

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Розроблення експертної системи технічної підтримки працівників  
роботизованого виробництва з використанням нейронних мереж та голосового  
керування

(тема)

Виконала:

здобувач 2 року навчання,  
групи КТРСМ-23-2

Карташова Варвара В'ячеславівна

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютеризовані та робототехнічні системи

Керівник к.т.н. доц. каф. КІТАМ Бронніков А.І.

Допускається до захисту  
Зав. кафедри КІТАМ

(підпис)

Невлюдов І.Ш.  
(прізвище, ініціали)

2025 р.

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики, комп'ютеризованих технологій  
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та  
робототехніки  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка  
Освітня програма Комп'ютеризовані та робототехнічні системи  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Зав. кафедри КІТАМ \_\_\_\_\_  
(підпис)  
«  » січня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентці Карташовій Варварі В'ячеславівні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення експертної системи підтримки працівників  
роботизованого виробництва з використанням нейронних мереж та голосового  
керування

Затверджена наказом по університету від 25 листопада 2024р. №1239 Ст.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 23.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Мікрофон, мова Python, бібліотека Speech  
Recognition, синтез мовлення pyttsx3, бібліотека transformers, нейронна модель  
gpt-2.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ; Експертні системи  
у виробництві; Аналіз та вибір технічних засобів для розробки системи;  
Розроблення експертної системи для технічної підтримки працівників  
роботизованого виробництва; Охорона праці для працівників роботизованого  
виробництва; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій  
Презентація 8 с., відео звіт результату роботи програми.

---

---

6. Консультанти розділів роботи

Найменування Розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	Дата
Основна частина			

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення основних функціональних характеристик завдання.	25.11-28.11.24	Виконано
2	Аналіз поточного стану досліджуваної літератури за обраною темою.	29.11-05.12.24	Виконано
3	Виконання розділу 1 Експертні системи у виробництві	06.12-11.12.24	Виконано
4	Виконання розділу 2 Аналіз та вибір технічних засобів для розробки системи	12.12-21.12.25	Виконано
5	Виконання розділу 3 Розроблення експертної системи для підтримки працівників роботизованого виробництва	22.12-06.01.25	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	07.01-10.01.25	Виконано
7	Оформлення презентації	11.01-13.01.25	Виконано
8	Подання роботи на рецензію	14.01-19.01.25	Виконано
9	Подання роботи на підпис зав. Кафедри	19.01-22.01.25	Виконано
10	Подання атестаційної роботи в ЕК	23.01.2025	Виконано

Дата видачі завдання 25.11.2024 р.

Здобувач \_\_\_\_\_ Карташова В.В.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ к.т.н. доц. каф. КІТАМ Бронніков А. І.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

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

«23» січня 2025 р.



Карташова В.В.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 79 с., 3 табл., 23 рис., 3 дод., 36 джерел.

### ЕКСПЕРТНІ СИСТЕМИ, ГОЛОСОВЕ КЕРУВАННЯ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ПРИЛАДОБУДУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – процес формалізації задач в інтелектуальних системах.

Предмет дослідження – програмне забезпечення для підтримки працівників з використанням нейронних мереж та голосового керування.

Методи дослідження – теоретичний аналіз науково-технічної літератури з досліджуваної проблематики, а також систематизація та узагальнення раніше проведених досліджень в області розробки експертних систем.

Метою роботи є підвищення ефективності прийняття рішень і оптимізації виробничих процесів за допомогою розробки експертної системи підтримки працівників роботизованого виробництва з використанням нейронних мереж та голосового керування.

У роботі було проведено огляд експертних систем у виробництві, вибрано та обґрунтовано технології та інструменти для створення системи, розроблена система підтримки працівників роботизованого виробництва з використанням нейронних мереж та голосового керування.

Також, отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме п. 9.4 «Сприяти прискореному розвитку високо- та середньовисокотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта-наука-виробництво» та кластерного підходу за напрямками: розвиток інноваційної екосистеми; розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці, транспорті та промисловості;

високотехнологічне машинобудування; створення нових матеріалів; розвиток фармацевтичної та біоінженерної галузей».

## ABSTRACT

Explanatory note: 79 p., 3 tabl., 23 fig., 3 appendices, 36 sources.

EXPERT SYSTEMS, VOICE CONTROL, SOFTWARE,  
INSTRUMENTATION.

The object of research is the process of formalizing tasks in intelligent systems.

The subject of the study is software for employee support using neural networks and voice control.

Research methods – theoretical analysis of scientific and technical literature on the studied issues, as well as systematization and generalization of previously conducted research in the field of expert systems development.

The purpose of the study is to improve the efficiency of decision-making and optimize production processes by developing an expert system to support robotic production workers using neural networks and voice control.

The paper reviews expert systems in manufacturing, selects and justifies technologies and tools for creating a system, and develops a system for supporting robotic production workers using neural networks and voice control.

Also, the results of the work can be attributed to Sustainable Development Goal 9 “Industry, innovation and infrastructure”, namely p. 9.4 “Promote the accelerated development of high- and medium-tech manufacturing sectors, which are formed through the use of education-science-industry chains and a cluster approach in the following areas: development of an innovation ecosystem; development of information and telecommunication technologies (ICT); application of ICT in agriculture, energy, transport and industry; high-tech engineering; creation of new materials; development of pharmaceutical and bioengineering industries”.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень .....	9
Вступ.....	10
1 Експертні системи у виробництві.....	12
1.1 Визначення приладобудування та його роль у промисловості .....	12
1.2 Аналіз експертних систем та використання у роботизації .....	20
1.3 Нейронні мережі та їх використання у технічній підтримці .....	27
1.4 Технології та можливості голосового керування .....	36
1.5 Висновки до розділу .....	40
2 Аналіз та вибір технічних засобів для розробки системи.....	41
2.1 Структурна схема роботи системи .....	41
2.2 Вибір платформи та основних елементів для реалізації роботи програми.....	42
2.3 Вибір бібліотек голосового керування та ШІ.....	44
2.4 Розрахунок показників надійності та ефективності системи .....	49
2.5 Висновки до розділу .....	56
3 Розроблення експертної системи для технічної підтримки працівників роботизованого виробництва.....	57
3.1 Блок-схема алгоритму роботи програми .....	57
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	58
3.3 Охорона праці для працівників роботизованого виробництва.....	68
3.4 Висновки до розділу .....	71
Висновки .....	73
Перелік джерел посилання .....	75
Додаток А Апробація результатів кваліфікаційної роботи .....	80
Додаток Б Код програми .....	95
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	108

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- ЕС – експертна система;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- ПЛК – програмований логічний контролер;
- ШІ – штучний інтелект;
- ШНМ – штучна нейронна мережа;
- CNN – Convolutional neural network;
- DBN – Deep belief network;
- DL – Deep Learning;
- GAN – Generative adversarial network;
- HMI – Human-Machine Interface;
- IoT – Internet of Things;
- LSTM – Long short-term memory;
- MLP – Multilayer perceptrons;
- NLP – Natural Language Processing;
- RBF – Radial basis function;
- RNN – Recurrent neural network;
- SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition;
- SOM – Self-organising map.

## ВСТУП

Промислові підприємства на сьогоднішній день стикаються та борються з численною кількістю викликів для того, щоб залишатися конкурентоспроможними в довгостроковій перспективі. І тому дуже важливо знайти нові рішення та ефективно реагувати, особливо на такі фактори як зростаючі витрати, оптимізування процесів та ризик помилок, пов'язаних із людським фактором.

Тому компанії з різноматнітних галузей почали інтегрувати експертні системи з штучним інтелектом та роботів, які здатні підвищити ефективність прийняття рішень у виробничих процесах.

Саме з цього витікає актуальність теми. Необхідне впровадження сучасних технологій у роботизоване виробництво дозволить підвищити його процвітання на ринку та покращить працездатність працівників. Використання експертних систем дозволяє автоматизувати рутинні завдання, поліпшити моніторинг стану обладнання та знизити ймовірність людських помилок. Зокрема, застосування нейронних мереж для аналізу даних дозволяє виявляти закономірності, прогнозування можливих збоїв та оптимізувати роботу технічних засобів. Також, інтеграція голосового керування спрощує взаємодію працівників із системою, забезпечуючи безперервний доступ до необхідної інформації та команд.

Метою даної роботи є розробка експертної системи для підтримки працівників роботизованого виробництва, з використанням нейронних мереж та голосового керування. Це дозволить не лише підвищити ефективність прийняття рішень і оптимізувати виробничі процеси, а й створити безпечніші умови праці. У результаті, дана система може стати вагомим інструментом для сучасних підприємств, які прагнуть залишатися конкурентоспроможними на ринку.

Об'єкт дослідження – процес формалізації задач в інтелектуальних системах.

Предмет дослідження – програмне забезпечення для підтримки працівників з використанням нейронних мереж та голосового керування.

Методи дослідження – теоретичний аналіз науково-технічної літератури з досліджуваної проблематики, а також систематизація та узагальнення раніше проведених досліджень в області розробки експертних систем.

Метою даної роботи є розробка експертної системи, що підтримує працівників приладобудівного виробництва, з використанням нейронних мереж та голосового керування. Це дозволить не лише підвищення ефективності прийняття рішень і оптимізації виробничих процесів, а й створити безпечніші умови праці. У результаті, дана система може стати важливим інструментом для сучасних підприємств, які прагнуть залишатися конкурентоспроможними на ринку.

У роботі було проведено огляд сучасних експертних систем, вибрано та обґрунтовано технології та інструменти для створення системи, розроблена система підтримки працівників роботизації з використанням нейронних мереж та голосового керування.

Для виконання цієї роботи потрібно вирішити наступні завдання:

- визначити основні процеси та технології приладобудування;
- проаналізувати використання експертних систем та нейронних мереж у роботизації;
- розробити структурну схему експертної системи;
- вибрати мову програмування, бібліотеки голосового керування та нейронну мережу;
- розробити розрахунок надійності та ефективності системи;
- розробити блок-схему алгоритму роботи програмного забезпечення;
- розробити програмне забезпечення для системи;
- розглянути питання охорони праці;
- оформити пояснювальну записку згідно [1] та [2].

Матеріали роботи були апробовані у [3] та [4].

## 1 ЕКСПЕРТНІ СИСТЕМИ У ВИРОБНИЦТВІ

### 1.1 Визначення приладобудування та його роль у промисловості

Приладобудування це одна з головних галузей, яка керує процесами в промисловості. Воно може створювати різні прилади, починаючи від звичайних побутових пристроїв, датчиків, водонагрівачів, систем безпеки та сигналізації до більш складних – авіаційне або біомедичне обладнання, промислові двигуни для нафтопереробки. Також ця сфера застосовує та створює пристрої для контролю, реєстрації та регулювання змінних з метою підвищення продуктивності більшості процесів (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Інженери в промисловому середовищі

У системах керування, яке створює приладобудування можна одночасно вимірювати широкий спектр змінних, як-от температура, витрати і тиск до часу та відстані. Усі ці змінні можуть впливати один на одного, коли

відбувається певний процес, отже щоб все працювало потрібно відтворити складні мікропроцесорні системи для повного керування. Через швидкий розвиток технологій пристрої, які застосовуються сьогодні, можуть стати застарілими вже завтра, оскільки постійно впроваджуються нові, більш ефективні методи вимірювання. Ці зміни зумовлені потребою в підвищенні точності, якості, прецизійності та продуктивності. Для точного вимірювання параметрів були розроблені техніки, які ще кілька років тому вважалися неможливими [5].

Промисловий прилад – це будь-який пристрій, який використовується для прямого чи опосередкованого вимірювання або контролю змінних процесу. Відповідно до ISA, ця категорія включає пристрої, такі як датчики, передавачі, обчислювальні пристрої, електричні пристрої сигналізації, клавіші і кнопки та ін.

Кожна галузь має велику кількість фізичних змінних, які впливають на продуктивність її виробничого процесу. Роль промислових приладів полягає в моніторингу цих змінних для надання даних, які дозволяють системі керування розуміти поточний стан програми. Ефективний вимір призводить до кращої продуктивності виробничого ланцюжка, оскільки дозволяє виконувати виробничі процеси галузі та, за необхідності, коригувати їх без перерв.

Прикладом може бути один із найвідоміших промислових продуктів у світі: безалкогольний напій Coca Cola. Ви можете купити банку цього напою в різних регіонах планети, і він завжди матиме однаковий смак, з однаковим відсотком цукру, однаковою кількістю барвника та однаковим обсягом у банку у всіх цих місцях. Ця однорідність в основному обумовлена стандартизацією та точністю інструментів, що беруть участь у процесі виробництва продукту. На будь-якому заводі з виробництва безалкогольних напоїв у всьому світі температура приготування, змінні тиску та рівня в резервуарах, кількість інгредієнтів та швидкість потоку в обладнанні завжди будуть однаковими.

З самого початку приладобудування створилося через необхідність оптимізувати застосування пневматичних трансмісійних та контрольних приладів. Ідея полягала в тому, щоб оператор вручну не відкривав та замикав клапани і для цього потрібно було автоматизувати моніторинг та потік обробки. Тепер ці технології вдало інтегровано та опрацьовано ще й для забезпечення більшої продуктивності, безпеки та економії виробничих процесів.

Основною частиною промислового приладобудування є процес виконання коригуючих та профілактичних процедур з технічного обслуговування різних приладів та перевірка стану обладнання в реальному часі. Це дозволяє виробляти більш якісні та точні пристрої, бо завдяки постійній процедурі моніторингу у працівників є можливість бути попередженими про деякі несправності чи збої обладнання, що може забезпечити їхню безпеку. Також це призводить до економії часу та скорочення витрат на заміну деталей.

Основними завдання приладобудівного сектору є:

- зменшення участі людини в технологічних процесах шляхом впровадження виробничих завдань автоматизації для зниження витрат, стійкості підприємства та підвищення продуктивності;
- використання систем контролю та пристроїв для зчитування різних параметрів виробництва, таких як вологість, тиск, температура та склад для покращеної якості вирібів та зменшення відхилень від стандартів якості на кінцевому етапі виготовлення;
- запобігання несправностей та збоїв роботи обладнання, перевірка небезпечних умов праці та середовищ, особливо на підприємствах де присутні шкідливі для людини речовини.

Основні обов'язки інженера на виробництві різняться в залежності від галузі підприємства в якій він працює, кваліфікації та інших факторів (рис. 1.2). Однак, типовими обов'язками залишаються:

- проектування, розробка та обслуговування систем управління;

- конфігурування автоматизованих, електричних систем і процесів;
- інтеграція датчиків з реєстраторами, передавачами, дисплеями або системами управління;
- проектування та нагляд за монтажем, електропроводкою та обробкою сигналів;
- проведення калібрування, тестування та обслуговування систем;
- управління проектами і постачання продукції вчасно і в рамках бюджету.



Рисунок 1.2 – Спеціаліст приладобудування на робочу місці

Приладобудування можна поділити на три етапи – розробку, виробництво та автоматизація.

На етапі розробці фахівцю необхідно проаналізувати та відтворити концепцію приладу, визначити його майбутнє призначення та як він буде працювати. Також, пристрій потрібен відповідати сучасним умовам та вимогам замовника. Для візуалізації цього етапу працівник може додати в свою роботу аналіз технічних умов і потрібних для розробки параметрів та креслення, а за допомогою комп'ютерних програм змайструвати дизайн, змодельовати сам пристрій та його можливу поведінку в різних умовах для знаходження несправностей. Для симуляції можуть бути застосовані програмні засоби MATLAB, LabVIEW або ANSYS.

На наступному етапі починається саме виробництво того, що було підготовлено та симульовано раніше. Зазвичай цей етап включає металообробку та виготовлення електронних деталей, таких як датчики та мікроконтролери. Металообробка це процес механічної обробки металевих деталей за допомогою різних методів, таких як фрезерування – застосовуються фрези для усунення зайвого матеріалу з деталі, токарна обробка – використовує токарні верстати для створення обертальних деталей, зварювання – з'єднує металеві частини нагріваючи їх, або використовуючи електричну дугу. Після процесу обробку прилад потрібно відкалібрувати, тобто перевірити та за потребою коригувати вимірювальні величини відповідно до встановленим стандартам (наприклад, ISO або ASTM).

Етап автоматизація вважається ключовим, тому що впроваджує системи SCADA та програмує програмовані логічні контролери (ПЛК) для управління і моніторингу виробничими задачами. ПЛК застосовуються для виконання різноманітних задач управління та обробки даних. Програмування здійснюється за допомогою мов програмування, таких як Ladder Logic, Structured Text або Function Block Diagram [6]. В свою чергу, системи керування та збору даних (SCADA) це системи, які складаються з різних програмних та апаратних елементів, наприклад комп'ютери або контролери та засоби передачі даних, які взаємодіють з обладнанням (рис. 1.3).

# What is SCADA?

Supervisory Control and Data Acquisition

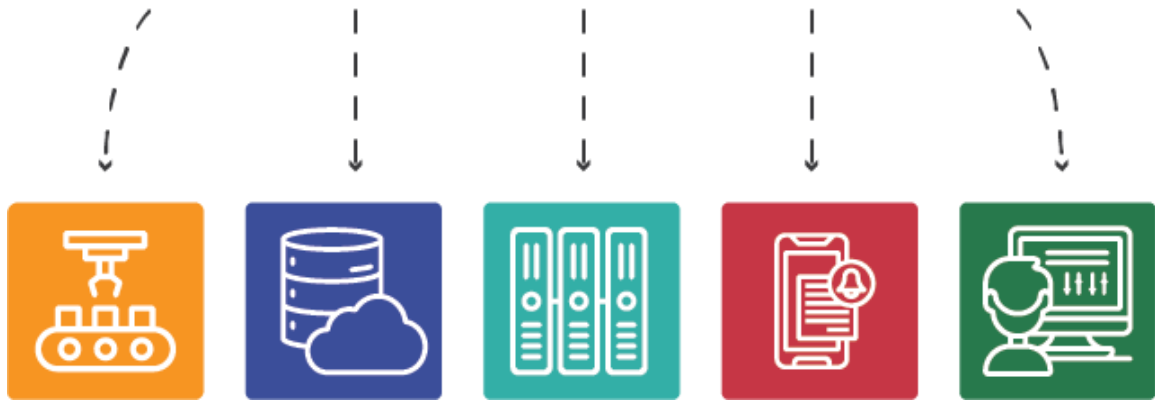


Рисунок 1.3 – Компоненти SCADA

Прилади (наприклад клапани, датчики або двигуни) є основним елементом системи SCADA. Вони розташовані на кожній віддаленій станції та дозволяють ефективно моніторити і контролювати системи з будь-якого місця та у реальному часі. Ці дані можна зберігати, збирати, а потім компіювати в дієві звіти. Отже, SCADA може застосовуватися в різних галузях промисловості, якщо є необхідність збирати, компіювати та аналізувати великі масиви даних одночасно.

Наразі з'являються можливості покращити управління такими процесами, як технічне обслуговування. На підприємствах дуже важливо робити профілактичні заходи для підтримки робочого стану експлуатації приладів, ремонтувати та калібрувати їх вчасно. Нові технології як-от штучний інтелект (ШІ), аналіз даних та машинне навчання значно можуть подовжити термін придатності обладнання. Наприклад, (ШІ) може проаналізувати повну історію збоїв в роботі датчиків, та налаштувати вірні параметри завдяки цим даним, а також прогнозувати можливі в майбутньому поломки.

Хоч з кожним днем інновації все більш захоплюють робототехнічну галузь, полегшують та оптимізують виробництво, нам не слід ігнорувати вклад

та високу кваліфікацію фахівців, які змогли інтегрувати такі складні технології в виробничий процес. Але нажаль, люди як і комп'ютери мають свої певні вади і часто стикаються з різними викликами, які можуть вплинути на їхню безпеку чи працездатність.

Головна проблема для працівників заводів це завдати шкоду своєму здоров'ю. У багатьох промислових середовищах обладнані величезні та важкі прилади які потенційно несуть небезпеку, бо фахівець може отримати тілесні ушкодження через падіння або несправність обладнання. Вплив токсичних речовин, гучний шум і екстремальні температури можуть призвести до довгострокових проблем зі здоров'ям.

Оскільки нові технології постійно впроваджуються, працівники повинні навчатися та адаптуватися, щоб залишатися актуальними та ефективно взаємодіяти з сучасними системами. Фахівець може втратити роботу через брак знань використання нового ПЗ чи обладнання, або виконання повторюваних та небезпечних завдань які наразі можуть виконувати машини. Це провокує стрес у багатьох робітників галузі.

На багатьох промислових підприємствах діє позмінний графік роботи (день-ніч), це коли працівник наприклад одну неділю працює в денні зміни, а наступну неділю працює тільки в нічні зміни. До такого режиму дуже важко звикнути і це може порушити особисте життя та призвести до втоми або виснаження. Природа промислової роботи часто передбачає високий тиск для досягнення виробничих цілей, що призводить до стресу та негативного впливу на психічне здоров'я працівників (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Виклики, з якими стикаються працівники на виробництві

Але деякі проблеми можна усунути, якщо інтегрувати ці пункти в промислові підприємства:

- впровадити експертні системи та штучний інтелект для швидкого доступу до відповідних рекомендацій на робочому місці, наприклад, для пошуку поломок;
- організувати програми навчання, тренінги, мастер класи для підвищення кваліфікації та знань робітників;
- створити комфортні умови для працівників, наприклад надавати корпоративні акції, відпочинки, чи підвищити заробітню плату;
- найняти лікаря в ті зони, де є висока загроза життю та здоров'ю людини, наприклад будівництво, а для боротьби з пасивними чи агресивними настроями найняти корпоративного психолога.

Вирішення цих проблем, підвищення безпеки на робочому місці та сприяння відкритому спілкуванню можуть допомогти пом'якшити ці проблеми та підвищити загальний добробут працівників промисловості.

## 1.2 Аналіз експертних систем та використання у роботизації

В молодіжному світі швидких технологічних прогресів і промислових процесів які становляться все більш складними, попит на ефективну технічну підтримку є першочерговим. Експертні системи, які моделюють досвід людини за допомогою складних алгоритмів і бази знань, стали життєво важливим рішенням для задоволення цього попиту.

Експертна система, заснована на знаннях, являє собою комп'ютерну програму, яка використовує досвід та інформацію у визначеній галузі для прийняття рішень. Ця система містить в собі базу даних, яка резервує збірку інформації та правил та відтворює усі дані про проблемну область [7].

Експертна система розроблена для заміни людей-експертів в конкретній галузі, наприклад, приладобудуванні. Коли на виробництві не вистачає фахівців для проектування чи діагностики, експертна система може надавати поради та пояснення, які вже існують в базі знань в теперішньому часі. Додавання знань в базу даних експертної системи є основним процесом, який визначає гнучкість системи.

Існують різні способи додавання знань:

- додавання знань експертами, використовуючи інтерфейс системи та спеціальної мови для описування фактів і правил, але цей процес займає купу часу та обмежується обсягом знань фахівців;

- автоматизоване вилучення знань, воно може працювати з великими обсягами інформації та швидко оброблювати дані, але потребує складних інтеграцій, таких як машинне навчання або *data mining*;

- комбінований підхід використовує декілька методів разом, утворюючи більш якісну та комплексну систему, але вимагає великих витрат на розробку.

Власне, експертна система представляє собою комплекс знань про проблему, яку потрібно застосувати та механізм, який дозволяє використовувати ці знання для вирішення завдання в вигляді набору правил (рис. 1.5).

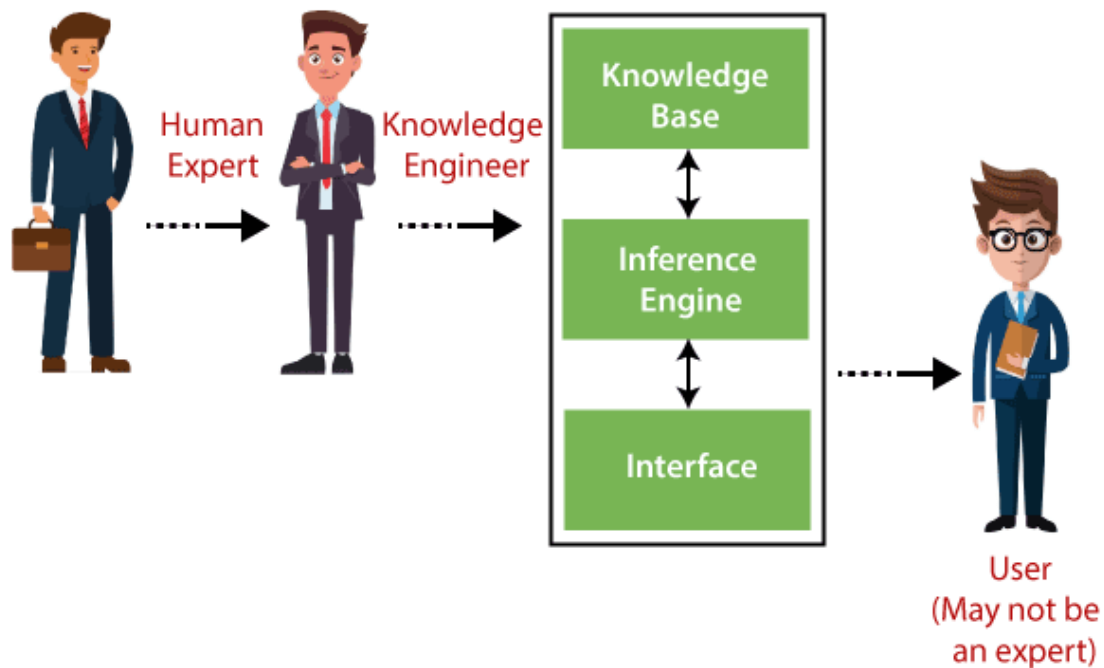


Рисунок 1.5 – Компоненти експертної системи

Нижче представлена таблиця з описом компонентів експертної системи.

Раніше завдання, потребуючі високих та точних знань, робили тільки кваліфіковані експерти. Але коли підприємства почали інтегрувати в процес роботи комп'ютерні технології, вони також почали застосовувати експертні системи спочатку для діагностики обладнання. І однією з перших галузей галузей, яка почала використовувати експертні системи була приладобудування [8].

Так і зараз, експертні системи продовжують використовуватися в виробництві, але вже не тільки для діагностики, але й для оптимізації, управління та обслуговування. Промислові підприємства все частіше стали додавати експертні системи для аналізу даних з датчиків, щоб виявити проблему або відхилення роботи техніки ще до їх виникнення. Одною з переваг експертних систем є те що вони можуть обробляти дані в режимі реального часу, тим самим зменшувати час простою, подовжувати термін придатності та експлуатації приладів та модернізувати графіки технічного

обслуговування. Компанії зазначають зниження витрат на 30% та підвищення ефективності роботи за рахунок зменшення неочікуваних відмов [9].

Таблиця 1.1 – Опис компонентів експертної системи

Компонент	Опис компонента
Інтерфейс користувача	<p>Цей компонент допомагає користувачам без досвіду взаємодіяти з експертною системою та знаходити рішення проблеми. Інтерфейс для експертної системи є більш складним, ніж інтерфейс для інших систем або програмних рішень. Тому що повинні бути такі можливості, як надання відповідей на поставлені запитання, пояснення, альтернативні рішення, фіксація відсутньої інформації в експертній системі. Крім того, інтерфейси системи також можуть керувати взаємодією через природну мову (голос і текст). Chatbot є хорошим прикладом природного мовного інтерфейсу для будь-якого програмного забезпечення. Сьогодні багато експертних систем мають веб-інтерфейси. Оскільки веб-інтерфейси можуть підтримувати багато засобів масової інформації, наприклад графіку, зображення, голос тощо.</p>

Продовження таблиці 1.1

Компонент	Опис компонента
База знань	Представляє факти та правила, складається із знань у певній області, а також правил для вирішення проблеми, процедур і внутрішніх даних, що мають відношення до області. Знання можуть зберігатися в базах даних, веб-серверах, файлових серверах або хмарі. База знань має бути структурована залежно від вимог, таких як динамічна та статична інформація.
Механізм логічного висновку	Являє собою відмінну функцію експертних систем. Усі стратегії вирішення проблем або функції експертної системи вбудовані в механізм логічного висновку. Основні методи штучного інтелекту, такі як алгоритми пошуку, прямий ланцюжок, зворотний ланцюжок, вважаються методами логічного висновку. Механізм логічного висновку відрізняє експертні системи від класичної системи баз даних. Це процес за допомогою якого система застосовує знання для генерації нової інформації або для прийняття рішень.

Передові технології, такі як штучний інтелект або машинне навчання, використовуються для оптимізації виробничих процесів. Введення цих

технологій призвело до підвищення продуктивності на 10-15% та зниженню кількості бракованих виробів [10].

Експертні системи вдало використовується не тільки в оптимізації, а ще в контролі якості, де вони спроможні автоматично аналізувати індустріальні дані для того щоб аналізувати відхилення від зазначених стандартів та аномалії, позначати дефекти, в той час як робітники можуть зосередитися на більш складних завданнях з оцінювання даних. В цьому контексті, вони можуть також автоматизувати повторювані задачі, щоб використовувати менше ресурсів підприємства, та скорочувати час виконання роботи.

Приведемо приклад такого використання. На підприємстві, де фахівці працюють на складальній лінії, щоб зробити нормальні умови праці потрібно зрівноважити робочі навантаження. В першу чергу для цього необхідно розглянути такі людські чинники – втома, напруження та безпека. Також потрібно врахувати час виконання завдань та рівень набутих вмінь спеціалістів, тому що він може дуже різнитися. Виходячи з цього в експертної системи є ціль забезпечити безпеку експертів шляхом збалансування робочого навантаження. В цьому випадку системі допомагає працювати з неоднозначними даними нечітка логіка. Вона також дозволяє системі використовувати дані з бази знань, наприклад: «Якщо для роботи потрібні великі фізичні зусилля, але працівник відчуває втому, передати задачу іншому спеціалісту». Для реалізації такої системи потрібно зібрати якомога більше даних про фізичні дані та досвід робітників, а також інформацію про вимоги та складність майбутніх завдань. Після обробки даних, на основі з'явившихся правил, система буде генерувати прийняття рішень щоб підвищити ефективність. Обов'язково в таких системах залишається зворотній зв'язок від експертів, які в майбутньому зможуть поновити вже існуючу інформацію (рис. 1.6). Система може адаптуватися до виробничих змін, що робить її гнучкою в рухливих умовах [11].

У контексті ланцюга поставок, ЕС може спрогнозувати коливання попиту та запропонувати оптимальні рівні запасів, мінімізуючи надлишкові

запаси та знижуючи витрати. Експертні системи можуть контролювати промислові процеси в реальному часі, виявляючи неефективність і рекомендуючи коригування. Так у сфері хімічної обробки експертна система може постійно оцінювати умови реакції та пропонувати різні перетворювання щоб досягнути максимального виходу речовини, але зменшити кількість відходів. А в енергетичній промисловості експертні системи здатні поліпшити графіки виробництва електроенергії так щоб зробити витрати на паливо мінімальними.

У інших галузях, як охорона здоров'я, виробництво чи фінанси експертні системи можуть швидко надати відповідні рекомендації у режимі реального часу, що полегшує процес прийняття рішень у фахівців та покращує результати роботи, особливо в критичних ситуаціях. Наприклад, на роботизованому заводі експертна система може визначити потрібні дані про продуктивність приладу та запропонувати негайне втручання для запобігання збоїв, якщо воно потребується.

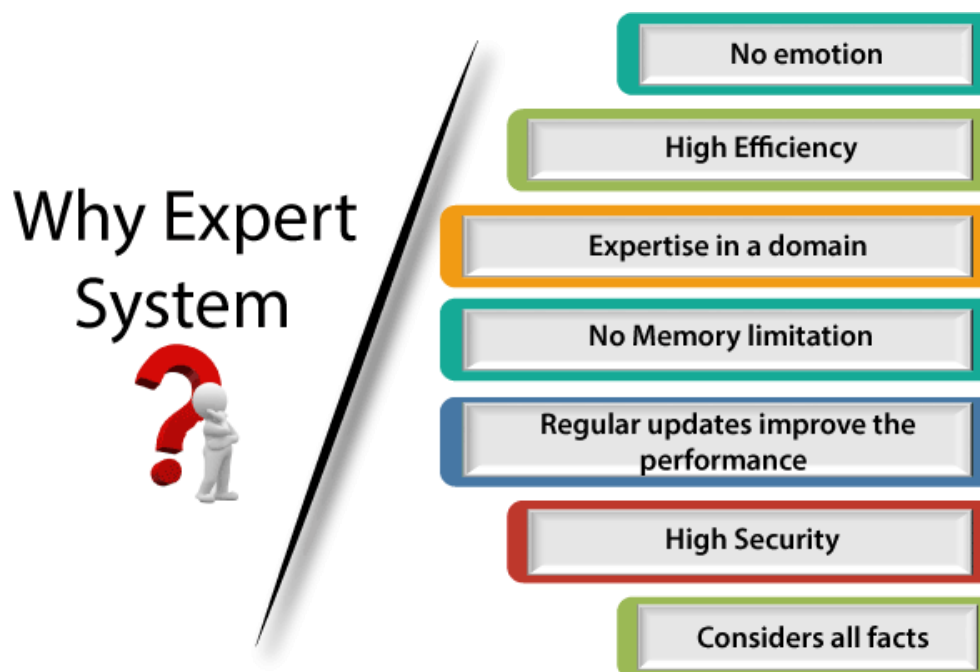


Рисунок 1.6 – Переваги експертних систем

Прийняття рішень людиною може бути схильне до помилок через упередження або втому, особливо в середовищах високого тиску. Експертні

системи усувають мінливість, надаючи послідовні рекомендації на основі встановлених критеріїв. Наприклад, у діагностичній медицині експертна система може оцінювати симптоми пацієнта за всеосяжною базою даних медичних знань, що призводить до більш надійних діагнозів. Експертна система MYCIN діагностує бактеріальні інфекції та підбирає потрібні антибіотики. Її база знань включає в себе симптоми, історії захворювань, лабораторні аналізи, та запит користувача [12].

Дуже цінну роль ЕС відіграють в сфері управління знань. Людський фактор є обмеженим, висококваліфіковані фахівці можуть вийти на пенсію або просто звільнитись і щоб їх знання не були втрачені, експертні системи кодують ці знання у структурований формат, який може містити унікальну інформацію, досвід, певні дослідження та правила якими володіли експерти. Так підприємство з нафтогазової обробки може застосовувати експертну систему для збереження методів буріння чи методів обробки емульсій.

Юні фахівці часто стикаються з потребою в більш детальному навчанні. Експертні системи можуть слугувати для них інтерактивними інструментами навчання, дозволяючи новачкам досліджувати сценарії та вивчати найкращі практики в певному середовищі. Наприклад, новий технік може практикуватися з допомогою експертної системи в моделюванні виробничих задач перед тим як отримувати досвід в реальному навчанні. Це дуже корисно в процесах, які можуть нести загрозу для здоров'я та життя людини.

Експертні системи роблять середовище інноваційним, сприяючи його постійному покращенню. Досліджуючи немало знань і даних, експертні системи можуть виявляти приховані від експертів тенденції та ідеї. Керований цими даними підхід, допомагає корпораціям робити обґрунтовані та більш точні рішення щоб знайти нові спрямування на світовому ринку та можливості для покращення якості продукції та виробництва в цілому.

Впровадження експертних систем в виробництва відтворило нову культуру поїстійного навчання та удосконалення робочого процесу,

підвищення рівня кваліфікації робітників, та що немало важливо забезпечення безпеки експертів.

### 1.3 Нейронні мережі та їх використання у технічній підтримці

Штучний інтелект (ШІ) проникає в усі аспекти нашого модернізованого життя. Від розумних помічників, які ведуть нас містом, до механізмів рекомендацій, які вгадують, які продукти ми повинні помістити в кошик або яку пісню нам слід послухати наступною.

Прогрес був швидким і вплинув на кожну галузь у світі – від найбільш традиційних, як сільське господарство, до нових дисциплін, як робототехніка. Переважну більшість цього стрімкого прогресу можна пояснити прогресом у глибокому навчанні – новому підході до створення найбільш людиноподібного штучного інтелекту [13].

Глибоке навчання (DL, Deep Learning) – це підрозділ машинного навчання з сильним акцентом на тому, щоб навчити комп'ютери навчатися як люди – на прикладі. У дитинстві ви легко дізнаєтесь, як виглядає яблуко – форму, колір, текстуру – і ви навчитеся розуміти, що коли ви почуєте слово «яблуко», ви, швидше за все, отримаєте солодкий круглий червоний предмет, який можна вкусити. Методології глибокого навчання працюють на основі того, що машини також можна навчати на досвіді. Алгоритм неодноразово отримує одне й те саме завдання, і щоразу отримує зворотний зв'язок щодо його продуктивності, щоб у майбутньому він міг коригувати свою точність. Глибоке навчання є підрозділом машинного навчання. Обидві дисципліни переслідують одну мету – навчити машини ставати «розумнішими» в тому, що вони роблять.

Алгоритми машинного навчання можна запрограмувати на виконання точних завдань – класифікувати дані, прогнозувати ціни тощо. Коли нові дані стають доступними, їх ефективність покращується. Однак ці вдосконалення та коригування має виконувати інженер-людина. Глибоке навчання знижує

рівень участі людини в навчальному процесі. Такі алгоритми мають лише задані дані та початкові параметри для операційної обробки цих даних. Вони здатні самостійно визначити, чи є їхній результат (прогноз чи дія) точним чи ні [14].

Давайте проілюструємо це на швидкому прикладі. У вас є термостат з голосовим керуванням, запрограмований на регулювання температури щоразу, коли ви активуєте його та кажете 20 °C. Якщо він працює на основі машинного навчання, з часом він може навчитися вловлювати цифровий компонент у більш складних командах, наприклад «Будь ласка, зробіть вдома 20 °C».

Тепер, якщо ваш термостат працює за допомогою моделі глибокого навчання, з часом він зможе почати регулювати температуру, коли почує щось на зразок «Боже, холодно!» або «Я сьогодні мерзну!». По суті, він здатний навчатися за допомогою власного мозку, а точніше – штучної нейронної мережі.

Нелінійна система моделювання даних, у якій моделі або шаблони встановлюються в складних зв'язках між вхідними даними і вихідними відомі як штучна нейронна мережа (ШНМ). Нейронні мережі мають чудову здатність до навчання. Вони розглядаються як нелінійні спостережувані пристрої відображення даних, у яких показано зв'язок між джерелами даних. Нейронна мережа складається з трьох нейронних шарів, з шаром вхідних одиниць, який приймає дані ззовні, з шаром «прихованих» одиниць, який оброблює інформацію, їх може бути стільки, скільки потрібно для вирішення задачі [15]. Та шар вихідних одиниць, який видає результати обробки даних. Дані надходять до джерел даних і подорожують мережею, шар за шаром, доки не досягнуть вихід (рис. 1.7).

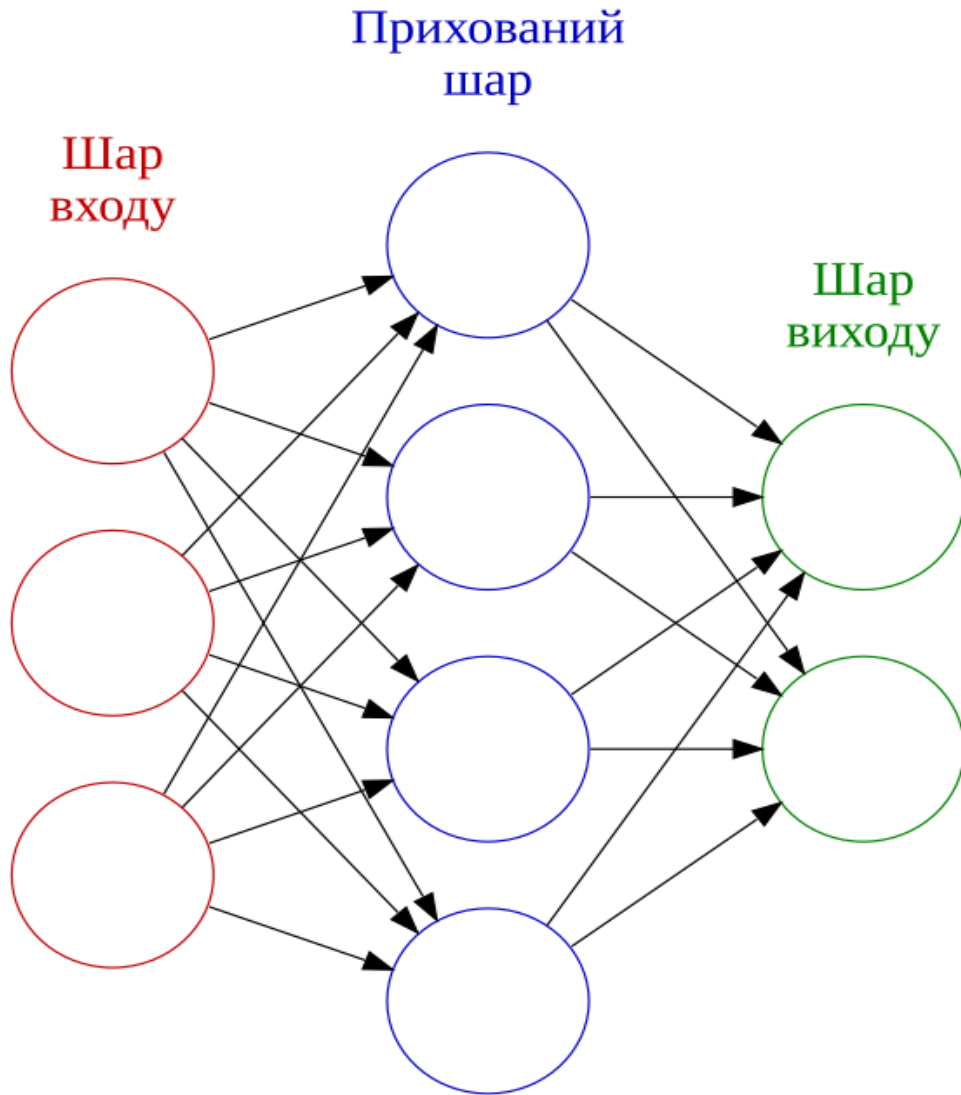


Рисунок 1.7 – Структура штучної нейронної мережі (ШНМ)

Існують різні нейронні мережі, кожна з яких має унікальну структуру та функції. У таблиці 1.2 описано вісім часто використовуваних нейронних мереж у сучасних технологіях.

Таблиця 1.2 – Типи нейронних мереж

Нейронна мережа	Функції та опис мережі
<p>1. Згорткові нейронні мережі (CNN)</p>	<p>Згорткові нейронні мережі (CNN) можуть вводити зображення, ідентифікувати об'єкти на зображенні та відрізняти їх один від одного. Їх програми включають розпізнавання образів, розпізнавання зображень і виявлення об'єктів.</p> <p>Структура складається з трьох основних рівнів. Перше – це згортковий рівень, де відбувається більша частина обчислень. Друге – це рівень об'єднання, де кількість параметрів у вхідних даних зменшена. Третій – класифікує функції, витягнуті з попередніх шарів.</p>
<p>2. Рекурентні нейронні мережі (RNN)</p>	<p>Повторювані нейронні мережі (RNN) можуть перекладати мову, розпізнавати мову, обробляти природну мову та підписувати зображення. Приклади продуктів, які використовують RNN, включають технології розумного дому та функції голосових команд на мобільних телефонах.</p>

## Продовження таблиці 1.2

Нейронна мережа	Функції та опис мережі
3. Мережі радіальних базисних функцій (RBF)	Мережі радіальної базисної функції (RBF) відрізняються від інших нейронних мереж тим, що вхідний рівень не виконує обчислень. Замість цього він передає дані безпосередньо на прихований шар. Як наслідок, RBF мають вищу швидкість навчання. Застосування мереж RBF включає прогнозування часових рядів і апроксимацію функцій.
4. Довгі мережі короткочасної пам'яті (LSTM)	Мережі довгострокової короткочасної пам'яті (LSTM) є унікальними та можуть сортувати дані на комірки короткочасної та довгострокової пам'яті залежно від того, чи потрібно дані повертати назад у мережу як точки даних або цілі послідовності. LSTM також можна використовувати для розпізнавання рукописного тексту та перетворення відео в текст.

## Продовження таблиці 1.2

Нейронна мережа	Функції та опис мережі
<p>5. Багатошарові перцептрони (MLP)</p>	<p>Багатошарові перцептрони (MLP) – це нейронні мережі, здатні вивчати зв'язок між лінійними та нелінійними даними. Завдяки зворотному розповсюдженню MLP можуть зменшити рівень помилок. Програми, які виграють від MLP, включають розпізнавання обличчя та комп'ютерне бачення.</p>
<p>6. Генеративні змагальні мережі (GAN)</p>	<p>Генеративні змагальні мережі (GAN) можуть генерувати нові набори даних, які мають ту саму статистику, що й навчальний набір, і часто передаються як фактичні дані. Прикладом цього, який ви, ймовірно, бачили, є мистецтво, створене за допомогою ШІ. GAN можуть відтворювати популярні форми мистецтва на основі шаблонів у навчальному наборі, створюючи твори, які часто неможливо відрізнити від людських творів мистецтва.</p>

Кінець таблиці 1.2

Нейронна мережа	Функції та опис мережі
7. Мережі глибокої віри (DBN)	Мережі глибокої віри (DBN) є унікальними, оскільки вони складаються з окремих мереж, які можуть використовувати приховані мережеві рівні одна одної як вхідні дані для наступного рівня. Це дозволяє швидше навчати нейронні мережі. Вони використовуються для створення зображень і даних захоплення руху.
8. Самоорганізуючі карти (SOM)	Самоорганізуючі карти (SOM) або карти Кохонена, можуть перетворювати великі складні набори даних у зрозумілі двовимірні карти, де можна візуалізувати геометричні зв'язки. Це може статися через те, що SOM використовують алгоритми конкурентного навчання, у яких нейрони повинні конкурувати, щоб бути представленими на виході. Це визначається тим, які нейрони найкраще представляють вхідні дані. Практичні застосування SOM включають відображення тенденцій голосування для аналізу та впорядкування складних даних.

Нейронні мережі знаходять широке застосування в будь-яких галузях, тож розглянемо одну з них – нейронні мережі для технічної підтримки.

(ШІ) під силу забезпечувати цю підтримку на основі певних даних, автоматизувати вирішення розповсюджених проблем чи запитів та поліпшувати сервіс обслуговування клієнтів. Один із ключових прикладів їх використання – чат-боти та віртуальні асистенти. Наприклад, Amazon активно використовує AI та нейронні мережі для технічної підтримки, зокрема через Alexa. Голосовий помічник Alexa використовує нейронні мережі для розуміння голосових команд і надання відповідей на популярні питання. Крім того, система підтримки Amazon може передбачати, які питання будуть найбільш актуальні для користувачів, і пропонувати їм релевантну інформацію чи рекомендації [16]. Завдяки моделі обробки природної мови (NLP), користувачі можуть отримувати відповіді у реальному часі. Це допомагає швидко відповідати на питання, зрозуміти потреби юзера або надсилати запити на які не знайшлося відповіді до оператора.

Ще один приклад – автоматизація класифікації звернень. Нейронні мережі можуть автоматично розподіляти вхідні запити за типом проблеми, наприклад, технічні, фінансові чи інформаційні запити. Це підвищує ефективність, адже запити надсилаються правильному фахівцю. Для цього завдання зазвичай застосовуються згорткові нейронні мережі (CNN) щоб проаналізувати текст або багатошарові перцептрони (MLP) для класифікації за певними характеристиками запиту [17].

Сучасні нейронні мережі також корисні для прогнозування та аналізу несправностей та збоїв. Використовуючи історичні дані про обладнання, рекурентні нейронні мережі (LSTM) можуть спрогнозувати ймовірність збоїв чи потребу в технічному обслуговуванні. Це дозволяє уникати помолок та тримати обладнання у відмінному стані.

Цікавий факт, що ШІ здатен також обробляти емоції користувачів, визначати інтонацію і зміст повідомлень, щоб зрозуміти рівень задоволеності чи розчарування клієнтів.

Особливо потрібні та ефективні у технічній підтримці вважаються рекомендаційні системи. В них є механізм запам'ятовування минулих запитів, тобто, якщо до цього користувач вже звертався до системи, вона може запропонувати індивідуальну рекомендацію згідно попередніх проблем, або надати стандартне рішення якому вона навчена.

Нарешті, нейронні мережі здатні робити автоматичний переклад, що дуже актуально для технічної підтримки клієнтів, наприклад якщо ця система встановлена в 5-ти зірковому готелі, де постійно відпочивають туристи з різних країн. Трансформери автоматично перекладають запити, що роблять системи доступними для великого кола людей.

Таким чином, нейронні мережі відкривають нові та різноманітні горизонти для технічної підтримки, роблячи системи швидкими та потужними, які здатні оперативно відповідати на запити користувачей (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Нейронні мережі та виробництво

Впровадження нейронних мереж стає все більш невід'ємним процесом для промислових підприємств через надання компаніям значних переваг та можливості займати перше місце серед конкурентів. У роботизованих сферах майбутній шлях штучного виглядає дуже перспективним. Очікується, що ШІ

удосконалить і змінить звичну роботу підприємств та фірм. Передові технології зможуть об'єднувати та зберігати дані в одному місці, інтегруючи їх з обладнання та додаючи їх у середовища, де вони будуть разом з іншими даними. Прийняття рішень відбуватиметься за допомогою ШІ. Очікується, що в найближчі кілька років буде запроваджено співпрацю з даними, коли нормою стане збір і поєднання інформації між командами та розширення можливостей експертів для надання унікальної інформації.

#### 1.4 Технології та можливості голосового керування

Технологія розпізнавання мови вже є сталою частиною взаємодії між людиною та технікою, яка забезпечує міцний зв'язок між користувачем та пристроями за допомогою усних команд і запитів. За останні кілька десятиліть досягла значного прогресу в обробці та розумінні природньої мови, який перетворив розпізнавання голосу з унікальної технології до широкого використання у повсякденному житті та в промисловості [18].

Розпізнавання голосу або мовлення – це здатність машини або програми отримувати та інтерпретувати диктовку або розуміти і виконувати усні команди. Розпізнавання голосу набуло популярності та використання з розвитком штучного інтелекту (ШІ) та інтелектуальних помічників, таких як Alexa від Amazon та Siri від Apple (рис. 1.9).

Системи розпізнавання голосу дозволяють споживачам взаємодіяти з технологіями, просто розмовляючи з ними, уможливорюючи запити без допомоги рук, нагадування та інші прості завдання.

Розпізнавання голосу може ідентифікувати та розрізнити голоси за допомогою програм автоматичного розпізнавання мови (ASR). Деякі програми ASR вимагають, щоб користувачі спочатку навчили програму розпізнавати свій голос для більш точного перетворення мови в текст. Системи розпізнавання голосу оцінюють частоту голосу, акцент і потік мови.

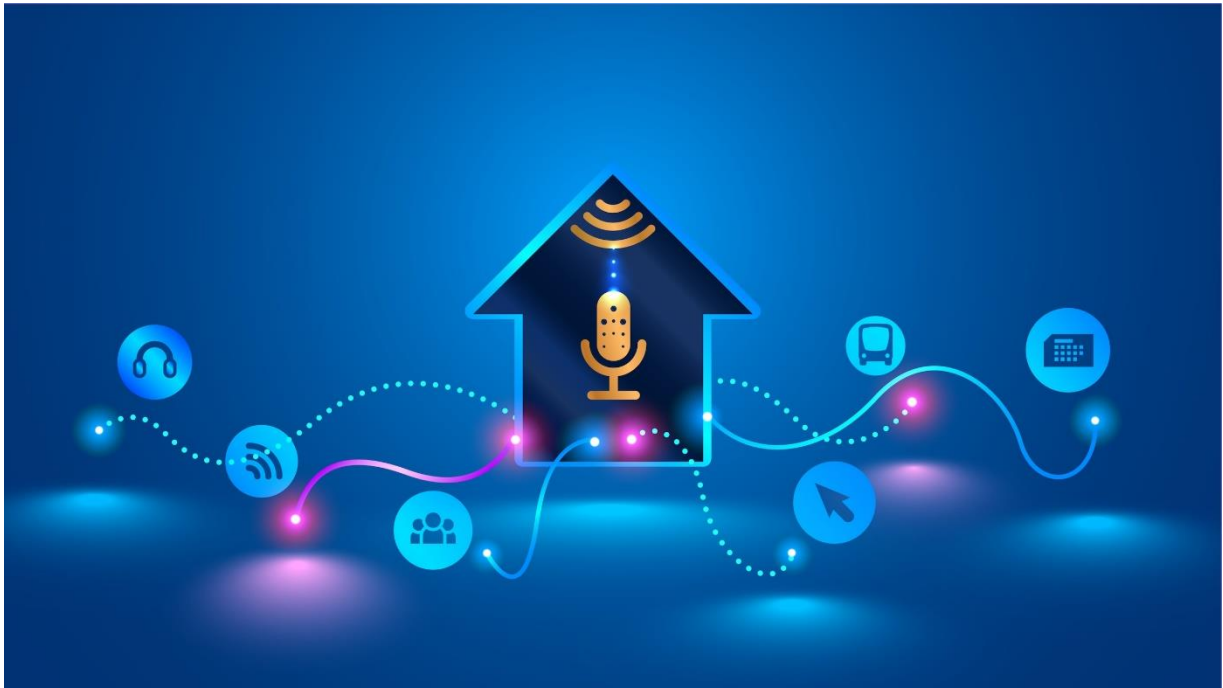


Рисунок 1.9 – Голосове керування домашніми пристроями

В робототехніці, голосове керування поліпшило спілкування операторів та інженерів з машинами та системами, воно забезпечує роботу без застосування рук, підвищує ефективність та безпеку в умовах підвищеної небезпеки. На хімічних заводах чи галузях важкого машинобудування, де робітники можуть мати обмежену рухливість чи видимість (наприклад, при носінні захисних костюмів), розпізнавання мови підвищує безпеку. Фахівці можуть надавати команди для керування машинами та аварійні команди (наприклад зупиняти машину, ініціювати протоколи вимкнення), зменшуючи необхідність фізичного контакту з панелями управління, що особливо корисно в небезпечних або стерильних середовищах. Також це корисно в диспетчерських або на станціях віддаленого моніторинга та покращує швидкість реагування. Системи з НМІ (Human-Machine Interface) з використанням голосу можуть активувати сигнали тривоги, запускати процеси та зупиняти операції, коли ситуація потребує негайних дій [19].

Голосові команди також можуть застосовуватись для управління роботами або на складальних лініях, що прискорює переключення системи та зкорочує час простою. Інженери, які виконують діагностику та запобіжні

заходи, можуть надавати голосові накази для збору даних, управління аналізуючим обладнанням та змінювати настройки інструментів. Також, системи голосового керування можуть надати зворотній зв'язок та повідомлення в реальному часі, які сповіщають працівників про стан систем чи наявності несправностей.

Заводи, які оснащені датчиками промислового Інтернету речей (IoT), теж можуть внедрити систему розпізнавання мовлення. Наприклад, фахівці перевіряють дані з датчиків, такі як тиск або температура голосовими командами, що допомагає їм контролювати ці параметрів без участі людини.

Хоч голосове керування і набуло значного прогресу, воно все ще має певні недоліки. Наприклад, є проблема з інтеграцією голосового управління на промислові підприємства бо це доволі шумні та великі середовища, які значно знизять точність голосових команд.

Ще один основний мінус в тому, що існує складність розпізнавання мови в людей з вадами мовлення, або різними акцентами. Для вирішення цієї проблеми потрібно долучати штучний інтелект, який навчений на великих акцентних та багатомовних наборах даних.

На великих корпораціях де існує загроза вкрадання даних, голосове керування потребує додаткових та надійних компонентів захисту, щоб уникнути несанкціонованого втручання в систему чи підміни голосу.

Але не дивлячись на усі мінуси, голосове керування вже має доволі успішне впровадження у виробництво. Наприклад, завод Siemens інтегрував голосове управління в свої промислові робототехнічні системи, в виробничих контролерах Simatic робітники надають голосові інструкції для управління роботизованими руками та іншими машинами на складальних лініях (рис. 1.10). Для цього фахівці використовують спеціальні гарнітури для подання команд, типу «Взяти предмет» або «Перемістити в становище», керуючи роботами без ручного введення [20].

Bosch інтегрувала голосове розпізнавання до своїх систем контролю якості на заводах з виробництва автомобільних складових. Інспектори

використовують голосові команди для запуску візуальних перевірок, доступу до даних та реєстрації результатів, не перериваючи свій робочий процес. Інспектор Bosch може сказати: «Збільшити деталь 2» або «Зареєструвати дефект в елементі 10» під час перевірки якості, що дозволяє керувати системою перевірки без допомоги рук. Так голосове керування скорочує час перевірки, підвищує точність виявлення дефектів та оптимізує процес контролю якості [21].

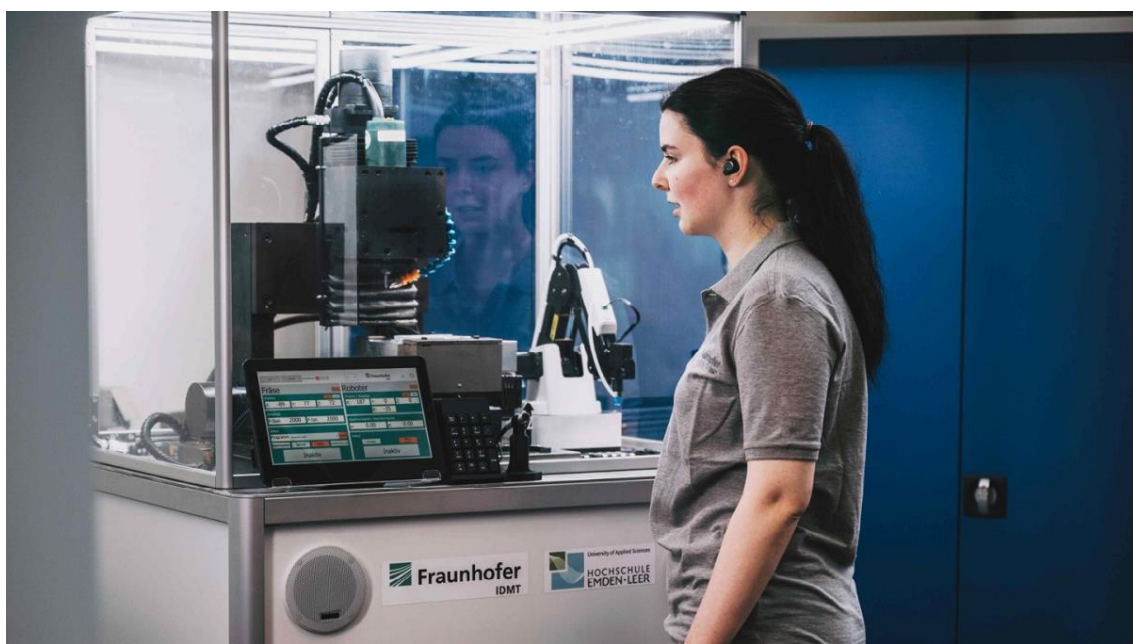


Рисунок 1.10 – Використання голосового керування на виробництві

Ford Motor Company також вдало впровадила голосове керування для збірки та діагностики своїх транспортних засобів. Спеціалісти використовують Microsoft HoloLens із вбудованим голосовим керуванням для доступу до даних у реальному часі під час складання транспортних засобів або проведення перевірок контролю якості. Робітник на виробничій лінії може використовувати голосові команди для активації інструментів, перегляду 3D-схем або перевірки стану деталей, і все це не залишаючи свого робочого місця. Перевагами цього підходу є безконтактний доступ до інформації, підвищена точність збирання складних компонентів та підвищена продуктивність праці [22].

## 1.5 Висновки до розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи було розглянуто експертні системи у виробництві, а саме охоплено такі питання, як визначення приладобудування та його роль в промисловості, аналіз експертних систем та використання у роботизації, нейронні мережі та їх використання у технічній підтримці та технології голосового керування.

Детально було розглянуто взаємодію новітніх технологій, як-от штучний інтелект та експертні системи, плюси їх впровадження в виробництво та інтегрування голосового керування в промисловість. Наведено приклади вже існуючих інтеграцій в різних галузях. Також було висвітлено виклики, з якими стикаються працівники роботизованого виробництва та можливості усунення цих проблем. Описано основні завдання приладобудування та етапи розробки пристроїв у приладобудівному секторі.

## 2 АНАЛІЗ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ

### 2.1 Структурна схема роботи системи

Структурну схему роботи системи представлено на рис. 2.1.

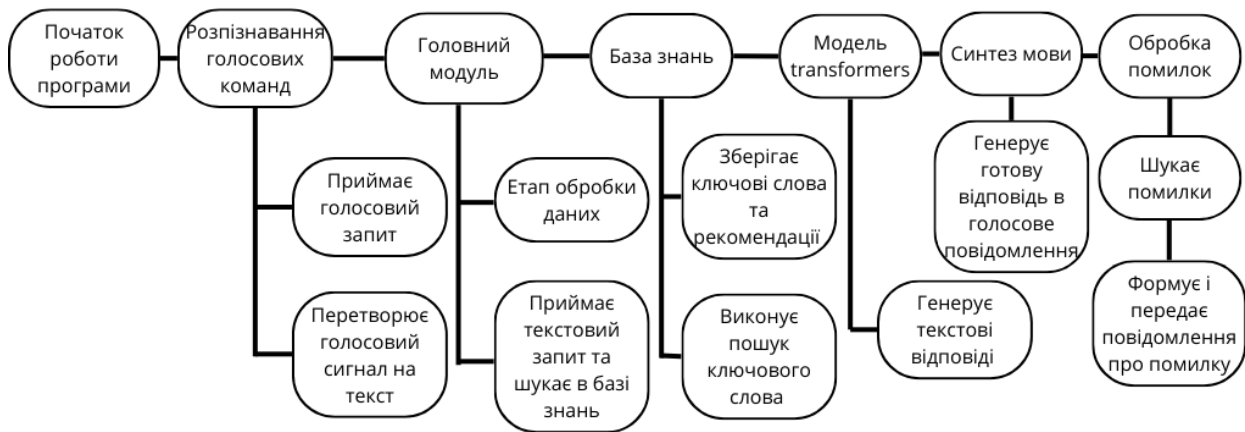


Рисунок 2.1 – Структурна схема роботи системи

Кожен компонент системи взаємодіє з іншим, що надає системі Perezberibnyu obrobku golosovykh zapitiv. Initsializatsiya programy vidpovadiє za pidgotovku usiei systemy do roboty.

Робота програми починається з модуля розпізнавання мовлення Speech Recognition, який через мікрофон приймає голосовий запит користувача. Далі він обробляє це запит перетворюючи його в текстовий та направляє до іншого модулю.

Наступний модуль, його ще можна назвати головним, тому що тут відбувається головна логіка системи (або main logic). Цей модуль призначен для керування кожного етапа обробки, він приймає запит з розпізнаванням мовлення та проводить пошук ключового слова в базі знань. Якщо запит

знаходиться, то далі він передається до синтезу мовлення, а також надсилається в модуль transformers для генерації альтернативної відповіді.

В базі знань зберігається набір ключових слів та рекомендації до них відповідно. При отриманні запита система починає робити пошук ключового слова в базі даних (формат JSON). Якщо ключове слово знайдено, повертаються рекомендації.

Модель transformers (GPT-2) генерує відповіді на основі вже існуючих в базі знань рекомендацій та видає їх як додаткові. На цьому етапі текстова відповідь вже готова до озвучення. Щоб ця відповідь була озвучена система переходить до модуля синтезу мови (pyttsx3), яка приймає текстовий результат від бази знань та gpt-2, перетворює текст в голосове повідомлення та озвучує відповідь. В разі коли система не розпізнала мовлення, існує ще один модуль обробки помилок, який формує повідомлення про помилку та відправляє його до головного модуля для озвучування користувачу.

## 2.2 Вибір платформи та основних елементів для реалізації роботи програми

Python є одною з відоміших мов програмування, яка була створена в кінці 1980-х років голландським програмістом Гвідо ван Россумом. Сама розробка мови почалася ще в 1989 році, а перший вихід на світ програми (Python 0.9.0) був у 1991 році. Спочатку Python виглядав як простий проект та інструмент для вирішення і обробки питань автоматизації, але з часом став набагато впливовішим компонентом в ІТ-сфері та откритий для веб-розробки, різних наукових досліджень, машинного навчання та штучного інтелекту, обробки природньої мови NLP та автоматизації [23].

Тому для цієї експертної системи була обрана саме ця мова програмування. З часом ця мова перетворилася з невеликої низькорангової мови в мову високого рівня, але вона стала популярна завдяки тому що вона

дуже проста в використанні та має різні можливості, наприклад в роботі з текстом, розпізнавання голосу, додаванням нейронних мереж тощо.

Мова Python була обрана завдяки своїм перевагам, а саме:

- оскільки система працює з текстовими і голосовими запитами, Python з його бібліотеками для обробки природної мови (такими як NLTK, spaCy, TextBlob) є гарним вибором для розробки завдань з текстового аналізу;
- Python має бібліотеки для розпізнавання мовлення, наприклад SpeechRecognition, яка втілена в проект та дозволяє обробляти голосові запити з використанням доступних API, таких як Google Speech API або Microsoft Azure;
- Python легко інтегрує нейронні мережи та машинне навчання, він дає змогу втілювати в проект моделі машинного навчання для потреб програміста;
- завдяки простому синтаксису, Python дозволяє швидко створювати прототипи програм і тестувати їх. Це особливо важливо в умовах швидкого розроблення експертної системи, де важливо часто змінювати та коригувати код.

Таблиця 2.1 – Основні елементи програми

Основні елементи програми	
Функції та методи	Всі основні етапи обробки запиту реалізовані у вигляді функцій для покращення організації коду та можливості його повторного використання.
Умовні оператори	Для перевірки наявності ключових слів, синонімів та правильності введених даних.

## Продовження таблиці 2.1

Основні елементи програми	
Цикли	Використовуються для ітерацій по списках ключових слів або синонімів.
Обробка виключень	Для надійності та запобігання помилок при доступі до сервісів або роботі з аудіо.
Інтерфейс взаємодії	На кожному етапі програма надає користувачеві інформацію, будь то текстовий або голосовий інтерфейс.

Ці елементи дозволяють створити стабільну та інтерактивну експертну систему, яка може обробляти голосові та текстові запити, знаходити відповідні ключові слова та надавати синоніми для подальшого використання в процесах підтримки та аналізу.

### 2.3 Вибір бібліотек голосового керування та ШІ

Для розробки системи голосового управління та технічної підтримки працівників робототехніки використовуються такі бібліотеки: SpeechRecognition, Pyttsx3 та Transformers, sentence\_transformers, random, re та nltk.corpus.wordnet. SpeechRecognition робить точним розпізнавання голосових запитів та перетворює аудіо в текст за допомогою різних движків, таких як Google Web Speech API або CMU Sphinx. У свою чергу, Pyttsx3 може генерувати голосові відповіді з тексту, створюючи можливість взаємодії з користувачем через синтез мовлення, з підтримкою налаштування голосу та швидкості мови. Бібліотека Transformers, з іншого боку, використовує моделі

машинного навчання, наприклад як DistilBERT, який використовується для розв'язання завдань питання-відповіді і дозволяє системі надавати релевантні відповіді на запити користувачів. `sentence_transformers` перетворює слова або фрази у числовий вектор (ембедінг) для того щоб легше було обчислити і шукати схожі тексти, які найбільше відповідають запиту. `Random` працює з випадковими числами зі списку, а в свою чергу бібліотека `re` шукає в рядках зайві символи та видаляє їх. Бібліотека `nltk.corpus.wordnet` дає нам доступ до бази даних `Wordnet`, яка розбиває слова за значенням, в даному випадку бібліотека була підключена для пошуку синонімів в базі знань. Разом ці бібліотеки надають користувачу зручну платформу для голосового управління та технічної підтримки та полегшує взаємодію людини та системи.

Нижче розглянемо ці бібліотеки більш детально.

Бібліотека `SpeechRecognition` наразі широко використовується серед бібліотек для завдань з розпізнання мови в `Python`. Вона дозволяє перетворювати голосові запити на текст, що корисно для подальших дій та обробки в системі.

Основні функції:

- можливість записувати аудіо з мікрофону і зчитувати його сенс, а далі переробляти запит в текстовий формат;
- підтримка різних алгоритмів(движків) для розпізнавання мови, наприклад популярний `Google Web Speech API` тому що він є безкоштовним і працює через інтернет, `CMU Sphinx` навпаки, дозволяє виконувати задачі без доступу до інтернету, `Houndify`, `Microsoft Bing Voice Recognition`, `IBM Speech to Text`, `Google Cloud Speech-to-Text` це платні API, які також можуть бути використані для розпізнавання мовлення;
- `SpeechRecognition` підтримує багато мов, включаючи англійську, українську та інші;
- бібліотека дає змогу працювати безпосередньо з мікрофоном комп'ютера, що дозволяє реалізувати голосовий інтерфейс для додатків.

Pyttsx3 – це бібліотека для синтезу мови, яка дозволяє Python перетворювати текст в аудіо, використовуючи голосові движки. Вона є кросплатформною і підтримує кілька різних голосових движків, таких як SAPI5 (для Windows), NSSpeechSynthesizer (для macOS), і espeak (для Linux). Pyttsx3 дозволяє юзеру формувати голосові відповіді в системах.

Основні функції:

- бібліотека може переробляти будь-який текст у аудіо формат для того, щоб додавати голосові повідомлення або відповідати користувачеві;
- бібліотека може використовувати різні голоси, як чоловічий так жіночий, а також відрегулювати гучність або швидкість;
- Pyttsx3 працює на Windows, macOS і Linux, що робить його універсальним для кросплатформених застосунків;
- Pyttsx3 можна використовувати без підключення до Інтернету.

Бібліотека Transformers від Hugging Face створена для роботи з трансформерами, які показали гарний результат в дослідженнях обробки природної мови (NLP). Вона дає доступ на використання вже попередньо навчених моделі для постановки різних задач NLP, таких як переклад тексту, генерація тексту, класифікація тексту, розпізнавання сутностей і навіть діалогові системи.

Трансформери – це архітектура нейронних мереж, яка була висвітлена в праці “Attention is All You Need” у 2017 році. Вони використовують механізм self-attention, який дозволяє моделі враховувати взаємозв'язки між усіма елементами входу (тексту, послідовності слів) одночасно, що значно покращує ефективність у порівнянні з попередніми підходами, такими як рекурентні нейронні мережі (RNN) та довготривалі короткочасні пам'яті (LSTM) [24].

Основні компоненти трансформера:

- Encoder (зчитує вхідний текст і створює динамічне уявлення кожного слова);
- Decoder (генерує відповідь або прогнозує послідує слово в тексті на основі ситуації) (рис. 2.2).

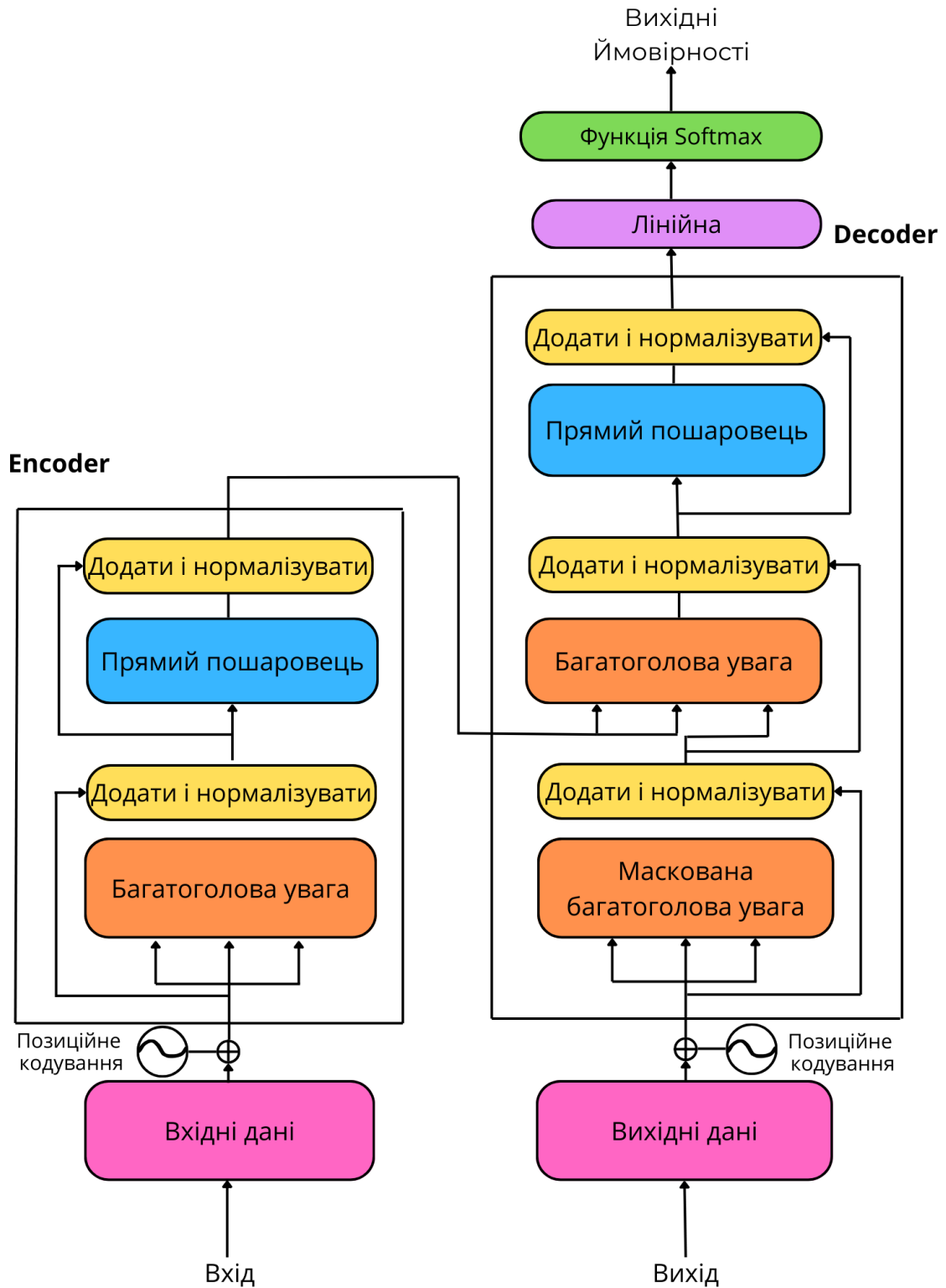


Рисунок 2.2 – Архітектура трансформера

Трансформери налаштовані вчитися швидко та здатні опрацьовувати великі обсяги даних завдяки паралельній обробці, що влучно підходить для завдань мов NLP.

Бібліотека Transformers може надавати великий спектр навчених моделей трансформерів, таких як BERT, GPT-2, T5, RoBERTa, DistilBERT, BART та інші. Ці моделі можуть бути застосованими для вирішення різнопланових задач, таких як класифікація тексту, генерація тексту, переклад, розпізнавання сутностей (NER), аналіз настроїв, запитання-відповіді та діалогові системи.

Особливості та переваги бібліотеки:

- бібліотека містить моделі, натреновані на великих датасетах, таких як Wikipedia, Common Crawl та інші, що дозволяє досягти високої точності на широкому спектрі завдань;

- API бібліотеки дозволяє швидко інтегрувати моделі в проекти, навіть без детальних знань про трансформери та їх архітектуру. Завдяки зручному синтаксису ви можете безпосередньо використовувати попередньо натреновані моделі для обробки тексту;

- можна завантажувати моделі за допомогою лише кількох рядків коду, а також користуватися попередньо натренованими моделями або здійснювати тонке налаштування моделей під ваші специфічні завдання;

- бібліотека підтримує різноманітні NLP завдання, що робить її дуже універсальною.

В цьому проєкті використовується модель трансформера GPT-2, яка розроблена OpenAI та є мовною моделю, яка широко застосовується для питань обробки природної мови NLP.

GPT-2 – це мовна модель, розроблена на основі трансформера глибокого навчання, створена OpenAI у лютому 2019 року з єдиною метою – передбачити наступні слова у реченні. GPT-2 – це абревіатура від «Generative Pretrained Transformer 2» («Генеративний попередньо навчений трансформер 2»). Модель має відкритий вихідний код і навчається на більш ніж 1,5 мільярдах

параметрів, щоб генерувати наступну послідовність тексту для заданого речення. Завдяки різноманітності набору даних, що використовується в процесі навчання, ми можемо отримати адекватну генерацію тексту для текстів з різних доменів. GPT-2 має в 10 разів більше параметрів і в 10 разів більше даних, ніж його попередник GPT [25].

Мовні завдання, такі як читання, конспектування та переклад, GPT-2 може розв'язувати на основі необробленого тексту без використання навчальних даних з конкретної предметної області.

Задача моделі GPT-2 полягає в тому, щоб впровадити голосового асистента для генерації відповідей на запити працівників природною мовою. Завдяки базі знань з якою працює GPT-2 з усунення несправностей, ця модель може генерувати власні рішення для проблем, пов'язаних з виробництвом.

Ця модель є менш енергомістка ніж більш нові моделі (наприклад GPT-3), а значить вона краще підходить для звичайного апаратного забезпечення, що дуже важливо для системи, яка працює швидко.

## 2.4 Розрахунок показників надійності та ефективності системи

Оцінка параметрів системи є важливою для забезпечення її надійності, точності розпізнавання команд та економічної доцільності впровадження.

Розрахунки включають аналіз точності розпізнавання голосу, час на обробку голосових команд, навантаження на обчислювальні ресурси, частоту помилок. Це дозволяє більш обґрунтовано підійти до вибору технологій, оцінити вимоги до обчислювальних ресурсів та спрогнозувати потенційну ефективність системи у виробничому середовищі.

Метою розрахунків є визначення, чи зможе система ефективно розпізнавати голосові команди та оптимізувати процеси на робочому місці,

забезпечуючи високу продуктивність і зменшуючи можливі помилки під час виконання завдань.

Для того щоб розрахувати точність та інші фактори, усього було зроблено 120 спроб.

Це значить, що

$$\text{Загальні спроби (TA, Total Attempts)} = (\text{Розпізнані спроби} + \text{Відхилені спроби} + \text{Неправильні спроби}) = 120,$$

де TA – загальна кількість спроб.

Розпізнані спроби (RR, Recognized Attempts) – це кількість разів, коли система успішно розпізнала і правильно інтерпретувала мову користувача. Для розрахунку цього значення, потрібно знати загальну кількість спроб (TA, Total Attempts) і кількість правильно розпізнаних спроб (CA, Correctly Accepted Attempts):

$$RR = CA / TA = 90 / 120 = 0,75,$$

де 90 – кількість розпізнаних спроб,

$$\% RR = (90 / 120) \cdot 100 = 75\%,$$

де 75% – відсоток розпізнаних спроб.

Це показник точності системи в розпізнаванні мови. Нижче він буде описан як точність мови (SA, Speech Accuracy).

Відхилені спроби (RA, Rejected Attempts) – це кількість разів, коли система відкинула мовлення користувача і не змогла його розпізнати або правильно зрозуміти. Для розрахунку цього значення, вам потрібно знати загальну кількість спроб (TA) і кількість відхилених спроб (DA, Denied Attempts):

$$RA = DA / TA = 23 / 120 = 0,19,$$

де 23 – кількість відхилених спроб,

$$\% RA = (23 / 120) \cdot 100 = 19\%,$$

де 19% – відсоток відхилених спроб.

Це може вказувати на деякі складнощі в розпізнаванні або можливу невідповідність між вимовленими командами і зразками, використовуваними в системі.

Неправильні спроби (IA, Incorrect Attempts): це кількість разів, коли система неправильно розпізнала або неправильно інтерпретувала мову користувача. Для розрахунку цього значення, вам потрібно знати загальну кількість спроб (TA) і кількість невірних спроб (WA, Wrong Attempts):

$$IA = WA / TA = 7 / 120 = 0,05,$$

де 7 – кількість неправильних спроб,

$$\% IA = (6 / 120) \cdot 100 = 5\%,$$

де 5% – відсоток неправильних спроб.

Це може вказувати на помилки в розпізнаванні або невідповідність між вимовленою промовою і наданими зразками або очікуваними командами.

При проведенні експериментів для оцінки ефективності системи розпізнавання голосу важливо розуміти, як різні рівні гучності впливають на точність розпізнавання. Цей аналіз допоможе визначити, при яких умовах система працює найкраще і які фактори можуть негативно вплинути на її

продуктивність. Загальна кількість команд для низької гучності дорівнює 50, а кількість правильно розпізнаних команд для низької гучності дорівнює 32.

Точність гучності (Accuracy Volume, AV): це показник, який визначає наскільки система розпізнає команди користувача при різних рівнях гучності. Для розрахунку цього значення нам потрібно знати кількість правильно розпізнаних команд для низької гучності (CA<sub>low</sub>, Correctly Accepted Attempts for low volume) та загальну кількість команд для низької гучності (TA<sub>low</sub>, Total Attempts for low volume):

$$AV_{low} = CA_{low} / TA_{low} = 32 / 50 = 0,64,$$

$$\% AV_{low} = (32 / 50) \cdot 100\% = 64\%,$$

де 64% – точність розпізнавання голосу при низькому рівні гучності, тобто 64% були розпізнані вірно.

За таким же методом дізнаємося точність розпізнавання голосу при середньому рівні гучності та високому. Загальна кількість команд для середньої гучності (CA<sub>mid</sub>) та для великої гучності (CA<sub>high</sub>) дорівнює 50, а кількість правильно розпізнаних команд для середньої гучності (TA<sub>mid</sub>) дорівнює 37, в свою чергу для високої гучності (TA<sub>high</sub>) дорівнює 40:

$$AV_{mid} = CA_{mid} / TA_{mid} = 37 / 50 = 0,74,$$

$$\% AV_{mid} = (37 / 50) \cdot 100\% = 74\%,$$

$$AV_{high} = CA_{high} / TA_{high} = 40 / 50 = 0,8,$$

$$\% AV_{high} = (40 / 50) \cdot 100\% = 80\%.$$

Аналіз точності розпізнавання голосу показує, що система має найкращу продуктивність при високих рівнях гучності (80%), порівняно з середніми (74%) і низькими (64%) рівнями. Це свідчить про необхідність оптимізації системи для роботи в умовах низької гучності, що може включати поліпшення алгоритмів розпізнавання або використання більш чутливих мікрофонів для підвищення точності при тихих командах. Таким чином, користувачам рекомендується говорити помірно або голосно для досягнення найкращих результатів під час взаємодії з системою.

Оцінка точності розпізнавання голосу при різних рівнях шуму є критично важливою для визначення ефективності системи в реальних умовах. Дослідження впливу шуму на точність дозволяє зрозуміти, наскільки добре система здатна працювати в шумному середовищі.

Для обчислення точності розпізнавання команд при різних рівнях шуму (NA, Noise accuracy) нам потрібно знати кількість правильно розпізнаних команд при високому рівні шуму (CAh, Correctly Accepted Attempts for high noise) та загальну кількість команд (TAh). При експерименті було зроблено всього 50 команд, кількість правильно розпізнаних дорівнює 35:

$$NA = CAh / TAh = 35 / 50 = 0,7,$$

$$\%NA = CAh / TAh = (35 / 50) \cdot 100\% = 70\%.$$

Точність розпізнавання голосу при високому рівні шуму становить 70%. Це вказує на те, що система має певні труднощі з розпізнаванням команд у шумному середовищі.

Середня точність системи (AA, Average Accuracy) – це загальний показник, який дозволяє оцінити ефективність системи розпізнавання голосу з урахуванням усіх проведених експериментів. Цей показник дозволяє зрозуміти, наскільки система справляється з різними умовами, включаючи рівні гучності і шуму.

Середня точність визначається шляхом обчислення середнього значення точності для всіх експериментів:

$$\%AA = (\%AS + \%AV + \%NA) / 3 = (75\% + 72,6\% + 70\%) / 3 = 72,5\%.$$

Середня точність системи становить 72,5%. Цей показник свідчить про те, що в цілому система показує добрі результати, але все ще є простір для покращення, особливо в умовах високого шуму. Аналіз цих даних може допомогти у подальшій оптимізації системи для досягнення вищої точності в різних умовах.

Коефіцієнт варіації (CV) є корисним показником для оцінки стабільності системи на основі варіації точності. Він дозволяє зрозуміти, наскільки точність варіює від середнього значення. Чим нижчий коефіцієнт варіації, тим більш стабільною є система.

Формула для розрахунку коефіцієнта варіації виглядає наступним чином:

$$CV = \sigma / \mu \cdot 100\%,$$

де  $\sigma$  – стандартне відхилення точності між експериментами;

$\mu$  – середнє значення точності.

Щоб обчислити коефіцієнт варіації нам необхідно спочатку обчислити середнє значення точності ( $\mu$ ):

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

де  $X_i$  – це значення точності для кожного експерименту;

$n$  – кількість експериментів.

А також обчислити стандартне відхилення ( $\sigma$ ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n}}$$

Підставляємо дані, отримані з розрахунків вище. Загальна кількість експериментів – 320 спроб.

Середнє значення точності обчислюється за формулою:

$$\mu = (75\% + 72,6\% + 70\%) / 3 = 72,5\%.$$

Обчислення суми квадратів відхилення ( $\sigma$ ) за формулою:

$$\sigma = (75 - \mu)^2 + (72,6 - \mu)^2 + (70 - \mu)^2 \approx 6,1009 + 0,0049 + 6,4009 \approx 12,5067.$$

Обчислення стандартного відхилення:

$$\sigma = \frac{\sqrt{12,5067}}{3} \approx \sqrt{4,1689} \approx 2,04.$$

Обчислення коефіцієнта варіації (CV):

$$CV = (2,04 / 72,5) \cdot 100\% \approx 2,81\%.$$

Коефіцієнт варіації (CV) для системи становить приблизно 2,81%. Це свідчить про невелику варіацію точності, що вказує на стабільність системи при розпізнаванні голосу, гучності та шуму.

## 2.5 Висновки до розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи було розроблено структурну схему системи та детально описано кожний компонент цієї схеми. Описано вибір мови програмування Python, описано основні бібліотеки, які використовуються в програмі, а саме transformers, speech recognition, pyttsx3 та ін. Також було наведено архітектуру трансформерів, описано компоненти трансформерів (encoder та decoder), обґрунтовано вибір моделі трансформера – GPT-2 для генерації відповідей на запити користувача.

Для надійності та ефективності системи було розраховано її показники. Було розраховано кількість розпізнаних спроб, відхилених спроб та неправильних спроб. Також було розраховано показник, який визначає наскільки система розпізнає команди користувача при різних рівнях гучності та він становить 64 %. Обчислено коефіцієнт варіації для оцінки стабільності системи, який становить 2,81 %, що свідчить про те, що система є стабільною, а розрахунок точності системи в свою чергу становить 72,5 %, що означає непогані результати, але систему можна покращувати, особливо в середовищах високого шуму.

## 3 РОЗРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ТЕХНІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПРАЦІВНИКІВ РОБОТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

### 3.1 Блок-схема алгоритму роботи програми

Блок-схема алгоритму роботи програмного забезпечення представлено на рис. 3.1.

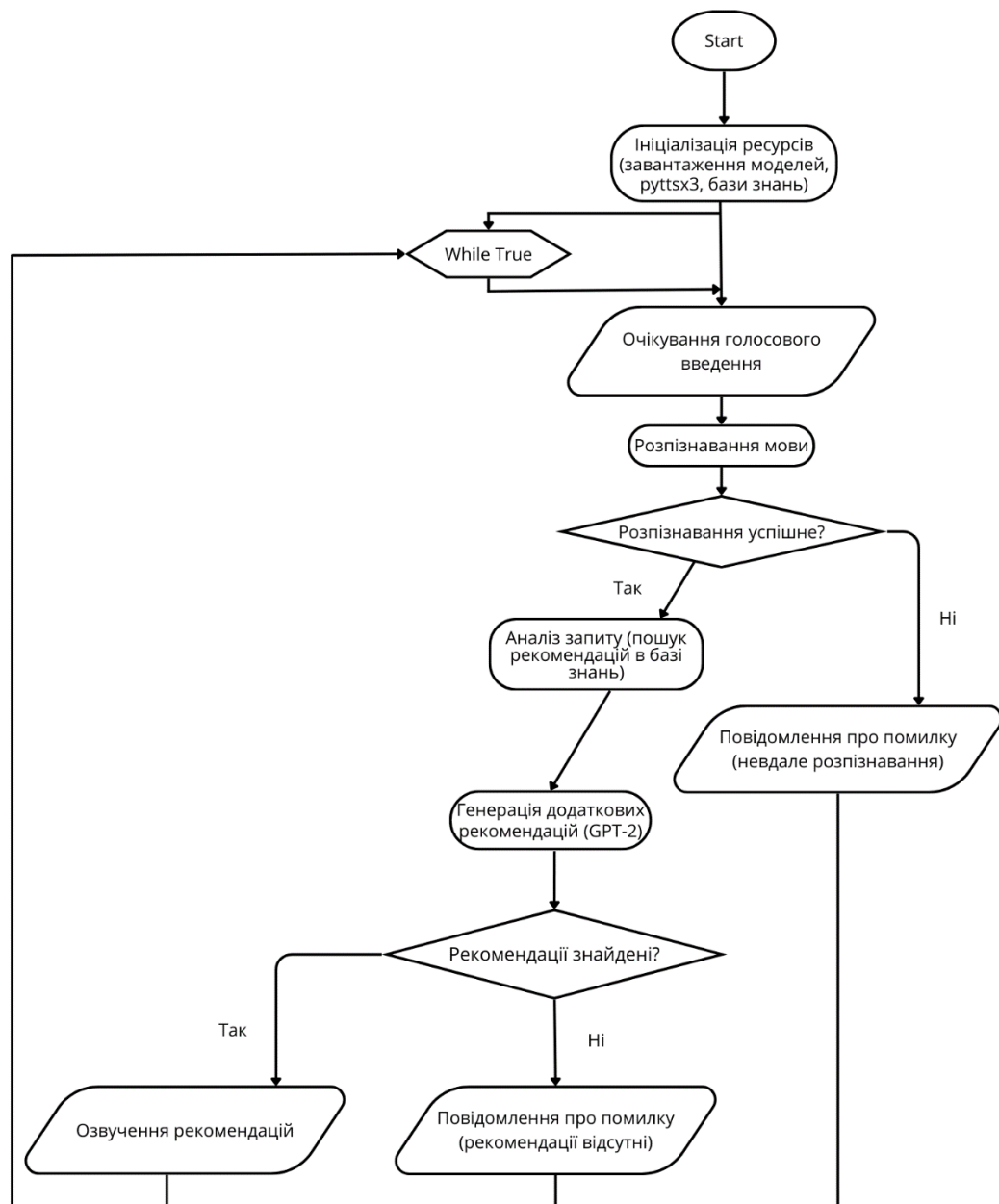


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи програми

### 3.2 Розробка програмного забезпечення

Для того щоб забезпечити роботу програми, нам потрібно імпортувати такі бібліотеки:

- `random`, вона використовується для обирання випадкових рекомендацій з бази знань;
- `speech recognition`, з її допомогою користувач може записувати голос через мікрофон, а система перетворювати цей запит в текст;
- `pyttsx3` це бібліотека, яка синтезує мовлення та використовується для того, щоб система могла видавати відповіді вголос;
- `transformers` надає доступ до вже існуючих та натренованих моделей штучного інтелекту, як `gpt-2` та використовується для генерації текстових рекомендацій;
- `sentence_transformers` потрібна для обчислення схожості тексту;
- `nlk.corpus.wordnet` являє собою словникову базу даних, яка потрібна для отримання синонімів;
- бібліотека `re` використовується для аналізу тексту, наприклад розбиття запитів на слова.

Після того як було імпортовано необхідні бібліотеки, потрібно зробити ініціалізацію, тобто налаштувати компоненти програми. Ось як це виглядає для бібліотеки `pyttsx3`:

```
# Ініціалізація text-to-speech (TTS)
engine = pyttsx3.init()
voices = engine.getProperty('voices')
selected_voice_id = 1
engine.setProperty('voice', voices[selected_voice_id].id)
```

Тут був створен об'єкт для синтезу мовлення `engine` та відбуваються налаштування голосу для подальшого озвучування рекомендацій.

Так само ми робимо для моделі `SentenceTransformer`:

```
# Ініціалізація моделі для перетворення векторів
```

```
sentence_model = SentenceTransformer('paraphrase-MiniLM-L6-v2')
```

Модель MiniLM-L6-v2 потрібна для пошуку схожості між запитом користувача та відповідного слова в базі знань.

Після цього ми переходимо до самої бази знань яка містить ключові слова, слова синоніми та рекомендації відповідно до кожного ключового слова:

```
keywords = {
```

```
    "does not detect": {
```

```
        "synonyms": get_synonyms(["detect", "misses", "unable to identify"]),
```

```
        "recomandations" : [
```

```
            "Check that the sensors on the job are configured and working properly. Make sure the sensors are not damaged or dirty. Clean them of any dirt or dust if necessary"
```

```
        ]
```

```
    }
```

Після цього ми ініціалізуємо модель gpt-2 transformers.pipeline, яка використовується для генерації додаткових відповідей, яких немає в базі знань:

```
generator = pipeline("text-generation", model="gpt2", tokenizer="gpt2", device=-1)
```

Тут визначається модель як буде викростовуватися та токенайзер відповідний до цієї моделі, він розбиває частини тексту на окремі токени(слова) перед початком обробки тексту. Обчислення виконується на CPU, тому значення device дорівнює -1. Якщо ж обчислення виконувалося на GPU, тоді device=0.

Після ініціалізації та додавання бази знань переходимо до функцій. Вони потрібні для полегшення організації коду та для повторного використання логіки програми. Функція get\_synonyms використовується для забезпечення

гнучкого пошуку в базі знань, а також перевіряє чи всі елементи списку є рядками. Відтворення цієї функції виглядає так:

```
def get_synonyms(synonyms):
    """Функція для отримання синонімів. Переконаємося, що додаються
    тільки рядки."""
    for word in synonyms:
        if isinstance(word, str): # Перевіряємо, чи є це рядком
            synonyms_cache.add(word.lower()) # Додаємо в множину
    return list(set([word.lower() for word in synonyms if isinstance(word,
str)]))
```

Наступна функція `get_recommendations_from_knowledge_base(question)` потрібна для пошуку відповідних рекомендацій з бази знань на основі заданого текстового запиту, цей запит розділяється на окремі слова, які порівнюються з тими з ключовими та синонімами:

```
def get_recommendations_from_knowledge_base(question):
    """Шукає релевантні рекомендації в базі знань для запиту,
    використовуючи точне співпадіння слів."""
    relevant_recommendations = []
    # Розбиваємо запит на окремі слова
    question_words = set(re.findall(r'\b\w+\b', question.lower()))

    for keyword, data in keywords.items():
        # Створюємо набір всіх ключових слів і синонімів
        all_keywords = set([keyword] + data["synonyms"])

        # Перевіряємо, чи є хоча б одне ключове слово або синонім у запиті
        if question_words & all_keywords: # Операція перетину між запитом
і ключовими словами
            relevant_recommendations.extend(data["recommendations"])
```

```
return relevant_recommendations
```

Також ця функція використовується для покращення пошуку схожого ключового слова за допомогою ембедінгу, за допомогою якого генерує рекомендації та виглядає так:

```
def get_recommendations_from_knowledge_base(question):
    question_embedding = sentence_model.encode(question,
convert_to_tensor=True)
    best_match = None
    best_similarity = 0

    for keyword, embedding in keyword_embeddings.items():
        similarity = util.pytorch_cos_sim(question_embedding,
embedding).item()
        if similarity > best_similarity:
            best_similarity = similarity
            best_match = keyword

    if best_similarity > 0.7: # Встановіть чіткий поріг
        return keywords[best_match]["recommendations"]
    return []
```

Функція `get_random_recommendations(question, num_recommendations=3)` використовується для того, щоб на заданий запит система шукала три рандомних рекомендації з бази знань. Це зроблено для зручної взаємодії з користувачем, щоб не чути повністю всю інформацію яка є в базі знань:

```
def get_random_recommendations(question, num_recommendations=3):
    """
    Шукає релевантні рекомендації та повертає випадкові.
    """
    relevant_recommendations = []
```

```

for keyword, data in keywords.items():
    all_keywords = [keyword] + data["synonyms"]
    if any(word in question.lower() for word in all_keywords):
        relevant_recommendations.extend(data["recomandations"])
    return random.sample(relevant_recommendations,
min(len(relevant_recommendations), num_recommendations))

```

Наступна функція `generate_additional_recommendation(context)` використовується щоб існуючі рекомендації передати до моделі gpt-2 щоб створювати нові рекомендації. Текстовий рядок `prompt` це початковий контекст для моделі, яка генерує текст, `max_new_tokens=80` означає максимальну кількість слів, фраз або символів для генерації, а 80 це число до якого модель генерує нові токени (слова). Наступна частина `num_return_sequences=1` означає скільки варіантів тексту повертає модель, де 1 це значить, що модель повертає лише один готовий текст. Параметр `temperature=0.5` вказує на стандартну генерацію тексту, балансуя з між креативністю та точністю. Чим нижче цей поріг, наприклад 0,2, тим генерація більш передбачувана. Та останній параметр в `prompt no_repeat_ngram_size=2` не допускає повтору двох однакових слів(токенів) поруч, наприклад I am I am:

```

def generate_additional_recommendation(context):
    """Генерує додаткові рекомендації за допомогою GPT-2 на основі
контексту."""
    prompt = (
        "Based on the following recommendations, provide a new and unique
suggestion. "
        "Avoid repeating the same suggestions: " + context
    )
    generated = generator(
        prompt, max_new_tokens=80, num_return_sequences=1,
temperature=0.5, no_repeat_ngram_size=2, truncation=True
    )

```

```
# Витягуємо лише текст, що починається після нашого контексту
result = generated[0]['generated_text'].strip()
return result[len(context):].strip()
```

Далі для того щоб перевірити на унікальність нові рекомендації, які були згенеровані моделю та порівняти вже з існуючими використовується функція `filter_redundant_recommendations(existing_recommendations, generated_recommendation)`. Якщо рекомендація не знайдена, тобто вона є новою, вона додається до списку:

```
def filter_redundant_recommendations(existing_recommendations,
generated_recommendation):
    existing_embeddings = [sentence_model.encode(rec) for rec in
existing_recommendations]
    generated_embedding =
sentence_model.encode(generated_recommendation)
    similarities = [util.cos_sim(generated_embedding, existing) for existing in
existing_embeddings]
    if max(similarities) < 0.8: # Поріг схожості
        return generated_recommendation
    return None
```

Щоб усі відповіді озвучувалися нам потрібна функція `speak(text)` яка використовує синтез мови `pyttsx3` для відтворення тексту у вигляді звуку:

```
def speak(text):
    """Озвучує текст за допомогою pyttsx3."""
    engine.say(text)
    engine.runAndWait()
```

Наступна функція є основною, тому що вона обробляє голосовий запит, а саме слухає голос через мікрофон:

```
def process_speech():
    """Розпізнає мову, обробляє її та озвучує рекомендації."""
    with sr.Microphone() as source:
```

```
print("Speak...")
speak("Speak...")
```

Далі перетворює запит на текст за допомогою speech recognition:

try:

```
audio = r.listen(source)
text = r.recognize_google(audio, language="en-US")
print(f"You said: {text}")
```

Отримує дані з бази знань та озвучує їх:

```
recommendations = get_random_recommendations(text)
```

```
if recommendations:
```

```
    # Озвучуємо базові рекомендації
```

```
    speak("Here are some random recommendations from the
knowledge base:")
```

```
    for recommendation in recommendations:
```

```
        print(f"Random recommendation: {recommendation}")
```

```
        speak(recommendation)
```

Потім генерує додаткові відповіді з gpt-2, фільтрує їх та озвучує лише унікальні рекомендації:

```
# Генеруємо додаткові рекомендації GPT-2
```

```
combined_recommendations = ". ".join(recommendations)
```

```
generated_recommendation = generate_additional_recommendation(
```

```
combined_recommendations)
```

```
# Фільтруємо унікальні пропозиції
```

```
filtered_additional_recommendations = [
```

```
    recommendation.strip()
```

```
    for recommendation in generated_recommendation.split('.')
```

```
    if recommendation.strip() and recommendation.strip() not in
```

```
recommendations
```

```
]
```

```

# Озвучуємо лише унікальні рекомендації
if filtered_additional_recommendations:
    speak("Here are additional suggestions:")
    for additional_recommendation in
filtered_additional_recommendations:
        print(f"Additional suggestion:
{additional_recommendation}")
        speak(additional_recommendation)

```

Якщо сталася помилка, наприклад система не може розпізнати запит, система озвучує відповідь про те, що неможливо розпізнати мовлення:

else:

```

    speak("Sorry, I couldn't find relevant recommendations.")
except sr.UnknownValueError:
    print("Unable to recognize speech.")
    speak("Unable to recognize speech.")
except sr.RequestError as e:
    print(f"Speech recognition service error: {e}")
    speak("Speech recognition service error.")

```

Завершенням коду є основний цикл програми, який постійно чекає запиту доки програма не буде вимкнена та викликає функцію `process_speech()` для нової обробки запиту:

```
while True:
```

```
    process_speech()
```

Результатом роботи програми є виведене на екран сповіщення, а саме запит про проблему та відповідні рекомендації з бази знань (`random recommendations`), а також згенеровані рекомендації (`additional suggestion`) за допомогою нейронної мережі. Поки цей меседж виводиться на монітор, програма коментує рекомендації вголос в режимі реального часу. Одною з корисних функцій програми є те, що додан словник синонімів, тобто

користувач може шукати відповідь різними запитами. Наприклад ключове слово “does not detect” та відповідну рекомендацію до нього можна відшукати не тільки за таким запитом, але й альтернативно “unable to identify”. Також, якщо користувач промовить речення в якому будуть знайомі для системи слова, вона також їх зчитає та зробить відповідь на запит: “It doesn't detect a mistake”.

Результат роботи програми висвітлено нижче на рис. 3.2 - 3.11.

```
rs\Варвара\masters_diploma1\main.py'
Speak...
Unable to recognize speech.
Speak...
You said: it doesn't detect a mistake
Random recommendation: Check that the robot's sensors are not being blinded. Some robots may have
light-sensitive sensors that can be blinded by bright lights or glare. Try repositioning the robot
or reducing the lighting in the space
Random recommendation: Check the robot's software for object and obstacle detection settings. Make
sure they are set to the correct sensitivity level and parameters. If necessary, update the robot
software to the latest version
Random recommendation: Conduct an additional check for physical obstacles to the robot. Make sure
that there are no physical obstacles that could interfere with object detection. Remove any obstacles
that may interfere with the operation.
Setting `pad_token_id` to `eos_token_id`:None for open-end generation.
```

Рисунок 3.2 – Результат роботи програми (Random recommendation)

```
Additional suggestion: Also, eliminate the possibility of obstacles that could block the sensors
from working
Additional suggestion: Check the robots' software and hardware for any problems that may occur
Additional suggestion: You can also check for the presence of any bugs or other problems
Additional suggestion: In addition, you can check the status of all the robotic components and materials
Additional suggestion: The robot should be able to pass certain tests and perform tasks that are
required for it to function
```

Рисунок 3.3 – Результат роботи програми (Additional suggestion)

```
Speak...
You said: unable to identify
Random recommendation: Check that the robot's sensors are not being blinded. Some robots may have
light-sensitive sensors that can be blinded by bright lights or glare. Try repositioning the robot
or reducing the lighting in the space
Random recommendation: Check the environment for causes that could affect the robot. For example,
make sure that there is no excessive light or glare that could interfere with the robot's ability
to detect objects. Also, eliminate the possibility of obstacles that could block the sensors
Random recommendation: Check that the sensors on the job are configured and working properly. Make
sure the sensors are not damaged or dirty. Clean them of any dirt or dust if necessary
```

Рисунок 3.4 – Результат роботи програми (Random recommendation)

```

Additional suggestion: Review your robot's settings to make sure you are using the correct mode f
or object detection and not using a different mode that is not compatible with your model
Additional suggestion: Check that the object detector is working correctly
Additional suggestion: If your object is detected before the vehicle has moved, it is safe to ass
ume it will remain in the environment
Additional suggestion: Try to remove any objects that are not in your vehicle's environment by pl
acing them in a safe place
Additional suggestion: The vehicle will not be moving
Additional suggestion: Ensure that vehicle is moving at
Speak...

```

Рисунок 3.5 – Результат роботи програми (Additional suggestion)

```

Speak...
You said: does not detect
Random recommendation: Refer to the robot manufacturer's documentation or contact their support t
eam for more help and advice. They may be able to provide specific advice for your robot model or
offer service
Random recommendation: Conduct an additional check for physical obstacles to the robot. Make sure
that there are no physical obstacles that could interfere with object detection. Remove any obst
acles that may interfere with the operation.
Random recommendation: Make sure the robot is set to the correct object detection mode. Some robo
ts have different robot modes that can affect object detection. Review your robot's settings to m
ake sure you are using the correct mode for object detection

```

Рисунок 3.6 – Результат роботи програми (Random recommendation)

```

Additional suggestion: rs that can be blinded by bright lights or glare
Additional suggestion: Try repositioning the robot or reducing the lighting in the space between
the objects
Additional suggestion: If you have a problem with the object's detection, try changing the positi
on of your camera to a different position

```

Рисунок 3.7 – Результат роботи програми (Additional suggestion)

```

Speak...
You said: incorrect measurements
Random recommendation: Make sure that the sensors are located in the correct places. Check the ro
bot's or manufacturer's documentation for information on optimal sensor placement. Make sure that
the sensors are positioned at the correct heights and angles.
Random recommendation: Check the settings of the robot's sensors. Some robots have settings that
affect measurement accuracy. Make sure that the sensor settings are set to the correct values
Random recommendation: Perform a debugging check of the measurement system. Refer to the robot or
manufacturer's documentation for instructions on how to verify sensor setup. You may need to adj
ust some parameters or perform calibration to achieve more accurate measurements
Setting `pad_token_id` to `eos_token_id`:None for open-end generation.

```

Рисунок 3.8 – Результат роботи програми (Random recommendation)

```

Additional suggestion: y sensor setup
Additional suggestion: You may need to adjust some parameters or perform calibration to achieve m
ore accurate measurements
Additional suggestion: Some robots also have sensors that measure the speed of light and how far
away it is from the light source
Additional suggestion: These sensors can be used to measure distance and to detect motion
Additional suggestion: The sensor can also be placed on a wall or in a room
Additional suggestion: If the device is not installed, it will not work

```

Рисунок 3.9 – Результат роботи програми (Additional suggestion)

```

Speak...
You said: inaccurate readings
Random recommendation: Check the status and conditions of the detectors. Ensure that the sensors are free of damage, moisture, or other issues that could affect their performance. If necessary, replace or repair any damaged sensors
Random recommendation: Make sure that there is no electromagnetic interference that could affect the sensors' signals. In the vicinity of the robot, avoid strong sources of electromagnetic radiation, such as wireless routers, microwaves, or other electronic devices that can distort sensor signals
Random recommendation: Check the settings of the robot's sensors. Some robots have settings that affect measurement accuracy. Make sure that the sensor settings are set to the correct values
Setting `pad token id` to `eos token id`:None for open-end generation.

```

Рисунок 3.10 – Результат роботи програми (Random recommendation)

```

Additional suggestion: Remove the sensors and clean them with a soft cloth or a special electronics cleaner
Additional suggestion: Replace the sensor with an optical sensor
Additional suggestion: In addition, remove the metal sensor and replace it with metal (or other) to make it more reliable
Additional suggestion: If you have any questions or concerns, please contact our Customer Service Team at (888) 942-4814

```

Рисунок 3.11 – Результат роботи програми (Additional suggestion)

### 3.3 Охорона праці для працівників роботизованого виробництва

У сучасному світі роботизація виробничих процесів значно покращує роботу та підвищує умови праці. Проте, разом з новими технологіями виникають і нові виклики щодо забезпечення безпеки працівників. Особливо це стосується роботизованих виробництв, де використання автоматизованих систем потребує особливих заходів охорони праці для збереження безпеки працівників. Охорона праці є великою складовою будь-якого виробництва, і це стосується не лише традиційних процесів, а й роботизованих установок, які можуть становити потенційну небезпеку.

#### 3.3.1 Обов'язки роботодавця

Згідно із законодавством України, зокрема Законом України «Про охорону праці» [26], роботодавець зобов'язан гарантувати та надати безпечні умови праці для робітників. Це включає створення відповідних умов на

робочих місцях, що дозволяють мінімізувати ризики для здоров'я і життя працівників.

Для працівників промисловості це означає:

- проведення навчання та інструктажів з охорони праці для працівників, щоб вони були ознайомлені з потенційними ризиками та знали, як правильно діяти в разі аварійних ситуацій;
- забезпечення професійного медичного огляду, особливо для працівників, що працюють з технологічними установками, зокрема роботами, де є підвищена ймовірність стресових і фізичних навантажень;
- постійний контроль за виконанням норм безпеки, що особливо важливо при роботі з автоматизованими та роботизованими системами.

### 3.3.2 Вимоги до робочих місць та технологічних процесів

Безпека працівників на роботизованих підприємствах потребує не тільки правильно налаштованих робочих процесів, а й створення умов, які відповідають стандартам охорони праці:

- мікроклімат: законодавство визначає вимоги до температури та вологості в приміщеннях, де працюють працівники. Для роботизованих систем критично важливо контролювати ці параметри, оскільки неправильний мікроклімат може впливати на ефективність роботи техніки та комфорт працівників. Середня оптимальна температура в холодний сезон становить 19-21 °С, а у теплий приблизно 21-23 °С;
- освітлення: нормативи охорони праці встановлюють вимоги до рівня освітленості на робочих місцях. Належне освітлення важливе як для роботи робітників, так і для коректної роботи роботизованих установок, оскільки багато таких систем потребують точного налаштування та моніторингу візуальних параметрів. Так для точних робіт норма коливається від 500 люксів до 1000 люксів, для середньо-точних робіт від 300 люксів до 500 люксів, загальні роботи такі як складання або пакування коливається від 200 люксів до 300 люксів та ін.;

– шум: роботизовані системи можуть створювати високий рівень шуму. Відповідно до вимог охорони праці, на виробництвах з підвищеним рівнем шуму необхідно забезпечити працівників засобами індивідуального захисту слуху та регулярно контролювати рівень шуму в робочих зонах, для роботизованого виробництва рівень шуму не повинен перевищувати 85 дБА;

– захист працівників: Під час роботи з роботами необхідно забезпечити безпеку через фізичний захист (бар'єри, огорожі) та системи автоматичного відключення, щоб уникнути несанкціонованого доступу до небезпечних зон або контактів з рухомими частинами роботизованих установок.

### 3.3.3 Права працівників

Працівники на роботизованих підприємствах мають право на безпечні умови праці та нормований графік, що означає не більше 8 годин на добу і спеціально виділений час для перериву. Працівник також може відмовитись від праці яка є небезпечною для його життя, працівник може звернутися до роботодавця та припинити роботу на деякий час поки не усунуть ризики.

### 3.3.4 Техніка безпеки при роботі з роботами

Перед використанням промислових та роботизованих систем, працівникам повинен час для вивчення техніки безпеки, а саме приділити увагу:

– використанню захисних бар'єрів та автоматичних систем відключення коли система дає збій;

– організуванню системи попереджень для працівників про можливі загрози під час роботи з обладнанням.

### 3.3.5 Законодавчі вимоги

Згідно з українським законодавством, забезпечення охорони праці на роботизованих підприємствах повинно відповідати вимогам:

- закону України "Про охорону праці" (№ 2694-ХІІ від 14.10.1992), який встановлює загальні вимоги до забезпечення безпеки на роботі;
- кодексу законів про працю України, що визначає права працівників на безпечні умови праці;
- державних санітарних норм і правил, що регламентують мікроклімат, освітлення та інші показники на робочих місцях.

Ці основні складові охорони праці стимулюють створенню безпечних та комфортних умов для працівників, що працюють в роботизованому середовищі. Система підтримки працівників може стати важливим інструментом для забезпечення їхньої безпеки, адже вона дозволяє автоматизувати моніторинг робочих умов, попереджати про небезпеки та надавати необхідну технічну підтримку в реальному часі.

### 3.4 Висновки до розділу

В останньому розділі кваліфікаційної роботи було розроблено експертну систему для технічної підтримки працівників роботизованого виробництва з використанням нейронних мереж та голосового керування. Спочатку було представлено блок-схему роботи програми, далі описано розробку програмного забезпечення, розглянуто роботу усіх бібліотек, циклів та функцій. Також було висвітлено результати роботи програми, а саме запит про проблему та відповідні рекомендації з бази знань (random recommendations), а також згенеровані рекомендації (additional suggestion) за допомогою нейронної мережі.

Також були розглянуті питання охорони праці в роботизованому середовищі, а саме:

- обов'язки роботодавця;
- вимоги до робочих місць та технологічних процесів;
- права працівників;
- техніка безпеки в роботі з роботами;

– законодавчі вимоги.

## ВИСНОВКИ

В результаті написання першого розділу атестаційної роботи з розробки експертної системи для технічної підтримки працівників роботизованого виробництва з використанням голосового керування та нейронних мереж було проведено аналіз літератури згідно цієї теми, а саме:

- визначено термін приладобудування, його роль в промисловості, а також виклики з якими стикаються працівники на виробництві;
- проведено аналіз експертних систем, описано їхні основні компоненти та використання їх у роботизованому виробництві;
- проведено аналіз нейронних мереж, їх взаємодія з експертними системами, використання у технічній підтримці, також описано основні типи нейронних мереж;
- проведено аналіз можливостей голосового керування, його використання у робототехніці, а також розглянуто недоліки і переваги для його використання.

В результаті написання другого розділу атестаційної роботи було проаналізовано та обрано технічні засоби для розробки експертної системи для технічної підтримки працівників роботизованого виробництва, а також було висвітлено та описано структурну схему роботи програми.

Для системи було обрано мову програмування Python, та визначені основні бібліотеки для роботи програми Speech\_recognition та бібліотека pyttsx3, які забезпечують повну роботу голосового керування в системі. Для реалізації роботи нейронної мережі було вибрано модель transformers, а саме gpt-2.

Після цього було розраховано основні показники надійності та ефективності системи в яких було обчислено такі параметр як середня точність системи, яка становить 72,5%, що в цілому дає нам гарний результат роботи системи та ін.

В результаті третього розділу атестаційної роботи була розроблена експертна система для технічної підтримки працівників роботизованого виробництва з використанням голосового керування та нейронних мереж:

- було реалізовано блок-схему алгоритму роботи програмного забезпечення;
- було розроблено програмне забезпечення для технічної підтримки працівників роботизованого виробництва з використанням голосового керування та нейронних мереж;
- було розглянуто питання охорони праці.

Також, отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме п. 9.4 «Сприяти прискореному розвитку високо- та середньовисокотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта-наука-виробництво» та кластерного підходу за напрямками: розвиток інноваційної екосистеми; розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці, транспорті та промисловості; високотехнологічне машинобудування; створення нових матеріалів; розвиток фармацевтичної та біоінженерної галузей».

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. 55 с.
2. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
3. Карташова В.В., Бронніков А.І. Роль експертних систем та голосового керування в сучасному виробництві // Виробництво & Мехатронні Системи 2024: матеріали VIII-ої Міжнародної конференції, Харків, 25-26 жовтня 2024 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк], 2024. – 58 с.
4. Карташова В.В., Бронніков А.І. Застосування нейронних мереж у промислових системах для оптимізації виробничих процесів // Цифрові інновації & Сталий розвиток 2024: матеріали 1-ої Міжнародної конференції, Харків, 15 листопада 2024 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк], 2024. – 18-20 с.
5. Sampson, I. E. (2018). Principles of Industrial Process Instrumentation, Lambert Academic Publishing, Omniscryptum Publishing. ISBN: 978-613-9-58433-8, pp. 25-30.
6. S. Willis, & K. Collins, "The PLC as a Smart Service in Industry 4.0," Journal of Industrial Automation and Control, pp. 15-22, 2019. DOI: 10.1234/ind.2019.040.
7. P. Tsarouhas, "New Trends in Production and Operations Management," Applied Sciences, pp. 15-22, 2023. DOI: 10.3390/app13169071.
8. Hans, G. & Erden, E. (2021). Expert Systems in Manufacturing: Process Planning, Diagnostics, and Decision Support. International Journal of Scientific &

Engineering Research, vol. 12, no. 9, pp. 781–785.

9. U. Othman, & E. Yang, (2023). "Human–Robot Collaborations in Smart Manufacturing Environments: Review and Outlook." Department of Design, Manufacturing, and Engineering Management, University of Strathclyde, Glasgow. *Sensors*, vol. 23, no. 12, pp. 5663. DOI: 10.3390/s23125663.

10. Z. B. Akhtar, (2024). "Artificial intelligence (AI) within manufacturing: An investigative exploration for opportunities, challenges, future directions," *Metaverse*, vol. 5, no. 2, pp. 2731. DOI: 10.54517/m.v5i2.2731.

11. E. Ghorbani, S. Keivanpour, F. Sekkay, D. Imbeau, (August 2024). "Fuzzy expert system for ergonomic assembly line worker assignment and balancing problem under uncertainty," *Journal of Industrial and Production Engineering*, pp.1-5. DOI: 10.1080/21681015.2024.2389963.

12. "What are the best examples of expert systems in decision support?" URL: <https://www.linkedin.com/advice/0/what-best-examples-expert-systems-decision-support-bpsbc#:~:text=One%20of%20the%20most%20common,bacterial%20infections%20and%20recommend%20antibiotics>.

13. Qamar, R. (2023). Artificial Neural Networks: An Overview. *Mesopotamian Journal of Computer Science*, 2023, 130-139. <https://doi.org/10.58496/MJCSC/2023/015>.

14. A. Shrestha, and A. Mahmood, (April 22, 2019). "Deep Learning: A Review," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 53040-53065, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2913669.

15. Ahmed, M., AlQadhi, S., Mallick, J., Ben Kahla, N., Le, H. A., Singh, C. K., & Hang, H. T. (2022). Artificial Neural Networks for Sustainable Development of the Construction Industry. *Sustainability*, 14, 14738, pp. 3-6. <https://doi.org/10.3390/su142214738>.

16. G. Preethi, K. Abishek, S. Thiruppugal, D. A. Vishwaa, (05, May 2022). "Voice Assistant using Artificial Intelligence," *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, vol. 11, pp. 453-456, DOI:

10.17577/IJERTV11IS050242.

17. B. G. W. W. Behnam, K. E. Ahmadi, & K. F. V. Khalaf. (2021). Industrial Process Optimization using Artificial Intelligence: A Systematic Review. *Expert Systems with Applications*, 176, 114861. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114861>.

18. L. Shih-An, L. Yu-Ying, C. Yun-Chien, F. Hsuan-Ming, S. Pi-Kang, and W. Yu-Che. (2023). "Voice Interaction Recognition Design in Real-Life Scenario Mobile Robot Applications," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 5, pp. 3359, 2023. DOI: 10.3390/app13053359.

19. T. Salunkhe, N. I. Jamadar, and S. B. Kivade, (2018). "Prediction of Remaining Useful Life of Mechanical Components-A Review," vol. 3, no. 6, pp.125–135.

20. "Voice Assistant in Automation: A New Era for Machine Building," Siemens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/company/stories/industry/factory-automation/voiceassistant-automation-machinebuilding-fps.html>.

21. "Voice Control Solutions," Bosch Mobility. URL: <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/infotainment/voice-control/>.

22. N. Rychtyckyj, (January 2007). "Intelligent systems for manufacturing at Ford Motor Company," *Intelligent Systems*, vol. 22, no. 1, pp. 16-19. DOI: 10.1109/MIS.2007.13.

23. N. Thaker and A. Shukla, (January 2020). "Python as Multi-Paradigm Programming Language", *International Journal of Computer Applications*, vol. 177, no. 31, pp. 38.

24. A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar N, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, L. Kaiser, I. Polosukhin, (2017). "Attention Is All You Need", *Advances in Neural Information Processing Systems 30: Annual Conference on Neural Information Processing Systems*, 4-9 December 2017, Long Beach, CA, USA, pp. 6000–6010.

25. S. Fahim, "Generative Pre-Trained Transformer (GPT) in Research: A Systematic Review on Data Augmentation," *Information*, vol. 15, no. 2, pp. 99, 2024.

DOI: 10.3390/info15020099.

26. Закон України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 р. № 2694 – XII (зі змінами та доповненнями) / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.

27. Instrumentation Programs [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sait.ca/assets/image/cards/cards-600x400/cd-student-working-in-an-instrumentation-lab-600x400.jpeg>

28. Instrumentation Services [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://paciv.com/wp-content/uploads/2021/04/Instrumentation-Services-.jpg>

29. What is SCADA? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://openautomationsoftware.com/wp-content/uploads/2021/09/WhatIsScada-1.png>

30. Challenges Faced by Manufacturing Industries [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://media.licdn.com/dms/image/D5612AQHmcHRic02RPw/article-cover\\_image-shrink\\_720\\_1280/0/1692617817959?e=2147483647&v=beta&t=yUNWrAb0ulVjmkUEO4LVsdcP0WHYn\\_ufwhu5TMvFxWA](https://media.licdn.com/dms/image/D5612AQHmcHRic02RPw/article-cover_image-shrink_720_1280/0/1692617817959?e=2147483647&v=beta&t=yUNWrAb0ulVjmkUEO4LVsdcP0WHYn_ufwhu5TMvFxWA)

31. AI and Expert Systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://jaro-website.s3.ap-south-1.amazonaws.com/2024/05/expert-systems-in-ai2.png>

32. Pros of Expert Systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://images.javatpoint.com/tutorial/ai/images/expert-systems-in-ai3.png>

33. Штучна нейронна мережа [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Colored\\_neural\\_network\\_uk.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Colored_neural_network_uk.svg)

34. Роботизація виробництва [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mplast.by/wp-content/uploads/2019/11/avtomatizatsiya-proizvodstva-roboti-037.jpg>

35. Voice control technology recognizes audio commands to operate connected

home appliances [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mouser.com/blog/Portals/11/Voice%20Control%20Home.png>

36. Intuitive Voice Controlled Production Using Speech Recognition [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metrology.news/wp-content/uploads/2023/02/Intuitive-Machine-Control-Using-Speech-Recognition-800x445.png>

37. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни "Організація керування умовами праці" підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету [Електронний ресурс] / ХНУРЕ; розроб.: Т. Є. Стиценко, Г. В. Пронюк, Н. М. Сердюк. – Харків, 2017. – 108 с.