методом аналізу ієрархій .....	52
2.3 Змістовна та формальна постановки задачі .....	57
2.3.1 Змістовна постановка задачі .....	57
2.3.2 Формальна постановка задачі .....	58
2.4 Постановка задач дослідження .....	62
2.5 Метод відстеження траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0.....	62
2.6 Математична модель залежності між місцем розташування НО в місцевій системі координат і вимірюваними значеннями кута місця,	

	8
азимута і похилої дальності .....	62
2.7 Математична модель перерахунку вектора параметрів руху НО .....	64
2.7.1 Перерахунок з місцевої системи координат в Грінвічську систему координат .....	64
2.7.2 Перерахунок з Грінвічській системи координат в місцеву систему координат .....	65
2.8 Алгоритм розв’язання задачі відстеження траєкторій руху наземних об’єктів .....	67
2.3 Висновки до другого розділу .....	68
3 Програмна реалізація та результати обчислювального експерименту .....	69
3.1 Мова програмування Java та середовище розробки IntelliJ IDEA .....	69
3.2 Опис програми .....	70
3.3 Розробка програмного забезпечення для відстежування траєкторій.....	70
3.4 Висноки до третього розділу .....	76
4 Експериментальні дослідження з розробленим програмним засобом .....	77
4.1 Обчислення координат НО та ОЕСН .....	77
4.2 Перевірка адекватності моделі перетворення в Грінвічській системі координат для випадку з трьома станціями .....	78
5 Охорона праці .....	82
Висновки .....	84
Перелік джерел посилання .....	85
Додаток А Лістинг програми .....	87

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ВДІ – відповідальне дослідження та інновації;

Д&І – дослідження та інновації;

ДНТ – дослідження науки та техніки;

ЄК – європейська комісія;

ЄП – європейський парламент;

ЄС – Європейський Союз;

ЄТІ – європейське табло інновацій;

МСП – малі та середні підприємства

ОКТ – оцінка конструктивної технології;

ОТ – оцінювачі технологій.

ПОТ – парламентська оцінка технологій

ШІ – штучний інтелект;

## ВСТУП

Промислові революції протягом всієї історії були насамперед рушієм революційних технологічних проривів, які змінюють парадигми виробництва та спосіб задоволення попиту споживачів. Зі зростанням впровадження передових виробничих технологій, цифровізації та інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) Індустрія 4.0, також відома як четверта промислова революція, спрямована на досягнення вищого рівня автоматизації та інтелекту. Через підвищення ефективності та результативності виробничих процесів, Індустрія 4.0 переважно наголошує на зміні парадигми на чолі з новими технологіями, але менше уваги приділялося людським аспектам.

Однак це вважається загрозою для сталого розвитку людей і суспільства, що вимагає більше уваги та зусиль як з боку промисловців, так і академічні кола. Хоча це занепокоєння можна частково вирішити, включивши Індустрію 4.0 у контекст сталого розвитку, циркулярної економіки, зеленого ланцюжка постачання тощо, все одно важливо мати систематичний концептуальний розвиток, щоб заповнити недоліки Індустрії 4.0. Таким чином, враховуючи важливість орієнтації на людину, стійкості та стійкості, концепція Індустрії 5.0 пропонується доповнити існуючу Індустрію 4.0, щоб краще відповідати промисловим і технологічним цілям без шкоди для соціально-економічних і екологічних показників. Прийняття технологій Індустрії 5.0 не перешкоджатиме людській цінності, а радше сприятиме подвійній інтеграції людського та машинного інтелекту у спільній роботі.

Логістика, як ключова функція компанії або ланцюга постачання, зазнала значного впливу останніх технологічних досягнень та інновацій. Інтелектуальні логістичні операції стають можливими завдяки зростаючому використанню нових технологічних рішень, які призводять до появи інтелектуального управління складом, розумного транспорту, цифрового близнюка тощо.

Попри те, що було докладено значних зусиль, щоб зрозуміти вплив нових технологій на інтелектуальну логістику та управління, жодних зусиль не було

спрямовані на людські та екологічні аспекти, які приносить Індустрія 5.0. Недавній огляд літератури висунув концепцію ланцюга постачання 4.0 до ланцюга постачання 5.0, але не було проведено жодного дослідження, щоб забезпечити повне розуміння наслідків Індустрії 5.0 для розумної логістики. Щоб заповнити цю прогалину, була створена ця кваліфікаційна робота.

Актуальність теми. Актуальність роботи зумовлена переходом з технології Індустрія 4.0 на технологію Індустрія 5.0, а також ускладненням алгоритмів відстеження наземних об'єктів та вимог до переміщення об'єктів.

Мета і завдання кваліфікаційної роботи. Метою кваліфікаційної роботи є розроблення програмного забезпечення для відстеження траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0, а також порівняння з Індустрією 4.0 постановка задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести огляд задачі Відстеження траєкторій руху наземних об'єктів;
- провести аналіз сучасного стану задачі Відстеження траєкторій руху наземних об'єктів;
- обрати спосіб вирішення задачі Відстеження траєкторій руху наземних об'єктів;
- розробити програмне забезпечення;
- розглянути питання охорони праці;
- оформити пояснювальну записку згідно [1] та [2].

Об'єктом дослідження є метод для відстеження траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0.

Предметом дослідження є застосування оптико-електронних станцій для наземних об'єктів.

Методи дослідження. У кваліфікаційній роботі Доказ працює за допомогою методу розв'язування системи лінійних алгебраїчних рівнянь і чисельного методу, який дозволяє обчислити глобальний мінімум нев'язки

# 1 АНАЛІЗ ТА ПІДХОДИ ДО ВИРОБНИЦТВА ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДУСТРІЇ 5.0

## 1.1. Індустрія 4.0

Індустрія 4.0, безсумнівно, є одним із найважливіших промислових явищ, що відбулися за останнє десятиліття, яке привернуло значну увагу як промисловості, так і академічних кіл. Поява цієї індустріальної парадигми сформувала основу для широких дослідницьких тем з моменту її представлення у 2011 році на Ганноверському ярмарку, виділивши дві основні концепції: Інтернет речей (IoT) і кіберфізичні системи (CPS). Високошвидкісне підключення до Інтернету у виробничих і логістичних системах, тобто промисловий Інтернет речей (IIoT), потенційно сприяє цим галузям, покращуючи рівень інтелекту та інтеграції [3]. У цьому відношенні поєднання автоматизації та інтелекту в високоінтегрованій CPS демонструє рівень зрілості системи Індустрія 4.0. Завдяки поєднанню революційних технологій та інтелектуальної аналітики, як-от IoT, CPS, великих даних, штучного інтелекту (ШІ) тощо, Індустрія 4.0 не лише змінить виробничу галузь, але й вплине на всі сектори економічних циклів. На малюнку 1.1 показано дев'ять найважливіших базових технологій Індустрії 4.0, які вважаються основою четвертої промислової революції.



Рисунок 1.1 – Дев'ять стовпів Індустрії 4.0.

Завдяки інтеграції цих технологічних стовпів в організовану структуру Промисловість 4.0 вважається технологічно керованою зміною парадигми, яка спрямована на підвищення продуктивності за рахунок кращого використання ресурсів. Ця технологічна структура включає всі робочі рівні та потоки заводу та має високий рівень інтелекту, подібний до людського мозку. З цілісної точки зору це означає повністю автоматизовану виробничу систему, якою керують розумні машини та роботи, підключені до Інтернету, з мінімальним втручанням людини. Однак для реалізації такої мети необхідно запровадити декілька сприятливих технологій через вертикальну та горизонтальну інтеграцію. Наприклад, адитивне виробництво (AM), наприклад, 3D-друк, використовувалося не тільки для швидкого створення прототипів складних конструкцій, але також було широко застосовано у виробничих процесах у кількох галузях промисловості, наприклад, авіації. Це може змінити парадигму виробництва завдяки прямому цифровому виробництву (DDM), яке може краще задовольнити високоперсоніфіковані вимоги.

Проте, з іншого боку, це може пропорційно збільшити складність управління виробництвом. З цією метою віртуальні технології та моделювання можуть бути використані для оцінки операційних аспектів і продуктивності включення AM у виробниче підприємство [12], що може забезпечити всебічне розуміння технологічних оновлень. Таким чином, технологічна інтеграція в CPS була розділена на п'ять рівнів для вимірювання зрілості системи Індустрія 4.0, а саме рівень з'єднання, рівень розмови, кіберрівень, рівень пізнання та рівень конфігурації.

Індустрія 4.0 стосується інтелектуального мережевого об'єднання машин і процесів у промисловості на основі CPS – технології, яка забезпечує інтелектуальне керування за допомогою вбудованих мережевих систем. Існують різні розуміння Індустрії 4.0, хоча всі погоджуються з Reference Architecture Model Industries 4.0 (RAMI4.0). RAMI4.0 розроблено німецькими виробниками електротехніки та електроніки. Модель RAMI 4.0 зображена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Еталонна модель архітектури Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

Асоціація (ZVEI) для підтримки ініціатив Індустрії 4.0. Модель RAMI 4.0 складається з тривимірної системи координат (рис. 1(a)), яка зображує архітектуру систем Індустрія 4.0. Вісь Рівні ієрархії походить від інформаційної моделі автоматизації і представляє різні функціональні можливості всередині фабрик або установок; вісь Шари описує декомпозицію машини на її властивості, а вісь Потік цінностей життєвого циклу представляє життєвий цикл обладнання та продуктів. До останнього входять бізнес-моделі та переваги використання Індустрія 4.0[11].

Фогель-Хойзер і Гесс обговорили основні принципи проєктування

Індустрія 4.0, яка підсумована таким чином:

- сервісно-орієнтована еталонна архітектура;
- інтелектуальний, самоорганізований CPPS;

- взаємодія між срps і людьми;
- адаптивність і гнучкість до мінливих вимог;
- оптимізація для загальної ефективності обладнання;
- інтеграція даних між дисциплінами та весь життєвий цикл;
- надійний і безпечний зв'язок між компаніями;
- безпека даних.

Індустрія 4.0 вважається технологічною революцією для досягнення вищої ефективності та продуктивності, а також, як високотехнологічна стратегія уряду, для підвищення конкурентоспроможності Німеччини на світовому ринку.

Це може бути додатково підкріплено трьома вимірами RAMI4.0, тобто життєвим циклом продукту, бізнес-рівнями та фабричною ієрархією. Boston Consulting Group визначила дев'ять ключових базових технологій Індустрії 4.0, а саме: великі дані та аналітика, автономні роботи, моделювання, горизонтальна та вертикальна системна інтеграція, промисловий Інтернет речей, кібербезпека, хмара, адитивне виробництво та доповнена реальність. Ці технології лежать в основі п'яти центральних тем дослідження Індустрії 4.0:

- горизонтальна інтеграція через мережі цінностей;
- гаскрізне проектування по всьому ланцюжку створення вартості;
- вертикальна інтеграція та мережеві виробничі системи;
- технологія Cyber-Physical Systems;
- нові соціальні інфраструктури на робочому місці;

Індустрію 4.0, можливо, розглядали як технологічну трансформацію. Деякі міркування та прогнозовані наслідки суспільних потреб, таких як сталість, орієнтованість на людину та стійкість, також помітні.

Індустрія 4.0 спрямована на розв'язання таких проблем, як ефективність використання ресурсів та енергії, міське виробництво, потреби суспільства та демографічні зміни. Для того, щоб зменшити споживання енергії та ресурсів, необхідні зміни у виробничих процесах і конструкції машин і установок.

Індекс зеленого виробництва пропонується як один з основних KPI, що

підтримує прийняття рішень, разом із базовими даними, необхідними для прийняття прозорих, орієнтованих на ресурси інвестиційних рішень. Попри те, що Індустрія 4.0 була ще до COVID-19, обговорювався приклад програми, тобто Раптова зміна постачальника під час виробництва через криз, яка не контролюється виробником[8]. Індустрія 4.0 робить необхідні зміни плавнішими, запускаючи симуляції постраждалих нижчих служб, таким чином можна оцінити різних постачальників і вибрати найкращу альтернативу.

Індустрію 4.0 не можна вважати ініціативою, орієнтованою на людину. Хоч би що там було, не варто ігнорувати такі як співробітництво людини й машини або технології помічників оператора, соціотехнічний підхід і баланс між роботою та особистим життям.

Індустрія 4.0 сприяє створенню нових соціально-технічних інфраструктур шляхом трансформації різних аспектів робочого місця, таких як управління охороною здоров'я та організація праці, навчання впродовж життя та моделі кар'єрного росту, структури команд та управління знаннями. Це описується як соціотехнічний підхід ініціативи Індустрія 4.0, що веде до зміни парадигми у взаємодії між людиною та технологіями та середовищем. Очікується, що роль працівника значно зміниться через збільшення використання технологій, які є більш відкритими, віртуальними та масштабними. Це відображено в деяких принципах проєктування Індустрії 4.0. Відображенням другого та третього принципів проєктування (тобто інформаційної прозорості та технічної допомоги) є збільшення використання таких технологій, як робототехніка системи та доповненої реальності (AR) для надання працівникам інформації в реальному часі з метою покращення процесу прийняття рішень та роботи.

Інтелектуальні системи допомоги звільняють працівників від виконання рутинних завдань, щоб вони могли зосередитися на більш творчій діяльності з доданою вартістю. Пропагується гнучка організація праці, щоб усі працівники могли ефективніше продовжувати професійний розвиток і мати кращий баланс між роботою та особистим життям. Відповідні технології також дозволять літнім працівникам продовжити своє трудове життя та довше залишатися

продуктивними. Було визнано, що на розумній фабриці роль працівників істотно зміниться. Впровадження соціотехнічного підходу до організації праці запропонує працівникам можливість насолоджуватися більшою відповідальністю та сприяти їхньому особистому розвитку.

Соціально-технічний підхід Індустрії 4.0 спрямований на так званий девіз краще, а не дешевше. У ньому стверджується, що прийняття екстремального варіанту тейлористського підходу до організації праці, заснованого на частому повторенні високостандартизованих і одноманітних завдань, навряд чи є найперспективнішим способом впровадження Індустрії 4.0. Той факт, що розумні фабрики будуть налаштовані як дуже складні, динамічні та гнучкі системи[12], означає, що їм знадобляться уповноважені співробітники, які будуть виконувати функції осіб, які приймають рішення та контролюють

За останнє десятиліття відбулося багато демонстрацій, тестових стендів і варіантів використання індустрії 4.0, більшість з яких у формі розумних фабрик або елементів розумних фабрик. Деякі з прикладів включають SmartFactoryKL, мережу галузевих і дослідницьких організацій, французьку ініціативу Industries do future, а також японську революцію роботів і ініціативу Industrial IoT.

## 1.2. Індустрія 5.0

Основна увага Індустрії 4.0 – це зміна промислової парадигми, керована технологіями, але менше уваги приділено людським аспектам і суспільству. Одним із занепокоєнь, пов'язаних із цією індустріальною революцією, є можливе звільнення та безпека робочих місць зі збільшенням впровадження автономних систем. Таким чином, дуже важливо, щоб технологічний перехід здійснювався стабільно та відповідав цілям соціально-економічного розвитку. Занепокоєння людей і суспільства в індустріальному переході призвело до появи Індустрії 5.0, яку підняв Майкл Рада у 2015 році, щоб висунути концепцію промислової модернізації. Ця ідея наголошує на співпраці між людьми та новими технологіями, тобто промисловими роботами, 3D-

принтерами тощо, у виробництві з метою: ми використовуємо ці інструменти як інструменти, не даємо їм функції та мозок, щоб Працювати на нас, а Працюйте з нами. Ця концепція тісно пов'язана з технологічними стовпами, які вже були використані, тому проводяться дослідження, щоб розрізнити масштаби, цілі та підходи Індустрії 5.0 як нового етапу промислової революції.

Наслідуючи цю зміну парадигми, японський уряд (Кейданрен, найважливіша бізнес-федерація Японії) запропонував Суспільство 5.0 на основі високих цифрових трансформацій у суспільстві. Ця концепція спрямована на захист суспільних і екологічних переваг разом із напрямком економічного зростання шляхом використання переваг технологічних удосконалень. Він намагається повернути нові рішення на благо суспільства та людського життя.

З переважним фокусом на ролі людини в технологічному переході значну увагу приділено співпраці людини й робота в Індустрії 5.0 протягом останніх кількох років. Крім того, у кількох дослідженнях досліджується логістика людини 2022, 6, 26 4 з 27 ролей з різних точок зору, тобто технічної, етичної, операційної, соціальної, безпеки тощо, що стало одним з основних напрямків досліджень для формування цього нового промислового перевороту. Таким чином, Індустрія 5.0 має на меті створити всеосяжну структуру шляхом впровадження революційних технологій та інноваційних рішень для розв'язання нових проблем, пов'язаних із людиною та суспільством, і досягнення сталого розвитку[5]. У зв'язку з цим у січні 2021 року Європейська Комісія (ЄК) офіційно визначила концепцію Індустрії 5.0, яка представила системний підхід у контексті технологічних і методологічних удосконалень. Він встановлює синергію між основними технологічними рушійними силами та суспільним розвитком в Індустрії 5.0, і визначено шість основних категорій, включаючи взаємодію людини та машини, біотехнічні технології та розумні матеріали, цифрові двійники та моделювання, аналіз великих даних, штучний інтелект та енергоефективність та відновлювані джерела енергії.

### 1.2.1 П'ята промислова революція як підхід до виробництва

З 2017 року розрізнені наукові зусилля сприяли запровадженню П'ятої промислової революції. У 2021 році Європейська Комісія офіційно закликала до П'ятої промислової революції (Індустрія 5.0) після обговорень між учасниками дослідницьких і технологічних організацій, а також фінансових установ з усієї Європи на двох віртуальних семінарах, організованих Директоратом Процвітання Генеральний директорат з досліджень та інновацій, 2 і 9 липня 2020 року, офіційним випуском документа під назвою Індустрія 5.0: на шляху до стійкої, орієнтованої на людину та стійкої європейської промисловості 4 січня 2021 року. Це схоже на Промисловість 4.0 у 2021 році урядом Німеччини, який розробив ініціативу зверху вниз у відповідь на зміну соціального та геополітичного ландшафту. Наш аналіз промисловості 5.0 у цій статті в основному базується на настроях Європейської комісії.

Індустрія 5.0 визнає силу промисловості для досягнення суспільних цілей, окрім створення робочих місць і зростання, щоб стати стійким постачальником процвітання, змушуючи виробництво поважати кордони нашої планети та ставлячи добробут працівників галузі в центр виробничого процесу. Індустрія 5.0 доповнює існуючу парадигму Індустрії 4.0, оскільки дослідження та інновації сприяють переходу до сталої, орієнтованої на людину та стійкої європейської промисловості. Очевидно, що Індустрія 5.0 є результатом консенсусу Європейської Комісії щодо необхідності кращої інтеграції соціальних та екологічних[13] європейських пріоритетів у технологічні інновації та зміщення акценту з окремих технологій на системний підхід.

У зв'язку з визнанням того, що технологічний прогрес змінює спосіб створення, обміну та розподілу вартості, існує гостра потреба в тому, щоб ці технології були розроблені для підтримки майбутніх суспільних цінностей. Поява цих змін і питань, тісно пов'язаних з технологічними інноваціями, вимагає від галузі переосмислення свого становища та ролі в суспільстві. Крім того, політичні пріоритети в Європі істотно сформували їх мислення. Зелена

угода вимагатиме переходу до більш циркулярної економіки та більшої залежності від стійких ресурсів, зокрема енергії. Криза Covid-19 підкреслила необхідність переосмислення існуючих методів роботи та підходів, включаючи вразливість глобальних ланцюгів постачання, з метою зробити їх галузі більш перспективними, стійкими, сталими та орієнтованими на людину.

Індустрія 5.0 зосереджена навколо трьох взаємопов'язаних основних цінностей: орієнтованість на людину, стійкість і стійкість.

Людиноцентричний підхід ставить основні людські потреби та інтереси в центр виробничого процесу, переходячи від технологічного прогресу до підходу, орієнтованого повністю на людину та суспільство. Як наслідок, працівники промисловості отримують нові ролі, оскільки цінність зміниться від розгляду працівників як вартості до інвестиції. Технологія призначена служити людям і суспільству, тобто технологія, яка використовується у виробництві, адаптована до потреб і різноманіття працівників галузі. Має бути створено безпечне та інклюзивне робоче середовище, щоб надавати пріоритет фізичному здоров'ю, психічному здоров'ю та добробуту та, зрештою, захищати основні права працівників, тобто автономію, людську гідність та приватне життя. Промислові працівники повинні постійно підвищувати кваліфікацію та знижувати кваліфікацію для кращих можливостей кар'єрного зростання та балансу між роботою та особистим життям.

Щоб галузь поважала планетарні межі, вона має бути стійкою. Необхідно розвивати циркулярні процеси, які повторно використовують, перемальовують і переробляють природні ресурси, зменшують кількість відходів і вплив на навколишнє середовище[7]., і в кінцевому підсумку призводять до циркулярної економіки з кращою ефективністю та ефективністю використання ресурсів.

Стійкість стосується необхідності розвитку вищого рівня надійності промислового виробництва, кращого захисту його від збоїв і забезпечення його здатності забезпечувати та підтримувати критичну інфраструктуру під час кризи. Індустрія майбутнього має бути достатньо стійкою, щоб швидко впоратися з (гео)політичними змінами та природними надзвичайними

ситуаціями. На рисунку 1.3 зображено основні принципи та цінності Індустрії 5.0.



Рисунок 1.3 – Основні цінності Індустрії 5.0

Індустрія 5.0 визначила наступні шість передових технологій:

- індивідуалізовані технології взаємодії людини та машини, які взаємопов'язують і поєднують сильні сторони людей і машин.
- біологічні технології та інтелектуальні матеріали, які дозволяють використовувати матеріали з вбудованими датчиками та покращеними функціями, але підлягають переробленню.
- Digital Twins і моделювання для моделювання цілих систем.
- технології передачі, зберігання та аналізу даних, здатні обробляти дані та взаємодію систем.
- штучний інтелект для виявлення, наприклад, причинно-наслідкових зв'язків у складних динамічних системах, що веде до ефективного інтелекту.
- технології енергоефективності, відновлюваних джерел енергії, зберігання та автономності.

З написаного вище, Індустрія 5.0 — це не революція, спричинена технологіями, а ініціатива, скерована цінностями, яка стимулює технологічну трансформацію з певною метою.

Індустрія 5.0 створює деякі унікальні виклики, яких не було в минулому, наприклад:

- соціальна неоднорідність з точки зору цінностей і прийняття;
- вимірювання створення екологічної та соціальної цінності;
- інтеграція від клієнтів по всьому ланцюжку створення вартості до малих і середніх підприємств;
- міждисциплінарність дослідницьких дисциплін і системна складність;
- інноваційна політика, орієнтована на екосистему, з гнучким результатом орієнтації;
- потрібна продуктивність, при цьому потрібні великі інвестиції.

В якості нової ініціативи Європейська комісія також окреслила низку стратегій впровадження з інвестицій, маркетингу та управління для сприяння промисловості 5.0. Відповідь з боку інших урядів і галузей поки що обмежена. Проте наукові кола швидко підхопили дискусії щодо Індустрії 5.0, оскільки *Journal of Manufacturing Systems*, *International Journal of Production Research* і *IEEE Transactions on Industrial Informatics* створили відповідні спеціальні випуски, щоб заохотити дослідження Індустрії 5.0 у 2021 році. *IEEE Robotics and Automation Society (RAS)*. ) Технічний комітет (ТС) з цифрового виробництва та автоматизації, орієнтованої на людину, також підкреслив його актуальність для промисловості 5.0.

Подібно до Індустрії 4.0, Індустрія 5.0, яка прагне до успіху, потребуватиме значних інвестицій від державних установ. Незалежно від майбутнього Індустрії 5.0, її ключові цінності – орієнтованість на людину, стійкість і стійкість – стали основними рушійними силами суспільного прогресу, а не побічним продуктом розвитку процвітання, керованого ВВП. На рисунку 1.4 зображено цілі і технологічні механізми Індустрії 5.0.

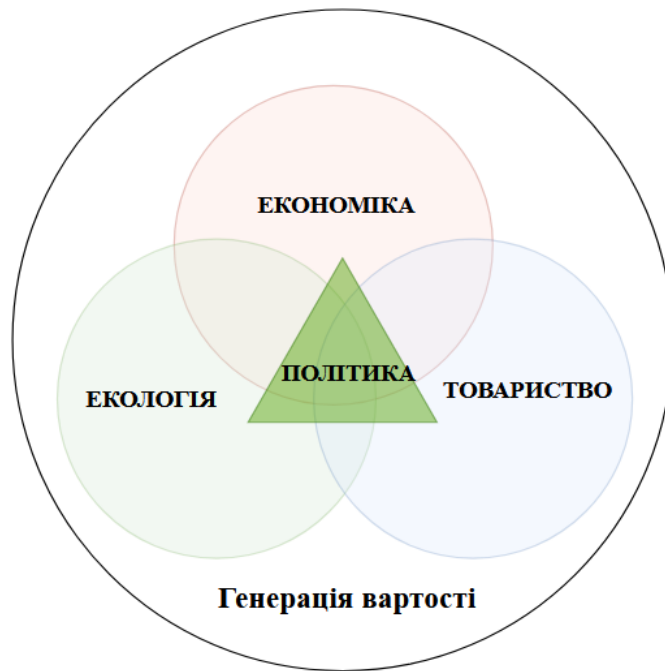


Рисунок 1.4 – Цілі індустрії 5.0 і технологічні механізми

### 1.2.2. Індустрія 5.0 погляд з середини

Попри те, що виробничі компанії все ще знаходяться в перехідному періоді та досліджують аспекти впровадження Індустрії 4.0, Індустрія 5.0 як нова революційна хвиля виникає як Епоха Розширення, коли людина і машина примиряються і працюють в ідеальному симбіозі з одним.інше (Longo, Padovano & Umbrello 2020: 1). В останній аналітичній записці ESIR експерти Генерального директорату з досліджень та інновацій стверджують, що для європейської промисловості потрібне нове, набагато більш амбітне та системне бачення порівняно з тим, яке наразі пропонується оновленою промисловою стратегією ЄС (Європейська Комісія, 2022). Оскільки Індустрія 4.0 – це, по суті, технологічна парадигма, зосереджена на появі кіберфізичних об'єктів і обіцяє підвищення ефективності завдяки цифровому зв'язку та штучному інтелекту, автори підкреслюють, що Індустрія 4.0 не є правильною структурою для вирішення великих викликів. Індустрія 4.0 – ні підходить для мети в контексті кліматичної кризи та надзвичайної ситуації на планеті, а також не стосується глибоких проблем соціальної напруги (IBD.). Тому потрібна нова парадигма:

## Промисловість 5.0.

Як зазначено в Vanholzer (2022a), Європейська комісія окреслила свою орієнтацію на нова концепція інновацій, яка об'єднує не лише цифрову індустрію та індустрію програмного забезпечення, але й галузі, що працюють з апаратним забезпеченням, які також є основою портфолію німецьких технологій, наприклад, верстатобудівна й автомобільна промисловість, а також хімічна промисловість. Поєднання промисловості з (не)університетськими дослідницькими установами (Макс Планк, Гельмгольц, Фраунгофер) і з (фінансовими) установами, такими як KfW, також чітко підкреслюється. Метою Комісії ЄС є сформувати загальноєвропейську інноваційну екосистему, яка має виникнути з мережі місцевих і регіональних екосистеми. Це також вимагає розгляду політики розміщення, освітньої політики та підприємництва, а також робототехніки, інтеграції штучного інтелекту або зацифрування адміністрації та МСП. Підвищення обізнаності щодо нових бізнес-моделей, економіки платформ і орієнтації на дані, започатковане концепцією Індустрії 4.0, має бути продовжено. Що також потребує розширення, так це стратегія роботи з алгоритмами та рішеннями ШІ.

Теперішній комісар ЄС Марія Габріель (2021) також закликає до нового типу інновації, нова концептуалізація інновацій, яка має забезпечити як відновлення після Пандемії Covid19 і подолання великих викликів. Тут акцент робиться на віддаленні від інновацій, орієнтованих на споживання і, перш за все, програмного забезпечення та зацифрування[10].

Глибокі технологічні новатори та стартапи з інтенсивними трансформаційними технологіями, які допомагають нам вирішувати наші проблеми (там само). У цьому контексті Габріель наголошує на апаратно-компетентних галузях, які є також є основою портфолію німецьких технологій, наприклад, верстатобудування та автомобільна промисловість, а також хімічна промисловість. Поєднання промисловості з (не)університетськими дослідницькими установами (Макс Планк, Гельмгольц, Фраунгофер) і (фінансовими) установами, такими як KfW, також прямо наголошується

комісаром ЄС. Мета – сформувати загальноєвропейську інноваційну екосистему, який є результатом об'єднання локальних і регіональних екосистем.

За словами Уповноваженого, поєднання наукової експертизи та налагодженого апаратного забезпечення індустрії мають зробити ЄС піонером нової, четвертої хвилі інновацій, щоб задовольнити нагальність виклики постпандемічного здоров'я та будівництва, зелених змін і технологічного суверенітету.

Проголошений слоган знову підкреслює апаратну складову, від бітів до бітів і відповідно до ЄС, цей підхід, який відходить від суто цифрових інновацій до поєднання цифрового й аналогового, також охоплює сферу соціальних інновацій (Merx & Sievers 2020: 30). Це контрастує з аналізом Botthoff та інші (2020: 3), які наголошують на необхідності Індустрія 5.0: політика, орієнтована на цінності та місію ІКОМ WP2/2022 20.

Між та міждисциплінарні підходи, але також стверджують, що інноваційний дискурс, а також цілі та перспективи розвитку інноваційної системи будуть все більше керуватися інформацією, що вони виправдовують успіхом концепції Industrie 4.0.

10 березня 2020 року Комісія заклала основу для промислової стратегії, яка підтримає перехід до зеленої та цифрової економіки, зробить промисловість ЄС більш конкурентоспроможною в усьому світі та посилить відкриту стратегічну автономію Європи. Комісія наголосила на початку, що Європа завжди була домом для промисловості, стала піонером промислових інновацій. Підкріплений завдяки сильному єдиному ринку європейська промисловість вже давно є двигуном економіки, забезпечуючи стабільні засоби до існування для мільйонів людей і створення важливих соціальних центрів у наших громадах. Дозволити європейській промисловості залишатися в авангарді цифрової та екологічної трансформації[8] та відновити та підвищити свою конкурентоспроможність навіть після завершення пандемії Корона, Європейська комісія оновила свою промислову стратегію та опублікувала її в травні 2021 року. Промислова стратегія також стосується цілей

конкурентоспроможності, кліматичної нейтральності та цифровізації. Однак пандемія Covid-19 додала ваги цим амбіціям. Однак перші промислові стратегії передувала назва Зелена угода, яка також була опублікована першою.

У 2019 році Європейська комісія представила Green Deal, свій план створення Європейського Союзу Кліматично нейтральний до 2050 року. Як Neuhoff та ін. (2021) зазначають, що вже існують інноваційні, кліматично нейтральні технології, які зазвичай базуються на електрифікації, екологічному водні або використанні біомаси. Але автори бачать два виклики, які необхідно вирішити: Нові технології є і, ймовірно, будуть залишаються дорожчими, ніж звичайні методи та процеси, як з точки зору інвестицій, так і з точки зору експлуатації. Крім того, вони потребують великої кількості енергії. З цієї причини, а також через обмежену доступність потенціалу відновлюваної енергії, успішний перехід вимагає матеріальної ефективності та циклічної економіки, щоб зменшити попит на первинне виробництво основних матеріалів. Це зменшує потреби в енергії та витрати на первинне виробництво, одночасно зміцнюючи стійкість ланцюжків доданої вартості через менші потреби в ресурсах (ibid. 74). Трансформація економіки до більш екологічної версії означає переорієнтацію всіх секторів і всіх учасників, від державного до приватного та громадянського суспільства. Для цього потрібен новий інструментарій; той, який більше базується на формуванні ринку та спільному створенні ринку (Mazzucato 2017; Kattel та ін. 2021). Паралельно із запуском Green Deal Європейська комісія негайно почала розглядати, як прийняти промислову стратегію це сприяло б конкурентоспроможності ЄС і підтримувало б самопризначену геополітичну роль Комісії шляхом посилення стратегічної автономії (Renda & Schhaus 2021: 2). Навесні 2020 року, коли пандемія Covid-19 вже була головною у громадському порядку денному, Європейська комісія прийняла повідомлення [6]. Нова промислова стратегія для Європи 11. Це було зосереджено на подвійному переході зеленого та digital і стверджував, що це буде унікальна можливість для ЄС підтвердити свій голос, відстоювати свої цінності та боротися за рівні умови гри, додавши, що це

стосується суверенітету Європи (там же). На думку Європейської комісії, промисловість повинна відігравати провідну роль у допомозі ЄС досягти кліматичної нейтральності до 2050 року, включаючи всі існуючі та майбутні ланцюжки створення вартості, задіяні через проактивну політику, спрямовану на стимулювання провідних ринків (ibid.: 5). Європейській комісії потрібно буде розробити чіткі та комплексні показники, що відображатимуть економічні, соціальні, екологічні та Промисловість 5.0: політика, орієнтована на цінності та місію ІКОМ WP2/2022 21 стовпи управління переходу навіть до промисловості 5.0, зосередженої на добробуті (і, отже, серед іншого про альтернативні показники ВВП), про стійкість (як подальше удосконалення першої інформаційної панелі, розробленої Спільним дослідницьким центром), і про стійкість (Renda 2021: 137). Європейська комісія вважає промисловість основою своєї стратегії: Індустрія 5.0 визнає силу промисловості досягати суспільних цілей, окрім створення робочих місць і зростання, щоб стати стійким постачальником процвітання, змушуючи виробництво поважати кордони нашої планети та забезпечуючи добробут працівників промисловості в центрі виробничого процесу (Європейська комісія 2021: 14).

Пандемія COVID-19 все ще є серйозною проблемою для урядів у всьому світі – від надання підтримки доходів громадянам і допомоги компаніям, що переживають труднощі, до зміцнення медичних послуг на передовій лінії (Kattel et al. 2021). У Німеччині нова програма промислової стратегії уряду Nationale Industriestrategie 2030, започаткована у 2019 році, здається вже застарілою через політику боротьби з COVID-19 (Kattel та ін. 2021: 3). У аналітичній записці ESIR у січні 2022 року Європейська комісія підкреслює, що криза Covid-19 чітко дала зрозуміти, що покладаючись на парадигму, орієнтовану на зростання, засновану на видобутку вартості, високоенергоємних, масово марнотратних і забруднюючих матеріалах і ресурсах, а також дуже короткостроковий підхід до капіталізму не допоможе світові досягти сталого розвитку у спосіб, який поважає планетарні кордони (Європейська Комісія 2022). А пандемія COVID-19 інтенсивно поставила нові

питання щодо майбутнього іміджу інноваційних екосистем, відносин між основними суб'єктами інноваційної діяльності та викликів, з якими їм потрібно зіткнутися, щоб швидко перейти до нових режимів роботи, пов'язаних із цифровізацією, і стати стійкі організації. Глобальна криза також прискорила широкі дебати щодо пов'язаних злих і складних проблем і викликів під назвою Цілі сталого розвитку, які набрали обертів – зелений і цифровий стали великими ідеями та лейтмотивами цих дебатів (Carayannis & Morawska-Jancelewicz 2022). Для Німеччини Kattel et al. (2021: 5) дійшли висновку, що COVID-19 змусив німецьку економічну політику переглянути деякі її основи. Автори резюмують[4], що економічна політика, яка відповідає викликам 21-го століття, повинна прагнути формувати ринки для вирішення основних суспільних викликів, координувати широкий спектр політичних зусиль і ринків для отримання стійких і інклюзивних результатів, а також прагнути зробити стрибок до майбутніх трансформаційних технологій ( ibd.). Інноваційна політика та промислові стратегії пропонують можливості структурувати стратегічні інвестиції та втручання для підтримки інноваційного економічного зростання під час відновлення після економічної кризи, спричиненої пандемією COVID-19 (Mazzukato & Dibb 2021: 1). Для Європейської комісії (2022: 4) роль промисловості є ключовою. У міжнародному масштабі з кінця 1990-х років відбулося повернення промислової стратегії та інноваційної політики, а також усеосяжного зосередження на тому, як економічне зростання може бути забезпечене за допомогою інновацій. Це тим більше важливо зараз, коли країни намагаються стимулювати економічне відновлення в епоху після пандемії (Mazzukato & Dibb 2021: 2). Коаліційний склад нового уряду Німеччини, обраного наприкінці 2021 року, демонструє основну увагу до досліджень, науки, розвитку та інновацій (Vanholzer 2022a).

У межах бачення конкурентоспроможності Європейська комісія розглядає промисловість як головну дійову та рушійну силу для системної трансформації та відродження планети. Оскільки в очах Генерального директорату з досліджень та інновацій ЄК парадигма Промисловість 4.0

структурно узгоджена лише з оптимізацією бізнес-моделей і виробничих процесів із технічним фокусом на зниженні витрат, ця парадигма не може бути основою процесу трансформації (Європейська комісія 2022: 5). На рисунку 1.5. зображено порівняння двох парадигм Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0.

Індустрія 4.0	Індустрія 5.0
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Зосереджено на підвищенні ефективності завдяки цифровому зв'язку та штучному інтелекту</li> <li>• Технологія – зосереджена навколо появи кіберфізичних цілей</li> <li>• Узгоджено з оптимізацією бізнес-моделей в рамках існуючої динаміки ринку капіталу та економічних моделей - тобто в кінцевому підсумку спрямовано на мінімізацію витрат і максимізацію прибутку для акціонерів</li> <li>• Відсутність акценту на параметрах дизайну та продуктивності, необхідних для системної трансформації та відокремлення використання ресурсів і матеріалів від негативних екологічних, кліматичних і соціальних впливів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Забезпечує структуру для промисловості, яка поєднує конкурентоспроможність і стійкість, дозволяючи промисловості реалізувати свій потенціал як одного зі стовпів трансформації</li> <li>• Наголошується на впливі альтернативного способу (технологічного) управління на стійкість і стійкість</li> <li>• Розширює можливості працівників завдяки використанню цифрових пристроїв, схвалюючи орієнтований на людину підхід до технологій</li> <li>• Будує шляхи переходу до екологічно стійкого використання технологій</li> <li>• Розширює сферу відповідальності корпорації на весь ланцюжок створення вартості</li> <li>• Представляє індикатори, які показують для кожної промислової екосистеми прогрес, досягнутий на шляху до добробуту, стійкості та загальної стійкості.</li> </ul>

Рисунок 1.5 – Порівняння парадигм Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0 в інтерпретації Європейської Комісії.

Нова промислова стратегія, орієнтована на майбутнє, має включати регенеративні особливості промисловості трансформація, за своєю суттю соціальний вимір і обов'язковий екологічний вимір – що можна підсумувати як орієнтацію на місію або нормативний підхід для функціональних і фрагментарно диференційованих суспільств. Підхід Індустрія 5.0 має критичні наслідки для промислової стратегії ЄС, написаної в цілому, і враховує останні знання та уроки, отримані в результаті пандемії COVID-19, а також фундаментальну потребу у створенні стійкості в ланцюжках створення вартості та забезпеченні життя людей і засоби до існування, живучи в межах планети (Європейська комісія 2022: 6). Промислова система, яка є більш стійкою до майбутніх потрясінь і може інтегрувати соціальні та екологічні принципи має дотримуватися набагато ширшої стратегії, ніж може запропонувати загальне розуміння Індустрії 4.0. Навіть дедалі популярнішим є поняття капіталізму зацікавлених сторін, яке слідує за корпоративною відповідальністю концепції

для забезпечення врахування всіх відповідних інтересів, представлених у фірмі, недостатньо для забезпечення повного переходу до промисловості 5.0 (Європейська комісія 2022: 7.). Індустрія 5.0 зосереджена навколо трьох взаємопов'язаних основних цінностей: орієнтації на людину, стійкості та стійкості, і, отже, це не революція, спричинена технологіями, а ініціатива, яка стимулює технологічну трансформацію. На рисунку 1.6 зображено сучасні технології Індустрії 5.0, а також нові виклики.

Промислові технології 5.0	Нові виклики для промисловості 5.0
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Індивідуалізовані технології взаємодії людини та машини, які взаємопов'язують і поєднують сильні сторони людини та машини.</li> <li>• Технології, натхненні біологією, і розумні матеріали, які дозволяють використовувати матеріали з вбудованими датчиками та розширеними функціями, придатні для перероблення.</li> <li>• Цифрові двійники та симуляція для моделювання цілих систем.</li> <li>• Технології передачі, зберігання та аналізу даних, здатні обробляти дані та взаємодію систем.</li> <li>• Штучний інтелект для виявлення, наприклад, причинно-наслідкових зв'язків у складних динамічних системах, що веде до ефективного інтелекту</li> <li>• Технології енергоефективності, відновлюваних джерел енергії, зберігання та автономності</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Соціальна неоднорідність з точки зору цінностей і прийняття.</li> <li>• Вимірювання формування екологічної та соціальної цінності</li> <li>• Інтеграція від клієнтів по всьому ланцюжку створення вартості до МСП</li> <li>• Міждисциплінарність дослідницьких дисциплін і системна складність</li> <li>• Екосистемно-орієнтована інноваційна політика з гнучкою орієнтацією на результат</li> <li>• Потрібна продуктивність, при цьому потрібні великі інвестиції</li> </ul>

Рисунок 1.6 – Сучасні технології та нові виклики Індустрії 5.0

### 1.2.3. Від суспільства 5.0 до промисловості 5.0 – майбутнє Європи

Природа трансформації, необхідної для використання повного потенціалу Індустрії 5.0, є системною. І тому системний підхід Промисловість 5.0 також вимагатиме перебудови політики, що включає усунення поточної політики та галузевих розбіжностей (Європейська комісія 2022: 10) і реалізує відповіді на нові вимоги до уряду, державної політики та взаємодії між промисловістю та державою. Carayannis і Morawska-Jancelewicz (2022: 3) зазначають, що Індустрія 5.0 і Суспільство 5.0 мають потенціал генерувати нові цінності для економіки, суспільства та природного середовища та будувати нову систему (еко)інновацій, яка сприятиме системному розвитку. відкриті, соціальні, цифрові, технічні інновації для людей[9]. Автори підкреслюють, цей процес можливий всередині моделі інновацій із четвірною/п'ятірною спіраллю

(Q2NM), де університети як рушії знань і якорі інновацій відіграють вирішальну роль в організації процесу інновацій і прагнуть до змін (там же). Взаємозв'язок між Індустрією 4.0, Індустрією 5.0, а також Суспільством 5.0 зображено на рисунку 1.7.

	Виміри знань	Індустрія 4.0	Суспільство 5.0	Індустрія 5.0
Потрійна спіраль	Відносини між університетом, промисловістю та владою Економіка знань.	Техноцентричний		
Четверта спіраль	Суспільство та суспільство, засноване на медіа та культурі. Суспільство знань, демократія знань		Людиноцентричний	
П'ятикратна спіраль	Природне середовище, природне середовище суспільства Соціальна екологія			Збалансований технічно та орієнтований на людину

Рисунок 1.7 – Взаємозв'язок між Індустрією 4.0, Суспільством 5.0 та Індустрією 5.0

Дивлячись на політику досліджень та інновацій, Караянніс і Моравська-Янцелевич (там само) посилаються на Mazzukato (2017 та 2018) та її концепцію місійно-орієнтованих інновацій, які допомагають покращити добробут суспільства, міждисциплінарних соціальних інновацій, міжгалузевих та між факторних інновацій, включаючи важливу роль громадян як активних учасників інноваційного процесу. Як обговорювалося вище, Індустрія 4.0, Суспільство 5.0 і Індустрія 5.0 іноді використовуються як синоніми, іноді вони створюються як еволюційну лінію або мати ділянки, що перекриваються. Караянніс і Моравська-Янцелевич (2022: 7) використовують концепцію спіралі для пояснення зв'язку. Індустрію 5.0 можна розглядати як концепцію, яка реалізує баланс між техно центричним і людиноцентричним підходами.

Промисловість 5.0 у двох словах потребує уряду 5.0, так стверджує

Європейська комісія (2022). Зважаючи на описані вище парадигми суспільства в одночасній функціональній та фрагментарній диференціації, від держави, влади та політики також потрібні адекватні, нові можливості реакції та дії. Індустрія 5.0 вимагає нової політики та інструментів політики, нових партнерств, і нові цілі політики, що впливає на промисловість. Крім того, портфоліо підхід до дослідження і потрібні інноваційні проекти в поєднанні з готовністю та повноваженнями йти на обґрунтований ризик – у шляхах розвитку та фінансуванні. Інший момент – це спритність, у вигляді здатності та швидко розподіляти та перерозподіляти бюджетні та інші ресурси, а також у вигляді вдосконаленої здатності швидко реагувати на зміни обставин. І останнє, що не менш важливо, це вимагає здатності пов'язувати процеси політики, сфери політики та рівні управління більш ефективним і зручним способом із користувачами. Тут визначені як промисловість, громадяни та інші зацікавлені сторони. Це відповідає вимогам ідей технологічного уряду (Banholzer 2022a). Поняття спритності, гнучкості, управління, свобода, креативність, експериментування та індивідуальність, які переважають у технологічній концепції уряду – на відміну від підходу суверенітету – також є основою Індустрії 5.0. Німецька комісія експертів EFI також визначає вимоги до спритності в політика та адміністрування, зокрема для політики R&I (EFI 2021: 46). Ці характеристики нинішнього часу – задовго до того, як прийшла пандемія Covid-19 – це невизначеність, нестабільність і швидкі зміни. Це вимагає певної плинності ресурсів, стратегічної гнучкості та лідерства серед громадськості секторі, що суперечить існуючим бюджетним процесам, структурам стимулів, компетенціям та інституційній жорсткості, які характеризують сьогоденне формування політики (Європейська Комісія 2022: 15). Прийняття рішень у державному секторі та процеси не синхронізовані з темпом, швидкістю та невизначеністю і імператив трансформації (Європейська комісія 2022: 14). Потреби у виробленні політики:

– більше усвідомлення того, як досягти розуміння, блокування адреси та подолання інерції;

моделей, політик і процесів, які перешкоджають необхідним і бажаним змінам,

- краще управління політичними процесами, які стикаються з новими суб'єктами, що підривно змінюють систему і рішення;

- адекватно реагувати на нових акторів і рішення;

- керувати багатьма державними установами з різним досвідом і відповідальністю, не беручи на себе жодної відповідальності за те, що загальні процеси є ефективними, синергічними та відповідними за часом;

- нові форми державного фінансування досліджень та інновацій для створення нових, стійких економічних моделей, нових ринків та промислових екосистем;

- позбутися свого поточного несприйняття ризику.

Інший момент – це питання управління. Управління можна визначити як сукупність інституційних заходів для координації колективних дій. Відповідно, управління описує процеси неієрархічної координації дій у складних і часто поліцентричних структурах прийняття рішень. У цьому питанні беруть участь як державні, так і суспільні актори. Це означає зміну парадигми, що можна розглядати як наслідок розуміння того, що держава як формальна контрольна інстанція може лише досягати цілей у переговорах з іншими учасниками більшої мережі. Завдяки мережі, переговори та угоди між акторами, а також залежність політики від громадської думки, спілкування та дискурс стають все більш важливими. Процеси управління сучасність численних акторів з різними інтересами не лише демонструватиме характеристики співпраця та пошук консенсусу. Скоріше можна припустити, що розбіжності інтересів або різна вага бажань і страхів призведуть до розбіжностей і конфліктів, які будуть вирішені в дискурсі і, таким чином, також сформулюють процес управління (пор. Viehöver 2014). З іншого боку, традиційне, неоліберальний поділ бізнесу та держави, яке приймає політику лише як рамку сеттер, призвело до того, що компанії не висловлювали себе політично поза межами власних економічних інтересів. Це змінюється з огляду на зростаючу важливість мережевих структур, зростаючі фрагментарно диференціація, а також зростаючі вимоги до

компаній щодо поведінки в соціальному контексті як створення суспільства (Drucker 2002).

Протягом багатьох років політична нейтральність була передумовою для компаній і брендів, особливо у зовнішніх комунікаціях через рекламу, зв'язки з громадськістю чи маркетинг. Щоб визначити курс на системну трансформацію, не лише політика має змінити свої параметри, а й корпорації мають змінити свої мислення та орієнтувати свої дії на цілі Індустрії 5.0. Тут виникає зміна парадигми, а корпорації розуміють себе як корпоративних громадян (Kemming & Rommerskirchen 2019). Прикладами активного позиціонування є заяви генерального директора Siemens AG Джо Казера або генерального директора Telekom Тіма Хеттгеса, які обидва чітко позиціонували себе проти політичної правої партії AfD. Ще у 2016 році з'явився Дітер Цетше, тодішній генеральний директор автовиробника Daimler.

Іншим прикладом є реакція Siemens AG на протести Fridays-for-Future у 2020 році. У січні у 2020 році тодішній виконуючий обов'язки генерального директора Siemens AG Джо Кезер запропонував кліматичній активістці Луїзі Нойбауер місце в наглядовій раді (пор. серед іншого Nörner 2020). Реакції в ЗМІ, суспільстві і політика були численними та широкими у своїй оцінці. Зараз вважається само собою зрозумілим, що компанії пишуть звіти про сталий розвиток і публікують їх як частину своєї комунікації з КСВ, але пропозиція промисловою компанією провідній фігурі руху Fridays for Future наразі є унікальним. Цей приклад Siemens і Fridays for Future вказує на підвищену увагу та мобілізацію спроможності груп зацікавлених сторін, а також щодо промислових компаній, які згодом повинні брати участь у проблемно-орієнтованому діалозі з цими групами. У згаданому випадку участь Siemens AG у проекті будівництва вугільної шахти в Австралії викликала критику з боку екологічних асоціацій, а також групи Fridays-for-Future[11]. У конфліктній суперечці генеральний директор Siemens Джо Кезер запропонував Луїзі Нойбауер, видатний представник руху Fridays for Future, скористався можливістю на важливу роль у Siemens. Кезер запропонував їй місце в

наглядовій раді Siemens Energy AG, яка засновувалась на той час, у січні 2020 року. Конкретна посада чи у наглядовій раді чи в іншому органі Нойбауер могла вирішувати сама, відповідно до цього Kaeser. Кезер підкреслив на прес-конференції, що хоче, щоб молоді люди могли брати активну участь. Треба було розв'язати конфлікт молодих і старих 12. Однак компанія водночас підкреслила, що вихід з існуючих контрактів, які були причиною протестів, без подальших слів було б неможливо.

Зокрема, компанія Siemens поставити систему сигналізації поїздів для запланованої великої вугільної шахти в Австралії. Дія Сіменса бос був розкритикований 13 більшістю як нахабна пропозиція або як піар-хід і шкода комітетів, але була також оцінка, що це слід трактувати як наближення до критиків. Зрештою Нойбауер відхилив пропозицію 14, а Siemens також залишив свою позицію, згідно з якою він повинен виконувати існуючі контракти.

Приклад Siemens AG та її участі в Fridays for Future ілюструє дилему, з якою стикається промислові компанії. З одного боку, вони пов'язані контрактами та хочуть їх виконувати економічна максима, з іншого боку, ці види діяльності спостерігаються більш уважно і часто стають предметом гучних суперечок про соціальну та екологічну відповідальність. У цьому конкретному випадку дилема була вирішена парадоксом. Пропозиція Сіменс щодо участі Луїзі Нойбауер була достатнім доказом стратегії корпоративного громадянина та забезпечувала досягнення економічних цілей корпорації. Відповідно до категорій Блюдорна, це не слід оцінювати як символічну (корпоративну) політику, а як симулятивну (корпоративну) політику, це невіддільна (частина/ознака) частина соціальних дискурсів третьої модерності. Дотримуючись концепції симуляції Бодрійяра, Блюдорн (2013: 176) говорить про симулятивну демократію, яка сприймає цінності другої модерності суто дискурсивним шляхом і поєднує їх із фактично протилежними орієнтаціями третьої модерності. Це описує соціальну практику, яка дискурсивно приймає політично та демократично бажаний зміст, такий як участь та обговорення

цінностей (тобто характеристик другої модерності), симулюючи їх до такої міри, оскільки їх конкретна реалізація несумісна з домінантним змістом третьої модерності.

Європейська комісія (2022: 18) стверджує, що потрібна нова європейська модель підприємства, у якій корпоративний прогрес і продуктивність вимірюються узгоджено з роллю, яку очікується відігравати бізнес у цьому амбітному трансформаційному плані. Необхідно, щоб правління компаній інтегрувало аспекти сталого розвитку в бізнес-стратегію та встановлювало вимірні, конкретні, обмежені в часі та науково обґрунтовані цілі сталого розвитку для вимірювання прогресу в досягненні цих цілей (там же). Шляхом запровадження правової бази, мінімальних стандартів та сертифікації/маркування, нефінансової звітності щодо сталого розвитку, обов'язкової належної перевірки та бізнес-моделі або стратегічних інновацій, щоб зробити КСВ ефективним інструментом, який гарантує, що компанії не лише діють у спосіб максимізації прибутку, але й належним чином враховують соціальні/екологічні/загальні інтереси як частину своєї ліцензії оперувати (там же). За словами Друкера, компанію слід розглядати як витвір суспільства та національної економіки (Drucker 2002: 57), обидва з яких здатні швидко припинити існування компанії, якщо поставити під сумнів толерантність, враховуючи відсутність необхідності і корисності. Без а суспільна ліцензія на діяльність, існування компанії знаходиться під загрозою (Sandhu 2020: 2). У цьому контексті суспільство не розуміється як абстрактна сутність, а конкретизується через конкретні констеляції зацікавлених сторін (Sandhu 2020:3). Легітимність – це приписування середовища та таким чином предмет комунікативних переговорних процесів, тобто соціально та політично релевантні теми, повинні бути розглянуті та оброблені компаніями. З цієї причини політику чи навіть суспільство просять встановити нормативні рамки, в яких корпорації можуть слідувати своїм бізнес-цілям.

Відсутність оцифрування, нестача вчителів, погано підтримана інфраструктура в деяких областях і відсутність дидактики в предметних

галузях, орієнтованих на майбутнє, — це лише кілька ключових моментів, які підкреслюють необхідність наздоганяти. Якщо ЄС встановлює пріоритети в напрямку цілісної концепції Індустрії 5.0, то системи навчання також повинні бути розглянуті. Щоб відповідати кваліфікації та навичкам Індустрії 4.0, Освітні системи Суспільство 5.0 та Промисловість 5.0 мають розвиватися та враховувати кілька перспективних тенденцій. Системи освіти мають забезпечити (Nafea & Toplu 2020; Carayannis & Morawska-Jancelewicz 2022; Vanholzer 2022b):

- можливості навчатися в різний час і в різних місцях;
- персоналізоване навчання з урахуванням можливостей студента;
- використання нових засобів навчання, засобів і ресурсів;
- віддалені інженерні лабораторії;
- впровадження проектного та проблемного підходів до навчання;
- використання експериментального та спільного навчання;
- залучення студентів до розробки навчальних програм;
- посилення наставницьких підходів;
- розвиток соціальних інновацій через підходи третьої місії;
- кластероцентричні та регіональні проекти;
- навчальні фабрики та простори для реальних експериментів (для перевірки результатів технологій і соціальних діяльності);
- міждисциплінарне та міжкультурне розуміння систем;
- розвивати навички, необхідні для співпраці та спілкування в гетерогенних групах на складні завдання.

Як стверджувалося вище, Четверта промислова революція характеризувалася технократичною парадигмою, а також дискурси, зосереджені на оптимізації та ефективності. Тому соціотехнічний вплив у промислових умовах зазвичай не звертали уваги (Longo, Francesco & Umbrello 2020). Оскільки Індустрію 5.0 можна описати як нормативний підхід, інновації, результати досліджень і розробок також необхідно оцінювати з етичної точки

зору. Однак це не обмежується оцінкою результатів, а й етапами розробки. Це означає, що етичний, технологічно-етичний і етичний підходи до оцінки технологій мають бути інтегровані. Окрім класичної ТА, інші дисципліни також залучені до оцінки ефектів технологій. Це також включає такі підходи, як науково-технічні дослідження, орієнтовані на соціальні науки (STS) або відповідальні дослідження та Інновації (RRI). Особливо щодо Індустрії 5.0 ці підходи набувають все більшого значення, оскільки їм притаманна нормативна складова. Дискусії щодо відповідальних розробок та інновацій можна простежити до початку 2000-х років, навіть якщо термін RRI з'явився лише приблизно у 2021 році (пор. van de Poel et al. 2020). На цей час не має значення, чи базується RRI на СТА, чи виник з нього. У будь-якому випадку, близькість цих концепцій чітко впізнається (пор. Sand 2021), так що обидві вони також можуть бути використані для впровадження концепцій Індустрії 5.0.

Корнелія Конрад (2021) підкреслює, що СТА зосереджується на процесах розвитку технологій і соціальному впровадженні технологій та інновацій. Центральне питання полягає в тому, як ці процеси можна спланувати таким чином, щоб досягти соціально бажаних і очікуваних ефектів. Цей підхід базується на так званій дилемі Коллінґриджа, яка описує той факт, що на ранніх фазах розвитку є багато свободи дій, але доступно мало знань про ефекти, на пізніших фазах є багато знань і знань про шлях залежності та ефекти, що простір для маневру невеликий або дорогий (Konrad 2021: 210). Політика та регулювання розглядаються як актори кілька акторів у плюралістичній мережі. Усі учасники аналізуються та інтегруються у відповідні, законні індивідуальні позиції. Усі інші не визнають і не розуміють позиції інших учасників мережі. Незважаючи на обмежені можливості прогнозування, коеволюційні процеси генезису технології та її соціального впровадження відбуваються за закономірностями, на які можна впливати.

RRI – це прозорий, інтерактивний процес, у якому соціальні суб'єкти разом із суб'єктами інноваційної системи розмірковують про інноваційні процеси та продукти, що впливають із них, з огляду на їх (етичне) прийняття,

стійкість і соціальну бажаність для досягнення кращого забезпечити впровадження науково-технічного прогресу в суспільство. 19 Через ранню участь і (міждисциплінарна) співпраця між дослідниками, політиками, компаніями, організаціями громадянського суспільства та громадянами, дослідження та інновації мають бути узгоджені з цінностями суспільства. Термін RRI стає все більш важливою фразою в політичних наративах, особливо в програмі ЄС Горизонт 2020. RRI прагне узгодити технологічні інновації з ширшими соціальними цінностями та підтримує прийняття інституційних рішень щодо траєкторій досліджень та інновацій в умовах невизначеності, двозначності та невігластва (Форсберг та ін. 2018). Загальновідомо, що RRI – це інтерактивний процес, який залучає соціальних акторів, дослідників та інноваторів, які повинні взаємно реагувати та працювати над етичною допустимістю дослідження та його продуктів (Stahl et al. 2021). Структура RRI вимагає контекстної адресації, а не просто вплив досліджень та інновацій, але також фон дослідницьких процесів і особливо суспільні бачення, що лежать в їх основі, і навіть норми, пріоритети та цілі, які формують інноваційні програми (ibd.). Сампат і Харгонекар (2018) стверджують, що технологічне товариство все ще відчуває недостатню обізнаність, відповідальність і відповідальність за широкий набір соціально-економічних проблем, пов'язаних зі штучним інтелектом, автоматизацією та робототехнікою. У своїй концепції SRA (соціально відповідальна автоматизація) автори звертаються до автоматизації, орієнтованої на людину, і посиляються на підходи, які широко підкреслюють професійне, соціальне та економічне благополуччя людей у світі. Ключі RRI та розмірності процесів зображені на рисунку 1.8.

Ключі RRI	Розмірність RRI-процесів
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Етика</li> <li>• Гендерна рівність і різноманітність</li> <li>• Відкритий доступ і відкрита наука</li> <li>• Наукова освіта</li> <li>• Суспільна/громадська участь</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Антиципація та рефлексивність</li> <li>• Різноманітність та інклюзивність</li> <li>• Відкритість і прозорість</li> <li>• Чуйність</li> <li>• Адаптація</li> </ul>

Рисунок 1.8 – П'ять ключів і чотири вимірювання процесу RRI.

Зараз на порядку денному стоїть тема, яка ілюструє потреби в обговоренні етики та цінностей, яких суспільства хочуть дотримуватися. Чжу та ін. (2022) підкреслюють, що протягом останніх років ШІ продовжує демонструвати свій позитивний вплив на суспільство, хоча іноді з етично сумнівними наслідками. Як стверджує Хагендорф (2020), поточний бум ШІ супроводжується постійними закликами до прикладної етики. Тому нещодавно було розроблено цілу низку етичних принципів, які збирають принципи, яких розробники технологій повинні дотримуватися, наскільки це можливо. 20 I Zhu et al. (2022: 15) [12] сприяє тому, що невідповідальне використання штучного інтелекту починає мати руйнівний вплив на людство, не лише на захист даних, конфіденційність та упередженість, але й на трудові права та кліматичну справедливість. Хагендорф резюмує (2020: 113), що наразі етика штучного інтелекту в багатьох випадках зазнає невдачі, тому що етиці бракує механізму підкріплення, а відхилення від різних етичних кодексів не мають наслідків. Емпіричні експерименти показують, що ознайомлення з етичними принципами не має істотного впливу на прийняття рішень розробниками програмного забезпечення і на практиці етику штучного інтелекту часто вважають сторонньою, надлишковою або певним додатком до технічних проблем (ibid.). Для вирішення цих завдань автор пропонує перехід від більш деонтологічно орієнтованої етики, що обмежує дії, заснованої на універсальному дотриманні принципів і правил, до етичного підходу, що враховує ситуацію, заснованого на чеснотах і особистісних схильностях, розширенні знань, відповідальній автономії та свободі дій (там само: 114). Це описує принципи СТА та RRI як допоміжні процеси в розробці технологій, розробці та оцінці до прикладу в реальних лабораторіях.

Погляд на охорону здоров'я підкреслює те, що ці питання і ці виклики є досить своєчасними та актуальними. Системи штучного інтелекту все більше впроваджуються в лікарнях та охороні здоров'я загалом. Технологічні можливості медичного ШІ породили важливу етичну дискусію, яка в

основному зосереджується на технічних характеристиках медичного ШІ та вимогах до дизайну (Sand, Duran & Jong-sma 2022). Основними проблемами в цій дискусії є: як ці технології можуть бути розроблені для захисту конфіденційності, запобігання упередженості та забезпечення справедливості, забезпечення пояснюваності та забезпечення точності результатів? Розв'язання цих проблем часто шукають у проектуванні та функціонуванні самої системи ШІ, як описав Хагендорф (2020). Крім занепокоєння щодо їх відповідального проектування, медичні системи штучного інтелекту також викликають питання щодо обов'язків лікарів після впровадження та використання цих технологій (Sand, Duran & Jongsma 2022: 162). Автори звертають увагу на питання про те, як змінюються обов'язки лікарів із запровадженням медичного ШІ, і який набір компетенцій мають лікарі навчитися відповідально взаємодіяти з медичним ШІ? Іншим застосуванням інноваційної технології в охороні здоров'я та медицині є моделювання та використання цифрових двійників. Як зазначає Браун (2021), моделювання широко використовується в медицині. Новою новиною є можливість використання моделювання для отримання більш-менш репрезентативного відтворення органів або навіть цілих людей, які розглядаються та обговорюються як цифрові близнюки. Використання симуляції чи цифрові двійники, є кілька питань з етичним підтекстом. Центральним завданням, як підкреслює Браун (2021: 399), є проблема репрезентації людини за допомогою симуляції. Як можна гарантувати, що особа представлена у спосіб, який вона вирішить, і все ще має можливість керувати представленням у спосіб, який відповідає її бажанням і дозволяє їй самовизначатися? Наведені приклади, як штучний інтелект, що трансформує профілі роботи та обов'язки, так і вимоги до освіти медиків, а також цифрові близнюки як представлення пацієнтів, підкреслюють, що технології та інновації не можна просто розглядати як вдосконалення або поступовий прогрес у технології, але їх потрібно оцінювати. дивлячись на наслідки в роботах, профілях роботи, обов'язках тощо.

Успіх інновацій, трансформації чи технологічних змін все менше

залежатиме від технічної блискучості, а все більше й більше від економічних критеріїв і все більше від критеріїв, які іноді називають м'якими, такими як культурна відповідність, відповідність соціальним цінностям і стилю життя, і етична відповідальність, як стверджує Грюнвальд (2012а: 84). Як обговорювалося вище, очікування щодо штучного інтелекту або таких алгоритмів, як етичне та відповідальне проектування, залежать від дискурсу щодо бажаності шляхів розвитку та очікуваних результатів. Оскільки технологічні наслідки, як названо в дилемі Коллінґриджа, можна передбачити лише в різних точках із більшою чи меншою невизначеністю, їх слід обговорювати як сценарії, прогнози чи соціотехнічне майбутнє 21. Конрад і Бьоле (2019:101) зазначають, що соціотехнічне майбутнє є важливими елементами в управлінні інноваційними процесами – соціотехнічне майбутнє та широко обговорювані технологічні обіцянки, глибоко вкорінені соціотехнічні уявлення чи ретельно розроблені сценарії[11]. Соціотехнічне майбутнє як концепція ставитися до майбутнього, яке поєднує техно-науковий потенціал і перспективи з передбачуваними суспільними змінами та новими соціальними домовленостями (там же). Соціотехнічне майбутнє включає не лише об'єкти знань (наприклад, сценарії, дорожні карти, уявлення чи наративи), але й практики та процеси, які сприяють побудові соціотехнічного майбутнього, а також способи, якими вони впливають на інновації та процеси управління (там же).

Дискурси не є побічним продуктом, який просто коментує технології; радше, дискурси формують сферу технологій. Як обговорювалося вище, соціотехнічне майбутнє також інтегрує прогнози або уяви, які стосуються технічного та соціального контексту, як неявно, так і явно. Ці соціотехнічні-ф'ючерси створюються та використовуються різними учасниками процесу управління. Слідуючи дослідженню констеляцій акторів, слід також проаналізувати зміст і значення соціотехнічного майбутнього. Соціотехнічне майбутнє, як загальний термін для образів майбутнього, бачення технологій, сценаріїв або моделей, виражає політичні та економічні інтереси, бажання та

страхи відповідних виробників і користувачів. Конрад і Бьоле (2019: 102) підкреслюють, що обіцянки та ажіотаж щодо нових технологій, як було показано, мобілізують дослідників, акторів галузі, політиків і медіа рухатися та інвестувати в нові технологічні галузі, такі як нанотехнології, графен, синтетична біологія або Індустрія 4.0 і створювати альянси найрізноманітніших акторів із різним політичним і культурним середовищем. Обіцянки та ажіотаж можуть також викликати громадські дебати щодо бажаності того, що конкретні технології можуть мати на увазі для суспільства (там же). Таким чином, також завжди йдеться про конфлікт щодо того, хто збагачується, щоб брати участь у розробці майбутнього (пор. Felt: 2010: 26).

### 1.3 Висновки до першого розділу

В результаті аналізу предметної області було:

- проведено аналіз предметної області;
- розглянуто питання Індустрії 4.0, а також її концепції;
- більш детально розкрили питання вибору п'ятої промислової революції як сучасного підходу до виробництва;
- проаналізовано перехід та різницю між суспільством 5.0 до промисловості 5.0.

## 2 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ВІДСТЕЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЙ РУХУ НАЗЕМНИХ ОБ’ЄКТІВ

### 2.1 Модель системи відстежування траєкторій рухомих об’єктів

#### 2.1.1 Морфологічний опис системи

Морфологічний опис проблеми аналізу включає компонент як розгляд концепції зовнішнього середовища.

Зовнішнє середовище – це поєднання всіх об’єктів поза межами системи. Властивості цих об’єктів впливатимуть на систему, а властивості цих об’єктів змінюватимуться внаслідок поведінки системи.

Для опису функції моделі у зовнішньому середовищі див. рис. 2.1 надає модель типу чорний ящик.

Модель, позначена як чорний ящик, включає граничну модель, модель середовища, вхідні та вихідні дані.



Рисунок 2.1 – Модель типу системи «чорний ящик»

#### 2.1.2 Функціональна модель системи

Для того, щоб вирішити проблему відстеження траєкторії руху наземних об’єктів та сформулювати логіку та взаємодію процесу, необхідно використовувати графічний символ IDEF0 бізнес-процесу, який дозволяє чітко бачити ієрархічну структуру основних елементів при побудові системи рішень.

Найвищим рівнем системного моделювання в IDEF0 є рівень визначення контексту, який є найбільш абстрактним рівнем у всьому описі системи.

Контекст включає визначення теми моделювання, цілей та точок зору на модель 1. Для цього завдання:

- точка зору – дослідник;
- суб'єкт – данні траєкторії руху об'єкту;
- мета – аналіз параметрів траєкторії для визначення та прогнозування фактичної траєкторії руху об'єкта.

Контекстна діаграма IDEF0 описує функції системи в цілому рис.2.2.

Основне завдання – визначити справжню траєкторію руху об'єкта, яку виконує дослідник за допомогою комп'ютера. Інформаційні ресурси – це відомі методи вимірювання шумних вхідних даних про поведінку динамічної системи. В результаті роботи бажано отримати координати руху.

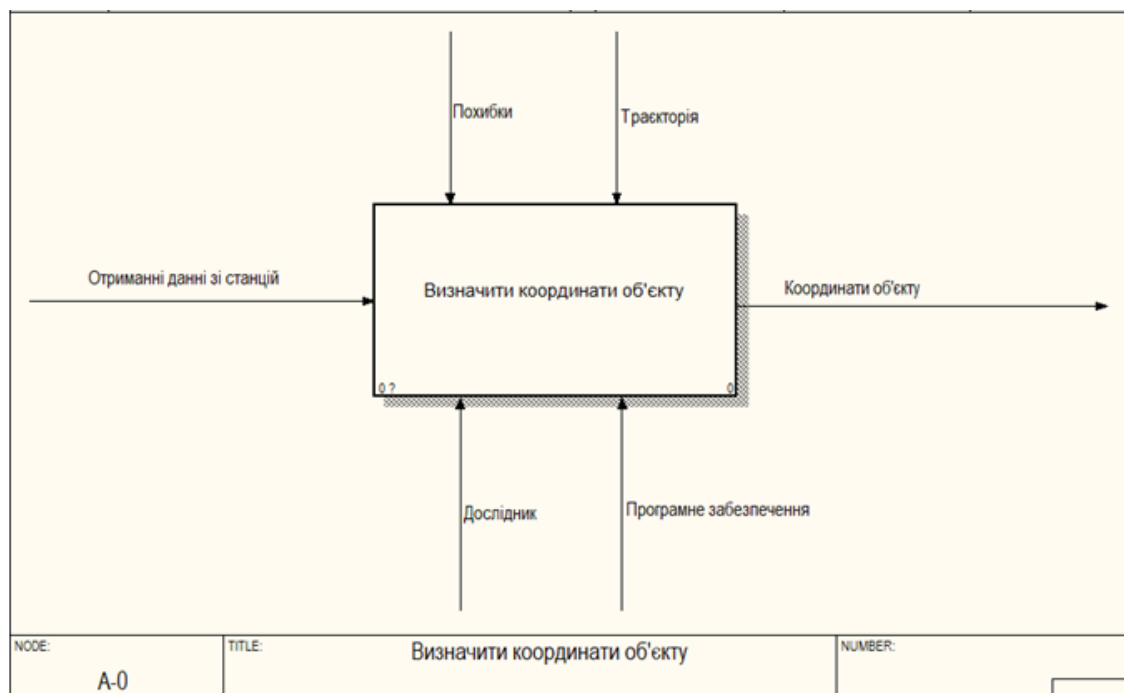


Рисунок 2.2 – Контекстна діаграма IDEF0 (рівень А-0)

Для деталізації контекстної діаграми виконується декомпозиція системи. Робота декомпозиції визначення координат об'єкта зображена на рис. 2.3.

Процес розділений на три завдання:

- зібрати данні;
- розробити програмну реалізацію;
- отримати результат;

Після декомпозиції контекстної діаграми проводиться декомпозиція кожного великого фрагмента системи на більш дрібні і так далі, поки не буде досягнутий необхідний рівень детального опису.

IDEF3 – це стандарт для системного аналізу, який використовується для реєстрації технічних процесів та операцій, визначених компаніями. Він надає наочні посібники та засоби моделювання програм. IDEF3 широко використовується при розробці інформаційних систем. Інструмент візуалізації бізнес-процесів BpWin використовується для створення комп'ютерних графічних зображень. Система описується як упорядкована послідовність подій.

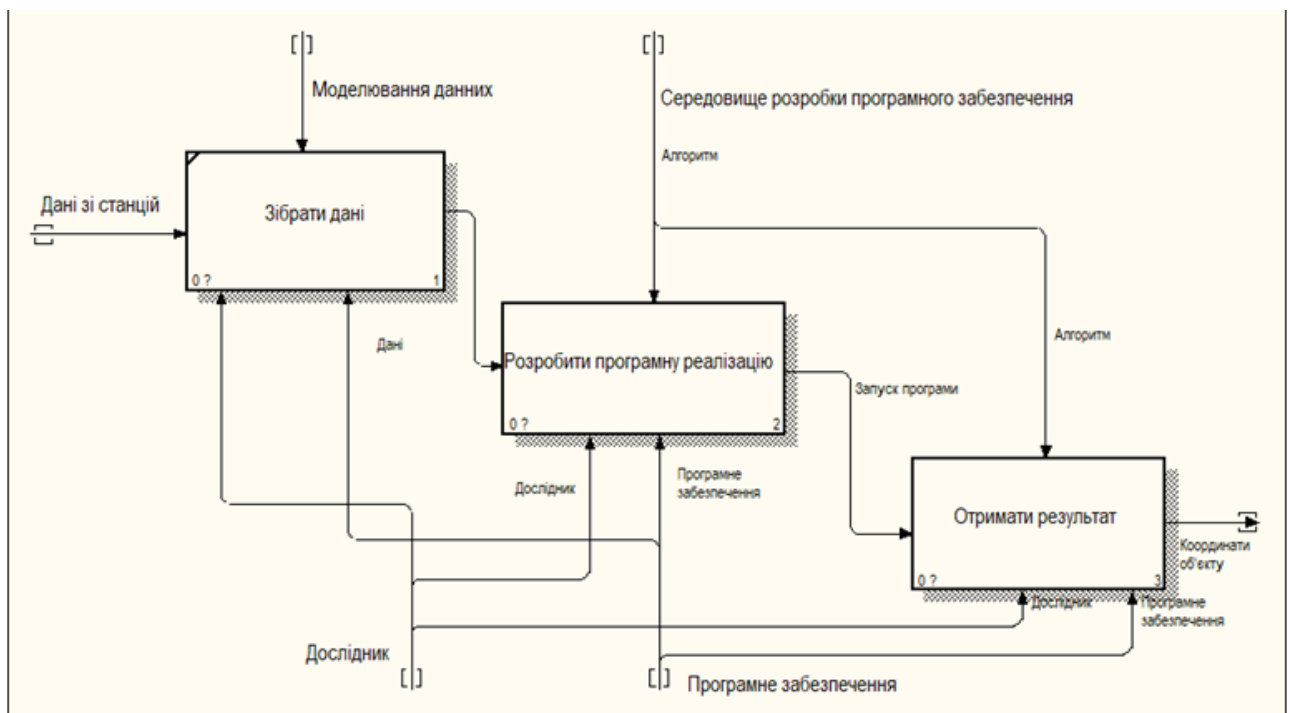


Рисунок 2.3 – Декомпозиція контекстної діаграми (рівень A0)

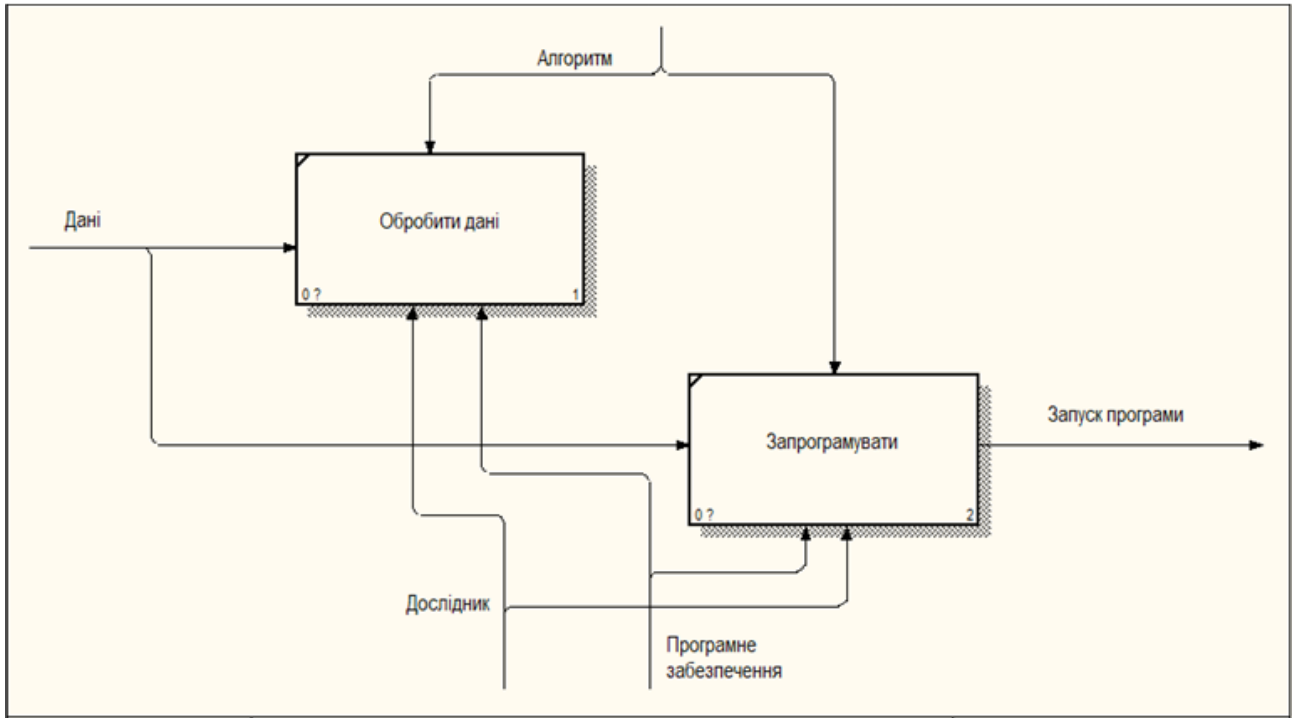


Рисунок 2.4 – Декомпозиція роботи Розробити програмну реалізацію (рівень А2)

Опис роботи у стандарті IDEF3 приведено на рисунках 2.5 – 2.8.

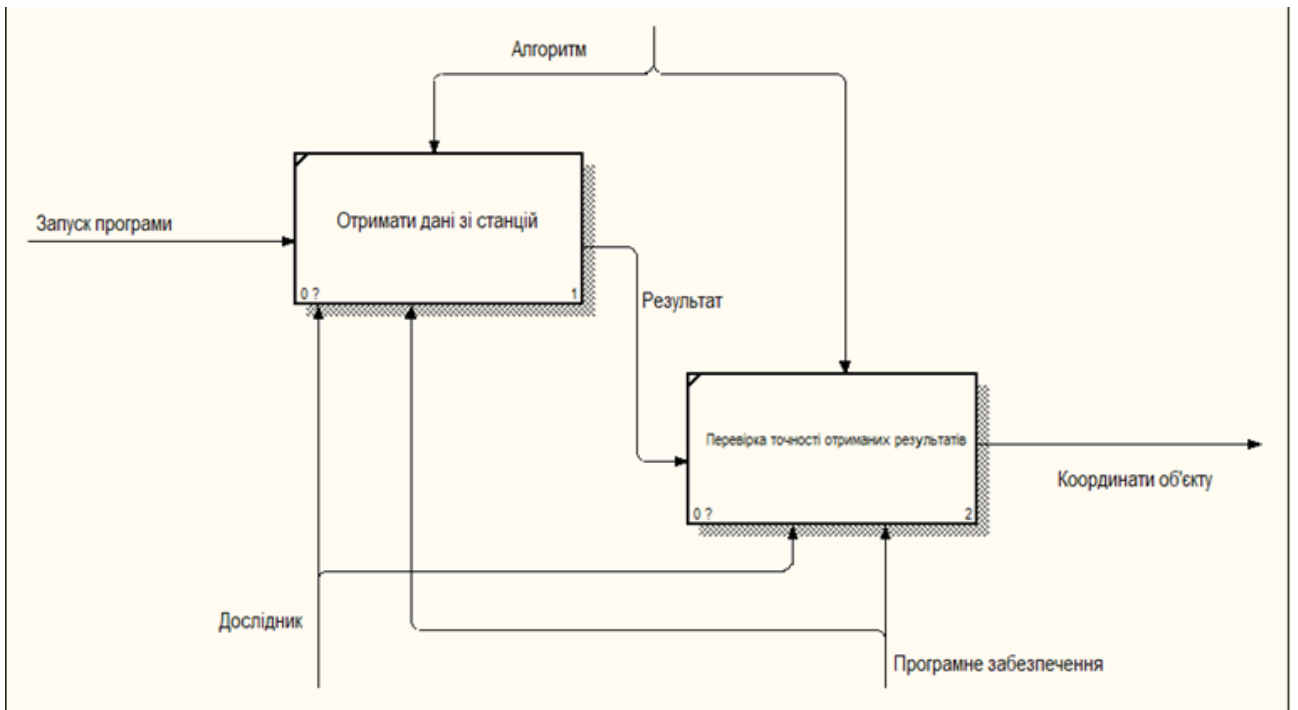


Рисунок 2.5 – Декомпозиція роботи Отримати результат (рівень А3)

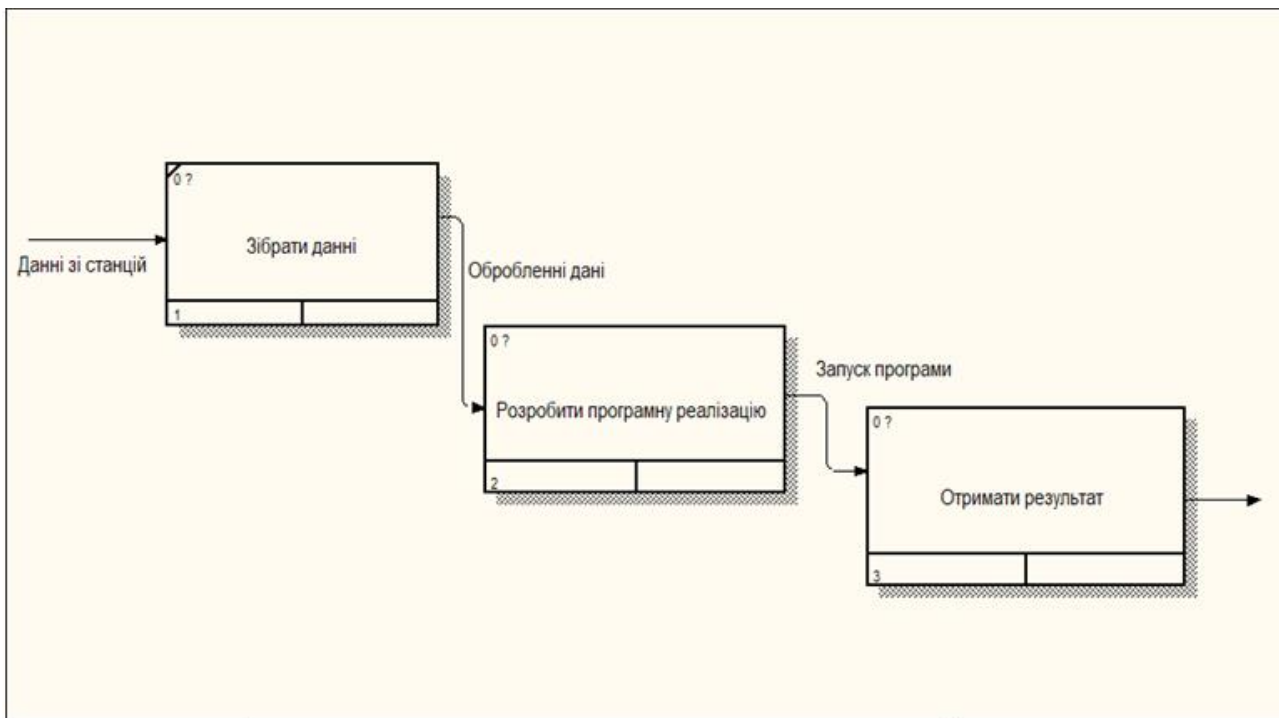


Рисунок 2.6 – Опис роботи Визначити координати об'єкта  
(рівень A0 у нотації IDEF3)

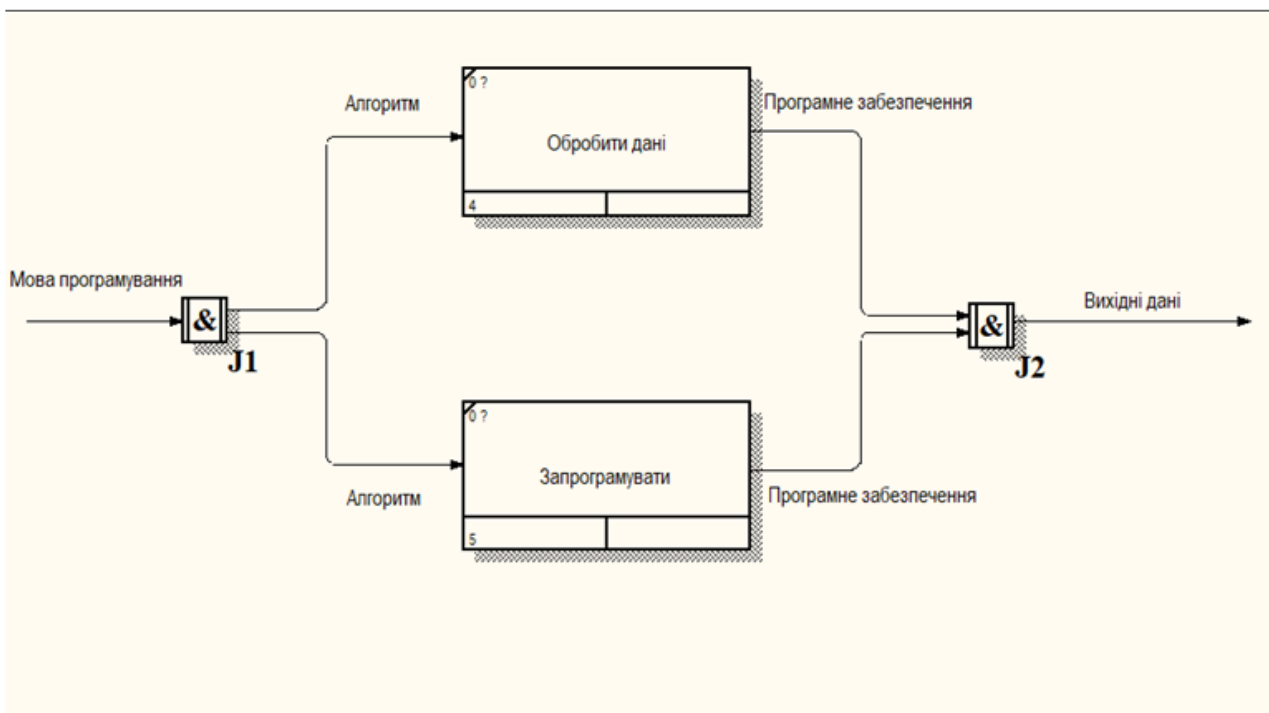


Рисунок 2.7 – Опис роботи Розробити програмну реалізацію  
(рівень A2 в нотації IDEF3)

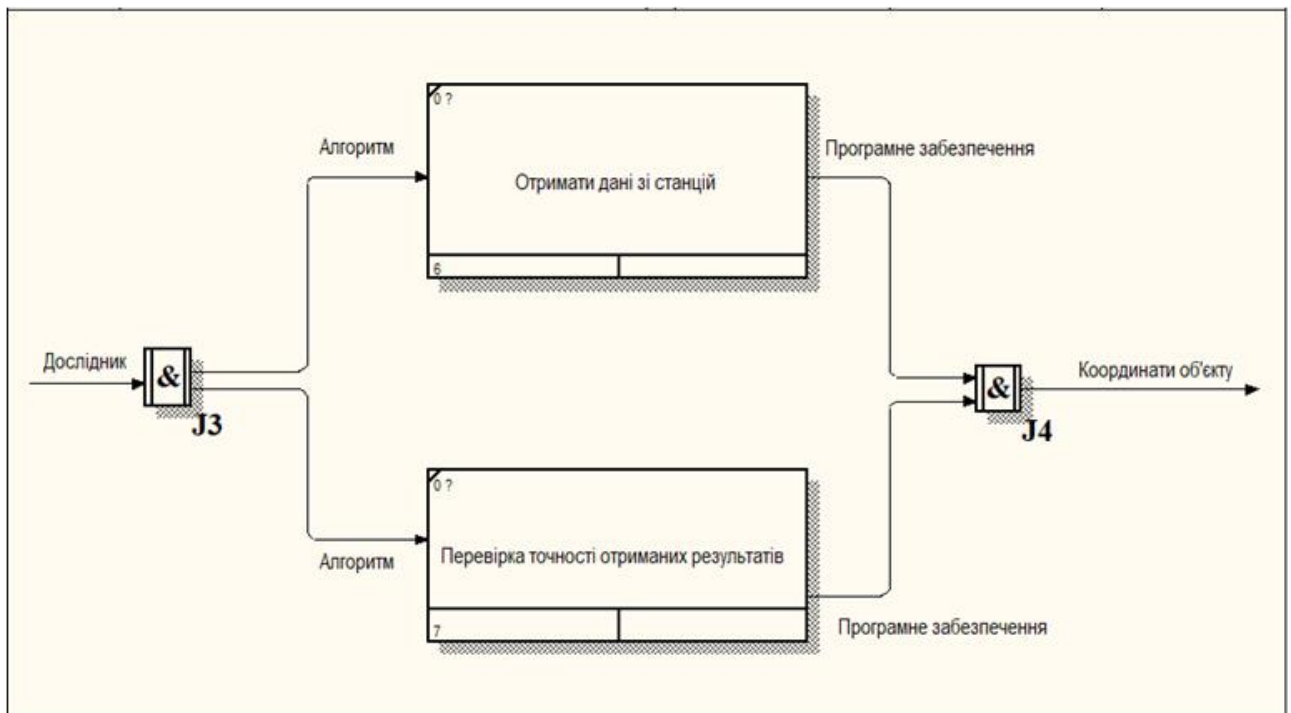


Рисунок 2.8 – Опис роботи «Отримати результат» (рівень А3 у нотації IDEF3)

### 2.1.3 Інформаційна модель системи

Інформаційні моделі відображають різні типи систем об'єктів, в яких реалізуються різні структури взаємодії та зв'язки між елементами системи.

Діаграма потоку даних (DFD) — це спосіб для розробників систем представляти потік даних у системі. Кожна діаграма є елементом ієрархії. Це необхідно уточнити, деталізуючи процес і потік даних. Покращене представлення процесу можна виконати на різних графах потоку даних, які поділяють процес на підпроцеси. Інструмент методу DFD дозволяє відображати джерела та цілі даних, описувати процеси та групи даних. Діаграма потоку даних пов'язує одну функцію з іншою, ефективно описуючи процес реалізації методу технології побудови системи [2]. Нотація DFD може описувати не тільки інформаційний потік, а й матеріальний документообіг і потік ресурсів.

Деревоподібна діаграма вузлів показує ієрархію роботи в моделі та дозволяє переглядати всю модель. Діаграма для задачі дерева вузлів, що розглядається зображена на рис. 2.9.

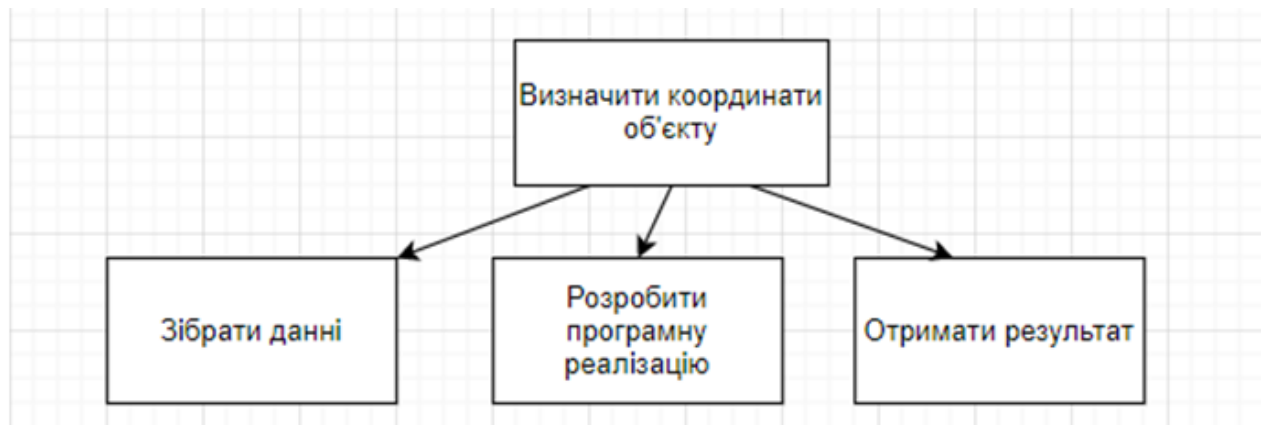


Рисунок 2.9 – Діаграма дерева вузлів для задачі відстеження траєкторій руху наземних об'єктів

## 2.2 Аналіз сценаріїв вирішення задачі відстеження траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0

### 2.2.1 Модель аналізу проблеми

Для розв'язання задачі відстеження траєкторії наземних об'єктів необхідно визначити математичні моделі для використання відповідно до застосування різних алгоритмів та проводити подальші порівняння за точністю висновків та характеристиками програмної реалізації. Результатом буде визначення найбільш підходящого алгоритму, який можна використовувати для вирішення цієї проблеми. Для оцінки якості очікуваних результатів можна використовувати такі критерії:

В якості критеріїв, за якими можна оцінити якість очікуваних результатів, можна вказати:

- достовірність (K1);
- досяжність (K2);
- швидкість роботи (K3);

Давайте розглянемо ці критерії та виберемо із запропонованих альтернатив, які порівняти.

Ефективність алгоритму: ми очікуємо, що в усіх випадках ми отримаємо один результат для визначення траєкторії цільового об'єкта.

Порівнюючи альтернативи щодо досяжності, нас цікавить ймовірність використання алгоритму для достатньо великих вибірок і вхідних даних, необхідних для алгоритму. Алгоритми, які вимагають менше вхідних даних, матимуть пріоритет. При порівнянні альтернативи на швидкість роботи пріоритет буде надаватися алгоритму з найкоротшим загальним часом роботи.

Розглянемо данні альтернативи:

– використання методу відстеження траєкторій руху наземних об'єктів з однією станцією;

– використання методу відстеження траєкторій руху наземних об'єктів з двома станціями;

– використання методу відстеження траєкторій руху наземних об'єктів з трьома станціями.

Використання методу відстеження траєкторій руху наземних об'єктів з однією станцією є нескладним у математичному плані і не потребує додаткових розрахунків для інших станцій, що дозволяє заощадити час на виконання програми. Однак даний метод програє по показнику достовірності методу з трьома станціями, але є надійнішим за метод з двома станціями.

Використання методу відстеження траєкторій руху наземних об'єктів з двома станціями є найменш досяжним та достовірним, аніж усі методи, але є найбільш швидким способом для роботи.

Використання методу відстеження траєкторій руху наземних об'єктів з трьома станціями є найбільш досяжним та достовірним, аніж усі методи, але значно програє методу контролю з двома станціями та методу контролю з однією станцією на швидкість роботи, через велику кількість обчислень.

### 2.2.2 Оцінювання вектора пріоритетів незадоволеностей методом аналізу ієрархій

Використовуючи метод попарного порівняння, побудуємо модель процесу аналізу незадоволеності. Аналіз незадоволеностей включає в себе такі рівні:

- нульовий рівень – складова задачі;
- перший рівень – класифікація незадоволеностей;
- другий рівень – характеристики компонентів, що впливають на результат завдання.

На першому рівні аналізу проблеми ми встановимо стандартну матрицю попарних порівнянь, щоб оцінити вплив кожного невдоволення на проблему. Результати наведені в таблиці 2.1, встановлюючи відносну важливість стандарту відносин за допомогою шкали Сааті.

Таблиця 2.1 – Матриця попарних порівнянь критеріїв

	K1	K2	K3	Вектор пріоритетів
K1	1	5	6	0,71
K2	1/5	1	4	0,21
K3	1/6	1/4	1	0,08

Для того, щоб знайти індекс узгодженості, ми знаходимо суму елементів матриці за стовбцями:

$$y_1 = 1,0 + 1/5 + 1/6 = 1.366,$$

$$y_2 = 5 + 1 + 1/4 = 6.25,$$

$$y_3 = 6 + 4 + 1 = 11.$$

Тоді:

$$\lambda_{\max} \approx 0.71 \cdot 1.366 + 0.21 \cdot 6.25 + 0.08 \cdot 11 = 3.16284$$

та індекс узгодженості:

$$CI^k = \frac{3.16284 - 3}{3 - 1} = 0.08142.$$

Оскільки матриця попарного порівняння критеріїв є матрицею четвертого порядку, то коефіцієнт узгодженості:

$$CR^k = \frac{CI^k}{0,58} = 0.14.$$

Оскільки коефіцієнт узгодженості близький до 0,1, будемо вважати, що матриця попарних порівнянь критеріїв побудована правильно.

Далі ми формуємо парну матрицю заміщення для кожного критерію, щоб метод кожного критерію можна було порівняти окремо.

Таблиця 2.2 – Матриця порівнянь за критерієм К1

К1	A1	A2	A3	Вектор пріоритетів
A1	1	3	1/7	0.16
A2	1/3	1	1/6	0.08
A3	7	6	1	0.75

Для того, щоб знайти індекс узгодженості, ми знаходимо суму елементів матриці за стовбцями:

$$y_1 = 1 + 1/3 + 7 = 8.33,$$

$$y_2 = 3 + 1 + 6 = 10,$$

$$y_3 = 1/7 + 1/6 + 1 = 1.3095.$$

Тоді:

$$\lambda_{\max} \approx 0.16 \cdot 8.33 + 0.08 \cdot 10 + 0.76 \cdot 1.3095 = 3.115$$

та індекс узгодженості:

$$CI_{K1}^A = \frac{3.115 - 3}{3 - 1} = 0.0575.$$

Оскільки матриця попарного порівняння критеріїв є матрицею третього порядку, то коефіцієнт узгодженості:

$$CR_{K1}^A = \frac{CI^k}{0,58} = 0.099.$$

Таблиця 2.3 – Матриця порівнянь за критерієм К2

К2	A1	A2	A3	Вектор пріоритетів
A1	1	5	1/6	0.19
A2	1/5	1	1/8	0.06
A3	6	8	1	0.75

Для того, щоб знайти індекс узгодженості, ми знаходимо суму елементів матриці за стовбцями:

$$y_1 = 1 + 1/5 + 6 = 7.2,$$

$$y_2 = 5 + 1 + 8 = 14,$$

$$y_3 = 1/6 + 1/8 + 1 = 1.29.$$

Тоді:

$$\lambda_{\max} \approx 0.19 \cdot 7.2 + 0.06 \cdot 14 + 0.75 \cdot 1.29 = 3.1755$$

та індекс узгодженості:

$$CI_{K2}^A = \frac{3.1755 - 3}{3 - 1} = 0.08775.$$

Відношення узгодженості:

$$CR_{K2}^A = \frac{CI^k}{0,58} = 0.151.$$

Таблиця 2.4 – Матриця порівнянь за критерієм К3

К3	A1	A2	A3	Вектор пріоритетів
A1	1	1/4	6	0.26
A2	4	1	7	0.68
A3	1/6	1/7	1	0.06

Для того, щоб знайти індекс узгодженості, ми знаходимо суму елементів матриці за стовбцями:

$$y_1 = 1 + 4 + 1/6 = 5.166,$$

$$y_2 = 1/4 + 1 + 1/7 = 1.393,$$

$$y_3 = 1/6 + 1/8 + 1 = 1.29.$$

Тоді:

$$\lambda_{\max} \approx 0.26 \cdot 5.166 + 0.68 \cdot 1.393 + 0.06 \cdot 14 = 3.1304.$$

та індекс узгодженості:

$$CI_{K3}^A = \frac{3,028 - 3}{3 - 1} = 0,014.$$

Відношення узгодженості:

$$CR_{K3}^A = \frac{CI^k}{0,58} = 0,024.$$

Розрахуємо вектор глобальних пріоритетів альтернатив. Для цього знаходимо добуток:

$$\bar{p} = \begin{bmatrix} 0.16 & 0.19 & 0.26 \\ 0.08 & 0.06 & 0.68 \\ 0.75 & 0.75 & 0.06 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.71 \\ 0.21 \\ 0.08 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1743 \\ 0.1238 \\ 0.6948 \end{bmatrix}.$$

Найбільша складова стандартного вектора локальних пріоритетів задовольняє третьому критерію. Отже, згідно зі стандартом порівняння, ми маємо такі пріоритети: швидкість роботи, досяжність, достовірність.

Порівнюючи за обраними критеріями альтернативи, ми отримали глобальний вектор пріоритету, де найбільший компонент відповідає третій альтернативі -

відстеження траєкторій руху наземних об'єктів з використанням трьох станцій.

## 2.3 Змістовна та формальна постановка задачі

### 2.3.1 Змістовна постановка задачі

При розробці математичної моделі моніторингу повітряного та наземного простору сенсорною мережею оптико-електронних станцій прийняті наступні допущення:

- сенсорна мережа ОЕС і ЗУНО розглядаються у вигляді кластера, що включає до себе безліч з  $n$  ОЕС і  $m$  ЗУНО. ОЕС і ЗУНО після їх розгортання розташовані стаціонарно;

- координати місця розташування ОЕС і ЗУНО вимірюються високоточними засобами супутникової GPS навігації і представляються у вигляді вектора початку місцевої системи координат в Грінвічській системі координат  $\|X_{0r}, Y_{0r}, Z_{0r}\|^T$  або у вигляді вектора  $(L, B, H)$ ;

- параметри загальноземного еліпсоїда відомі:  $a_3 = 6378,137$  км – велика піввісь,  $e_3^2 = 0,0066943800667647$  – квадрат першого ексцентриситету;

- кожна ОЕС складається з опорно-поворотного пристрою, на якому встановлені лазерний далекомір і відеокамери видимого та інфрачервоного діапазонів частот, оптичні осі яких співпадають;

- з кожною ОЕС і кожним ЗУНО пов'язані місцеві системи координат, в яких кожна ОЕС в момент часу  $t$  здійснює вимір трьох параметрів: азимута –  $\alpha$ , кута місця –  $\beta$  і похилої дальності – між ОЕС і НО;

- усі ОЕС і ЗУНО об'єднані в єдину бездротову сенсорну інфокомунікаційну мережу, що має топологію «зірка»;

- Зв'язок між вузлами мережі для передачі потокового відео, команд управління і телеметричної інформації здійснюється по радіоканалах у дозволених діапазонах радіочастот з використанням видів модуляції, що забезпечують належний рівень завадостійкості, а також оптимальне по

швидкості проходження блоків даних і команд керування між вузлами мережі;

- центральним вузлом (ЦВ) мережі є пункт керування мережею, який забезпечує збір і обробку даних, що надходять від ОЕСН в реальному масштабі часу;

- результатом обробки даних є команди цілевказування, що відправляються центральним вузлом на ЗУНО. При цьому забезпечується контроль проходження команди на цілевказування за допомогою відправки кожним ЗУНО на ЦВ пакету підтвердження;

- для підвищення надійності та живучості системи передбачається подання структури кластера у вигляді сильно пов'язаного орієнтованого графа, вершинами якого є ОЕС і ЗУНО, а дугами – сенсорні лінії зв'язку;

- модель детермінована, тобто всі параметри моделі відомі точно і помилками вимірювань нехтуємо.

### 2.3.2 Формальна постановка задачі

Для побудови моделі моніторингу руху наземних об'єктів сенсорною мережею просторово розподілених оптико-електронних станцій, розміщених на поверхні землі, будемо використовувати геоцентричні (з початком відліку в центрі маси Землі  $A$ ) і топоцентричні (з початком відліку в деякій точці  $O$  на поверхні Землі) системи координат.

Грінвіцька система координат (ГСК) є геоцентричною відносною системою координат і визначається наступним чином:

- вісь  $AZ_{\Gamma}$  спрямована по осі обертання Землі до Північного полюса;
- вісь  $AX_{\Gamma}$  проходить через точку перетину Грінвіцького меридіана з площиною екватора;
- вісь  $AU_{\Gamma}$  доповнює прямокутну систему до правої.

В ГСК місце розміщення ОЕС и ЗУНО на поверхні землі можуть бути задані просторовими прямокутними координатами  $X, Y, Z$  і геодезичними координатами  $B, L, H$ .

Геодезична широта  $B$  – це кут між нормаллю і площиною екватора. Геодезична довгота  $L$  – це кут між площиною меридіана даної точки і площиною початкового меридіана. Геодезичної висотою  $H$  є відрізок нормалі від точки розміщення ОЕС і ЗУНО до поверхні еліпсоїда.

Місцева система координат (МСК) є топоцентричною системою координат і визначається наступним чином:

- вісь  $OY_M$  спрямована по прямовисній лінії до земної поверхні;
- вісь  $OX_M$  розташована в площині, перпендикулярній прямовисній лінії в точці  $O$ , і становить з площиною меридіана початку системи координат кут  $A_m$  – геодезичний азимут, відлічуваний по напрямку руху годинникової стрілки від напрямку на північ;
- вісь  $OZ_M$  проведена так, щоб утворилася права прямокутна система координат.

Координати місця розташування ОЕС і ЗУНО вимірюються високоточними засобами супутникової GPS навігації і представляються у вигляді вектора початку місцевої системи координат в Грінвічській системі координат  $\|X_{0Г}, Y_{0Г}, Z_{0Г}\|^T$  або у вигляді вектора  $(L, B, H)$ . Елементи вектора початку місцевої системи координат в Грінвічській системі координат  $\|X_{0Г}, Y_{0Г}, Z_{0Г}\|^T$  обчислюються за формулами:

$$X_{0Г} = (N + H) \cdot \cos L \cdot \cos B, \quad (2.1)$$

$$Y_{0Г} = (N + H) \cdot \sin L \cdot \cos B, \quad (2.2)$$

$$Z_{0Г} = (N \cdot (1 - e^2) + H) \cdot \sin B, \quad (2.3)$$

$$N = \frac{a_3}{\sqrt{1 - e_3^2 \cdot \sin^2 B}}, \quad (2.4)$$

де  $a_3, e_3$  – параметри загальноземного еліпсоїда;

$$a_3 = 6378,137 \text{ км} - \text{велика піввісь};$$

$e_3^2 = 0,0066943800667647$  – квадрат першого ексцентриситету;

$B$  – геодезична широта початку місцевої системи координат;

$L$  – геодезична довгота початку місцевої системи координат;

$H$  – геодезична висота початку місцевої системи координат;

$A_m$  – геодезичний азимут місцевої системи координат.

Обчислення геодезичних координат  $(L, B, H)$  по відомим просторовим прямокутним  $\|X, Y, Z\|^T$  вимагає ітераційного процесу.

Геодезична довгота  $L$  обчислюється за формулою:

$$\operatorname{tg} L = \frac{Y}{X}. \quad (2.5)$$

Оскільки  $\operatorname{arctg} L$  обчислює головне значення кута  $L$  (тобто  $-\frac{\pi}{2} \leq L \leq +\frac{\pi}{2}$ ), а довгота може мати позитивні значення в межах від 0 до  $\pi$  (східна довгота) і негативні значення в межах від 0 до  $-\pi$ , то треба дещо уточнити:

– якщо  $X < 0$  і  $Y > 0$ , то  $L = L + \pi$ ;

– якщо  $X < 0$  і  $Y < 0$ , то  $L = L - \pi$ ;

– якщо  $X < 0$  і  $Y = 0$ , то  $L = \pi$ .

Геодезичну широту  $B$  обчислюють ітераційним методом:

– наближене значення  $B_0$  обчислюють за формулою:

$$\operatorname{tg} B_0 = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2} \cdot (1 - e_3^2)}; \quad (2.6)$$

– наближене значення  $N_0$  обчислюють за формулою:

$$N_0 = \frac{a_3}{\sqrt{1 - e_3^2 \cdot \sin^2 B_0}}; \quad (2.7)$$

– висоту над еліпсоїдом за формулою:

$$H = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B_0} - N_0; \quad (2.8)$$

– уточнене значення широти за формулою:

$$\operatorname{tg} B = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2} \cdot \left(1 - e_3^2 \cdot \frac{N_0}{N_0 + H}\right)}. \quad (2.9)$$

Тепер слідує перевірка: якщо  $B - B_0 < \varepsilon$ , процес ітерації припиняється, інакше  $B_0$  привласнюємо значення  $B$  і розпочинаємо з пункту 2). Після набуття точного значення геодезичної широти  $B$  обчислюємо геодезичну висоту  $H$  за формулою:

$$H = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B} - N, \quad (2.10)$$

де

$$N = \frac{a_3}{\sqrt{1 - e_3^2 \cdot \sin^2 B}}, \quad (2.11)$$

де  $a_3, e_3$  – параметри загальноземного еліпсоїда;

$a_3 = 6378,137$  км – велика піввісь;

$e_3^2 = 0,0066943800667647$  – квадрат першого ексцентриситету.

## 2.4 Постановка задач дослідження

Відстеження траєкторії наземних об'єктів, таких як роботи, вантажівки, або телефони, є важливим завданням прийняття рішень як у промислових, так і в цивільних застосуваннях. На основі системного аналізу проблеми та вхідних даних роботи можна сформулювати питання дослідження:– розробити модель залежності між місцем розташування НО в місцевій системі координат і вимірюваними значеннями кута місця, азимута і похилої дальності;

– розробити модель залежностей між положеннями ТО в місцевій системі координат і вимірюваннями висот, азимутів і дальності нахилу;

– розробка моделі перерахунку векторів параметрів руху ГО; - дослідження методів відстеження траєкторії наземних об'єктів;

– розробка програмного забезпечення для вирішення задачі визначення траєкторії супроводу наземних об'єктів;

## 2.5 Метод відстеження траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0.

Відстеження траєкторії наземних об'єктів є завданням обробки даних, які є результатом зовнішніх вимірювань траєкторії трьома фотоелектричними станціями для отримання максимально точних координат руху апарату в кожному вимірюванні та на всій траєкторії походу.

## 2.6 Математична модель залежності між місцем розташування НО в місцевій системі координат і вимірюваними значеннями кута місця, азимута і похилої дальності

Кут місця  $\beta$  і азимут  $\alpha$  напрямку на НО визначаються в системі координат по вектору положення НО в МСК ОЕС  $\vec{X}_M = \|X_M, Y_M, Z_M\|^T$  за такими формулами:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{Y_M}{\sqrt{X_M^2 + Z_M^2}}, \quad (2.12)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Z_M}{X_M}. \quad (2.13)$$

Оскільки при обчисленні  $\arctg \alpha$  обчислюється головне значення кута  $\alpha$  (тобто  $-\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq +\frac{\pi}{2}$ ), а азимут може змінюватися від 0 до  $2\pi$ , то треба дещо уточнити:

– якщо  $X_M < 0$ , то  $\alpha = \alpha + \frac{\pi}{2}$ ,

– якщо  $\alpha < 0$  і  $X_M \geq 0$ , то  $\alpha = \alpha + 2\pi$ .

Похила дальність (відстань) між ОЕС і НО визначається виразом:

$$D = \sqrt{(X_i - X_M)^2 + (Y_i - Y_M)^2 + (Z_i - Z_M)^2}. \quad (2.14)$$

ОЕС може працювати в двох режимах.

– відкрите спостереження за місцем розташування НО. Для кожного моменту часу  $t$  здійснюється вимір трьох параметрів – кута місця  $\beta$ , азимута  $\alpha$  і похилій дальності  $D$  від ОЕС до НО. В цьому випадку компоненти вектора координат НО  $\vec{X}_M = \|X_M, Y_M, Z_M\|^T$  в МСК ОЕС визначаються за такими формулами:

$$Y_M = D \sin \beta, \quad (2.15)$$

$$X_M = D \cos \beta \cos \alpha, \quad (2.16)$$

$$Z_M = D \cos \beta \sin \alpha. \quad (2.17)$$

– приховане спостереження за місцем розташування НО. Для кожного моменту часу  $t$  здійснюється вимір двох параметрів: кута місця –  $\beta$  і азимута –

$\alpha$ . При цьому лазерний далекомір ОЕС не використовується, НО лазерним лучем не опромінюється і, отже, встановити факт спостереження за НО практично неможливо. В цьому випадку, для визначення координат місця розташування НО, необхідна додаткова інформація про результати вимірювання кута місця –  $\beta$  і азимута –  $\alpha$  на цей же НО, від інших ОЕС кластера.

## 2.7 Математична модель перерахунку вектора параметрів руху НО

### 2.7.1 Перерахунок з місцевої системи координат в Грінвічську систему координат

Модель перерахунку вектора параметрів руху НО  $\vec{X}_M = \|X_M, Y_M, Z_M, V_{xM}, V_{yM}, V_{zM}\|^T$  з місцевої системи координат в вектор параметрів руху  $\vec{X}_G = \|X_G, Y_G, Z_G, V_{xG}, V_{yG}, V_{zG}\|^T$  в Грінвічській системі координат має вигляд:

$$\vec{X}_G = \begin{pmatrix} A_{GM} & 0 \\ 0 & A_{GM} \end{pmatrix} \cdot \vec{X}_M + \vec{X}_{0G}. \quad (2.18)$$

Елементи матриці  $A_{GM}$  обчислюються за формулою:

$$A_{GM} = \begin{pmatrix} -\sin L \cdot \sin A_m - \cos L \cdot \sin B \cdot \cos A_m & \cos L \cdot \cos B & -\sin L \cdot \cos A_m + \cos L \cdot \sin B \cdot \sin A_m \\ \cos L \cdot \sin A_m - \sin L \cdot \sin B \cdot \cos A_m & \sin L \cdot \cos B & \cos L \cdot \cos A_m + \sin L \cdot \sin B \cdot \sin A_m \\ \cos B \cdot \cos A_m & \sin B & -\cos B \cdot \sin A_m \end{pmatrix}. \quad (2.19)$$

Вектор  $\vec{X}_{0G}$  задається у погляді  $\vec{X}_{0G} = \|X_{0G}, Y_{0G}, Z_{0G}, 0, 0, 0\|^T$ .

Елементи вектора початку місцевої системи координат в Грінвічській системі координат  $\|X_{0G}, Y_{0G}, Z_{0G}\|^T$  обчислюються за формулами:

$$X_{0Г} = (N + H) \cdot \cos L \cdot \cos B, \quad (2.20)$$

$$Y_{0Г} = (N + H) \cdot \sin L \cdot \cos B, \quad (2.21)$$

$$Z_{0Г} = (N \cdot (1 - e^2) + H) \cdot \sin B, \quad (2.22)$$

$$N = \frac{a_3}{\sqrt{1 - e_3^2 \cdot \sin^2 B}}, \quad (2.23)$$

де  $a_3, e_3$  – параметри загальноземного еліпсоїда;

$a_3 = 6378,137$  км – велика піввісь;

$e_3^2 = 0,0066943800667647$  – квадрат першого ексцентриситету;

$B$  – геодезична широта початку місцевої системи координат;

$L$  – геодезична довгота початку місцевої системи координат;

$H$  – геодезична висота початку місцевої системи координат;

$A_m$  – геодезичний азимут місцевої системи координат.

2.7.2 Перерахунок з Грінвічській системи координат в місцеву систему координат

Формули перерахунку вектора параметрів руху НО  $\vec{X}_Г = \|X_Г, Y_Г, Z_Г, V_{xГ}, V_{yГ}, V_{zГ}\|^T$  з Грінвічській системи координат в вектор параметрів руху  $\vec{X}_М = \|X_М, Y_М, Z_М, V_{xМ}, V_{yМ}, V_{zМ}\|^T$  в місцевій системі координат мають вигляд:

$$\vec{X}_М = \begin{bmatrix} A_{ГМ} & 0 \\ 0 & A_{ГМ} \end{bmatrix}^T \cdot (\vec{X}_Г - \vec{X}_{0Г}). \quad (2.24)$$

Елементи матриці  $A_{ГМ}$  обчислюються за формулою:

$$A_{\Gamma M} = \begin{vmatrix} -\sin L \cdot \sin A_m - \cos L \cdot \sin B \cdot \cos A_m & \cos L \cdot \cos B & -\sin L \cdot \cos A_m + \cos L \cdot \sin B \cdot \sin A_m \\ \cos L \cdot \sin A_m - \sin L \cdot \sin B \cdot \cos A_m & \sin L \cdot \cos B & \cos L \cdot \cos A_m + \sin L \cdot \sin B \cdot \sin A_m \\ \cos B \cdot \cos A_m & \sin B & -\cos B \cdot \sin A_m \end{vmatrix}. \quad (2.25)$$

Вектор  $\vec{X}_{0\Gamma}$  задається у погляді  $\vec{X}_{0\Gamma} = \|X_{0\Gamma}, Y_{0\Gamma}, Z_{0\Gamma}, 0, 0, 0\|^T$ .

Координати початку місцевої системи координат в Грінвічській системі координат  $\|X_{0\Gamma}, Y_{0\Gamma}, Z_{0\Gamma}\|^T$  обчислюються за формулами:

$$X_{0\Gamma} = (N + H) \cdot \cos L \cdot \cos B, \quad (2.26)$$

$$Y_{0\Gamma} = (N + H) \cdot \sin L \cdot \cos B, \quad (2.27)$$

$$Z_{0\Gamma} = (N \cdot (1 - e^2) + H) \cdot \sin B, \quad (2.28)$$

$$N = \frac{a_3}{\sqrt{1 - e_3^2 \cdot \sin^2 B}}, \quad (2.29)$$

де  $a_3, e_3$  – параметри загальноземного еліпсоїда;

$a_3 = 6378,137$  км – велика піввісь;

$e_3^2 = 0,0066943800667647$  – квадрат першого ексцентриситету;

$B$  – геодезична широта початку місцевої системи координат;

$L$  – геодезична довгота початку місцевої системи координат;

$H$  – геодезична висота початку місцевої системи координат;

$A_m$  – геодезичний азимут місцевої системи координат.

## 2.8 Алгоритм розв'язання задачі відстеження траєкторій руху наземних об'єктів

Для реалізації методу відстеження траєкторій руху наземних об'єктів з трьома оптико-електронними станціями для початку необхідно виконати наступні завдання:

- перевести початкові координати трьох оптико-електронних станцій та наземного об'єкту з геодезичної системи координат до Грінвічської системи координат за допомогою формул (2.1) – (2.4);

- знайти направляючі коефіцієнти ліній візування для кожної оптико-електронної станції за допомогою формул :

$$l = X_{0\text{ГПО}} - X_{0\text{ГОЕС}}, \quad (2.30)$$

$$m = Y_{0\text{ГПО}} - Y_{0\text{ГОЕС}}, \quad (2.31)$$

$$n = Z_{0\text{ГПО}} - Z_{0\text{ГОЕС}}, \quad (2.32)$$

де  $(X_{0\text{ГПО}}, Y_{0\text{ГПО}}, Z_{0\text{ГПО}})$  – координати наземного об'єкту в Грінвічській системі координат,

$(X_{0\text{ГОЕС}}, Y_{0\text{ГОЕС}}, Z_{0\text{ГОЕС}})$  – координати оптико-електронної станції в Грінвічській системі координат;

- перевести координати наземного об'єкту для кожної із трьох оптико-електронних станцій з Грінвічської системи координат до Місцевої системи координат, використовуючи формули (2.24) – (2.29);

- знайти направляючі коефіцієнти ліній візування для кожної оптико-електронної станції за допомогою формул (2.30) – (2.32);

- перевірити адекватність моделі перетворення в Грінвічській системі координат для випадку з трьома станціями.

## 2.9 Висновки до другого розділу

В результаті виконання другого розділу було:

- обрано та обґрунтовано метод роз'язання задачі відстежування траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0;
- розроблено функціональні і інформаційні моделі системи задачі відстежування траєкторій рухомих об'єктів в Індустрії 5.0;
- зроблено морфологічний опис системи;
- поставлено задачу дослідження;
- проаналізовано математичні моделі залежності між місцем розташування;
- розглянуто способи перерахунку систем координат;
- написан та проаналізовано алгоритм розв'язання задачі відстеження траєкторій руху наземних об'єктів.

## 3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

### 3.1 Мова програмування Java та середовище розробки IntelliJ IDEA

Java – це широко використовувана об’єктно-орієнтована мова програмування та програмна платформа, яка працює на мільярдах пристроїв, включаючи ноутбуки, мобільні пристрої, ігрові консолі, медичні пристрої та багато інших. Правила і синтаксис Java базуються на мовах C і C++.

Однією з основних переваг розробки програмного забезпечення за допомогою Java є його переносимість. Після того як ви написали код для програми на Java на ноутбуці, його дуже легко перемістити на мобільний пристрій. Коли у минулому сторіччі Джеймсом Гослінгом із Sun Microsystems (пізніше придбаної Oracle) цю мову винайшов, головною метою була можливість «написати один раз і запустити будь-де».

Також важливо розуміти, що Java значно відрізняється від JavaScript. Javascript не потрібно компілювати, тоді як код Java потрібно компілювати. Крім того, Javascript працює лише у веб-браузерах, тоді як Java можна запускати будь-де.

Нові та вдосконалені інструменти розробки програмного забезпечення надходять на ринок із надзвичайною швидкістю, витісняючи існуючі продукти, які раніше вважалися незамінними. У світлі цього постійного обороту довговічність Java вражає; Більш ніж через два десятиліття після свого створення Java все ще залишається найпопулярнішою мовою для розробки програмного забезпечення – розробники продовжують обирати її замість таких мов, як Python, Ruby, PHP, Swift, C++ та інших. Як результат, Java залишається важливою вимогою для конкуренції на ринку праці. Тому для проведення обчислювального експерименту, скористаємося їм.

### 3.2 Опис програми

Було розроблено програму для відстеження траєкторій руху наземних об'єктів у за допомогою IntelliJ IDEA 2021.

Для початку задали початкові Геодезичні координати для кожної оптико-електронної станції та наземного об'єкту. Потім знайшли направляючі коефієнти та перевели вхідні данні до Грінвічської системи координат. Наступним кроком знайшли координати наземного об'єкту та трьох оптико-електронних станцій в Місцевій системі координат. Фінальним кроком розроблення програми була розробка перевірки адекватності перетворення ОЕСН на наземний об'єкт в Грінвічській системі координат для випадку з трьома станціями.

Після обчислення були виведені результат у вигляді таблиць. В результаті було отримано координати наземного об'єкту.

### 3.3 Розробка програмного забезпечення для відстежування траєкторій

Для розробки даного програмного забезпечення було використано наступні класи та бібліотеки:

Клас `java.lang.Object` є коренем ієрархії класів. Кожен клас має `Object` як суперклас. Всі об'єкти, включаючи масиви, реалізують методи цього класу. На рисунку 3.1 зображено оголошення класу `Object`, а на рисунку 3.2 його ієрархію.

```
public class Object
```

Рисунок 3.1 – Оголошення класу `java.lang.Object.class`

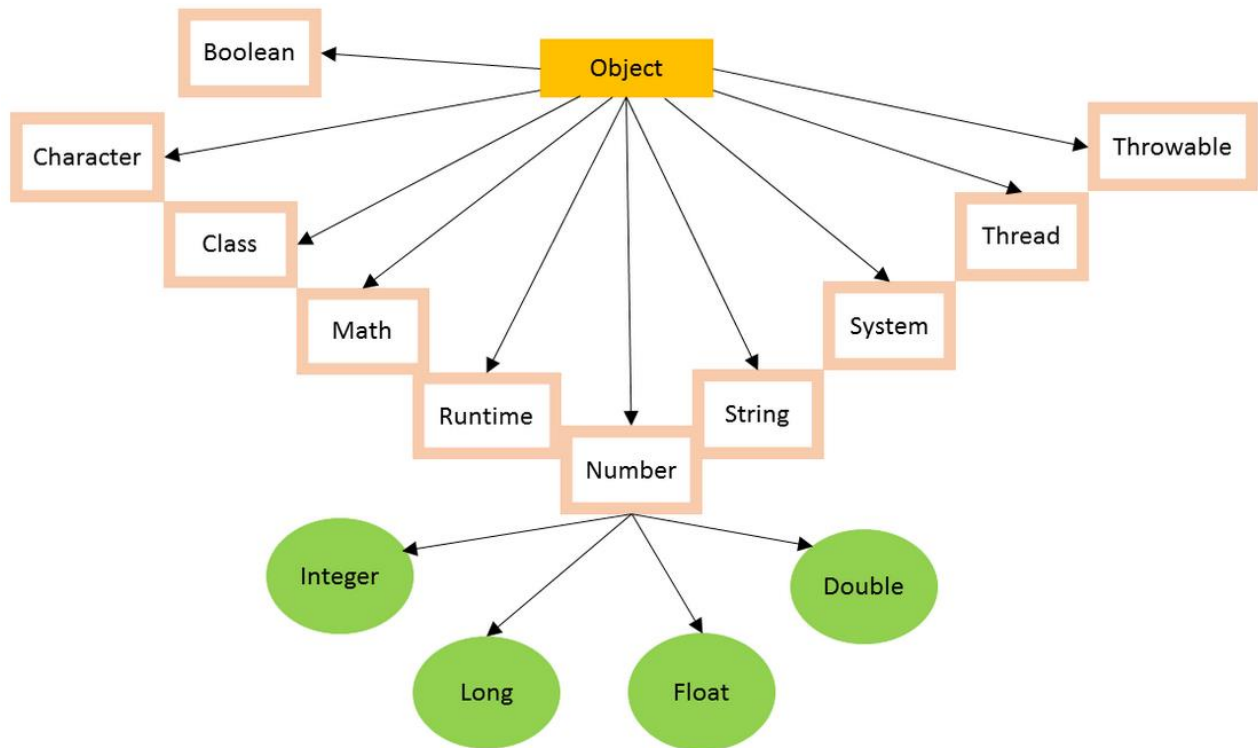


Рисунок 3.2 – Ієрархія класу Object

Методи класу Object та їх опис:

- `protected Object clone()` – цей метод створює та повертає копію цього об'єкта;
- `boolean equals(Object obj)` – цей метод вказує, чи є якийсь інший об'єкт «рівним» цьому;
- `protected void finalize()` – цей метод викликається збирачем сміття для об'єкта, коли збирання сміття визначає, що більше немає посилань на об'єкт;
- `Class<?> getClass()` – цей метод повертає клас часу виконання цього об'єкта;
- `int hashCode()` – цей метод повертає значення хеш-коду для об'єкта;
- `void notify()` – цей метод активує один потік, який очікує на моніторі цього об'єкта;
- `void notifyAll()` – цей метод активує всі потоки, які очікують на моніторі цього об'єкта;
- `String toString()` – цей метод повертає рядкове представлення об'єкта;
- `void wait()` – цей метод змушує поточний потік чекати, поки інший потік

не викличе метод `notify()` або метод `notifyAll()` для цього об'єкта;

- `void wait(long timeout)` – цей метод змушує поточний потік чекати, поки інший потік не викличе метод `notify()` або метод `notifyAll()` для цього об'єкта, або мине певний проміжок часу;

- `void wait(long timeout, int nanos)` – цей метод змушує поточний потік чекати, доки інший потік не викличе метод `notify()` або метод `notifyAll()` для цього об'єкта, або якийсь інший потік перерве поточний потік, або мине певний проміжок реального часу;

Клас `java.lang.Math` містить методи для виконання основних числових операцій, таких як елементарна експоненціальна функція, логарифм, квадратний корінь і тригонометричні функції. На рисунку 3.3 зображено оголошення класу `Math`.

```
public final class Math
    extends Object
```

Рисунок 3.3 – Оголошення класу `java.lang.Math.class`

Поля класу `Math` та їх опис:

- `static double E` – це дрібне значення, яке ближче, ніж будь-яке інше, до  $e$ , основи натуральних логарифмів;

- `static double PI` – це дрібне значення, яке ближче за будь-яке інше до  $\pi$ , відношення довжини кола до його діаметра;

Методи класу `Math` та їх опис:

- `static double cos(double a)` – цей метод повертає тригонометричний косинус кута;

- `static double log(double a)` – цей метод повертає натуральний логарифм (за основою  $e$ ) дрібного значення;

- `static double max(double a, double b)` – цей метод повертає більше з двох

дрібних значень;

– `static int max(int a, int b)` – цей метод повертає більше з двох значень `int`;

– `static int min(int a, int b)` – цей метод повертає менше з двох значень `int`;

– `static double nextAfter(double start, double direction)` – цей метод повертає число з плаваючою комою, яке примикає до першого аргументу в напрямку другого аргументу;

– `static double pow(double a, double b)` – цей метод повертає значення першого аргументу, зведене до ступеня другого аргументу;

– `static double random()` – цей метод повертає подвійне значення з позитивним знаком, більше або дорівнює 0,0 і менше 1,0;

– `static long round(double a)` – цей метод повертає довжину, найближчу до аргументу;

– `static double sin(double a)` – цей метод повертає гіперболічний синус подвійного значення;

– `static double sqrt(double a)` – цей метод повертає тригонометричний тангенс кута;

Обчислення матриці  $A_{TM}$  за формулою (2.25), використовуючи методи класу `Math`:

– `static double cos(double a)` – цей метод повертає тригонометричний косинус кута;

– `static double sin(double a)` – цей метод повертає гіперболічний синус подвійного значення;

– `static double sqrt(double a)` – цей метод повертає тригонометричний тангенс кута.

Реалізація програмного коду зображена на рисунку 3.4.

```

public static double[][] calculateAgm(double am, double b, double l, double h) {

    double a11 = -(sin(l) * sin(am) - (cos(l)) * sin(b) * cos(am));
    double a21 = cos(l) * sin(am) - sin(l) - sin(b) - cos(am);
    double a31 = cos(b) * cos(am);

    double a12 = cos(l) * cos(b);
    double a22 = sin(l) * cos(b);
    double a32 = sin(b);

    double a13 = -sin(l) * cos(am) + cos(l) * sin(b) * sin(am);
    double a23 = cos(l) * cos(am) + sin(l) * sin(b) * sin(am);
    double a33 = -cos(b) * sin(am);
}

```

Рисунок 3.4 – Обчислення елементів матриці  $A_{ГМ}$

Після обчислення елементів матриці  $A_{ГМ}$  вставляємо отримані результати у матрицю , реалізація зображена на рисунку 3.5.

```

double[][] agm = new double[3][3];
agm[0][0] = a11;
agm[0][1] = a12;
agm[0][2] = a13;
agm[1][0] = a21;
agm[1][1] = a22;
agm[1][2] = a23;
agm[2][0] = a31;
agm[2][1] = a32;
agm[2][2] = a33;
return agm;
}

```

Рисунок 3.5 –Продовження коду реалізації методу обчислення  $A_{ГМ}$

На рисунку 3.6 зображено програмну реалізацію обчислення елементу  $X_{0Г}$  вектора початку місцевої системи координат в Грінвічській системі координат за формулою (2.20).

```

public static double calculateXog(double en, double h, double l, double b) {
    double xog = (en + h) * cos(l) * cos(b);
    return xog;
}

```

Рисунок 3.6 – обчислення елементу  $X_{0r}$  вектора початку м.с. координат

На рисунку 3.7 зображено програмну реалізацію обчислення елементу  $Y_{0r}$  вектора початку місцевої системи координат в Грінвічській системі координат за формулою (2.21).

```

public static double calculateYog(double en, double h, double l, double b) {
    double yog = (en + h) * sin(l) * cos(b);
    return yog;
}

```

Рисунок 3.7 – обчислення елементу  $Y_{0r}$  вектора початку м.с. координат

На рисунку 3.8 зображено програмну реалізацію обчислення елементу  $Z_{0r}$  вектора початку місцевої системи координат в Грінвічській системі координат за формулою (2.22).

```

public static double calculateZog(double en, double h, double l, double b, double e3) {
    double zog = (en * (1 - sqrt(e3)) + h) * sin(b);
    return zog;
}

```

Рисунок 3.8 – обчислення елементу  $Y_{0r}$  вектора початку м.с. координат

На рисунку 3.9 зображено програмну реалізацію обчислення елементу  $N$  вектора початку місцевої системи координат в Грінвічській системі координат за формулою (2.23).

```
public static double calculateEN(double a3, double e3, double b) {  
    double en = a3 / (1 - (sqrt(e3)) * (sqrt(sin(b))));  
    return en;  
}
```

Рисунок 3.9 – обчислення елементу  $N$  вектора початку м.с. координат

### 3.4 Висновки до третього розділу

В результаті виконання третього розділу було:

- обрано та обґрунтовано вибір мови програмування Java та середовище розробки IntelliJ IDEA;
- складено опис програми задачі відстеження траєкторій наземних об'єктів;
- розглянуто класи та методи необхідні для створення програмного забезпечення;
- розроблено програмне забезпечення;

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З РОЗРОБЛЕНИМ ПРОГРАМНИМ ЗАСОБОМ

### 4.1 Обчислення координат НО та ОЕСН

Вхідні данні координат оптико-електронних станцій та наземного об'єкту наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Геодезичні координати ОЕСН та НО

	Геодезичні координати		
	Широта В, °	Довгота L, °	Висота Н, км
ОЕСН 1	49.826150938808098	36.040469432392641	0.001960063724255
ОЕСН 2	49.865066140478760	35.936180316241547	0.001955951405762
ОЕСН 3	49.904012365894978	36.040525321895856	0.001960054763003
НО	49.819471	36.257118	9.0

Переведемо Геодезичні координати наземного об'єкту та трьох оптико-електронних станцій з таблиці 4.1 до Грінвічської системи координат за допомогою формул (2.12) - (2.15) та знайдемо коефіцієнти ліній візування за формулами (2.30) – (2.32). Отримані результати наведено в таблиці 4.2 .

Наступним кроком переведемо координати наземного об'єкту та оптико-електронних станцій з Грінвічської системи координат до Місцевої системи координат за допомогою формул (2.33) – (2.13) і (2.24) – (2.29) та знаходимо кут місця  $\beta$  і азимут  $\alpha$  . Результати наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.2 – Координати в Грінвічській СК і напрямні коефіцієнти ліній візування ОЕСН та НО

	Координати станцій, об'єкта і напрямні коефіцієнти ліній візування в Грінвічській СК					
	X, км	l	Y, км	m	Z, км	n
ОЕСН 1	3333.589	-4.056	2425.593	16.357	4850.339	6.395
ОЕСН 2	3335.320	-5.787	2417.580	24.370	4853.129	3.605
ОЕСН 3	3328.233	1.3	2124.701	20.249	4850.338	0.813
НО	3329.533	0	2441.950	0	4856.734	0

Таблиця 4.3 – Координати в МСК і напрямні коефіцієнти ліній візування ОЕСН в МСК

МСК	Координати об'єкту в МСК (напрямні коефіцієнти в МСК)			Кути повороту	
	X, км	Y, км	Z, км	Азимут $\alpha$ , °	Кут місця $\beta$ , °
ОЕСН 1	-0.721	8.979	15.613	92.644010	29.876740
ОЕСН 2	-5.029	8.954	23.128	102.267551	20.722113
ОЕСН 3	-9.394	8.972	15.609	121.040886	26.219576

4.2 Перевірка адекватності моделі перетворення в Грінвічській системі координат для випадку з трьома станціями

Геометрія задачі зображена на рис. 4.1.

Методом вирішення системи рівнянь для трьох прямих в просторі знайдемо точку їх перетину і перевіримо збіг її координат з координатами об'єкта.

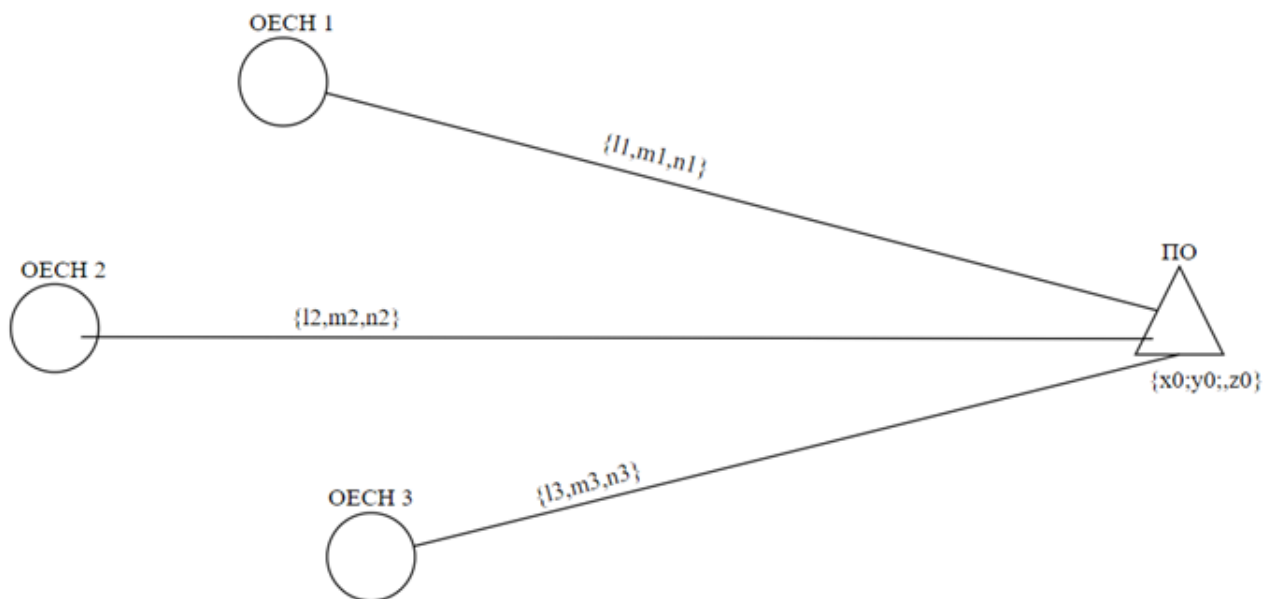


Рисунок 4.1 – Геометрія задачі

Канонічні рівняння прямої в просторі мають вигляд:

$$\frac{x - x_1}{l} = \frac{y - y_1}{m} = \frac{z - z_1}{n}, \quad (4.1)$$

де  $\{l, m, n\}$  – спрямовуючий вектор прямої. При цьому  $l = x_0 - x_1$ ,  $m = y_0 - y_1$ ,  $n = z_0 - z_1$ . З (4.1) маємо систему двох лінійних рівнянь, що однозначно задає положення прямої в тривимірному просторі:

$$\begin{cases} m(x_0 - x_1) = l(y_0 - y_1), \\ n(y_0 - y_1) = m(z_0 - z_1). \end{cases} \quad (4.2)$$

Для того щоб знайти точку перетину трьох прямих в просторі, необхідно вирішити систему з шести лінійних рівнянь для трьох невідомих (координати точки перетину).

$$\begin{cases} m_1 x_0 - l_1 y_0 + l_1 y_1 - m_1 x_1 = 0, \\ n_1 y_0 - m_1 z_0 + m_1 z_1 - n_1 y_1 = 0, \\ m_2 x_0 - l_2 y_0 + l_2 y_2 - m_2 x_2 = 0, \\ n_2 y_0 - m_2 z_0 + m_2 z_2 - n_2 y_2 = 0, \\ m_3 x_0 - l_3 y_0 + l_3 y_3 - m_3 x_3 = 0, \\ n_3 y_0 - m_3 z_0 + m_3 z_3 - n_3 y_3 = 0. \end{cases} \quad (4.3)$$

У загальному випадку, якщо всі рівняння є лінійно-незалежними, така система є перевизначеною і замість точного рішення слід шукати вектор, що мінімізує норму нев'язки системи рівнянь.

Після перетворення системи (4.3) до стандартного вигляду отримаємо матриці коефіцієнтів  $A$  і вільних членів  $B$

$$A = \begin{bmatrix} m_1 & -l_1 & 0 \\ 0 & n_1 & -m_1 \\ m_2 & -l_2 & 0 \\ 0 & n_2 & -m_2 \\ m_3 & -l_3 & 0 \\ 0 & n_3 & -m_3 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} m_1 x_1 - l_1 y_1 \\ n_1 y_1 - m_1 z_1 \\ m_2 x_2 - l_2 y_2 \\ n_2 y_2 - m_2 z_2 \\ m_3 x_3 - l_3 y_3 \\ n_3 y_3 - m_3 z_3 \end{bmatrix}. \quad (4.4)$$

Вектор рішення  $[x^*, y^*, z^*]^T$  знайдемо чисельними методами, які дозволяють обчислити глобальний мінімум норми нев'язки  $f(x^*) = \min_x |A \cdot x - b|$ , а саме методом оберненої матриці, лінійної регресії та розкладу Холецкого.

Результати рішення наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати оцінки адекватності

Метод розв'язання	$x^*$	$y^*$	$z^*$	Норма нев'язки
Метод оберненої матриці	3329.533000	2441.949999	4856.733999	$5.444828 \cdot 10^{-11}$
Метод лінійної регресії	3329.533000	2441.950000	4856.733999	$4.425792 \cdot 10^{-11}$
Розклад Холецького	3329.532999	2441.950000	4856.733999	$7.312246 \cdot 10^{-11}$

Як показує аналіз таблиці 4.4 вектор  $X$  оптимальних рішень перевизначеної системи (4.3) збігається з високою точністю з координатами розташування наземного об'єкта, що свідчить про адекватність досліджуваної моделі оцінювання координат наземного об'єкта.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розміри приміщення, в якому буде розроблюватися система, складає. Робоче місце складається зі столу, стільця та персонального комп'ютера. В приміщенні працюють 6 чоловік. Площа приміщення складає  $42,7 \text{ м}^2$ , об'єм –  $128,1 \text{ м}^3$ . Відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98, площа на одне робоче місце повинна складати не менше  $6 \text{ м}^2$ , об'єм –  $20 \text{ м}^3$ . Для даного приміщення робоча площа та об'єм на одну людину відповідає нормам, так як площа на одне робоче місце складає  $7,11 \text{ м}^2$ , а об'єм –  $21,35 \text{ м}^3$ . Схема приміщення вказана на рисунку 5.1.

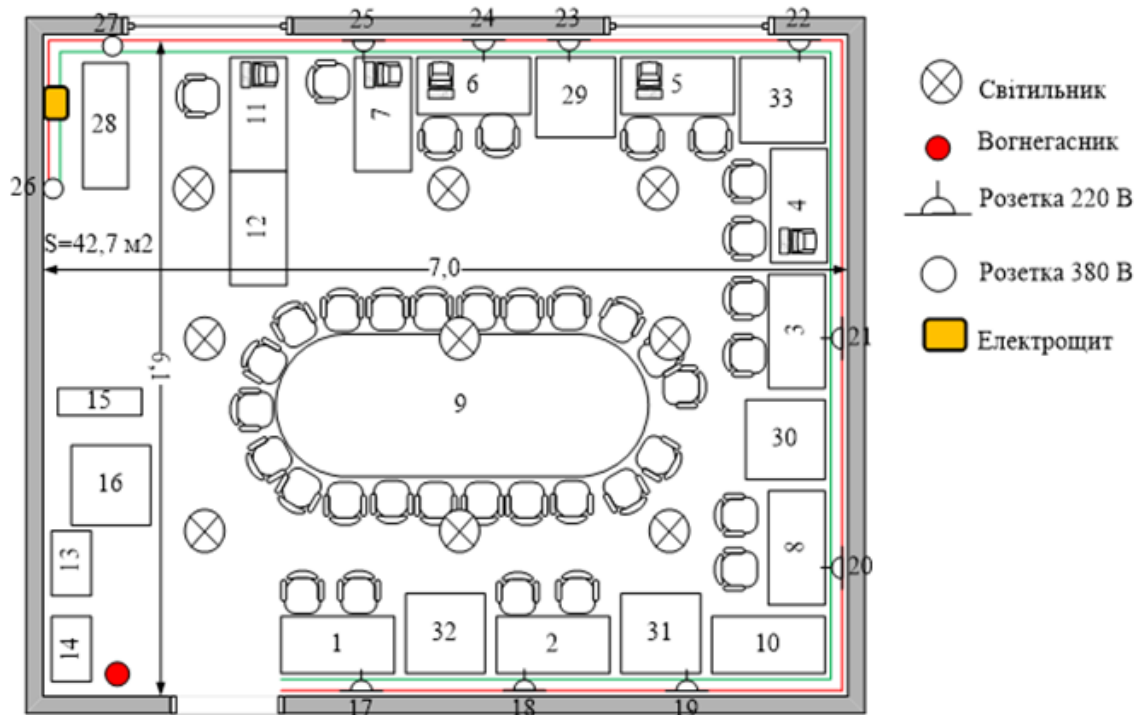


Рисунок 5.1 – Схема приміщення

Для розрахунку природного освітлення необхідно визначити площу вікон, що буде забезпечувати нормоване значення КЕО. Далі необхідно зрівняти розраховану площину з реальною. Приміщення має два вікна, які мають розміри  $2 \text{ м} \times 1,5 \text{ м}$ . Умови праці вважаються нормальними, якщо:

$$S_{вік} \leq S_{реал}, \quad (5.1)$$

де  $S_{вік}$  – площа вікон, що розраховується по формулі 5.2;

$S_{реал}$ , – реальне значення площини вікон в приміщенні що становить 6.4 м<sup>3</sup>;

$$S_0 \leq \frac{e_n \eta_0 K_{з0} K_3 S_n}{100 \tau_0 R_1}, \quad (5.2)$$

де  $S_0$  – площа світлових отворів, що забезпечує нормовані значення КЕО в приміщенні;

$S_n$  – площа підлоги приміщення;

$e_n$  – нормоване значення КЕО для 3-го поясу світового клімату,  $e = 0.9$ ;

$\eta_0$  – світлова характеристика вікна;

$K_{з0}$  – коефіцієнт, що враховує затінення вікон протилежними будівлями,  $K = 1$ ;

$K_3$  – коефіцієнт запасу (залежить від концентрації пилу в приміщенні та від періодичності очищення скла),  $K_3 = 1.4$ ;

$\tau_0$  – загальний коефіцієнт світлопропускання, що визначається в залежності від коефіцієнта пропускання скла, втрат світла в оправах вікна, шару забруднення, наявність сонцезахисних конструкцій,  $\tau_0 = 0.94$ ;

$R_1$  – коефіцієнт, що враховує підвищення КЕО за рахунок відображення.

$$S_0 = \frac{0.9 * 15 * 1 * 1.4 * 42.7}{100 * 0.94 * 1.1} = 7.8 \text{ м}^2. \quad (5.3)$$

Так як  $S_{вік} > S_{реал}$ , то для покращення цього фактора необхідно використовувати штучне освітлення в денний час.

## ВИСНОВКИ

В результаті у кваліфікаційній роботі було сформульовано завдання дослідження вибору методу та алгоритму відстеження траєкторій руху наземних об'єктів за допомогою трьох оптико-електричних станцій. Сьогодні проблема оцінки параметрів траєкторій наземних об'єктів знаходить все більше промислових застосувань.

Також було виконано наступні завдання:

- проведено огляд задачі Відстеження траєкторій руху наземних об'єктів;
- проведено аналіз сучасного стану задачі Відстеження траєкторій руху наземних об'єктів;
- обрано спосіб вирішення задачі Відстеження траєкторій руху наземних об'єктів;
- розроблено програмне забезпечення.

Детально розглянуто моделі та методи супроводу траєкторій наземних об'єктів. Розроблено алгоритм роботи та структуру програми. Розробником продукту було обрано мову програмування Java та середовище розробки IntelliJ Idea 2021, проаналізовано роботу програми та надано практичні поради щодо використання програми для відстеження траєкторії руху об'єктів.

Тобто можна зробити висновок, що цілі ідентифікаційної роботи досягнуті.

Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані для вирішення задачі відстеження траєкторії руху наземних об'єктів промислового та цивільного призначення.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. 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. Филипченко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.

2. ДСТУ 3008-15. Документація. звіти у сфері науки і техніки. структура і правила оформлення [Текст] – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.

3. Optical-electronic system of automatic detection and high-precise tracking of aerial objects in real-time / I. S. Shostko, A. D. Tevyashev, Y. E. Kulia, A. V. Koliadin // The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems. 2020. P. 784–803.

4. Laser Opto-Electronic Airspace Monitoring System in The Visible and Infrared Ranges / A. D. Tevyashev, I. S. Shostko, M. V. Neofitniy, A. V. Koliadin // 2019 IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments. 2020. P. 170–173.

5. Mathematical model and method of optimal placement of optical-electronic systems for trajectory measurements of air objects at test / A. D. Tevjashev, I. S. Shostko, M. V. Neofinyi [and oth.] // Odessa Astronomical Publications. Vol. 32. 2019. P. 171–175.

6. Information-measuring system of polygon based on wireless sensor infocommunication network / A. D. Tevyashev, I. S. Shostko, M. V. Neofitniy, Y. E. Kulia // Chapter in the book Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. 2021. P. 649–674.

7. Information and Measurement System Based on Wireless Sensory

Infocommunication Network for Polygon Testing of Guided and Unguided Rockets and Missiles / A. D. Tevjashev, I. S. Shostko, M. V. Neofinyi [and oth.] // International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology. 2018. P. 705–710.

8. Методи позиціонування вузлів бездротової сенсорної мережі / І. С. Шостко, А. Д. Тевяшев, Ю. Е. Куля [та ін.] // Проблеми телекомунікацій. 2019. Р. 68–89.

9. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу. Київ : Видавнича група ВНУ, 2017. 544 с. (Сер. Інформатика).

10. The Futures of Europe: Society 5.0 and Industry 5.0 as Driving Forces of Future Universities / E.G Carayannis, J. Morawska-Jancelewicz // 2022.

11. Industry 5.0. Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Brüssel / European Commission, Directorate-General for Research and Innovation // European Commission.2021.

12. Industry 5.0, a transformative vision for Europe. Brüssel / European Commission, Directorate-General for Research and Innovation // ESIR Policy Brief No.3. 2022.

13. An Investigation upon Industry 4.0 and Society 5.0 within the Context of Sustainable Development Goals / Zengin, Yunus; Naktiyok, Serkan; Kaygın, Erdoğan; Kavak, Onur & Topçuoğlu // Ethem.2021.

14. Industry 5.0 — Bringing Empowered Humans Back to the Shop Floor / Frost & Sullivan // 2022.

<https://www.frost.com/frost-perspectives/industry-5-0-bringing-empowered-humans-back-to-the-shop-floor>

15. "Society 5.0": Japans smarte Utopie / Lobe, Adrian // Zeit online . 2021. <https://www.zeit.de/kul-tur/2017-04/japan-gesellschaft-zukunft-automatisierung-cebit> (21.01.2022)

16. Дзюндзюк Б. В. Охорона праці. Збірник задач: навч. посібник/ Б. В. Дзюндзюк. – Харків: ХНУРЕ, 2006. – 236 с.