

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

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

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

другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

Розробка математичної моделі прийняття рішень для адаптивного  
керування промисловим роботом  
(тема)

Виконав:  
студент 2 курсу, групи КТРСм-22-1  
Лучанінов Н. Ю.  
(прізвище, ініціали)

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

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

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

Керівник доц. Андрусевич А. О.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту  
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.  
(прізвище, ініціали)

2024р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР \_\_\_\_\_

(підпис)

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

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Студентові \_\_\_\_\_

Лучанінову Микиті Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка математичної моделі прийняття рішень для адаптивного керування промисловим роботом

затверджена наказом по університету від "03" листопада 2023р. №1288 Ст.

2. Термін подання студентом роботи "26" січня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи 3.1 Промисловий робот з маніпулятором;

3.2 Адаптивна система керування;

3.3 Параметризація, нечітка логіка, метод Л. Заде.

3.4 Оформлення текстової документації згідно ДСТУ 3008-2015.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1 Вступ;

4.2 Аналіз сучасних промислових роботів;

4.3 Структура та алгоритм роботи системи адаптивного керування промисловим роботом;

4.4 Розробка параметричної моделі адаптивного керування промисловим роботом;

4.5 Розробка моделі прийняття рішень на основі нечіткої логіки;

4.6 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt) – 12 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних промислових робіт	06.11 – 09.11.23	виконано
2	Структура та алгоритм роботи системи адаптивного керування промисловим роботом	10.11 – 26.11.23	виконано
3	Розробка параметричної моделі адаптивного керування промисловим роботом	27.11 – 18.12.23	виконано
4	Розробка моделі прийняття рішень на основі нечіткої логіки	19.12 – 10.01.24	виконано
5	Забезпечення безпечних умов праці при проведенні досліджень	11.01 – 12.01.24	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	13.01 – 15.01.24	виконано
7	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unicheck	16.01 – 18.01.24	виконано
8	Подання роботи на рецензію	19.01 – 21.01.24	виконано
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	22.01 – 23.01.24	виконано
10	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	24.01.24	виконано

Дата видачі завдання 26 січня 2024 р.

Студент \_\_\_\_\_ Андрусевич А. О.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доц. Аллахверанов Р. Ю.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 75 с., 23 рис., 3 дод., 14 джерел.

ПРОМИСЛОВИЙ РОБОТ, АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ, СТРУКТУРНА СХЕМА, АЛГОРИТМ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ФУНКЦІЯ ПРИНАЛЕЖНОСТІ, МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.

Об'єкт дослідження – використання промислового робота у виробничому середовищі для виконання різноманітних промислових операцій.

Предмет дослідження – мехатронний модуль приводу для керування переміщенням робочого органа промислового робота в вертикальному напрямку.

Мета роботи – математичне моделювання мехатронного модуля приводу для керування переміщенням робочого органа промислового робота в вертикальному напрямку у виробничому середовищі.

В роботі досліджені види, структура та методи керування сучасними промисловими роботами. Проведено поглиблений аналіз структури систем керування, а також алгоритм їх роботи. Детально описані принципи і рівні адаптивного керування. Розроблено ієрархічну та варіаційну параметричні моделі основних взаємодіючих елементів системи адаптивного керування промисловими роботами, а також математична модель прийняття рішень на основі принципів нечіткої логіки.

## **ABSTRACT**

Explanatory note: 75 pp., 23 fig., 3 appendices, 14 sources.

INDUSTRIAL ROBOT, ADAPTIVE CONTROL, STRUCTURE CHART, ALGORITHM, MATHEMATICAL MODEL, MEMBERSHIP FUNCTION, DECISION-MAKING MODEL.

The object of research is the use of an industrial robot in a production environment to perform various industrial operations.

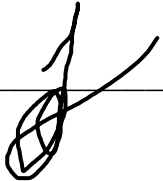
The subject of research is a mechatronic drive module for controlling the movement of the working body of an industrial robot in the vertical direction.

The purpose of the work is mathematical modeling of the mechatronic drive module for controlling the movement of the working body of an industrial robot in the vertical direction in the production environment.

The work examines the types, structure and management methods of modern industrial works. An in-depth analysis of the structure of control systems, as well as the algorithm of their operation, was carried out. The principles and levels of adaptive control are described in detail. Hierarchical and variational parametric models of the main interacting elements of the system of adaptive control of industrial works have been developed, as well as a mathematical model of decision-making based on the principles of fuzzy logic.

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

«22» січня 2024 р.



---

Лучанінов М. Ю.



4 Розробка моделі прийняття рішень на основі нечіткої логіки .....	50
4.1 Нечітка логіка у системах адаптивного керування промисловим роботом .....	50
4.2 Методи побудови функцій належності .....	54
4.3 Опис параметрів елементів моделі на основі принципів нечіткої логіки.....	58
4.4 Розробка моделі прийняття рішень для адаптивного керування промисловим роботом .....	69
4.5 Забезпечення безпечних умов праці у лабораторій при проведенні досліджень .....	70
4.6 Висновки до розділу.....	70
Висновки .....	73
Перелік джерел посилання .....	75
Додаток А Апробація результатів досліджень .....	77
Додаток Б Демонстраційний матеріал .....	84



## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ПР – промисловий робот;

РУ – рівень управління;

САПР – система автоматизованого проектування;

СППР – система підтримки прийняття рішень.

.

## ВСТУП

Машинобудування – провідна галузь сучасної техніки і народного господарства України в цілому. Щоб вийти з економічної кризи необхідно підвищувати ефективність виробництва, тобто треба як найширше впроваджувати в промисловість машини автоматичної дії. Однак більшість з них є дорогими і застосовні до вузького переліку програмно-апаратних засобів, що в свою чергу ускладнює їх застосування.

Сьогодні, можна сміливо і впевнено сказати, що промислові роботи (ПР) знайшли широке застосування в різних галузях людської діяльності. Так як в наш час виробництво все більше автоматизується з метою його удосконалення, то застосування даного виду техніки особливо актуально і тим більше важливо.

ПР є частиною роботизованого технологічного комплексу. Ні для кого зараз не секрет, що застосування ПР значно спрощує процес виробництва з часу своєї появи, від перших ПР, і до нинішніх розумних машин, вони відразу ж заслужили повагу і потребу з боку людини, і вже сьогодні не можна уявити собі повноцінне автоматизоване виробництво без цієї чимало важливої складової частини.

Об'єкт дослідження – використання промислового робота у виробничому середовищі для виконання різноманітних промислових операцій.

Предмет дослідження – мехатронний модуль приводу для керування переміщенням робочого органа промислового робота в вертикальному напрямку.

Мета роботи – математичне моделювання мехатронного модуля приводу для керування переміщенням робочого органа промислового робота в вертикальному напрямку у виробничому середовищі.

Для реалізації поставлених цілей необхідно розв'язати такі задачі:

– проаналізувати предметні області наявних ПР та їхніх систем і методів керування;

- вивчити структуру та принципи систем адаптивного керування ПР;
- розглянути алгоритми керування зазначених систем;
- розробити параметричну модель основних елементів системи;
- проаналізувати застосування принципів нечіткої логіки в системах адаптивного керування;
- розглянути методи побудови функцій приналежності;
- описати параметри елементів моделі, застосовуючи лінгвістичні змінні;
- на базі отриманих моделей та лінгвістичних змінних розробити модель прийняття рішень для систем адаптивного керування ПР;
- виконати розрахунки з охорони праці.

Робота виконується згідно з [1-4], як складова наукових досліджень, які здійснюються на кафедрі КІТАР Харківського національного університету радіоелектроніки, результати дослідження опубліковані у [5].

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ

### 1.1 Класифікація сучасних промислових роботів

Промисловим роботом називається автоматична машина, мобільна чи стаціонарна, що складається з виконавчого пристрою, іншими словами, робота, що має кілька ступенів рухливості, та пристрою, що змінює програму програмного керування для виконання функцій керування та руху у виробничому процесі [5].

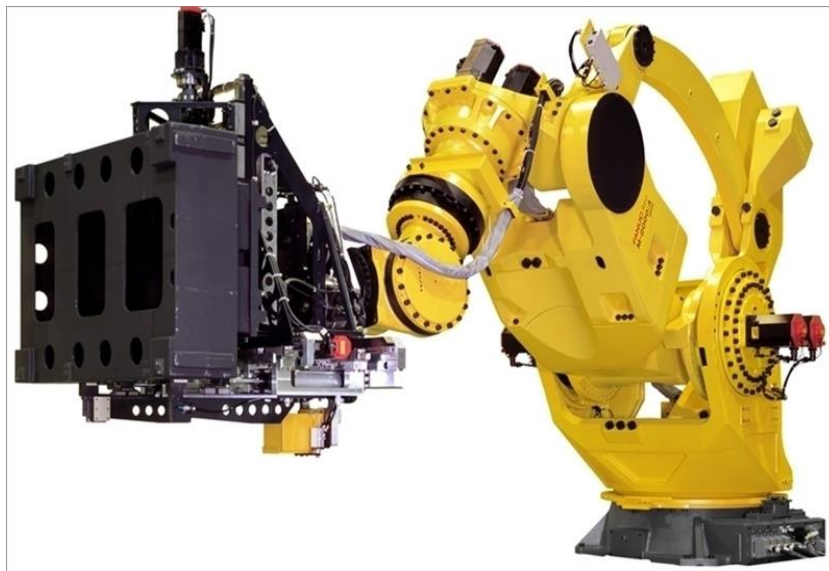
Класифікація промислових роботів проводиться за низкою ознак. За характером операції, виконуваних ПР, поділяють на три групи:

- виробничі чи технологічні, що призначені для основних операцій технологічних процесів;
- підйомно-транспортні чи допоміжні, що виконують дії на кшталт «взяти-перенести-покласти»;
- універсальні, що призначені для різних операцій: як основних, так і допоміжних.

За спеціалізацією ПР поділяються на:

- спеціальні, що виконують суто певні технологічні операції чи обслуговують конкретні моделі технологічного обладнання;
- спеціалізовані чи цільові, призначення яких полягає у виконанні технологічних операцій одного виду або для обслуговування певної групи моделей технологічного обладнання, що об'єднані спільними маніпуляційними діями;
- універсальні чи багатоцільові, що орієнтовані на виконання основних, а також допоміжних технологічних операцій різних видів і з різними групами моделей технологічного обладнання [4].

Приклади деяких промислових роботів наведено на рисунку 1.1.

*a**б**в*

*a* – ПР пантограф; *б* – ПР зварювання;  
*в* – ПР для виконання складальних операцій

Рисунок 1.1 – Промислові роботи

Системи основних координатних переміщень. За цими особливостями ПР поділяються на системи з прямокутною, циліндричною, полярною й ангулярною системою координат.

За кількістю ступенів рухливості. ПР мають від трьох до шести і навіть більше ступенів рухливості. Принципово трьох ступенів рухливості досить для виведення кінцевої точки робота до будь-якої точки простору, що обслуговується роботом. Ще три ступені рухливості необхідні для здійснення в цій точці будь-якої кутової орієнтації захватного пристрою або інструмента. Більше шести ступенів рухливості необхідно за умови обходу будь-яких перешкод.

Параметри системи координат та числа ступенів свободи надзвичайно важливі для реалізації систем керування ПР і задають функціональні обмеження та координати вкрай можливих точок положень.

За показником вантажопідйомність. ПР можна поділити на:

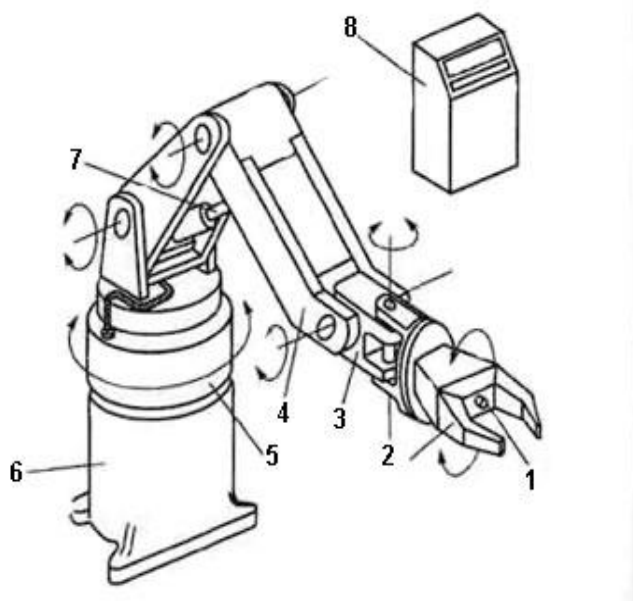
- надлегкі – до 1 кг;
- легкі – до 10 кг;
- середні – до 200 кг;
- важкі – до 1000 кг;
- надважкі – понад 1000 кг.

Конструктивне виконання. ПР виробляють як вбудованими в обладнання, так й підвісними та підлоговими.

За типом систем керування ПР поділяються на три різновиди: програмні, адаптивні та інтелектуальні (з елементами штучного інтелекту). Всі вони мають властивість швидкого перепрограмування. Зауважимо, що у програмних роботах перепрограмування виконує людина, після чого робот діє автоматично. До адаптивних ПР основи програми дії робота закладаються людиною, але сам робот у певних випадках має властивість автоматично перепрограмуватися під час технологічного процесу в залежності від обстановки. Інтелектуальним роботам завдання щодо роботи вводиться людиною в більш загальній формі, а сам робот має можливість приймати рішення та планувати свої дії у невизначеній та мінливій обстановці, щоб виконати закладене до його пам'яті завдання [5].

## 1.2 Структура промислових роботів

Структура ПР складається з виконавчого пристрою, представленого маніпулятором, та пристрою програмного керування (рисунок 1.2).



- 1 – датчик зворотнього зв'язку; 2 – захватний пристрій; 3 – кисть;  
 4 – рука робота; 5 – колона; 6 – підтримна конструкція (основа);  
 7 – привод руки; 8 – блок пристрою керування з пультом

Рисунок 1.2 – Структура ПР

Маніпулятор ПР призначений для виконання рухомих функцій під час переміщення об'єктів у просторі, а також є багатоланковим механізмом з розімкненим кінематичним колом. Конструктивно маніпулятор складається з тримальних конструкцій, виконавчих механізмів, захватного пристрою, приводу з передатними механізмами та пристрою пересування. Пристрій керування ПР необхідний для формування та видачі впливів керування маніпулятором відповідно до програми керування та конструктивно складається з власної системи керування, інформаційно-вимірювальної системи з пристроями зворотнього зв'язку та системи зв'язку. Тримальні конструкції

служать для розміщення всіх пристроїв та агрегатів ПР, а також для забезпечення необхідної міцності та жорсткості робота. Тримальними конструкціями можуть бути основи, корпуси, стійки, рами, візки, портали тощо.

Виконавчий механізм базується на сукупності рухливо сполучених ланок робота, що призначені для впливу на об'єкт маніпулювання або середовище, що обробляється.

Захватний пристрій – це кінцевий вузол робота, що забезпечує захват та утримання в певному положенні об'єкта маніпулювання. Найбільш універсальний різновид захватного пристрою – схват, тобто пристрій, в якому захват і утримання об'єкта створюється за допомогою відносного переміщення частин даного пристрою. Зазвичай, схват за своєю конструкцією нагадує кисть людської руки: захват об'єкта здійснюється за допомогою механічних «пальців». Для захвату плоских предметів застосовуються захватні пристрої з пневматичною присоскою. Крім того, використовують гаки (для підняття деталей з конвеєрів), черпаки чи совки (для рідких, сипучих або гранульованих речовин). Для захвату безлічі однотипних деталей використовують спеціалізовані конструкції (наприклад, магнітні захватні пристрої). Число використання промислових роботів, в яких схват застосовується для утримання робочого інструмента, відносно невелике. У більшості випадків інструмент, який потрібен для виконання технологічної операції, кріпиться безпосередньо до зап'ястка робота, стаючи його робочим органом. Наприклад, це може бути пульверизатор для фарбування методом розпилення, зварювальні кліщі для точкового зварювання, зварювальна головка для дугового зварювання, дисковий ніж, дріль, фреза, викрутка, гайковерт тощо.

Привід призначений для перетворення енергії, що призводить до механічного руху ланок виконавчого механізму відповідно до сигналів, які надходять з пристрою керування. З метою приведення ланок робота та пристрою схвату до руху використовують електричні, гідравлічні або пневматичні приводи. Гідравлічні приводи зазвичай застосовують у випадках, коли треба забезпечити значні чималі зусилля або високу швидкодію;



здебільшого такими приводами забезпечуються громіздкі роботи з великою вантажнопідйомністю. Електричні приводи не наділені настільки великою силою чи швидкодією, але дозволяють досягти кращих точних характеристик. Врешті-решт, пневматичні приводи здебільшого застосовують для невеликих за розмірами роботів, які виконують прості та швидкі циклічні операції.

Пристрій пересування застосовують для переміщення робота або ПР в цілому на потрібне місце робочого простору та конструктивно складається з ходової частини, а також приводних пристроїв.

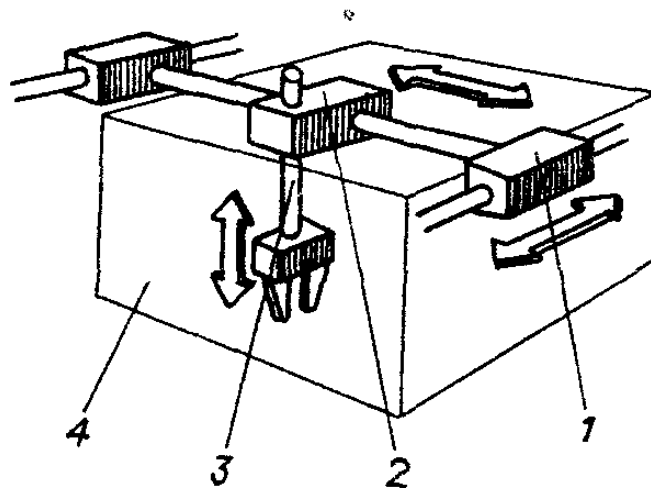
Технічна реалізація системи керування необхідна для безпосереднього формування та видачі сигналів керування, отже, складається з пульта керування, запам'ятовувального пристрою, обчислювального пристрою, блоків керування приводами робота та технологічним обладнанням.

Інформаційно-вимірвальна система призначена для збирання та первинної обробки інформації для системи керування ПР. Вона містить пристрій зворотного зв'язку, пристрій порівняння сигналів та датчики зворотного зв'язку. Систему зв'язку застосовують для забезпечення обміну інформацією між ПР та оператором чи іншими роботами та технологічними пристроями з метою формулювання завдань, контролю за функціонуванням систем ПР і технологічного обладнання, діагностики несправностей, регламентної перевірки тощо [5-7].

Окремо звернемо увагу на особливості структури роботів, яких задіюють у різних системах координат.

Промисловий робот, який діє в прямокутній або декартовій системі координат, має три поступальні базові ступені рухливості із взаємно перпендикулярними напрямками переміщень. Такий тип робота спроектовано з (рисунок 1.3) рами у виді балкової мостової або порталної конструкції, що переміщається поступово, поперечного візка або каретки, відносно якої у вертикальному напрямку переміщується «рука» робота у виді стійки або колони. Форма просторової фігури, що утворюється та описується робочим органом, так званої робочої зони, представлена прямокутним паралелепіпедом.

Механічні властивості прямокутної системи робота (зручність обслуговування робочої зони, досить висока жорсткість) дозволяють застосовувати таких роботів в умовах обмеженого простору, підвішуючи їх над устаткуванням, яке обслуговується, а також там, де потрібна висока точність, зокрема на складальних операціях. Проте незважаючи на порівняльну простоту побудови робота та програмування, ПР такої конструкції застосовуються доволі рідко. Їхні недоліки полягають у надмірному збільшенні габаритних розмірів пристрою у порівнянні з невеликим обсягом робочої зони та подовженні тривалості заданої циклограми процесу. Найчастіше такі роботи проектуються у виді каретки, підвешеної на направляючих під або над устаткуванням, яке обслуговується, або у виді порталної конструкції.



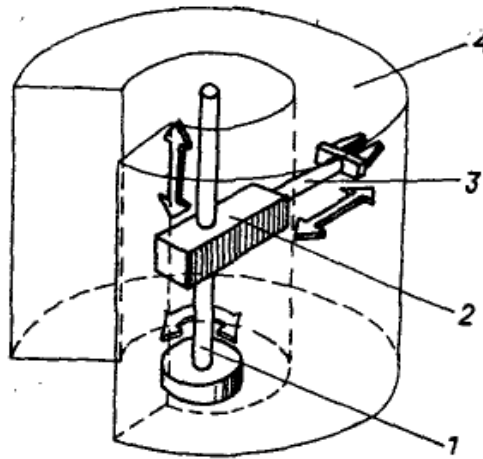
1 – рама; 2 – каретка; 3 – «рука»; 4 – робоча зона

Рисунок 1.3 – ПР з прямокутною системою координат

Промисловий робот, який діє в циліндричній системі координат, містить одну обертальну і дві поступальні базові ступені рухливості з взаємно перпендикулярними напрямками переміщень. Маніпулятор такого робота містить (рисунок 1.4) поворотну колонию, або стійку, що переміщається нею у вертикальному напрямку каретки, відносно якої поступально рухається «рука»

робота. Форма робочої зони, що утворюється, набуває вигляду неповного циліндра.

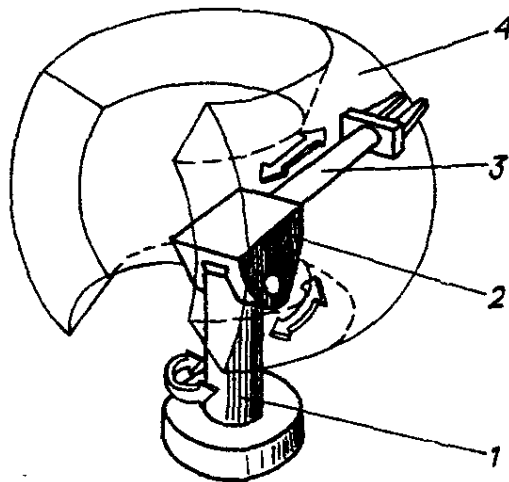
Завдяки зручності конструктивної побудови та програмування, така конфігурація робота має широке розповсюдження. Вона забезпечує обслуговування великого обсягу робочого простору, а наявність двох переносних поступальних переміщень водночас із обертальним полегшує планування та компоновку робочих місць і обладнання, створення робототехнічних комплексів. Недоліком тут виступає скрутність обслуговування об'єктів, розташованих на малій висоті.



1 – стійка; 2 – каретка; 3 – «рука»; 4 – робоча зона

Рисунок 1.4 – ПР з циліндричною системою координат

Промисловий робот, який діє в сферичній чи полярній системі координат, має дві обертальні взаємно перпендикулярні та поступальну ступінь рухливості. Такий тип робота містить (рисунок 1.5) колону, що обертається, або основу, поворотну (хитається) каретку та переміщається нею поступально «руки». Форма робочої зони, яка утворюється, представлена як неповна куля, що обмежена сферичними та плоскими поверхнями.

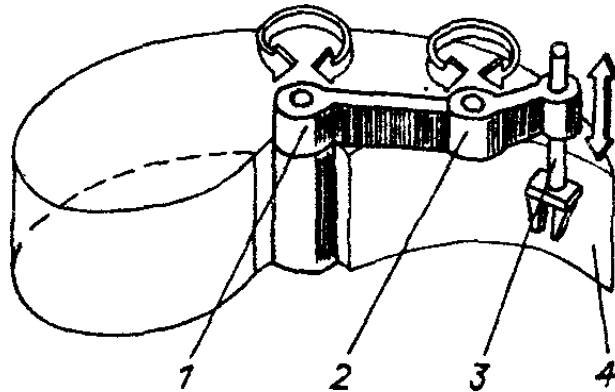


1 – основа; 2 – каретка; 3 – «рука»; 4 – робоча зона

Рисунок 1.5 – ПР з полярною системою координат

Така конфігурація робота доволі громіздка та вимагає для свого керування більш складної системи. Проте завдяки високій універсальності, а також можливості обслуговувати більші обсяги робочого простору, ніж маніпулятори, що працюють у прямокутній та циліндричній системах координат, такі ПР набули широкого застосування.

Промисловий робот, який діє в кутовій чи ангулярній сферичній системі координат, має три обертальні базові ступені рухливості. Така конфігурація робота (рисунок 1.6), що називається ще складною сферичною або антропоморфною містить ланки, здатні повертатися подібно до руки людини: до обертового «тулуба» у виді корпусу, або колони, шарнірно прикріплюється «плече», до якого, відповідно, – «лікоть». Форма робочої зони, що утворюється, має вигляд складної кульової, що обмежена сферичними та циліндричними площинами.



1 – колона; 2 – «плече»; 3 – «лікоть»; 4 – робоча зона

Рисунок 1.6 – ПР з ангулярною системою координат

Антропоморфна система є доволі складною та громіздкою для реалізації та програмування, отже, вимагає для свого керування більш складні пристрої, а у зв'язку зі зниженою жорсткістю потрібні спеціальні запобіжні засоби для підвищення точності маніпулювання. Водночас вона відрізняється високою універсальністю, а маючи найбільший обсяг робочої зони, добре komponується в цеху, це дозволяє мінімізувати розміри виробничих площ, які необхідні для розміщення роботів.

За умови обладнання додатковими шарнірами вона набуває підвищеної гнучкості та маневреності [7].

### 1.3 Системи керування промисловими роботами

Призначення системи керування ПР полягає у формуванні та передачі впливів керування елементів виконавчої системи відповідно до заданої програми керування.

Отже, в узагальненому вигляді, система керування в поєднанні з інформаційно-вимірювальною системою промислового робота – це технічні засоби реалізації програми керування, скомпонованої з системою датчиків зворотного зв'язку, що передають системі керування інформацію про зовнішні

та внутрішні параметри, важливі для коригування положення робочого органу, зусилля на ньому під час виконання технологічних операцій. Кожна ланка механічної системи робота має власне, незалежне керування (привід, електромеханічний, пневматичний або гідравлічний).

Системи керування ПР, як було зазначено вище, поділяють на програмні, адаптивні й інтелектуальні. Методи керування можуть бути «жорсткими», «гнучкими», а також «адаптивними».

Принцип дії жорстко-програмованих ПР полягає в обов'язковому виконанні заздалегідь заданої програми. Навколишнє середовище розцінюється неодмінно організованим, детермінованим (передбачуваним) та незмінним у часі. Такі системи керування наразі визнаються застарілими, однак, доволі ефективними в умовах багатосерійних, а також масових виробництв, які не потребують регулярного переналагодження обладнання, і не потребують наявності інформаційно-вимірювальної системи для свого функціонування. Даний принцип керування характерний для програмних систем керування ПР.

Під час адаптивного керування пристрій у змозі реагувати на зміну навколишнього середовища, сприймати яке воно може тільки за допомогою багаточисельних датчиків (контактного і безконтактного типу) та інших засобів зчутливлення ПР (камери, тепловізори тощо). Інформація, що надходить з датчиків, порівнюється із тією, що було закладено до блоку пам'яті, і якщо виявляється розбіжність, відповідно, й змінюється поведінка робота. Програмне забезпечення адаптивного робота складається з основної програми, за аналогією до тієї, що інсталується на звичайні промислові роботи, та набору допоміжних програм, кожна з яких відповідає за коригування роботи механізму за умови зміни одного або декількох параметрів зовнішнього або внутрішнього середовища. Вказаний тип керування є характерним для адаптивних систем.

«Гнучке» програмування полягає в завданні роботу тільки цілі і математичної моделі оточуючого середовища. ПР сам або за допомогою оператора повинен знаходити шляхи розв'язання поставленої задачі, досягаючи мети, та, знайшовши шлях щодо розв'язання проблеми, він повинен назавжди

запам'ятати алгоритм. Такі механізми назвали роботамт 3-го покоління, або машинами з елементами «штучного інтелекту». Вони є ефективними в умовах гнучких і поточних виробництв незалежно від кількості номенклатури та частоти випуску виробів за рахунок високого рівня адаптації, самонавчання, а також збереження принципів модульної організації виробництва. Зазначені вище принципи програмування характерні для інтелектуальних систем керування ПР [5-6].

Напівавтоматичні біотехнічні та інтерактивні системи не отримали ще такого широкого розповсюдження в реалізацві ПР, однак, мають великі перспективи розвитку в цій галузі. Ці роботи системи засновані на принципах біотехнічного, копіювального та діалогового керування.

Класифікація роботів, які програмуються, на циклові, позиційні та контурні обумовлена перш за все характером інформації керування, яку система керування видає виконавчим механізмам робота, таким чином, можливостями контролю параметрів траєкторії переміщення і її складністю.

Циклові системи керування відрізняються тим, що за їхньою допомогою можна запрограмувати тільки послідовність роботи виконавчих механізмів робота. Система керування циклового програмного робота, по суті, забезпечує включення / виключення в певній послідовності приводу різних ланок робота, а також допоміжних технологічних пристроїв, які працюють разом з ним. Інформація щодо величини переміщення, координат точок позиціонування задається здебільшого за допомогою пересувних упорів, які впливають на колійні перемикачі.

Система керування аналізує стан окремих перемикачів і, порівнюючи їх із заданими умовами, видає команди для роботи протягом заданого часу окремих механізмів робота. Найчастіше циклові системи застосовують для керування пневматичними або гідравлічними приводами. Перепрограмування руху робота в таких системах керування виконується шляхом перестановки кінцевих перемикачів або упорів і зміни програми, що визначає послідовність рухів.

Позиційні системи керування є дискретними. В них програмується положення низки робочих точок, які визначають бажані переміщення «руки» робота. Число таких точок на кожній координаті керування може досягати декількох сотень. Для зберігання інформації про положення, час та послідовність рухів робота запам'ятовувальний пристрій повинен мати значно великий обсяг пам'яті. Робота такої системи базується на порівнянні позиційних даних, які надходять від внутрішніх датчиків, розміщених на приводах робота, з запрограмованою інформацією щодо кожної координати. На основі такого порівняння формується сигнал, який надходить на привід. Позиційні системи керування дозволяють програмувати не лише логічну інформацію про технологічний процес, який повинен виконати робот, а також послідовність і координати окремих точок траєкторії, по якій робот має переміщувати деталь або інструмент.

Можливості контурних систем є ще ширшими. За їхньою допомогою можна безперервно контролювати стан всіх ланок робота, а не лише в окремі моменти часу. Отже, програмуються вже не координати окремих точок траєкторії, а повністю траєкторія. Коім того, програмуються також такі параметри, як швидкість переміщення деталі або інструмента роботом по заданій траєкторії.

Контурні системи – це системи безперервного керування. Відпрацювання траєкторії руху відбувається безперервно за кожним ступенем рухливості. Такі системи дають можливість точно повторити весь введений у пам'ять контур траєкторії (звідси й походить їхня назва). Істотна відмінність контурних систем від позиційних полягає в тому, що під час завдання траєкторії у вигляді двох точок – початкової та кінцевої – позиційна система проводить маніпулятор траєкторією, точно такою ж, яку було введено під час програмування.

Роботу контурних систем можна організовувати по-різному. Якщо є пристрій великого масштабу, то всі необхідні траєкторії можна записати повністю, а потім відтворювати їх, не вдаючись до складних обчислень. Якщо ж було використано більш потужний обчислювальний пристрій, але з



невеликим обсягом пам'яті, тоді доцільно записати лише положення деякого числа опорних точок, а безперервні ділянки між ними обчислювати (інтерполювати) спеціальними алгоритмами.

Вибір тієї чи іншої системи керування залежить від вимог, які ставлять до системи керування технологічними процесами, для виконання яких призначений робот. Зокрема, для завантаження деталей штампування цілком достатньо можливостей найпростіших операцій складання циклової системи керування. На цих операціях задача робота полягає у переміщенні деталі з однієї точки простору до іншої. Проте з технологічним процесом точкового зварювання великогабаритного об'єкта циклова система керування вочевидь не впорається: занадто багато точок позиціонування, до яких робот повинен перемістити зварювальні кліщі. Для дугового зварювання недостатньо навіть можливостей позиційної системи керування: потрібно програмувати не тільки траєкторію руху арочного електрода, але й певну швидкість його переміщення [6].

Сучасні ПР функціонують на основі принципів зворотного зв'язку, що підпорядковані керуванню та ієрархічності системи керування роботом. Ієрархія системи керування роботом полягає у розподілі системи керування на горизонтальні шари, що керують загальною поведінкою робота, розрахунку необхідної траєкторії руху робота, поведінці окремих його приводів і шарів, які здійснюють керування двигунами приводів безпосередньо.

Сучасний робот обладнаний не тільки зворотними зв'язками щодо положення, швидкості та прискорення ланок. За умови захвату деталей робот повинен знати, чи вдало він її захватив. Якщо деталь крихка або її поверхня має високу ступінь чистоти, будуються складні системи зі зворотним зв'язком із зусиллями, що дозволяють роботу схоплювати деталь, не пошкодивши її поверхні і не зруйнувавши її.

У процесі роботи робот також може взаємодіяти та обмінюватися сигналами з іншим обладнанням, а також засобами автоматизації: системами

технічного зору, сенсорними системами, програмованими контролерами, транспортними системами, обладнанням для зварювання й різання тощо [7].

#### 1.4 Системи підтримки прийняття рішень

Система підтримки прийняття рішень (СППР) – комп'ютерна система, що базується на збиранні та аналізі великої кількості інформації й може впливати на процес прийняття рішень різного плану в умовах сучасних виробництв. Інтерактивні системи дозволяють отримувати корисну інформацію з першоджерел, аналізувати її, а також виявляти існуючі для розв'язання певних задач.

З огляду на взаємодію з користувачем виділяють три види СППР:

- пасивні, що допомагають у процесі прийняття рішень, але висунути конкретної пропозиції не можуть;
- активні, що беруть участь у розробці правильного рішення безпосередньо;
- кооперативні, що припускають взаємодію СППР з користувачем. Висунуту пропозицію системою може доопрацювати оператор, вдосконалити, а потім відправити назад до системи задля перевірки. Потім пропозиція знову подається оператору, і так триває доти, поки він не схвалить рішення.

За способом підтримки розрізняють:

- модельно-орієнтовані СППР, які застосовують у роботі доступ до статистичних, фінансових або інших моделей;
- СППР, що засновані на комунікаціях, тобто підтримують роботу двох і більше користувачів, які займаються спільною задачею;
- СППР, які орієнтовані на дані, отже, мають доступ до тимчасових рядків організації. Їхня робота базується на застосуванні не тільки внутрішніх, а й зовнішніх даних;
- СППР, які орієнтовані на документи, що маніпулюють неструктурованою інформацією, укладеною в різних електронних форматах;

– СППР, які орієнтовані на знання та надають спеціалізовані рішення проблем, які засновані на фактах.

Функціональні СППР вважаються найбільш простими з точки зору архітектури. Вони поширені в організаціях, які не ставлять перед собою глобальні задачі та мають невисокий рівень розвитку інформаційних технологій. Відмінна особливість функціональних СППР полягає в тому, що дані, які містяться в операційних системах, піддаються аналізу. Переваги подібних СППР полягають у компактності через використання однієї платформи та оперативності у зв'язку з відсутністю необхідності перевантажувати дані до спеціалізованої системи. Недоліками виступають такі особливості: звуження кола питань, які вирішуються за допомогою системи, зниження якості даних через відсутність етапу їхнього очищення, збільшення навантаження на операційну систему з потенційною можливістю припинення її роботи.

СППР, які використовують незалежні вітрини даних, використовують на великих виробництвах та організаціях, які мають кілька підрозділів, у тому числі відділи інформаційних технологій. Кожна конкретна вітрина даних створюється для розв'язання певних задач, тому орієнтована на окреме коло користувачів. Це значно підвищує продуктивність системи. Впровадити подібні структури досить просто. З негативних моментів відзначимо те, що дані багаторазово вводяться у різні вітрини, отже, можуть дублюватися. Це збільшує витрати для зберігання інформації, а також ускладнює процедуру уніфікації. Наповнення вітрин даних є доволі складним у зв'язку з тим, що доводиться застосовувати чисельні джерела. Внаслідок того, що немає остаточної консолідації даних, відсутня єдина картина бізнесу організації.

СППР на базі дворівневого сховища даних використовується у великих компаніях, оскільки їхні дані консолідовані до єдиної системи. У даному випадку визначення та способи обробки інформації уніфіковані. Для забезпечення нормальної роботи подібної СППР потрібно зібрати спеціалізовану команду, яка обслуговуватиме її. Така архітектура СППР

позбавлена недоліків, на відміну від попередньої, але в ній відсутні можливості щодо структурування даних для окремих груп користувачів, а також щодо обмежування доступу до інформації. Можуть виникнути труднощі і з продуктивністю системи.

СППР на основі трирівневого сховища даних використовують сховище даних, з якого формуються вітрини даних, які застосовуються групами користувачів, які розв'язують подібні задачі. Отже, забезпечується доступ як до конкретних структурованих даних, так і єдиної консолідованої інформації. Наповнення вітрин даних спрощується з огляду на використання перевірених та очищених даних, які розташовані в єдиному джерелі. Існує корпоративна модель даних. Такі СППР відрізняє гарантована продуктивність. Проте існує й надмірність даних, яка веде до зростання вимог щодо їхнього зберігання. До того ж, необхідно узгодити подібну архітектуру з безліччю областей, які містять потенційно різні запити.

З огляду на структурування СППР виділяють чотири основні компоненти:

- інформаційні сховища даних;
- засоби та методи вилучення, обробки, а також завантаження даних (ETL);
- багатовимірні бази даних та засоби аналізу OLAP;
- засоби Data Mining.

Особливий клас систем стратегічного керування та підтримки прийняття рішень – це системи, що дозволяють реалізовувати динамічне моделювання процесів. Під час використання методів динамічного моделювання діяльність компанії подається як математична модель, в якій всі задачі та процеси визначаються як система взаємопов'язаних обчислюваних показників [8-9].

## 1.5 Висновки по розділу

У першому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано сучасні ПР, які використовуються в різних галузях виробництва та їхніх структурах. Наведено класифікацію та структуру сучасних ПР. Опрацьовано СППР, яка шляхом збирання та аналізу великої кількості інформації в умовах сучасних виробництв може впливати на процес прийняття рішень різного плану.

## 2 АДАПТАЦІЯ СТРУКТУРИ Й АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМ РОБОТОМ

### 2.1 Принципи адаптивного керування

В кваліфікаційній роботі використано провідні методи керування промисловими роботами. На сьогодні адаптивне керування є одним з найбільш ефективних типів керування промисловими роботами в умовах сучасних автоматизованих виробництв. Принципи адаптивного керування полягають у сукупності методів теорії керування, що дозволяють синтезувати системи керування, що мають можливість змінювати параметри регулятора або його структуру в залежності від зміни параметрів об'єкта керування або зовнішніх збурень, які діють на об'єкт керування.

З огляду на принципи автоматичного регулювання системи адаптивного керування є локальні замкнуті системи керування, що побудовані за принципом зворотного зв'язку (рисунок 2.1), іншими словами, дозволяє системі отримувати дані про зміни навколишнього середовища та об'єкта регулювання і, відповідно до цього, коригувати сигнал керування [4-5].

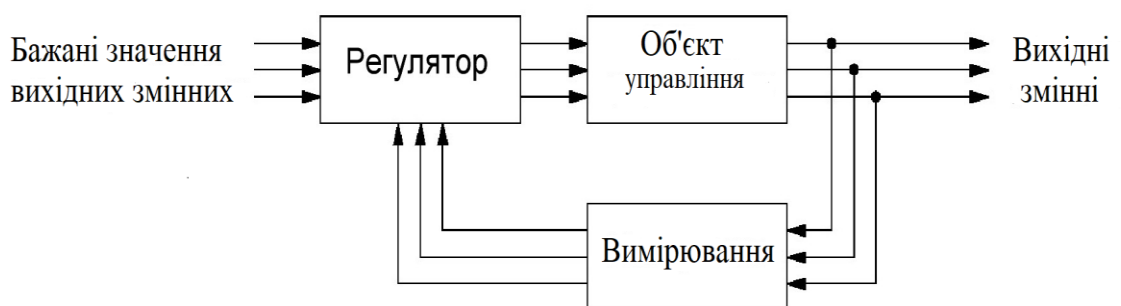


Рисунок 2.1 – Замкнута система автоматичного регулювання

Розрізняють декілька підтипів систем з адаптивним керуванням. За характером змін у керівному пристрої адаптивні системи поділяють на дві великі групи:

- самостійні (змінюються лише значення параметрів регулятора);
- самоорганізовані (змінюється структура самого регулятора).

За способом вивчення об'єкта системи поділяються на:

- пошукові;
- безпошукові.

У першій групі особливо відомі екстремальні системи, метою керування яких є підтримка системи в точці екстремуму статичних характеристик об'єкта. У таких системах для визначення керівних впливів, які забезпечують рух до екстремуму, до сигналу керування додається пошуковий сигнал.

Безпошукові адаптивні системи керування за способом отримання інформації для підстроювання параметрів регулятора поділяються на:

- системи з еталонною моделлю;
- системи з ідентифікатором, в літературі іноді зустрічається номінація, як системи з настроюваною моделлю.

Адаптивні системи з еталонною моделлю складаються з динамічної моделі системи, що наділена необхідною якістю.

Адаптивні системи з ідентифікатором за способом керування поділяються на:

- системи з прямим керуванням;
- системи з непрямим керуванням.

За умови непрямого адаптивного керування спочатку робиться оцінка параметрів об'єкта, після чого на підставі отриманих оцінок визначаються налаштування на власний вибір регулятора та проводиться їхнє підлаштування. За умови прямого адаптивного керування завдяки обліку взаємозв'язку параметрів об'єкта та регулятора виробляється безпосередня оцінка та підлаштування параметрів регулятора, перш ніж виключається етап ідентифікації параметрів об'єкта.

За способом досягнення ефекту самоналаштування системи з моделлю поділяються на:

- системи з сигнальною (пасивною) адаптацією;
- системи з параметричною (активною) адаптацією.

В системах з сигнальною адаптацією ефект самоналаштування досягається без зміни параметрів керувального пристрою за допомогою компенсувальних сигналів. Системи, що поєднують у собі обидва види адаптації, називаються комбінованими [10-11].

Усі вищенаведені підтипи систем у своїй роботі ґрунтуються на загальному принципі адаптивного керування.

## 2.2 Структурна схема інформаційної моделі системи адаптивного керування промисловими роботами

На відміну від класичних типів керування принцип адаптивного керування засновано на використанні моделі прийняття рішень, що базується на параметричних моделях керованого об'єкта та оцінці недетермінованого зовнішнього середовища, в якому аналізуються можливі наслідки керування (прогноз). На рисунку 2.2 наведено структурну схему інформаційної моделі системи адаптивного керування.

Системи адаптивного керування промисловими роботами є замкнутими. Вплив керування у такий спосіб коригується залежно від результату та прогнозу, прийнятого в моделі прийняття рішень, що також змінюється з плином часу в залежності від змін параметрів об'єкта впливу, яким може виступати деталь, модуль, або будь-який інший об'єкт, і навколишнього середовища. Як наслідок, результат керувального впливу повинен вважатися задовільним в тому разі, коли він є максимально наближеним до прийнятого в моделі прийняття рішень прогнозом.



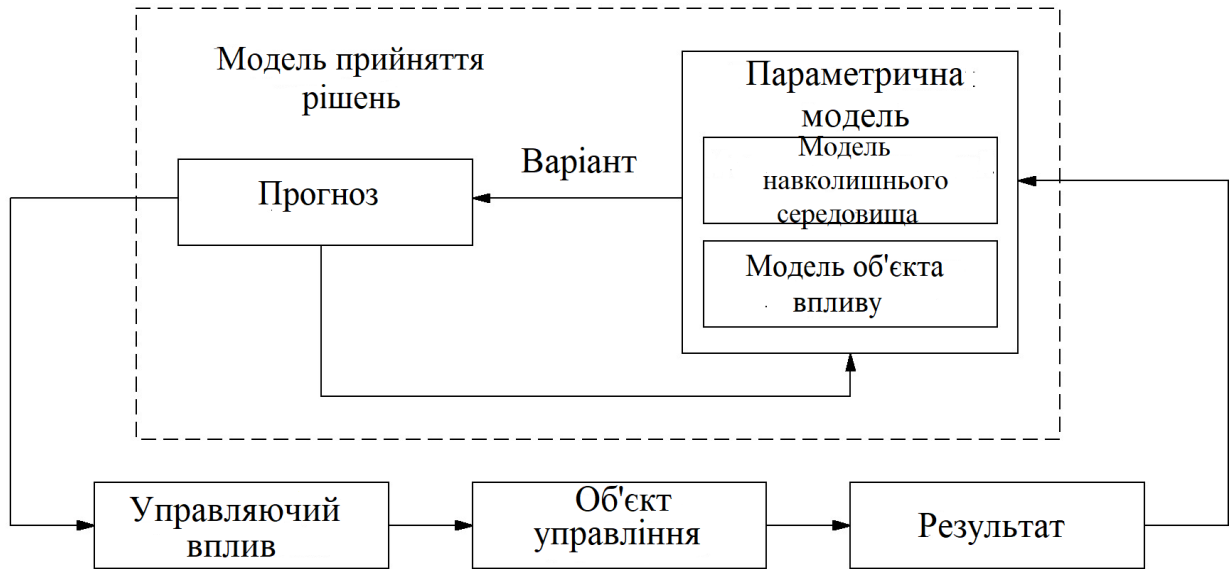


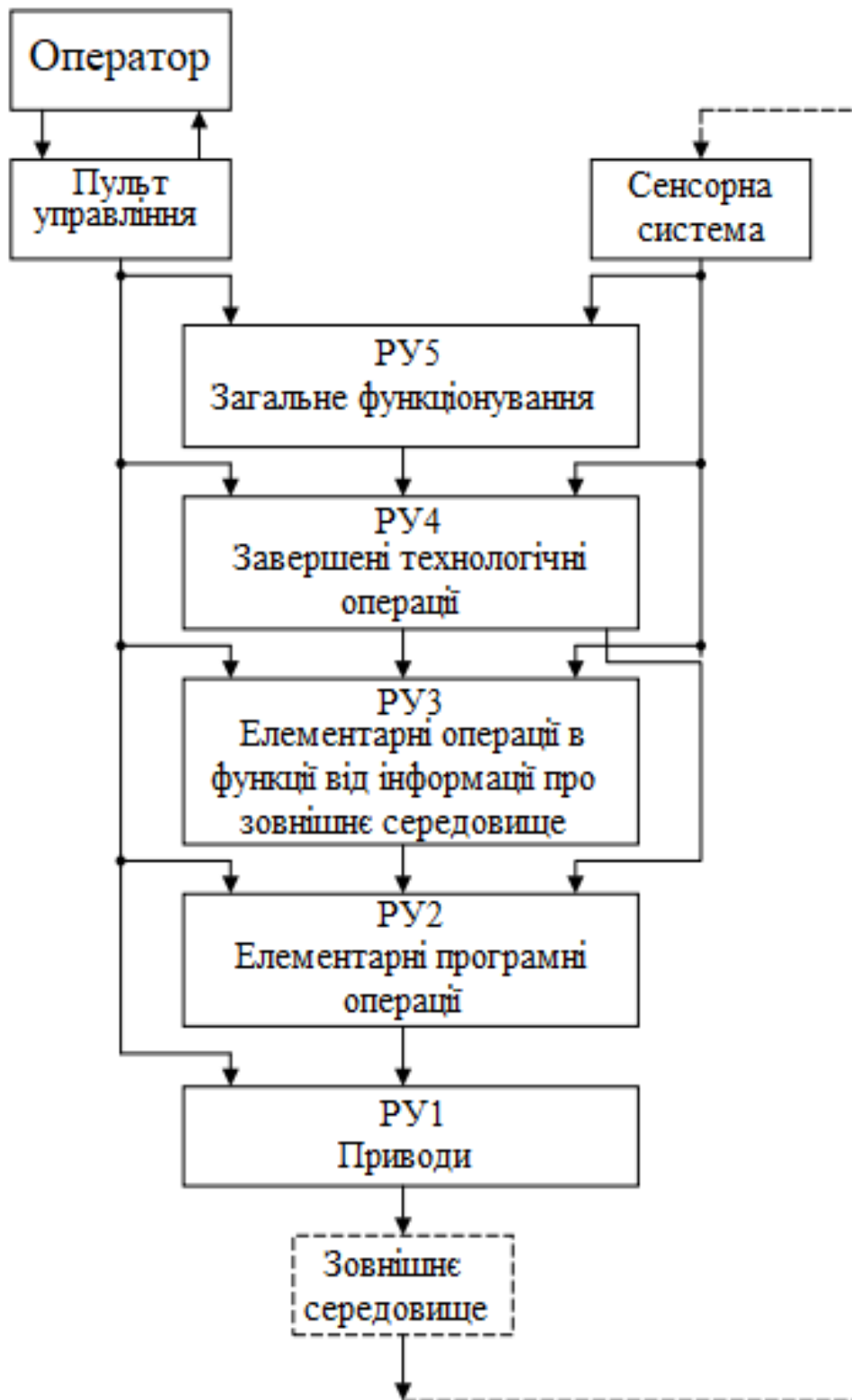
Рисунок 2.2 – Структура системи адаптивного керування ПР

### 2.3 Структурна схема системи адаптивного керування промисловими роботами

Узагальнена структурна схема системи адаптивного керування промисловими роботами містить п'ять рівнів керування РУ1 – РУ5 (рисунок 2.3).

Зв'язок людини-оператора з роботом виконується через пульт. Оператор видає роботу завдання, контролює їхнє виконання і здійснює загальний контроль за процесом функціонування робота в цілому.

П'ятий (верхній) рівень автоматичного керування РУ5 аналізує завдання, що надходять від людини-оператора, і визначає послідовність дій робота відповідно до завдання, таким чином, планує дії робота. На цьому рівні аналізується інформація про зовнішнє середовище, що надходить від сенсорної системи, і синтезуються моделі, на базі яких виконується планування дії робота (параметричні моделі). У загальному випадку моделі зовнішнього середовища утворюють ієрархічну послідовність від первинної, найбільш конкретної моделі, до все більш абстрактних, які використовують відповідно більш узагальнені поняття для опису зовнішнього середовища.



PU1-PU5 – рівні керування

Рисунок 2.3 – Структурна схема системи адаптивного керування промисловими роботами

У даному прикладі первинні моделі описуються за допомогою параметрів середовища, що безпосередньо визначаються сенсорними пристроями. В процесі функціонування робота моделі зовнішнього середовища коригуються та удосконалюються.

П'ятий рівень керування відповідає за функціонування робота як єдиної системи, забезпечуючи при цьому реалізацію не тільки основних, «професійних» функцій робота, але і службових загальносистемних завдань, які окреслюються вимогами до умов функціонування робота (забезпечення надійності, у тому числі й захист від зовнішніх впливів та внутрішніх неполадок, умов безпеки тощо). Рівень РУ5 визначає як інтелектуальні можливості робота, так і коло розв'язуваних їм завдань.

Четвертий рівень керування РУ4 є рівнем синтезу функціонально закінчених складних дій, в результаті яких розв'язується конкретне завдання, наприклад, складання якого-небудь виробу. Відповідно до плану, виробленого попередньо на вищому рівні РУ5, на рівні РУ4 здійснюється його розбиття на послідовність елементарних типових операцій, які реалізуються нижніми рівнями керування. Так, наприклад, план складання виробу розпадається на послідовність елементарних дій зі взяття, орієнтування, з'єднання та закріплення деталей у вузли, операцій налаштування, контрольованих вимірювальних операцій тощо. Результатом дії РУ4 є видача завдань керування на наступні рівні РУ3 і РУ2. Рівень РУ4 використовує також поточну інформацію від сенсорних пристроїв для оперативної корекції планів, яка надходить з рівня РУ5.

Третій і другий рівні керування РУ3 і РУ2 є рівнями виконання елементарних операцій, на які можуть бути розбиті закінчені дії робота. Різниця між даними рівнями полягає в тому, що на рівні РУ3 синтезуються адаптивні керування у функції від інформації про зовнішнє середовище, а на рівні РУ2 – простіші за програмою керування. У зв'язку з цим під час синтезу керувань на рівні РУ3 використовуються поряд з типовими програмами рівня РУ2 команди на вхід рівня РУ1 паралельно з керувальними впливами з виходу

рівня РУ2. У результаті реалізується завдання, що надійшло на вхід третього рівня. По-перше, у вигляді послідовності типових програм другого рівня, а по-друге, у вигляді сукупності дій, що спрямовують керування безпосередньо на окремі приводи рівня РУ1. Усі ці дії в цілому координуються та задаються рівнем РУ3 в залежності від поточної інформації про зовнішнє середовище та стан самого робота. На рівні РУ2 розраховуються керування впливу, що потім надходять на рівень РУ1, який реалізує програмне керування приводами.

Нижній рівень керування РУ1 реалізує керування за окремими ступенями рухливості робота і є системою керування приводами.

На поданій схемі не відображені інформаційні зв'язки окремих рівнів з пультом керування, що забезпечують передачу інформації про функціонування робота до людини-оператора. Людина-оператор принципово може взаємодіяти з роботом на будь-якому рівні ієрархії керування. Він може окреслювати завдання роботу безпосередньо на рівень РУ1 шляхом командного керування кожним приводом окремо. Зазначене керування є досить трудомістким, тому вимагає професійних навичок. Тимчасове запізнення в каналі зв'язку (зокрема, під час керування космічним маніпулятором) ще більше ускладнює роботу в даному режимі. У зв'язку з цим його застосовують лише в тих випадках, коли з яких-небудь причин інші способи керування виявляються неприйнятними.

#### 2.4 Алгоритм роботи системи адаптивного керування промисловими роботами

Алгоритм роботи системи адаптивного керування промисловим роботом можна дослідити на прикладі реалізації найпростішої операції взяття маніпулятором довільно розташованої деталі, наприклад, для подальшого виконання операції складання (рисунок 2.4).

Такий приклад дає можливість звернути увагу на основні моменти алгоритмів роботи систем адаптивного керування промисловими роботами із

збереженням основних принципів зазначених систем керування, а також присутньої як окремої частини в багатьох алгоритмах роботи ПР.

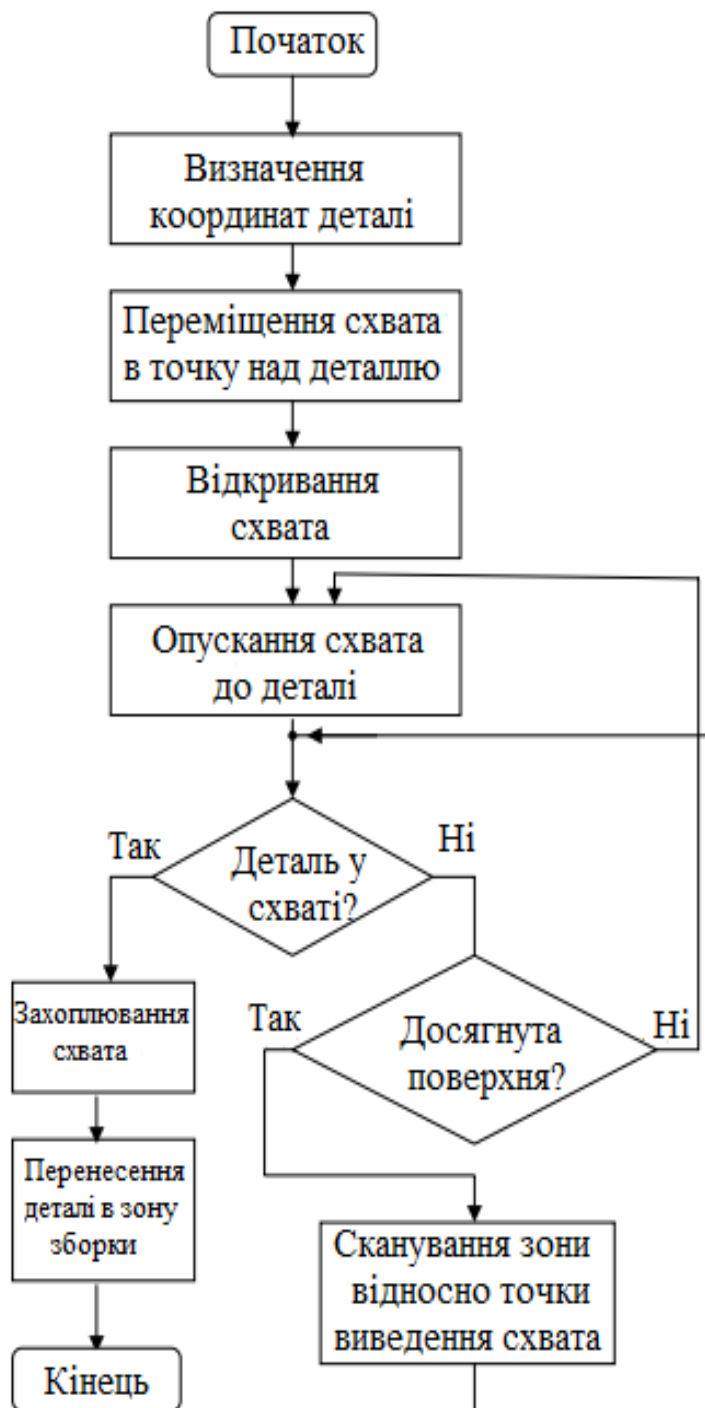


Рисунок 2.4 – Алгоритм роботи системи адаптивного керування промисловими роботами

Початковим етапом роботи досліджуваного алгоритму є визначення координат геометричного центру об'єкта впливу (деталі) та її орієнтації в просторі. Далі виконується розрахунок траєкторії руху схвата до деталі в тривимірному просторі робочої зони, що обумовлена можливостями робота, і перерахунок траєкторії руху до системи відносних координат приводів робота. Наступний крок – відпрацювання розрахованої траєкторії і, безпосередньо, взяття деталі.

Для встановлення координат деталей та їхньої орієнтації можна застосовувати різні технічні засоби зчутливлення (датчики, камери тощо).

Для взяття деталі, координати й орієнтація якої вже визначені, необхідно підвести схват робота до деталі. За умови відсутності обмежень найбільш швидким є переміщення схвата по прямій, яка з'єднує початкове та потрібне положення схвата, з рівномірною зміною його орієнтації. Після розміщення схвата над деталлю робот закриває схват і опускає його до тих пір, поки не спрацює датчик наявності деталі в схваті. За його сигналом робот закриває схват. Далі виконується розрахунок траєкторії перенесення деталі до заданої кінцевої точки робочої зони.

## 2.5 Висновки по розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи наведено принципи адаптивного керування ПР, які побудовані за принципом зворотного зв'язку, що дозволило системі отримувати дані про зміни навколишнього середовища та об'єкта регулювання і, відповідно до цього, коригувати сигнал керування.

Обрано:

– структурну схему інформаційної моделі, що заснована на використанні моделі прийняття рішень та містить у своїй основі параметричні моделі керованого об'єкта, а також оцінки недетермінованого зовнішнього середовища, де аналізуються можливі наслідки керування (прогноз);

- структурну схему системи адаптивного керування ПР, яка містить п'ять рівнів керування;
- алгоритм роботи системи адаптивного керування ПР, на прикладі виконання найпростішої операції взяття маніпулятором довільно розташованої деталі, для подальшого виконання операції складання.

## **3 РОЗРОБКА ПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ**

### 3.1 Параметричне моделювання

Мета параметричного моделювання – це моделювання процесів або об'єктів із застосуванням параметрів елементів моделі та співвідношень між цими параметрами, полягає в створенні математичної моделі об'єктів з параметрами, при зміні яких відбуваються зміни конфігурації загального об'єкта, процесу або системи, що моделюється.

Диференціюють такі види параметризації:

- таблична параметризація;
- ієрархічна параметризація;
- варіаційна (розмірна) параметризація;
- геометрична параметризація.

Таблична параметризація полягає в створенні таблиці параметрів, які властиві об'єкту або процесу. Проєктування нового об'єкта чи процесу проводиться шляхом вибору параметрів з таблиці. До недоліків даного виду параметризації належать її достатня обмеженість, оскільки завдання довільних нових значень параметрів та співвідношень зазвичай неможливе.

До переваг, які зумовлюють широке застосування табличної параметризації у всіх параметричних системах автоматизованого проєктування (САПР), належить можливість суттєво спростити та прискорити створення бібліотек стандартних та типових елементів, а також їхнє застосування під час проєктування.

Ієрархічна параметризація заснована на відображенні послідовності побудови у виді «древа побудови», що дозволяє наочно показати всі елементи моделі, їхню ієрархію та взаємозв'язки.



Параметризація на основі історії побудов присутня в усіх САПР, які спираються на тривимірне твердотільне параметричне моделювання. Цей тип параметричного моделювання часто поєднують з варіаційною та/або геометричною параметризацією.

Варіаційна (розмірна) параметризація базується на побудові ескізів, а також накладанні користувачем обмежень у виді системи рівнянь, які визначають залежність між параметрами. Варіаційна параметризація дає можливість легко змінювати форму ескіза або величину параметрів операцій.

Геометрична параметризація – це вид параметричного моделювання, де геометрія кожного параметричного об'єкта перераховується в залежності від положення батьківських об'єктів, його параметрів та змінних. Моделі такого типу складаються з елементів побудови та елементів зображення. Елементи побудови задають параметричні зв'язки. До елементів зображення належать лінії зображення й елементи оформлення. Одні елементи побудови можуть залежати від інших. Крім того, елементи побудови можуть містити параметри. За умови зміни одного з елементів моделі всі залежні від нього елементи перебудовуються відповідно до своїх параметрів та способів їхнього задання.

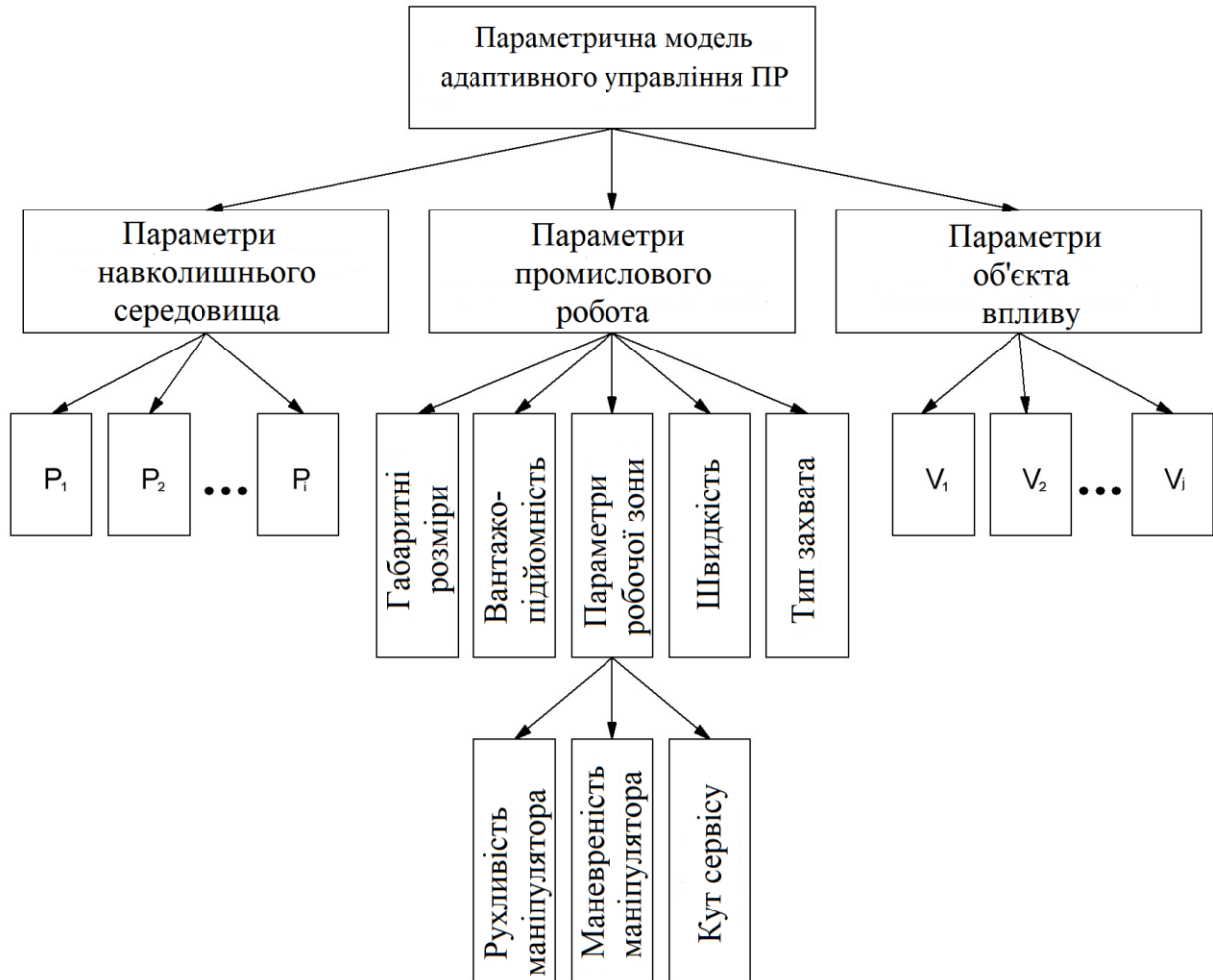
Геометрична параметризація дає можливість більш гнучко редагувати моделі. Якщо треба внести незаплановану зміну, то в геометрії моделі не обов'язково видаляти вихідні лінії побудови (це може призвести до втрати асоціативних взаємозв'язків між елементами моделі). Достатньо провести нову лінію побудови та перенести на неї лінію зображення [14].

Параметричне моделювання дозволяє проводити найбільш повний опис об'єктів моделювання. Це є основою побудови моделей прийняття рішень.

### 3.2 Розробка ієрархічної параметричної моделі адаптивного керування промисловими роботами

В узагальненому виді ієрархічна параметрична модель адаптивного керування ПР, розроблена у виді «древа побудови» та містить у собі 3 «гілки»:

«гілка» параметрів власне ПР, «гілка» параметрів навколишнього середовища та «гілка» параметрів об'єкта впливу (рисунок 3.1).



$P_1, \dots, P_i$  – параметри навколишнього середовища, що позначаються на процесі роботи ПР;  $V_1, \dots, V_j$  – параметри об'єкта впливу, що позначаються на процесі роботи ПР

Рисунок 3.1 – Узагальнена ієрархічна параметрична модель адаптивного керування ПР

На опрацьованій ієрархічній параметричній моделі відображено основні постійні елементи, що можуть набувати різних значень, а також різні підтипи параметрів у залежності від конкретних умов.

### 3.3 Розробка варіаційної параметричної моделі адаптивного керування промисловими роботами

Математичний запис узагальненої ієрархічної параметричної моделі адаптивного керування ПР має вид:

$$M_Y = \{M_{ПР}, M_{ОС}, M_{ОВ}\}, \quad (3.1)$$

де  $M_{ПР}$  – параметри ПР;

$M_{ОС}$  – параметри навколишнього середовища в конкретний момент часу;

$M_{ОВ}$  – параметри об'єкта впливу в конкретний момент часу.

Крім того, до параметрів самого ПР у цій моделі слід зараховувати тільки ті параметри, що впливають на процес прийняття рішень у системах адаптивного керування. До них належать такі характеристики, як габаритні розміри самого ПР, його вантажопідйомність, швидкість, тип захвату та параметри, що описують робочу зону робота:

$$M_{ПР} = \{P_{ГР}, P_{ГП}, P_{СК}, Z, P_{РЗ}\}, \quad (3.2)$$

де  $P_{ГР}$  – параметри габаритних розмірів ПР;

$P_{ГП}$  – вантажопідйомність ПР;

$P_{СК}$  – швидкість ПР;

$Z$  – тип захвату;

$P_{РЗ}$  – параметри робочої зони.

Тип захвату можна представити різними його видами:

$$Z = \{Z_{СП}, Z_{Ф}, Z_{К}, Z_{П}, Z_{У}, Z_{Р}, Z_{П.П.}, Z_{Д.П.}, Z_{Н.М.}, Z_{ЗВ.Е.}, Z_{СП.Е.}\}, \quad (3.3)$$

де  $Z_{СП}$  – спеціальний захват;

$Z_{Ф}$  – фреза;

$Z_{К}$  – ковш;

$Z_{П}$  – поворотний захват;

$Z_{У}$  – універсальний захват;

$Z_{Р}$  – ротатор;

$Z_{П.П.}$  – поворотний пристрій;

$Z_{Д.П.}$  – дискова пила;

$Z_{Н.М.}$  – ножиці по металу;

$Z_{ЗВ.Е.}$  – зварювальний елемент;

$Z_{СП.Е.}$  – спайковий елемент.

У свою чергу параметри габаритних розмірів містять у собі загальну висоту, довжину та ширину ПР:

$$P_{ГР} = \{h, l, b\}, \quad (3.4)$$

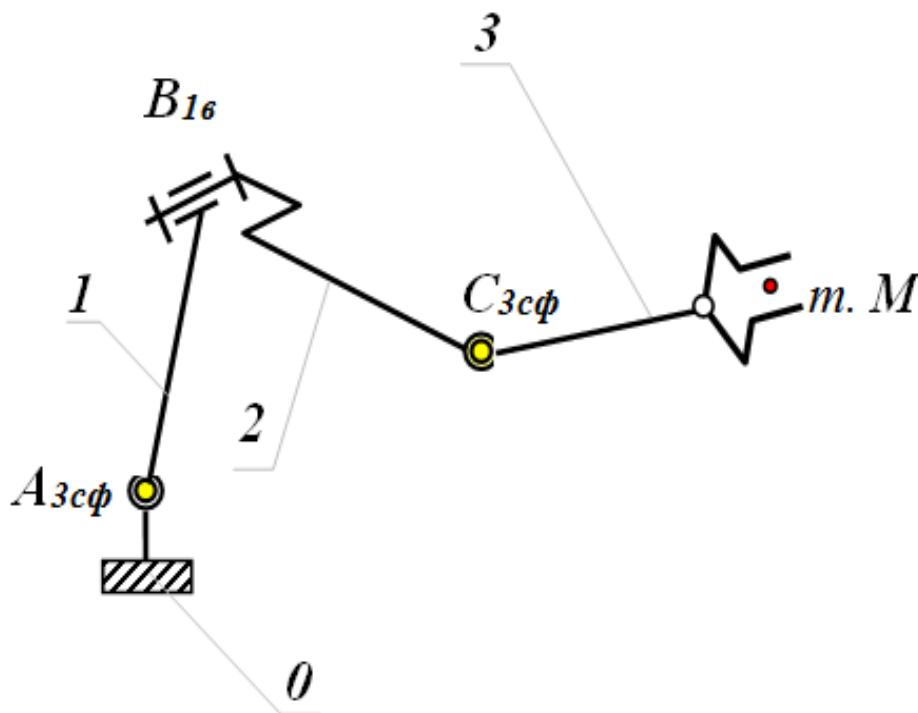
де  $h$  – висота;

$l$  – довжина;

$b$  – ширина.

Робочий простір робота – це частина простору, що обмежена поверхнями, які огинають до безлічі можливих положень ланок ПР. З огляду на це, зона обслуговування робота (робоча зона) є частиною простору, що відповідає безлічі можливих положень центру схвата робота.

Зона обслуговування – це важлива характеристика робота, що визначається структурою та системою координат руки робота, а також конструктивними обмеженнями, накладеними відносними переміщеннями ланок у координатній площині [15]. На рисунку 3.2 наведено структурну схему робота.



1 – плече; 2 – передпліччя; 3 – кисть

Рисунок 3.2 – Структурна схема робота

Рухливість робота – це число незалежних узагальнених координат, що однозначно визначає положення схвата в просторі:

$$W = 6 \cdot n - \sum_{i=1}^5 (6 - i) \cdot p_i, \quad (3.5)$$

або для незамкнених кінематичних ланцюгів:

$$W = \sum_{i=1}^5 i \cdot p_i . \quad (3.6)$$

Маневреність робота – це рухливість робота при зафіксованому (нерухомому) схваті:

$$M = W - 6. \quad (3.7)$$

Можливість зміни орієнтації схвату за умови розміщення його центру в заданій точці зони обслуговування характеризується кутом сервісу, тобто тілесним кутом  $\Psi$ , який може описати останній ланцюг робота (ланцюг на якому закріплено схват) при фіксації центру схвата в заданій точці зони обслуговування:

$$\Psi = \frac{f_C}{l_{CM}^3}, \quad (3.8)$$

де  $f_C$  – площа сферичної поверхні, що описується точкою  $C$  ланки 3;

$l_{CM}^3$  – довжина ланки 3.

Отже, параметрична модель робочої зони ПР набуває такий вид:

$$P_{PZ} = \{W, M, \Psi\}. \quad (3.9)$$

Параметри навколишнього середовища можуть бути описані параметрами певного оточення ПР об'єктів, що розташовані в області робочої зони робота, місцезнаходження яких необхідно враховувати під час виконання певних операцій, а також зовнішніх умов, які змінюються й можуть впливати на очікуваний результат роботи ПР.

Параметрична модель навколишнього середовища в узагальненому виді представлено так:

$$M_{OC} = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_i\}, \quad (3.10)$$

де  $P_1, \dots, P_i$  – параметри навколишнього середовища, що впливають на процес роботи ПР.

У разі, коли параметр навколишнього середовища є об'єктом, який розміщено в робочій області робота, його модель, по суті, може бути представлена координатами його розташування в декартовій системі координат:

$$P_i \in [x_i, y_i, z_i]. \quad (3.11)$$

Для обліку даних параметрів у загальній параметричній моделі їх просто виключають з можливих положень ПР.

Параметри навколишнього середовища, зокрема, параметри зовнішніх умов, які змінюються, а отже, можуть вплинути на очікуваний результат роботи, обмежуються особливостями власне ПР, його умов функціонування, а також деякими параметрами суто об'єкта впливу.

Параметри об'єкта впливу – це елементи, які розташовані у схваті ПР, можуть бути представлені його розмірами, вагою, особливостями конструктивного виконання, що впливають на початкове положення схвата ПР, його матеріал, який впливає на ступінь тиску схвата в момент стиснення тощо.

$$M_{OB} = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_j\}, \quad (3.12)$$

де  $V_1, \dots, V_j$  – параметри об'єкта впливу, що можуть відбиватись на процесі роботи ПР.

Ці параметри суворо обмежені параметрами самого ПР, які визначають його функціональні можливості, а також параметрами навколишнього середовища.

Отже, параметри моделі адаптивного керування ПР, у разі прийняття ними конкретних значень, накладають певні обмеження на інші параметри даної моделі.

В узагальненому виді повна варіаційна параметрична модель адаптивного керування ПР представлена так:

$$M_Y = \begin{cases} \{M_{ПР}, M_{ОС}, M_{ОБ}\}, \\ \forall(M_{ОС}, M_{ОБ}), M_{ПР}; \\ \forall(M_{ПР}, M_{ОБ}), M_{ОС}; \\ \forall(M_{ПР}, M_{ОС}), M_{ОБ}. \end{cases} \quad (3.13)$$

### 3.4 Висновки по розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи опрацьовано метод параметричного моделювання, тобто моделювання процесів або об'єктів із використанням параметрів елементів моделі та співвідношень між цими параметрами, що полягає в створенні математичної моделі об'єктів з параметрами, при зміні яких відбуваються зміни конфігурації загального об'єкта, процесу або системи, що моделюється.

Розроблено:

а) ієрархічну параметричну модель адаптивного керування ПР, яку виконано у виді «древа побудови», що містить у собі 3 «гілки»:

- 1) «гілку» параметрів власне ПР;
- 2) «гілку» параметрів навколишнього середовища;
- 3) «гілку» параметрів об'єкта впливу.



б) варіаційну параметричну модель адаптивного керування ПР, яка враховує:

- 1) параметри навколишнього середовища;
- 2) параметри об'єкта впливу.

## 4. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГИКИ

4.1 Нечітка логіка в системах адаптивного керування промисловими роботами

Під час розробки систем адаптивного керування ПР важливим етапом є вибір моделей прийняття рішень з урахуванням конкретних умов робочого простору, можливостей моделі робота, характеристик його сенсорної системи й інших показників. Характер обраних моделей визначає і сутність методів прийняття рішень. В умовах реалізації принципів адаптивного керування багато параметрів, наведені в параметричних моделях, можуть приймати нечіткі граничні значення, що обумовлює застосування нечіткої логіки під час розробки математичного опису зазначених систем.

Нечітка логіка представлена в роботах Лотфі А. Заде, професора технічних наук Каліфорнійського університету в Берклі. Нечітка логіка – це багатозначна логіка. На відміну від традиційної математики, що вимагає на кожному кроці моделювання точних та однозначних формулювань закономірностей, нечітка логіка активізує зовсім інший рівень мислення, при якому творчий процес моделювання відбувається на найвищому рівні абстракції, і постулюється лише мінімальний набір закономірностей.

Значення нечітких змінних, які можна отримати в результаті неточних вимірювань, багато в чому аналогічні до розподілів теорії ймовірностей, але вільні від властивих останніх недоліків. До таких недоліків належать: мала кількість придатних до аналізу функцій розподілу, необхідність їхньої примусової нормалізації, дотримання вимог адитивності, до того ж, труднощі обґрунтування адекватності математичної абстракції для опису поведінки фактичних величин. У межі, за умови зростання точності, нечітка логіка переходить в Булеву алгебру. У зіставленні з ймовірнісним методом, нечіткий

метод дозволяє різко скоротити обсяг вироблених обчислень, що призводить до збільшення швидкодії нечітких систем. Нечітку логіку спочатку використовували як найбільш зручний спосіб побудови систем керування складними технологічними процесами, в подальшому її почали використовувати в побутовій електроніці, різних системах керування, діагностичних та інших експертних системах [10].

Оскільки це розділ математики, що об'єднує в собі принципи класичної логіки та теорії множини, які базуються на понятті нечіткої множини – об'єкта з функцією належності елемента до множини і приймаючої будь-які значення в інтервалі  $[0,1]$ , а не тільки 0 або 1, нечітка логіка вводить різні логічні операції над нечіткими множинами, а також формулює поняття лінгвістичної змінної, значенням якої виступають нечіткі множини.

Нечітка множина – це сукупність елементів довільної природи, щодо яких не можна точно стверджувати, чи мають ці елементи деякі характерні властивості, що використовуються для задання нечіткої множини.

Нехай  $X$  – універсальна (базова) множина,  $x$  – елемент  $X$ , а  $R$  – деяка властивість. Звичайна (чітка) підмножина  $A$  універсальної множини  $X$ , елементи якої задовольняють властивості  $R$ , визначається як множина впорядкованих пар;

$$A = \frac{\mu \cdot A \cdot x}{x}, \quad (4.1)$$

де  $\mu \cdot A \cdot x$  – характеристична функція, що приймає значення 1, якщо  $x$  задовольняє властивості  $R$ , та 0 – в іншому випадку.

Нечітка підмножина від звичайної відрізняється тим, що для елементів  $x$  з  $X$  немає однозначної відповіді «так-ні» щодо властивості  $R$ . З огляду на це, нечітка підмножина  $A$  універсальної множини  $X$  визначається як множина впорядкованих пар  $A = \frac{\mu \cdot A \cdot x}{x}$ , однак у даному випадку  $\mu \cdot A \cdot x$  –

характеристична функція належності (або просто функція належності), що приймає значення в деякій цілком впорядкованій множині  $M = 0; 1$ . Функція належності вказує ступінь (або рівень) належності елемента  $x$  підмножині  $A$ . Множину  $M$  називають множиною належностей. Якщо  $M = 0; 1$ , то нечітка підмножина  $A$  може розглядатися як звичайна або чітка множина. Ступінь належності  $\mu \cdot A \cdot x$  є суб'єктивною мірою того, наскільки елемент  $x \in X$ , відповідає поняттю, сенс якого формалізується нечіткою множиною  $A$ .

Носієм нечіткої множини  $A$  виступає чітка підмножина  $S A$  універсальної множини  $X$  з властивістю  $\mu \cdot A \cdot x > 0$ , тобто  $S A = \{x \mid x \in X \wedge \mu A x > 0\}$ . Внакше кажучи, носієм нечіткої множини  $A$  є підмножина  $S A$  універсальної множини  $X$ , для елементів якої функція належності  $\mu \cdot A \cdot x > 0$  більше нуля. Інколи носій нечіткої множини позначають *support A*.

Якщо носієм нечіткої множини  $A$  є дискретна підмножина  $S A$ , то нечітку підмножину  $A$  універсальної множини  $X$ , яка складається з  $n$  елементів, можна представити у вигляді об'єднання кінцевого числа одноточкових множин  $\frac{\mu \cdot A \cdot x}{x}$  за допомогою символу  $\sum$ :  $A = \sum_{i=1}^n \mu A x_i / x_i$ . До того ж, мається на увазі, що елементи  $x_i$  впорядковані за зростанням відповідно до своїх індексів, тобто  $x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_n$ .

Якщо носієм нечіткої множини  $A$  є безперервна підмножина  $S A$ , то нечітку підмножину  $A$  універсальної множини  $X$ , визначаючи символ  $\int$  як безперервний аналог введеного вище символу поєднання для дискретних нечітких множин  $\sum$ , можна представити у вигляді об'єднання нескінченного числа одноточкових множин  $\frac{\mu \cdot A \cdot x}{x}$  [15]:

$$A = \int \frac{X \cdot \mu \cdot A \cdot x}{x}. \quad (4.2)$$

Лінгвістична змінна відрізняється від числової змінної тим, що її значеннями є не числа, а – слова або пропозиції в природній або формальній мові. Оскільки слова в загальному розумінні є менш точними за числа, поняття лінгвістичної змінної дає можливість наближено описувати явища, що настільки складні, тому не піддаються опису в загальноприйнятих кількісних термінах. Зокрема, нечітку множину, що виражає обмеження, пов'язану зі значеннями лінгвістичної змінної, можна розглядати як сукупну характеристику різних підкласів елементів універсальної множини. У такому синтаксисі роль нечітких множин аналогічна тій, яку відіграють слова і пропозиції в природній мові.

Важливий аспект поняття лінгвістичної змінної полягає в тому, що ця змінна більш високого порядку на відміну від нечіткої, в тому розумінні, що значеннями лінгвістичної змінної є нечіткі змінні. Інший важливий аспект поняття лінгвістичної змінної полягає в тому, що лінгвістичній змінній властиві два правила:

- синтаксичне, що може задаватися у формі граматики й породжувати назву значень змінної;
- семантичне, що визначає алгоритмічну процедуру для обчислення значення кожного значення.

Лінгвістична змінна описується таким набором властивостей:

$$(X, T(X) U, G, M), \quad (4.3)$$

де  $X$  – назва змінної;

$T(X)$  – позначає терм-множину змінної  $X$ , тобто множину назв лінгвістичних значень змінної  $X$ , зауважимо, що кожне з таких значень є нечіткою змінною  $\tilde{x}$  зі значеннями з універсальної множини  $U$  з базовою змінною  $u$ ;

$G$  – синтаксичне правило, що породжує назви  $\tilde{x}$  значень змінної  $X$ ;

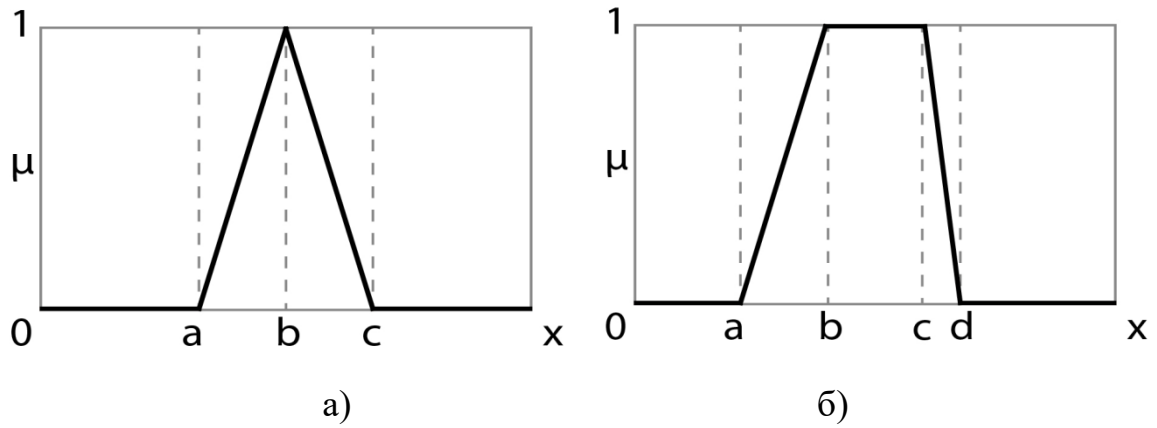
$M$  – семантичне правило, що ставить у відповідність кожної нечіткої змінної  $\tilde{x}$  її значення  $M(\tilde{x})$ , тобто нечітку підмножину  $M(\tilde{x})$  універсальної множини  $U$ .

Конкретна назва  $\tilde{x}$ , породжена синтаксичним правилом  $G$ , називається термом. Терм, який складається з одного чи кількох слів, завжди фігурує разом один з одним, називається атомарним термом. Терм, який складається з більш ніж одного атомарного терма, має назву складений терм.

Функція належності нечіткої множини є узагальненням індикаторної (або характеристичної) функції класичної множини. У нечіткій логіці вона подається як ступінь належності кожного члена простору міркування до даної нечіткої множини. Це дає можливість розмежувати великі діапазони допустимих значень параметрів на більш зручні для адаптації у структурі різних систем діапазони, що відповідають заданим лінгвістичним змінним.

#### 4.2 Методи побудови функцій належності

Визначають декілька типів функцій належності. Кусково-лінійні функції належності складаються з відрізків прямих ліній, утворюючи при цьому безперервну або кусково-безперервну функцію. Найбільш характерним прикладом таких функцій є «трикутна» (рисунок 4.1, *a*), а також «трапецієподібна» (рисунок 4.1, *б*) функції належності. У даному випадку кожна з цих функцій задана на універсумі  $X=[0, x]$ , яким обрано замкнутий інтервал дійсних чисел. У загальному випадку вибір універсуму може бути довільним, і не обмежуватися ніякими правилами.



а) – «трикутна» функція належності;  
 б) – «трапецієподібна» функція належності

Рисунок 4.1 – Кусково-лінійні функції належності

Першу з цих функцій належності в загальному випадку можна задати аналітично таким виразом:

$$f_{\Delta}(x; a, b, c) = \left\{ \begin{array}{l} 0, \quad x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, \quad a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, \quad b \leq x \leq c, \\ 0, \quad c \leq x. \end{array} \right\}, \quad (4.1)$$

де  $a, b, c$  – деякі числові параметри, що беруть довільні дійсні значення і впорядковані відношенням:  $a \leq b \leq c$ .

Трапецієподібну функцію належності в загальному випадку можна задати аналітично таким виразом:

$$f_{\Delta}(x; a, b, c, d) = \left\{ \begin{array}{l} 0, \quad x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, \quad a \leq x \leq b, \\ 1, \quad b \leq x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, \quad c \leq x \leq d, \\ 0, \quad d \leq x. \end{array} \right\}, \quad (4.2)$$

де  $a, b, c, d$  – деякі числові параметри, що беруть довільні дійсні значення і впорядковані відношенням:  $a \leq b \leq c \leq d$ .

Z-подібні (рисунок 4.2, а), а також S-подібні (рисунок 4.2, б) функції належності також отримали свою назву за видом кривих, які представляють їх графіки. Перша з функцій цієї групи називається Z-подібна крива або сплайн-функція і в загальному випадку може бути задана аналітично таким виразом:

$$f_z(x; a, b) = \left\{ \begin{array}{l} 1, \quad x \leq a, \\ 1 - 2 \left( \frac{x-a}{b-a} \right)^2, \quad a < x \leq \frac{a+b}{2}, \\ 2 \left( \frac{b-x}{b-a} \right)^2, \quad \frac{a+b}{2} < x < b, \\ 0, \quad b \leq x. \end{array} \right\}, \quad (4.3)$$

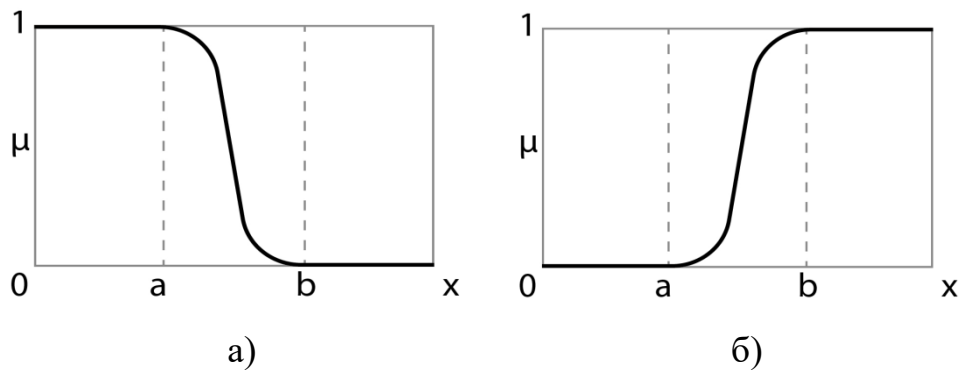
де  $a, b$  – деякі числові параметри, що беруть довільні дійсні значення і впорядковані відношенням:  $a < b$ .

Друга з функцій даної групи називається S-подібною кривою або сплайн-функцією і в загальному випадку може бути задана аналітично таким виразом:



$$f_s(x; a, b) = \left. \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ 2 \left( \frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a < x \leq \frac{a+b}{2}, \\ 1 - 2 \left( \frac{b-x}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} < x < b, \\ 1, & b \leq x. \end{cases} \right\} \quad (4.4)$$

де  $a, b$  – деякі числові параметри, що беруть довільні дійсні значення і впорядковані відношенням:  $a < b$ .



а – Z-подібна функція належності; б – S-подібна функція належності

Рисунок 4.2 – Z- подібні та S-подібні функції належності

До П-подібних функцій належності (рисунок 4.3) зараховується цілий клас кривих, які за своєю формою нагадують дзвін, згладжену трапецію чи літеру «П». У загальному випадку вони задаються аналітично таким виразом:

$$f_{\Pi}(x; a, b, c, d) = f_s(x; a, b) \cdot f_z(x; c, d), \quad (4.5)$$

де  $a, b, c, d$  – деякі числові параметри, що беруть довільні дійсні значення і впорядковані відношенням  $a \leq b \leq c \leq d$ , а знак « $\cdot$ » позначає звичайний арифметичний добуток значень відповідних функцій.

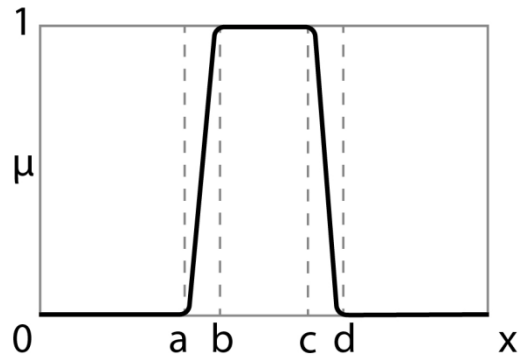


Рисунок 4.3 – П-подібна функція належності

Під час побудови функцій належності для нечітких множин слід дотримуватися деяких правил, які визначаються характером невизначеності, що має місце в ході побудови конкретних нечітких моделей. З практичної точки зору з кожною нечіткою множиною зручно асоціювати деяку властивість, ознаку або атрибут, які характеризують опрацьовану сукупність об'єктів універсуму. До того ж, за аналогією з класичними множинами опрацьована властивість може породжувати певний предикат, який цілком природно назвати нечітким предикатом. Зазначений нечіткий предикат може приймати не одне з двох значень істинності («істина» або «неправда»), а цілий континуум значень істинності, що вибираються з інтервалу для зручності  $[0,1]$ .

#### 4.3 Опис параметрів елементів моделі на основі принципів нечіткої логіки

Багато елементів розробленої параметричної моделі приймають конкретні значення. Зокрема, параметр типу захоплення  $Z$  може бути або зварювальним елементом, або спеціальним захопленням тощо. Інші елементи як, наприклад, параметр температури в приміщенні  $T$  можуть приймати нечіткі значення, що вимагають опису та розмежування діапазону їхніх можливих значень за допомогою лінгвістичних змінних «маленька», «середня», а також «велика».

Отже, якщо параметри самого ПР є заздалегідь відомими, і не змінними з плином часу (крім випадків реорганізації та модернізації виробничої дільниці), то їхній опис за допомогою лінгвістичних змінних матиме такий вид.

Габаритні розміри ПР представлені значеннями загальної висоти, довжини та ширини. Висота ПР з умовно-прийнятими значеннями від 0,45м до 3м. матиме вид системи при таких лінгвістичних змінних:

– лінгвістична змінна  $\mu(h)$  маленька:

$$\mu(h(m)) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,9 \\ 0,1 \cdot (x - 0,9), & 0,9 < x \leq 1,1 \\ 1, & x > 1,1 \end{cases} ; \quad (4.7)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(h)$  середня:

$$\mu(h(c)) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,9 \\ 0,1 \cdot (x - 0,9), & 0,9 < x \leq 1,1 \\ 1, & 1,1 < x \leq 1,9 \\ 0,1 \cdot (2,1 - x), & 1,9 < x \leq 2,1 \\ 0, & x > 2,1 \end{cases} ; \quad (4.8)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(h)$  велика:

$$\mu(h(b)) = \begin{cases} 0, & x \leq 1,9 \\ 0,1 \cdot (x - 1,9), & 1,9 < x \leq 2,1 \\ 1, & x > 2,1 \end{cases} . \quad (4.9)$$

Наочно графічне представлення функцій належності даного параметра наведеним лінгвістичним змінним подано на рисунку 4.4.

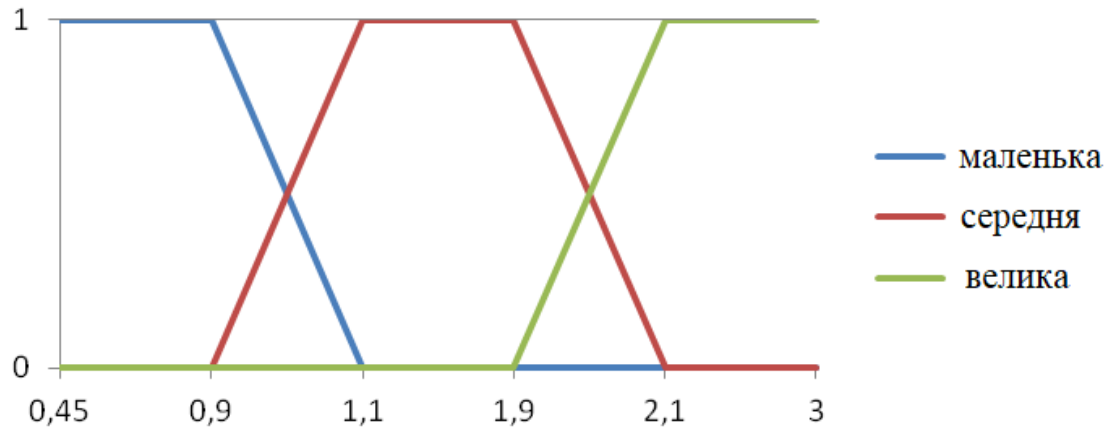


Рисунок 4.4 – Граф належності параметра висоти ПР

Довжина ПР з умовно-прийнятими значеннями від 0,3 м до 2 м. матиме вид системи при таких лінгвістичних змінних:

– лінгвістична змінна  $\mu(l)$  маленька:

$$\mu(l(m)) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,6, \\ 0,1 \cdot (x - 0,6), & 0,6 < x \leq 0,7, \\ 1, & x > 0,7; \end{cases} \quad (4.10)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(l)$  середня:

$$\mu(l(c)) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,6, \\ 0,1 \cdot (x - 0,6), & 0,6 < x \leq 0,7, \\ 1, & 0,7 < x \leq 1,3, \\ 0,1 \cdot (1,4 - x), & 1,3 < x \leq 1,4, \\ 0, & x > 1,4; \end{cases} \quad (4.11)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(l)$  велика:

$$\mu(l(\bar{\sigma})) = \begin{cases} 0, & x \leq 1,3, \\ 0,1 \cdot (x - 1,3), & 1,3 < x \leq 1,4, \\ 1, & x > 1,4. \end{cases} \quad (4.12)$$

Ширина ПР з умовно-прийнятими значеннями, що є аналогічними до значень довжини, будуть також представлені у вигляді систем, аналогічним трьом лінгвістичним змінним «маленька», «середня», «велика» і мати відповідний вид. Наочно графічне представлення функцій належності параметра довжини (аналогічний графу належності параметр ширини) наведеним лінгвістичним змінним подано на рисунку 4.5.

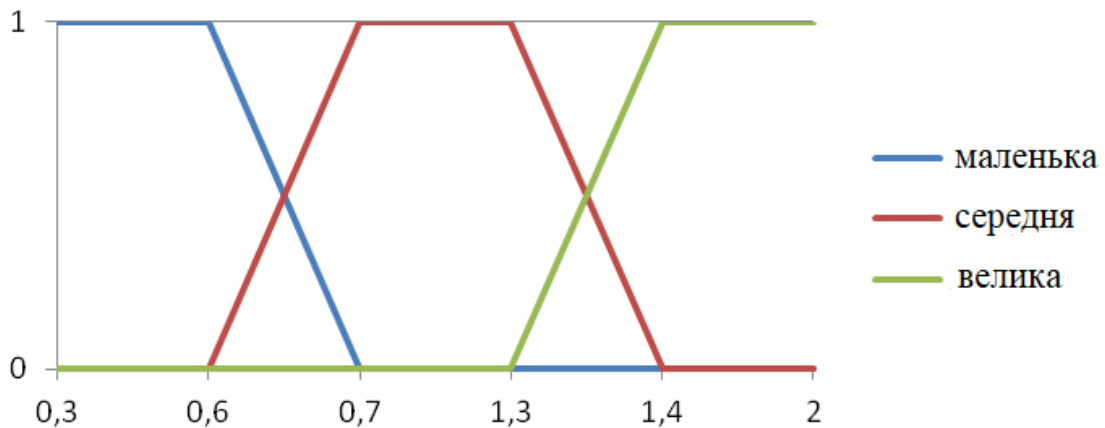


Рисунок 4.5 – Граф належності параметра довжини ПР

Опис лінгвістичних змінних вантажопідйомності ПР з умовним діапазоном значень від 0,1 кг до 120 кг має такий вид:

– лінгвістична змінна  $\mu(P_{III})$  маленька:

$$\mu(P_{III}(m)) = \begin{cases} 0, & x \leq 39, \\ 0,1 \cdot (x - 39), & 39 < x \leq 41, \\ 1, & x > 41; \end{cases} \quad (4.13)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(P_{III})$  середня:

$$\mu(P_{III}(c)) = \begin{cases} 0, & x \leq 39, \\ 0,1 \cdot (x - 39), & 39 < x \leq 41, \\ 1, & 41 < x \leq 79, \\ 0,1 \cdot (82 - x), & 79 < x \leq 82, \\ 0, & x > 82; \end{cases} \quad (4.14)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(P_{III})$  велика:

$$\mu(P_{III}(\delta)) = \begin{cases} 0, & x \leq 79, \\ 0,1 \cdot (x - 79), & 79 < x \leq 82, \\ 1, & x > 82. \end{cases} \quad (4.15)$$

Наочно графічне представлення функцій належності параметра вантажопідйомності подано на рисунку 4.6.

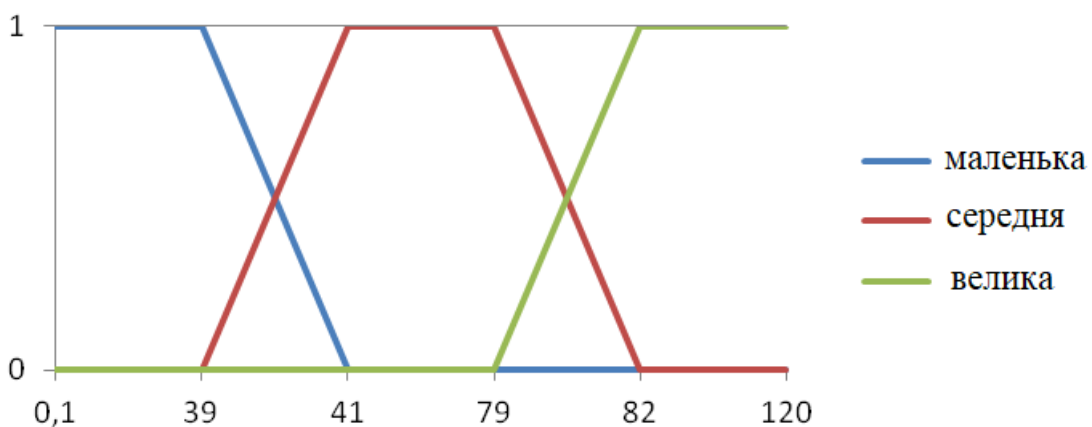


Рисунок 4.6 – Граф належності параметра вантажопідйомності ПР

Опис лінгвістичних змінних швидкості переміщення робота ПР з умовним діапазоном значень від 0,3 м/с до 1,2 м/с має такий вид:

– лінгвістична змінна  $\mu(P_{CK})$  маленька:

$$\mu(P_{CK}(m)) = \begin{cases} 0, & x \leq 3,9, \\ 0,1 \cdot (x - 3,9), & 3,9 < x \leq 4,1, \\ 1, & x > 4,1; \end{cases} \quad (4.16)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(P_{CK})$  середня:

$$\mu(P_{CK}(c)) = \begin{cases} 0, & x \leq 3,9, \\ 0,1 \cdot (x - 3,9), & 3,9 < x \leq 4,1, \\ 1, & 4,1 < x \leq 7,9, \\ 0,1 \cdot (8,2 - x), & 7,9 < x \leq 8,2, \\ 0, & x > 8,2; \end{cases} \quad (4.17)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(P_{CK})$  велика:

$$\mu(P_{CK}(b)) = \begin{cases} 0, & x \leq 7,9, \\ 0,1 \cdot (x - 7,9), & 7,9 < x \leq 8,2, \\ 1, & x > 8,2. \end{cases} \quad (4.18)$$

Графічне представлення функцій належності параметра швидкості подано на рисунку 4.7.

Параметр робочої зони в загальному можна охарактеризувати площею сферичної поверхні, що безпосередньо пов'язана з параметром кута сервісу та побічно обумовлена значеннями рухливості, а також маневреності робота ПР.

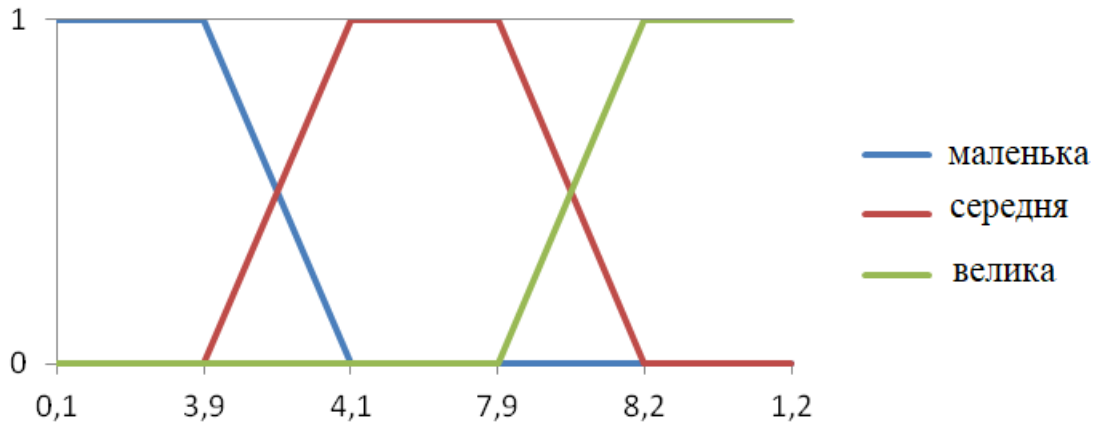


Рисунок 4.7 – Граф належності параметра швидкості робота ПР

Опис лінгвістичних змінних для параметра робочої зони з умовним діапазоном значень від 30 мм<sup>2</sup> до 4521600 мм<sup>2</sup> має такий вид:

– лінгвістична змінна  $\mu(f_C)$  маленька:

$$\mu(f_C(m)) = \begin{cases} 0, & x \leq 1500000, \\ 0,1 \cdot (x - 1500000), & 1500000 < x \leq 1600000, \\ 1, & x > 1600000; \end{cases} \quad (4.19)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(f_C)$  середня:

$$\mu(f_C(c)) = \begin{cases} 0, & x \leq 1500000, \\ 0,1 \cdot (x - 1500000), & 1500000 < x \leq 1600000, \\ 1, & 1600000 < x \leq 2900000, \\ 0,1 \cdot (3100000 - x), & 2900000 < x \leq 3100000, \\ 0, & x > 3100000; \end{cases} \quad (4.20)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(f_C)$  велика:



$$\mu(f_C(\sigma)) = \begin{cases} 0, & x \leq 2900000, \\ 0,1 \cdot (x - 2900000), & 2900000 < x \leq 3100000, \\ 1, & x > 3100000. \end{cases} \quad (4.21)$$

Наочно графічне представлення функцій належності параметра робочої зони робота ПР подано на рисунку 4.8.

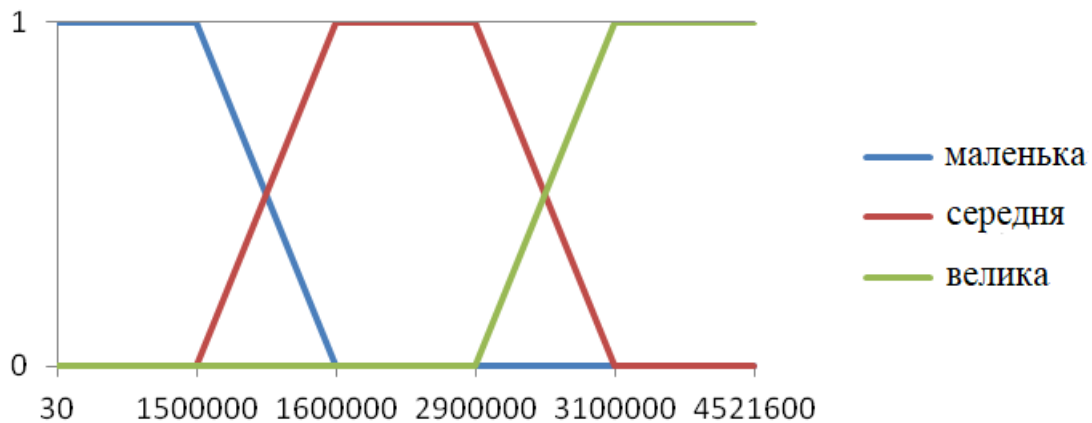


Рисунок 4.8 – Граф належності параметра робочої зони робота ПР

Подібного опису вимагають змінні з плином часу параметри навколишнього середовища та об'єкта впливу. До параметрів навколишнього середовища, що впливають на роботу ПР, належать температура, вологість, а також зашумленість навколишнього середовища. Опис температур навколишнього середовища  $T$  з умовно заданим діапазоном значень від 8 °C до 60 °C також матиме вигляд системи при наступних лінгвістичних змінних:

– лінгвістична змінна  $\mu(T)$  маленька:

$$\mu(T(m)) = \begin{cases} 0, & x \leq 19, \\ 0,1 \cdot (x - 19), & 19 < x \leq 21, \\ 1, & x > 21; \end{cases} \quad (4.22)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(T)$  середня:

$$\mu(T(c)) = \begin{cases} 0, & x \leq 19, \\ 0,1 \cdot (x - 19), & 19 < x \leq 21, \\ 1, & 21 < x \leq 39, \\ 0,1 \cdot (41 - x), & 39 < x \leq 41, \\ 0, & x > 41; \end{cases} \quad (4.23)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(T)$  велика:

$$\mu(T(\delta)) = \begin{cases} 0, & x \leq 39, \\ 0,1 \cdot (x - 39), & 39 < x \leq 41, \\ 1, & x > 41. \end{cases} \quad (4.24)$$

Графічне представлення функцій належності параметра температури подано на рисунку 4.9.

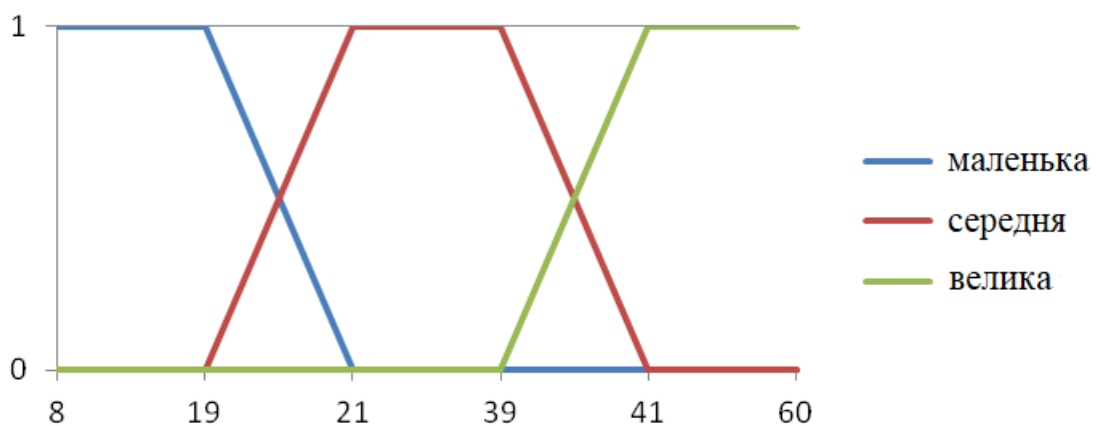


Рисунок 4.9 – Граф належності параметра температури

Опис лінгвістичних змінних для параметра вологості з умовним діапазоном значень від 20% до 80%, графічне представлення функцій належності подано на рисунку 4.10, має такий вид:

– лінгвістична змінна  $\mu(\varphi)$  маленька:

$$\mu(\varphi(m)) = \begin{cases} 0, & x \leq 39, \\ 0,1 \cdot (x - 39), & 39 < x \leq 40, \\ 1, & x > 40; \end{cases} \quad (4.25)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(\varphi)$  середня:

$$\mu(\varphi(c)) = \begin{cases} 0, & x \leq 39, \\ 0,1 \cdot (x - 39), & 39 < x \leq 40, \\ 1, & 40 < x \leq 49, \\ 0,1 \cdot (60 - x), & 49 < x \leq 60, \\ 0, & x > 60; \end{cases} \quad (4.26)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(T)$  велика:

$$\mu(\varphi(\sigma)) = \begin{cases} 0, & x \leq 49, \\ 0,1 \cdot (x - 49), & 49 < x \leq 60, \\ 1, & x > 60. \end{cases} \quad (4.27)$$

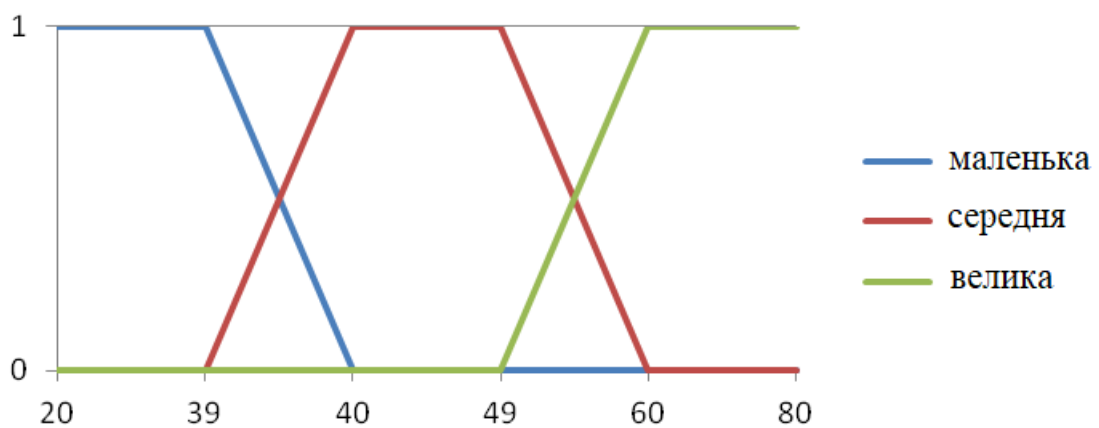


Рисунок 4.10 – Граф належності параметра вологості

Опис лінгвістичних змінних для параметра зашумленості з умовним діапазоном значень від 30 дБ до 80 дБ, графічне представлення функцій належності подано на рисунку 4.11, й має вид:

– лінгвістична змінна  $\mu(S)$  маленька:

$$\mu(S(m)) = \begin{cases} 0, & x \leq 45, \\ 0,1 \cdot (x - 45), & 45 < x \leq 46, \\ 1, & x > 46; \end{cases} \quad (4.28)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(S)$  середня:

$$\mu(S(c)) = \begin{cases} 0, & x \leq 45, \\ 0,1 \cdot (x - 45), & 45 < x \leq 46, \\ 1, & 46 < x \leq 65, \\ 0,1 \cdot (66 - x), & 65 < x \leq 66, \\ 0, & x > 66; \end{cases} \quad (4.29)$$

– лінгвістична змінна  $\mu(S)$  велика:

$$\mu(S(\delta)) = \begin{cases} 0, & x \leq 65, \\ 0,1 \cdot (x - 65), & 65 < x \leq 66, \\ 1, & x > 66. \end{cases} \quad (4.30)$$

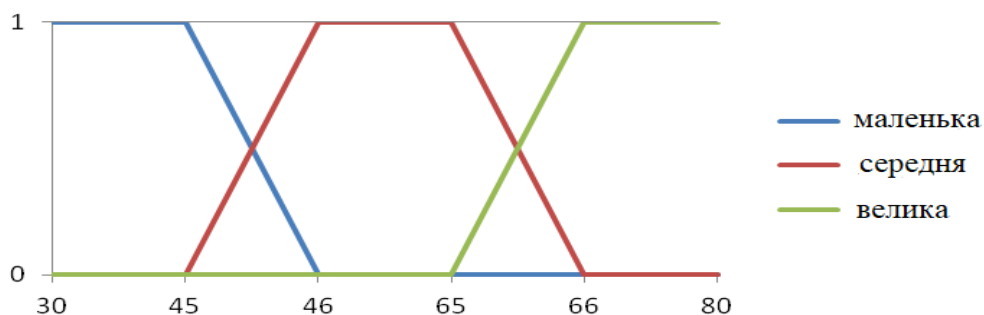


Рисунок 4.11 – Граф належності параметра шуму

До параметрів об'єкта впливу, що позначаються на адаптації прийняття рішень у системі керування належать його габаритні розміри, що мають аналогічні описи з габаритними розмірами ПР, з урахуванням різниці прийнятих початкових діапазонів значень, а також його матеріал, якому відповідають спочатку задані допустимі значення тиску схвату.

#### 4.4 Розробка моделі прийняття рішень для адаптивного керування промисловими роботами

Прийняття рішень у системах адаптивного керування ПР полягає в досягненні мети керування оптимальним шляхом із можливих. До того ж, процес досягнення мети характеризується зміною станів від початкового заданого  $state(x_0^0, x_1^0, x_2^0, \dots, x_{n-1}^0)$  до кінцевого, відповідного досягненню поставленої мети – цільового –  $state(x_0^f, x_1^f, x_2^f, \dots, x_{n-1}^f)$ :

$$state_0 \xrightarrow{M_y} state_f. \quad (4.31)$$

Оптимальність досягнення мети задається по факту найкоротшим шляхом переміщення робота ПР в умовах обмежень  $x$ , які задані параметричними моделями власне ПР, об'єкта впливу та навколишнього середовища, до того ж, відповідності лінгвістичних змінних параметрів ПР характерним лінгвістичним змінним параметрів об'єкта впливу та навколишнього середовища.

Отже, модель прийняття рішень в адаптивних системах керування ПР в узагальненому вигляді можна представити виразом:

$$state_0(x_0^0, x_1^0, x_2^0, \dots, x_{n-1}^0) \xrightarrow{M_y = \begin{cases} \{M_{PP}(x_{PP}), M_{OC}(x_{OC}), M_{OB}(x_{OB})\}, \\ \forall (\mu_{M_{OC}}, \mu_{M_{OB}}, \mu_{M_{PP}}); \\ \forall (\mu_{M_{PP}}, \mu_{M_{OB}}), \mu_{M_{OC}}; \\ \forall (\mu_{M_{PP}}, \mu_{M_{OC}}), \mu_{M_{OB}}. \end{cases}} state_f(x_0^f, x_1^f, x_2^f, \dots, x_{n-1}^f). \quad (4.32)$$

#### 4.5 Забезпечення безпечних умов праці під час проведення розробки за темою кваліфікаційної роботи

Робота з розробки нечітких моделей прийняття рішень у системах адаптивного керування ПР проводиться в лабораторії сидячи, отже, не вимагає фізичної напруги. Тому вона належить до категорії Ia (легкі фізичні роботи, енерговитрати до 120 ккал/ч). З метою забезпечення комфортних умов для працівників та відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 у приміщенні встановлено такі метеорологічні параметри:

а) для холодного періоду:

- 1) температура повітря від 22 °С до 24 °С;
- 2) вологість повітря від 40 % до 60 %;
- 3) швидкість руху повітря оптимальна до 0,1 м/с;

б) для теплого періоду року:

- 1) температура повітря від 23 °С до 25 °С;
- 2) вологість повітря від 40 % до 60 %;
- 3) швидкість руху повітря оптимальна до 0,1 м/с.

Для освітлення робочих місць і приміщення в цілому застосовується як природне бічне освітлення, так і штучне освітлення.

Приміщення з ЕОМ повинні мати природне, а також штучне освітлення відповідно до ДБН В.25-28-2006 «Природне та штучне освітлення». Природне світло повинно проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід, та забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%:

Згідно з ДСН 3.3.6.037-99 рівень шуму в лабораторії не перевищує 50 дБ.

Загальний рівень штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності [17].

Розрахункова формула методу:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (4.33)$$

де  $W$  – питома потужність, Вт/м<sup>2</sup>;

$S$  – площа приміщення,  $S = 48$  м<sup>2</sup>;

$W_{\Sigma}$  – загальна потужність освітлювальної установки Вт, яка розраховується за формулою:

$$W_{\Sigma} = W_{cv} \cdot n_{cv}, \quad (4.34)$$

де  $W_{cv}$  – потужність одного світильника,  $W_{cv} = 80$  Вт;

$n_{cv}$  – кількість світильників в приміщенні,  $n_{cv} = 8$  шт.

Дане приміщення має площу 48 м<sup>2</sup>, в якому розташовано вісім світильників із вказаною потужністю.

$$W_{\Sigma} = 6 \cdot 80 = 640 \text{ Вт},$$

$$W = \frac{640}{48} = 13,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Даній питомій потужності відповідає освітленість 350 лк, що задовольняє вимогам ДБН В.2.5-28-2006.

#### 4.6 Висновки по розділу

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи обрано модель прийняття рішень з урахуванням конкретних умов робочого простору, можливостей моделі робота, характеристик його сенсорної системи й інших показників. Застосовано метод нечіткої логіки під час розробки математичного опису

зазначених систем. Подано методи побудови функцій належності. Виконано опис параметрів елементів моделі на основі принципів нечіткої логіки. Розроблено модель прийняття рішень для адаптивного керування ПР, яка полягає в оптимальному керуванні із можливих, шляхом зміни станів від початкового заданого до кінцевого, відповідного досягненню поставленої мети – цільового. Зроблено аналіз безпечної роботи в приміщенні, де проводилась робота з теми кваліфікаційної роботи.



## ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи в першому розділі було проведено аналіз сучасних ПР, які використовуються в різних галузях виробництва та їхніх структурах. Наведено класифікацію та структуру сучасних ПР. Опрацьовано СППР, яка шляхом збирання та аналізу великої кількості інформації може впливати на процес прийняття рішень різного плану в умовах сучасних виробництв.

У другому розділі кваліфікаційної роботи наведено принципи адаптивного керування ПР, які побудовані за принципом зворотного зв'язку, що дозволило системі отримувати дані про зміни навколишнього середовища й об'єкта регулювання і, відповідно до цього, коригувати сигнал керування.

Обрано:

- структурну схему інформаційної моделі, що базується на використанні моделі прийняття рішень, яка містить у своїй основі параметричні моделі керованого об'єкта й оцінки недетермінованого зовнішнього середовища, де аналізуються можливі наслідки керування (прогноз);

- структурну схему системи адаптивного керування ПР, яка складається з п'яти рівнів керування;

- алгоритму роботи системи адаптивного керування ПР, на прикладі виконання найпростішої операції взяття маніпулятором довільно розташованої деталі, для подальшого виконання операції складання.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи досліджено метод параметричного моделювання, інакше кажучи, моделювання процесів або об'єктів з використанням параметрів елементів моделі та співвідношень між цими параметрами. Він полягає в створенні математичної моделі об'єктів з параметрами, під час зміни яких відбуваються зміни конфігурації загального об'єкта, процесу або системи, що моделюється.

Крім того, розроблено:

а) ієрархічну параметричну модель адаптивного керування ПР, яка, у свою чергу, виконана у виді «древа побудови», що містить 3 «гілки»:

- 1) «гілку» параметрів власне ПР;
- 2) «гілку» параметрів навколишнього середовища;
- 3) «гілку» параметрів об'єкта впливу;

б) варіаційну параметричну модель адаптивного керування ПР із врахуванням:

- 1) параметрів навколишнього середовища;
- 2) параметрів об'єкта впливу.

У четвертому розділі кваліфікаційної роботі було обрано модель прийняття рішень з урахуванням конкретних умов робочого простору, можливостей моделі робота, характеристик його сенсорної системи й інших показників. Крім того, було застосовано метод нечіткої логіки у процесі розробки математичного опису зазначених систем. Наведено методи побудови функцій належності. Виконано опис параметрів елементів моделі на основі принципів нечіткої логіки. Також розроблено модель прийняття рішень для адаптивного керування ПР, яка полягає в керуванні оптимальним шляхом зміни станів від початкового заданого до кінцевого, відповідного досягненню поставленої мети – цільового. Проаналізовано безпеку роботи в приміщенні, де виконувалася робота з теми дослідження.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, Р.В. Артюх, Н.П. Демська, В.В. Євсєєв, О.І. Филипенко, О.М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 50 с.

2. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» : навч. посіб. / за ред. І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. Київ, 2016. 320 с.

3. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація «Звіти у сфері науки і техніки». Структура та правила оформлювання. / В. Земцева; Ю. Поліщук, канд. фіз.-мат. наук; Р. Санченко, канд. техн. наук; Л. Шрамко; А. Ямчук (науковий керівник) ДП «УкрНДНЦ» від 22 червня 2015р. № 61 з 2017-07-01.

4. Положення про кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 06 травня 2021 р. No 143. – Режим доступу: [https://nure.ua/wpcontent/uploads/Main\\_Docs\\_NURE/143-vid-06.05.2021-pro-vvedennja-v-dijurishennja-vchenoi-radi-universitetu.pdf](https://nure.ua/wpcontent/uploads/Main_Docs_NURE/143-vid-06.05.2021-pro-vvedennja-v-dijurishennja-vchenoi-radi-universitetu.pdf).

5. Зуєв Є.О., Лучанінов М.Ю. Дослідження методів автономного позиціонування та навігації робототехнічних мобільних платформ / «AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES» ADED-2023 Part 2. Харків, ХНУРЕ.: 2023. С. 390-393.

6. Невлюдов І.Ш. Основи виробництва електронних апаратів / І.Ш.

Невлюдов. – Харків: Компанія СМІТ, 2005. – 592 с.

7. Кравченко Л.С. Розробка технологічного процесу складання: Навч. посібник для студентів машинобудівних спеціальностей. – Харків: НТУ«ХП», 2004 р. – 146 с.

8. Невлюдов І. Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017р. – 444 с.

9. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.

9. Невлюдов І.Ш. Людино-машинний інтерфейс в технічних засобах автоматизації: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, Б.О. Шостак. – Харків : «ХТМТ», 2019. – 244 с.

10. Невлюдов І.Ш. Основи наукових досліджень / І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. – Кривий Ріг : КК НАУ, 2017. – 344 с.

11. Лубко Д.В., Шаров С.В. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посібник – Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. – 264с

12. Діагностика та контроль робочих процесів: навч. посіб. для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної та дистанційної форм навчання / В. М. Доля – Харків: НТУ «ХП», 2019. – 129 с.

13. Забара С.С., Гагарін А.А., Кузьменко І.М., Щербашин Ю.Д. Моделювання систем в середовищі MATLAB. – К.: Видавництво Університету “Україна”, 2021. – 136 с.

14. 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.