

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського

ХОРОЛЬСЬКИЙ В.П., КОРЕНЕЦЬ Ю.М.

МЕХАТРОНІКА

(Мехатроніка та інтелектуальна автоматика)

(навчальний посібник)

Кривий Ріг

2023 рік

УДК 621.865.+681.5:681.1

X 81

Рекомендовано до видання Вченою радою Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Туган-Барановського(протокол№13 від 29.06.2023р).

Рецензенти:

докт. техн. наук, проф. В. П. Шокін (Криворізький національний університет, директор НДГРІ);

докт.техн. наук, проф. С. О. Жуков (Академія гірничих наук України);

докт. техн. наук, проф. О. В. Кузьмін (Національний університет харчових технологій)

Хорольський В. П., Коренець Ю. М.,

X81 МЕХАТРОНІКА (мехатроніка та інтелектуальна автоматика):
навчальний посібник – Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2023. – 342с.

ISBN 978-966-385-387-1

У посібнику викладено основи теорії робототехнічного керування технологічними процесами харчових виробництв.

Наведені теоретичні основи керування адаптивними, робастними, дискретними технологічними процесами, розроблені на загальній теоретичній основі з використанням методів теорії систем, прийняття рішень і теорії нечітких множин інтелектуальні системи керування робототехнічними комплексами виробництва продуктів здорового харчування.

В двох модулях учбового посібника викладено основи сучасних мехатронних систем керування траєкторією виробництва продукції, розглянуто методи проєктування адаптивних, інтелектуальних систем управління складними технологічними процесами на базі робототехнологічних комплексів та робототехнологічних інтенсифікаторів.

Книга адресована здобувачам вищої освіти неелектричних спеціальностей закладів вищої освіти.

УДК 621.865.+681.5:681.1

ISBN 978-966-385-387-1

© В.П.Хорольський,Ю.М.Коренець, 2023

© ДонНУЕТ, 2023

“Я бачу, як людина та робот рука в руку ідуть вперед – швидше ніж кожний із них йшов би по-одиноці...”

Айзек Азімов

Автори посібника

1. ХОРОЛЬСЬКИЙ ВАЛЕНТИН ПЕТРОВИЧ – доктор технічних наук, професор, автор більше 400 наукових праць з яких 12 монографій, три посібника, підручник, автор 124 авторських свідоцтв і патентів, загальний педагогічний стаж в закладах вищої освіти 59 років.

2. КОРЕНЕЦЬ ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ – старший викладач, автор більше 60 наукових праць, із яких 5 монографій, три посібника, підручник та 2 патенти.

Зміст

Передмова	7
Вступ	8
Модуль 1. Адаптивні мехатронні комплекси та синтез систем керування виробництвом продуктів харчування.....	10
Тема 1. Основи проєктування робототехнологічного обладнання в системах виробництва продуктів здорового харчування	10
1.1. Теорія та практика мехатронних систем керування складними технологічними процесами виробництва продуктів здорового харчування.....	10
1.2. Сучасні мехатронні системи керування та робототехнологічні комплекси для виробництва продуктів харчування	18
1.3. Характеристики промислових роботів.....	25
1.4. Датчики в системах розпізнавання та очуєвлення роботів і мехатронних пристроїв	26
1.5. Електропривід роботів та мехатронних систем.....	29
1.6. Системне проєктування робототехнологічного обладнання з виробництва продуктів здорового харчування.....	30
Тема 2. Теоретичні основи адаптивних систем керування в мехатронних та робототехнічних комплексах.....	36
2.1. Принципи проєктування адаптивних систем керування виробництвом продуктів здорового харчування	36
2.2. Пошукові адаптивні системи керування.....	39
2.3. Безпошукові адаптивні системи керування	43
2.4. Робастні системи робототехнологічного керування	47
2.5. Синтез робастних систем керування.....	53
2.6. Комбіноване робастне і адаптивне керування в робототехніці	63
Тема 3. Теоретичні основи цифрових систем робототехнічних установок.....	68
3.1. Принципи побудови цифрових систем роботозованих харчових виробництв	68
3.2. Принципи синтезу цифрових систем керування	71
Тема 4. Нечітка логіка в системах керування робототехнологічними системами.....	77
4.1. Основні операції нечіткої логіки та принципи роботи нечітких систем керування	77
4.2. Нечіткі регулятори в системі керування робототехнологічними комплексами.....	89
Тема 5. Мікропроцесорні системи керування робототехнологічними процесами харчових виробництв.....	95
5.1. Основні визначення.....	95
5.2. Нейрокомп'ютери	101
5.3. Концепції побудови систем мікропроцесорного керування робототизованими технологічними процесами харчових виробництв	104

Тема 6. Синтез систем автоматичного регулювання в мехатроніці	113
6.1. Загальна структура системи мехатронного регулювання.....	113
6.2. Комбінований (замкнуто-розімкнутий) принцип регулювання .	115
6.3. Синтез систем мехатронного керування виробництвом продукції харчування.....	124
Запитання для самоперевірки знань до першого модуля	133
Модуль 2. Інтелектуальні робототехнологічні системи керування, побудовані за використанням нечіткої логіки та штучних нейронних систем.....	134
Тема 7. Інтелектуальні робототехнологічні системи	134
7.1. Основи теорії.....	134
7.2. Динамічні експертні системи і бази знань в системі керування складними технологічними системами	142
7.3. Проєктування баз знань (БЗ) інтелектуальних систем керування складними технологічними процесами виробництва продуктів здорового харчування.....	150
7.4. Інформативність опису предметної області.....	157
7.5. Інструментальні засоби і реалізація інтелектуальних систем керування.....	165
Тема 8. Технології роботизації підприємств харчової промисловості	173
8.1. Роботизовані комплекси в системах автоматизованого управління підприємством та технологічними процесами (АСУ-АСУТП)виробництва смарт-продуктів харчування.....	173
8.2. Методологія інтегрованого інтелектуального управління корпоративними підприємствами виробниками харчів.....	186
8.3. Загальні принципи побудови роботизованих SMART-підприємств харчової промисловості.....	190
Тема 9. Роботизовані системи керування виробництвом продуктів харчування з молока.....	193
9.1. Загальні проблеми роботизації виробництва молочної продукції.....	193
9.2. Аналіз технологічного процесу випарювання молочних продуктів, як об'єкта робототехнологічного керування.....	194
9.3. Синтез нечіткого регулятора з лінгвістичним зворотним зв'язком і динамічною модифікацією системи продукційних правил	202
9.4. Розробка інтелектуальної системи керування процесом випарювання молочних продуктів	206
9.5. Роботизована система керування виробництвом елітних сортів сиру.....	209
Тема 10. Розробка обладнання і технологій виробництва заморожуваних продуктів харчування	218
10.1. Технології заморожуваних продуктів харчування і обґрунтування вибору обладнання для їх виробництва	218

10.2. Принцип побудови роботизованих систем керування установками заморожування	220
10.3. Холодильне роботизоване обладнання в системі виробництва заморожуваних продуктів здорового харчування	224
10.4. Розробка роботизованих технологій та обладнання для виробництва м'ясопродуктів здорового харчування	229
10.5. Технології безпечної експлуатації та обслуговування роботизованих холодильних установок	233
Тема 11. Роботизовані мехатронні комплекси в системах керування холодозабезпеченням промислових холодильників	237
11.1. Інтелектуальні системи управління промисловими холодильними підприємствами	237
11.2. Методи моніторингу оптимальної траєкторії процесу охолодження та заморожування харчових продуктів промислових холодильників	244
11.3. Управління холодозабезпеченням холодильних камер смарт-промислових холодильників	246
11.4. Удосконалення систем контролю та мехатронного керування процесом заморожування продукції в холодильних камерах промислових холодильників	258
Тема 12. Алгоритм проєктування робототехнологічних комплексів в харчовій промисловості	269
12.1. Алгоритм проєктування РТК	269
12.2. Робототехнологічні комплекси в системі виробництва смарт-продуктів харчування для регіонів з техногенним забрудненням	276
12.3. Автоматизовані системи управління холодильним обладнанням супермаркету	281
Тема 13. Приклади використання робототехнологічних комплексів в системах виробництва смарт-продуктів харчування	285
13.1. Робототехнічні мехатронні комплекси з виробництва хлібобулочних виробів	285
13.2. Робототехнічні мехатронні комплекси з виробництва копченої риби	302
13.3. Проєктування роботизованих комплексів виробництва м'яса птиці	310
Запитання для самостійної перевірки знань до другого модуля	317
Тема 14. Самостійна робота здобувача вищої освіти	318
Післямова	334
Література	338

Передмова

Сучасні робототехнічні мехатронні системи знаходять широке використання в промисловій і непромисловій сферах.

Вони мають значну функціональну гнучкість за рахунок прогресивних виконавчих механізмів, ефективних приводів, мікропроцесорних управлінських систем з розвинутим програмним забезпеченням, технічного зору та інших засобів візуалізації, адаптивних можливостей, елементів штучного інтелекту.

В останні десять років увагу вчених, проєктантів, інженерів зосереджено на розробці високоефективних технологій виготовлення робототехнічних мехатронних систем, розрахунках і конструюванні як окремих елементів так і всієї системи в цілому.

У навчальному посібнику автори зосередили увагу здобувачів вищої освіти на розвиток робототехнологічних комплексів харчової промисловості.

Автори посібника довели, що робототехніка є сферою мехатроніки, а робото-технічні пристрої, які побудовані на мехатронних принципах, представляють собою робототехнічні мехатронні системи з синергетичним ефектом. Ці сучасні атрибути проектних рішень, які автори запропонували читачу, створюють нові знання щодо використання робототехнологічних комплексів у харчовій промисловості та впровадження безлюдних технологій при плануванні продуктів здорового харчування для регіонів з техногенним тиском.

У навчальному посібнику для розуміння сучасних робототехнічних систем презентовано 14 навчальних тем. Чотирнадцята тема присвячена самоперевірці знань індивідуально кожним здобувачем вищої освіти за допомогою розроблених авторами посібника тестів.

Автори висловлюють щире подяку рецензентам за працю щодо рецензування рукопису та за важливі критичні зауваження, а також за творчу підтримку колективу кафедри **загальної інженерних дисциплін та обладнання ДонНУЕТ.**

Вступ

Дисципліна «Мехатроніка» відноситься до групи професійно орієнтованих і займає важливе місце у підготовці здобувачів вищої освіти зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання переробних і харчових виробництв» другого (магістер) рівня вищої освіти.

Посібник відповідає навчальному плану дисципліни «Мехатроніка», яка уже декілька років викладається на кафедрі загальноінженерних дисциплін та обладнання ДонНУЕТ.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є принципи проєктування та управління сучасними робототехнічними комплексами, формування у студента умінь та навичок у галузі комплексної автоматизації технологічних процесів виробництва здорової продукції харчування із застосуванням мехатронних систем.

Дисципліна в першу чергу спрямована на розуміння синергетичного ефекту від мехатронних систем, вивчення студентом теоретичних та практичних основ інтелектуальної автоматизації технічних об'єктів харчової галузі засобами мехатроніки.

До предметів їх діяльності входять комп'ютерне моделювання, синтез механічної та електронно-механічної мехатронних частин систем, контролюючих та керуючих пристроїв, застосування мікропроцесорної техніки, розробка алгоритмів узгодженого інтелектуального управління складними технологічними процесами виробництва продуктів харчування. Навчальний посібник розділений на два змістовних модуля:

1. Адаптивні мехатронні комплекси та синтез мехатронних систем керування виробництвом продуктів харчування. В цьому модулі студент буде ознайомлений не лише з принципами адаптивних мехатронних виробничих систем, комп'ютерним моделюванням робототехнологічних систем, а головне йому необхідно одержати необхідні знання та компетенції щодо взаємодії мехатронних комплексів з багаторівневим керуванням складними технологічними процесами виробництва продуктів харчування на базі мікропроцесорних систем та технологій «розумного» управління.

2. Інтелектуальні системи керування мехатронними комплексами, побудовані за використанням нечіткої логіки та штучних нейронних систем. Інтелектуальне керування – це наступний після адаптивного керування найвищий у відношенні алгоритмічних можливостей тип керування в робототехнічних системах. На цей тип керування автори навчального посібника звернули увагу здобувачів вищої освіти в шести темах, серед яких роботизованні комплекси управління виробництвом молочної продукції, хлібобулочних виробів, заморожування продукції тощо

Зміст цих модулів визначають матеріали 13 тем, в яких презентовані знання від основних понять мехатроніки та робототехніки до сучасних робототехнічних систем управління виробничими процесами на підприємствах харчової промисловості.

Таким чином, головною метою вивчення кожної із 13 тем навчального посібника є:

- ознайомлення студентом із сучасною прикладною теорією та принципами побудови робототехнологічних систем керування технологічними процесами виробництва продуктів харчування;

- вивчення принципів взаємодії мехатронних комплексів з людиною – оператором, сировиною, технологічним процесом на основі безлюдних технологій, синергетичних ефектів щодо розробки продуктів здорового харчування для населення регіонів, яке мешкає та працює на забруднених територіях.

Завдання даного посібника полягає в тому, щоб розглянути основні принципи побудови мехатронних та робототизованих систем керування складними динамічними технологічними процесами різних видів виробництв харчової продукції, віддзеркалити їх сфери використання, а також стан роботизації галузі на момент написання посібника.

Цей посібник розрахований на студентів, які не спеціалізуються в сфері мехатроніки та робототехніки (механіків, технологів, холодильщиків, теплотехніків тощо), але яким у процесі прийняття рішень в умовах впровадження робототизованих комплексів з виробництва смарт-продуктів харчування конче потрібні знання та компетенції з названих проблем.

У ньому викладені не лише загальні питання мехатроніки та робототехніки, а головне детально презентовані: методи синтезу мехатронних систем, автоматизованого контролю технологічних параметрів, основи теорії автоматичного регулювання та оптимізації, а також новітні принципи цифрового керування, інтелектуального управління підприємствами харчової галузі, нечіткого керування складними технологічними процесами з вбудованими робототехнологічними інтенсифікаторами на базі нечітких нейромереж і т.п.

Матеріали посібника базуються в багатьох випадках на відкритих джерелах, друкованих виданнях, дисертаціях, авторефератах та деяких розробках авторів книги.

Матеріали посібника супроводжуються значною кількістю прикладів рішення конкретних практичних задач. гарно ілюстровані, які пояснюють сформульовані ідеї і наведені теоретичні і прикладні результати.

Модуль 1. Адаптивні мехатронні комплекси та синтез систем керування виробництвом продуктів харчування

Тема 1. Основи проєктування робототехнологічного обладнання в системах виробництва продуктів здорового харчування

1.1. Теорія та практика мехатронних систем керування складними технологічними процесами виробництва продуктів здорового харчування

Мехатроніка – сфера науки та техніки, яка оснований на синергетичному об'єднанні механічних, електротехнічних, електронних і комп'ютерних компонентів, яка забезпечує проєктування і виробництво якісно нових пристроїв з інтелектуальним керуванням їх функціональними рухами. Створенні при цьому установки будемо називати мехатроніками. Термін «мехатроніка» вперше з'явився в Японії у 1969 році. Його ввів Тецуро Морі, співробітників компанії Yaskawa Electric.

Термін «мехатроніка» складається із двох частин - «меха» перша частина слова механіка та «троніка» від слова електроніка.

У багатьох сферах техніки мехатронні системи знайшли широке використання - вони прийшли на зміну «механічним» машинам, які на сучасному етапі розвитку обладнання для виробництва продуктів здорового харчування уже не відповідають якісним вимогам до сучасного обладнання. Тому при проєктуванні сучасних безлюдних технологій виробництва продуктів здорового харчування необхідно використовувати мехатронний підхід а саме: перенести функціональні навантаження від механічних компонентів до інтелектуальних (електронних, комп'ютерних та інформаційних).

Отже, лише сучасна тенденція розвитку обладнання для безлюдних технологій виробництва харчів «від механіки до інтелектуальної мехатроніки» може забезпечити виробництво продукції здорового харчування для населення, яке мешкає і працює на забруднених територіях Придніпровського регіону. Тенденція переходу від механіки до мехатроніки стимулює інтеграцію

механічних компонентів з інтелектуальними в межах єдиної мехатронної виробничої системи.[4, 5,7,11,12, 14, 23,36]

У мехатронних пристроях умовно виокремлюють три головні частини – механічну, електронну та інформаційну, сукупність яких і утворює в цілому систему керування технологічним процесом виробництва продукції. Розвиток машин, апаратів, обладнання з механічним виробництвом продукції до мехатронних систем відбувся у три етапи:

1 розвиток системи з електроприводом та механічними перетворювачами руху з електронними блоками;

2. розвиток системи з адаптивною корекцією рухів виконавчих механізмів на базі мікропроцесорних систем керування;

3. інтелектуальні системи керування з вбудованими датчиками інформації з інтерфейсами людина – робот з комп'ютерними системами багаторівневого керування (мехатронні системи) виробництвом продуктів здорового харчування.

Особливий інтерес щодо розвитку мехатроніки представляють комбіновані технології: гібридні технології електромеханіки та мехатроніки, цифрові технології керування виробництвом продукції, технології автоматизованого проектування керованими апаратами та CALS- технології, алгоритми з програмним забезпеченням інтелектуального управління, які дозволяють розробляти надсучасні мехатронні технологічні апарати та системи керування. Важливим елементом таких систем є робототехнологічний мехатронний пристрій. Деякі вчені вважають, що це - багатофункціональний, автоматично діючий перепрограмований робототехнологічний комплекс, який побудовано на принципах синергетичної інтеграції елементів різної фізичної природи та призначений для перетворення енергії, матеріалів, інформації і виконання управлінських функціональних рухів його вихідних ланок.

У процесі вивчення цієї навчальної теми виокремимо наступні робототехнічні мехатронні пристрої:

- робото технічні мехатронні апарати;
- робототехнічні мехатронні системи;
- робототехнічні мехатронні комплекси.

Важливо відмітити, що основними елементами будь-якого робото-технічного мехатронного пристрою є мехатронні модулі . Мехатронний модуль - функціонально і конструктивно самостійні вироби з використанням програмного забезпечення(ПЗ)та енергетичної апаратно програмної інтеграції складових: технології, сировини,енергії.інформації.програми виготовлення продукції та призначене для реалізації необхідного управлінського функціонального руху його виконавчих ланок.

Тобто мехатронні модулі представляють собою «цеглу» із якої будемо проєктувати робототехнологічні комплекси для харчової промисловості.

Слово робот вперше використано чеським письменником Карел Чапеком в книзі «Універсальні роботи Расума». В цій книзі він пише про механічних слуг, які виконують різні роботи. На чеському слово «робот» означає робітник.

З розвитком нових технологій, кібернетики, синергетики, штучного інтелекту . комп'ютерних систем з'явилась нова наука- мехатроніка. а отже відповідно робототехнічні мехатронні системи. Це інтелектуальний робототехнічний мехатронний пристрій, побудований на мехатронних принципах і технологіях, який ефективно виконує програмні функціональні рухи вихідної ланки у змінних умовах зовнішнього середовища та призначений для виконання енергетичних, технологічних, транспортних і інформаційних перетворень з метою заміни фізичної та розумової праці людини.

Перші інтелектуальні роботи почали проєктувати американські вчені в Стенфорському науково-дослідному інституті. В 1969 році був розроблений макет рухливого робота «ШЕЙКИ» з розвиненою системою сенсорного забезпечення. Воно включає технічний зір, штучний інтелект, що дозволяло роботу рухатись у невідомих обставинах. самостійно приймати необхідні для цього рішення.

В 1971 році в Японії був спроектований експериментальний робот з технічним зором і елементами штучного інтелекту «ХІВІН», який міг самостійно виконувати механічне збирання простих об'єктів на основі наданих креслень. Розглянемо деякі конструкції роботів з елементами штучного інтелекту та сенсорикою. Серед них: Робот Пума фірми Юнімейшен, загальний вигляд маніпулятора якого представлено на рис.1.1,(а) та його кінематичну схему рис.1.1,б

На рис.1.2. наведено схему маніпулятора з прямокутною системою координат. Такий маніпулятор має лише три ступені свободи і його можливо використовувати як мехатронний пристрій в системі виконання завантажувально-розвантажувальних робіт. На рис.1.3. наведено мехатронну систему для збирання огірків та помідорів. Мехатронна система рухається впродовж теплиці по технологічному трубопроводу та має маніпулятор зі спеціальним захоплювальним пристроєм та системою технічного зору.

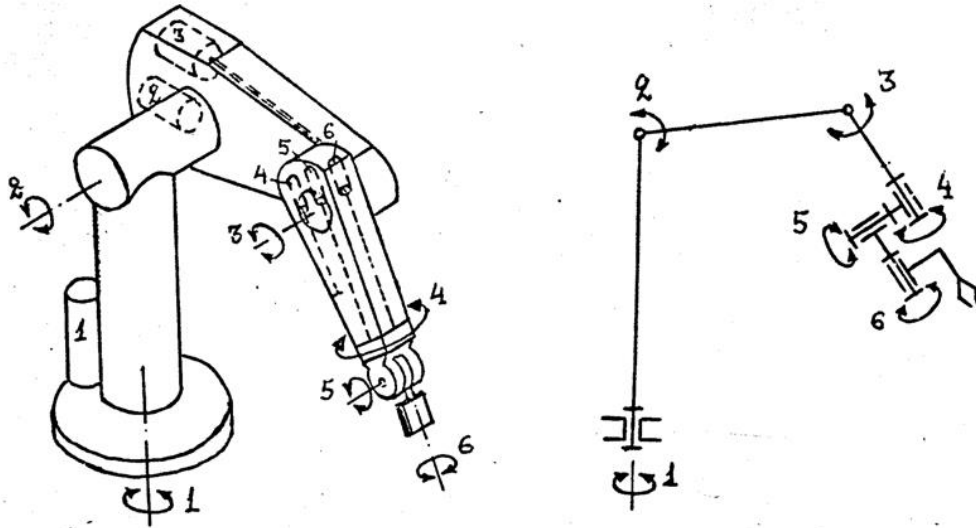


Рисунок 1.1. Робот Пума з маніпулятором (а) та кінематичною схемою (б). У цьому роботі використано наступне обладнання: 1,3- двигун приводів першого та другого ступенів рухомості, маніпулятор-4 з системою керування та технічного зору.

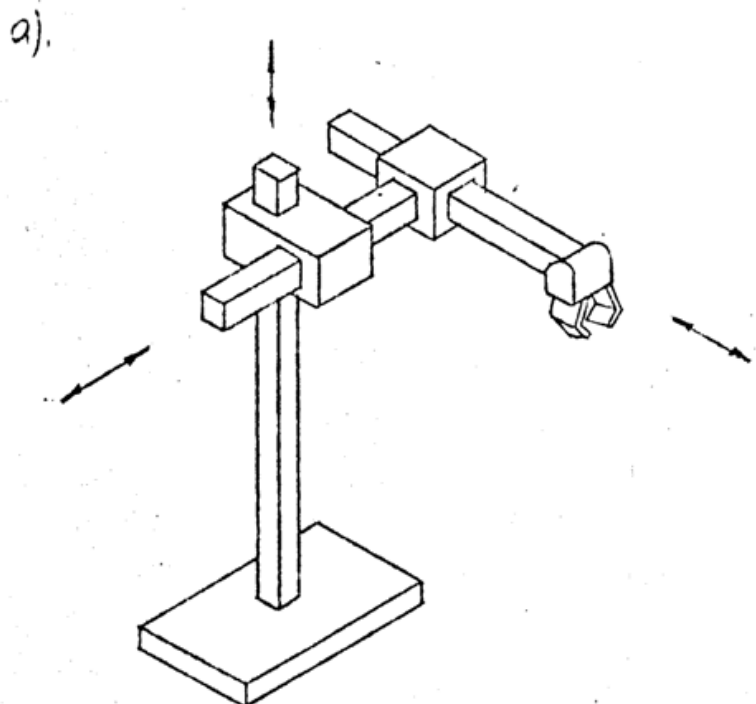


Рисунок 1.2. Схема робота-маніпулятора



Рисунок 1.3. Робототехнічна система збирання тепличних огірків

На рис.1.4. наведено роботу технічну систему завантаження капусти, її очищення та завантаження в спеціальну тару. В мехатронній системі робота використано: 1- робот завантажувальник, 2, 3- маніпулятори, 4- пристрій керування, 5- транспортер готової продукції, 6- подавальник.

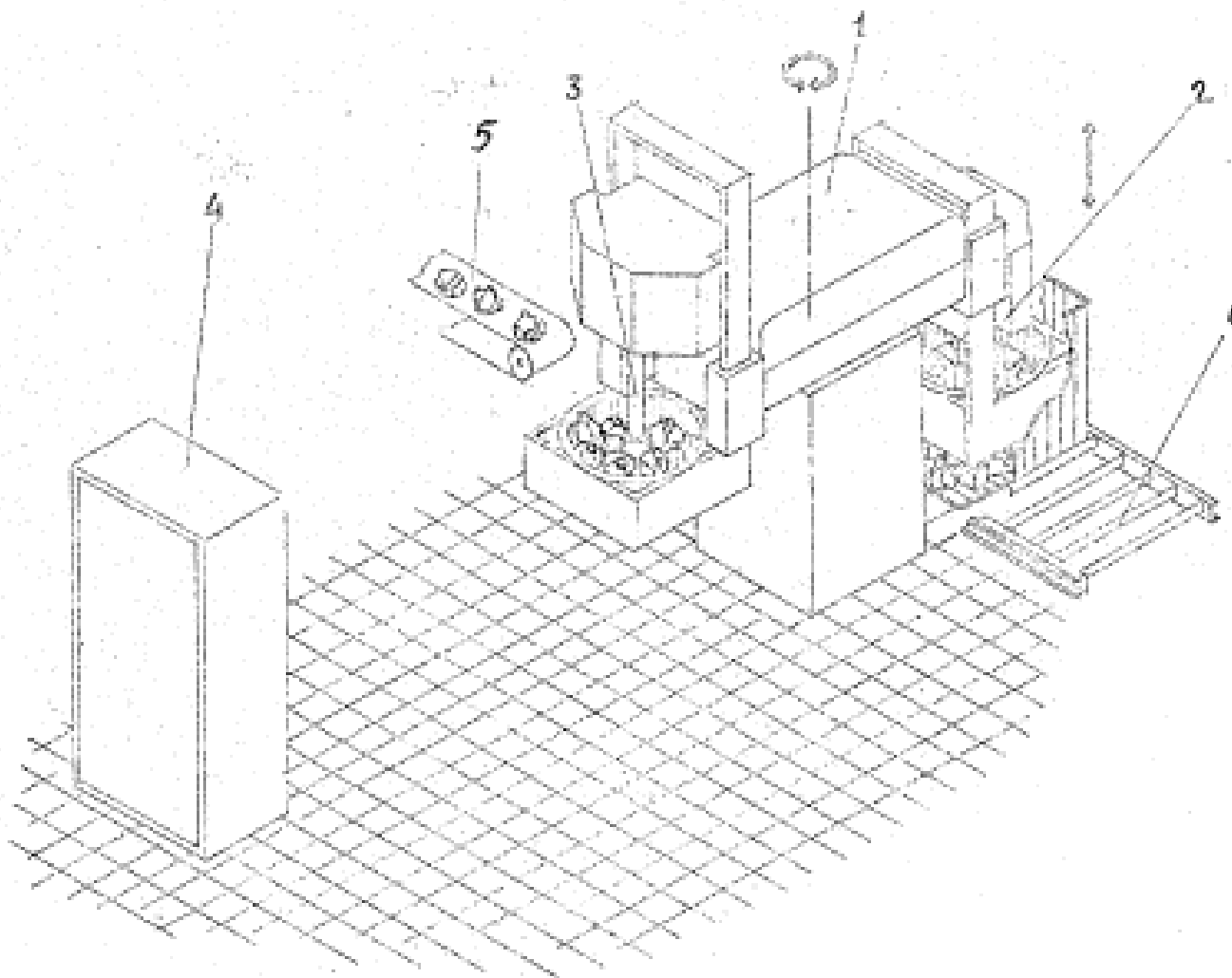


Рисунок 1.4 Робототехнічний комплекс сортування капусти...

У посібнику будемо розглядати різного типу мехатронні пристрої, мехатронні комплекси, робототехнічні мехатронні пристрої, робототехнологічні комплекси, як з точки зору засобів технологічного оснащення, а також як взаємозв'язану синергетичну систему. Вона обов'язково включає промисловий робот, який автоматично виконує декілько функцій(операцій) виробничого процесу. У наведених вище прикладах (рис.1.1-1.4.) робототехнологічних комплексів необхідно звернути увагу на наступні складові: основне технологічне обладнання у тому числі і промисловий робот, інструмент, транспортну систему, пристрої збереження матеріальних потоків, які проходять через промисловий робот, систему енергоспоживання, систему видалення відходів, автоматизовану система керування робототехнологічним комплексом, системи енергозабезпечення та забезпечення безпеки(захисту від кібератак, розпізнавання аварій та аварійних ситуацій). Крім цього необхідно відмітити, що робототехнологічні комплекси від будь-якої системи машин і апаратів харчової промисловості відрізняється наявністю хоч би одного промислового робота, що народжує специфіку проектних рішень щодо використання робототехнічних комплексів у харчовій промисловості.

При цьому важливою перевагою роботизованих технологічних ліній в харчовій промисловості є відстеження виробничих процесів за допомогою відеосенсорів. Наприклад, фірма Fanuc (www.fanuc.eu) на основі інтелектуальних рішень (на базі комп'ютерів FANUCR-30iB та програмного забезпечення(ПЗ) і RVision) розробила системи технічного зору з можливістю миттєвого підключення, що забезпечує максимальну продуктивність технологічної лінії.

Сучасні роботизовані виробництва в Японії, США, Німеччині широко використовують інтелектуальні роботи. Наприклад, фірма Siemens (Німеччина) розробила ПР, вантажопідйомність якого більше 1000кг і, який може виконувати операції завантаження / вивантаження, а також укладання готової продукції в упаковку. Крім цього ПР самостійно проводить контроль якості продукції.

Фірма Fanuc для умов харчової промисловості розробила наступні роботи:

1. Нарізка м'яса за допомогою робота M-710(нарізання мяса з високою точністю і мінімальною кількістю відходів);
2. Наповнення піддонів за допомогою Fanuc Mate 200iL;
3. Роботи для прикрашання тортів ;
4. Дельта – роботи для перекладання сиру;
- 5.Роботи для пакування горщиків із джемом і, які значно підвищують продуктивність операцій пакування джему;
- 6.Дельта – роботи для перекладання бананів з конвеєра до транспортного лотка FANUC M3.

Роботизована рука –Covariant використовує технології штучного інтелекту і може навчатись самостійно. Алгоритми роботи аналізують положення предмета в просторі, обчислюється кут, з якого краще взяти його, адаптуючи послідовність рухів для кожної операції. Спочатку роботизованою рукою керував оператор. Це дало змогу оператору навчити систему штучного інтелекту ПР, а після кожної маніпуляції система записувала послідовність дій та аналізувала їх. Після навчання роботизованої руки оператором вона змогла самостійно розпізнавати до 1000 предметів, що дозволяє мінімізувати витрати ресурсів, а головне прискорити їх логістику. АСВ- роботи – автоматично керовані транспортні засоби, які працюють автономно. Завдяки вбудованим датчикам ці роботи легко їздять по території цехів підприємства, виконуючи різні рутинні операції. Для харчової промисловості України цікавими є розробки японської фірми KUMRAYA (www.kumkaya.ua), наприклад обладнання для виробництва хліба з сенсорним управлінням і багатомовним інтерфейсом. Звернемо увагу на наступне робототехнологічне обладнання фірми: 1. Автоматизовані подові хлібопекарські печі (хлібопекарські подові лінії серії OT та OTM, тістозакатувальні машини серії LM, шафи остаточної витримки серії MO фірми KUMRAYA); 2. Автоматизовані тістомісильні машини серії KD; 3. Тістоподілювачі серії DM; 4. Тістоокруглювачі серії CM; 5. Камери попередньої витримки серії PMS. Мехатронні пристрої з технологіями інтелектуальної автоматики дають змогу виробникам продуктів харчування гнучко реагувати на зміни сучасного конкурентного ринку й нові вимоги харчової промисловості до навколишнього середовища.

Звернемо увагу здобувачів вищої освіти на розробку людиноподібних роботів –гуманоїдів Optimus. Відомий людиноподібний робот TeslaBot, який працює на базі процесора Tesla SoC і програмного забезпечення Tesla Autopilot, має підключення до Wi-Fi та LTE, на думку експертів буде перспективним для використання в харчовій промисловості в ланцюгах розподілу продукції.

З розвитком мехатроніки та робототехніки на підприємствах харчової галузі з`явилися нові професії, серед них:

Інженер- мехатронік – це спеціаліст . який працює у сфері науки, техніки розуміється в механіці, а його праця спрямована на створенні гнучких виробництв продуктів здорового харчування, а також на розробці та експлуатації машин і цілих робототехнічних комплексів з комп'ютерним управлінням рухом виконавчих систем.

Процес проєктування інноваційного обладнання для безлюдних технологій виробництва продукції харчування дає змогу ввести в номенклатуру нові професії:

1.Інженер - оператор робототехніки, виконує керування і підтримання працездатності робототехнічних комплексів на виробництві і в сфері послуг, а також відповідає за безпеку роботи персонала з роботами, проектує системи взаємодії роботів з системами керування верхнім рівнем.

2.Консультант по робототехніці, розбирається у морально – етичних, соціальних та юридичних аспектах взаємодії роботів і людей, розробляє рішення щодо визначення зон відповідальності системних архітекторів, операторів, володарів за «вчинки» машин, права і свободи робототехнічних систем, визначення робота як суб'єкта права тощо. Отже, консультант по робототехніці не лише розробляє правила взаємодії людей та роботів в умовах високого рівня автоматизації та впровадження робототехнологічних комплексів, а також розробляє методи підвищення продуктивності праці на підприємствах галузі.

1.2. Сучасні мехатронні системи керування та робототехнологічні комплекси для виробництва продуктів харчування

Роботи та робототехнологічні системи знаходять широке використання в харчовій та сільськогосподарській промисловості. Роботизація та автоматизація рутинних видів розумової праці людини з використанням роботів – головний фактор підвищення продуктивності праці в харчовій промисловості та проектування робототизованих комплексів з виробництва смарт- продуктів для населення України та країн ЄС.

Робототехнологічні комплекси - багато технологічні, автоматично діючі, перепрограмовані роботи, вбудовані в технологічний процес, спроектовані на принципах синергетичної інтеграції елементів різної фізичної природи та призначені для перетворення енергії, матеріалів, інформації з метою створення керованих функціональних рухів його вихідних ланок направлених на підвищення якості продукції та зниження енергетичних затрат [2,4.5,7].

Промисловий робот - робот призначений для виконання технологічних операцій I /(АБО) допоміжних операцій в харчовій та сільськогосподарській промисловості. Технологічний промисловий робот- промисловий робот для виконання технологічних операцій, процесів, оснащений робочим та вимірювальним інструментом. Допоміжний промисловий робот – промисловий робот для обслуговування технологічного обладнання, переміщення об'єктів, який оснащений пристроєм захоплення.

Спеціальний робот - робот для виконання одної операції одного виду. Спеціалізований робот - робот для виконання різних операцій одного виду. Універсальний робот - робот для виконання різних операцій різних видів.

Жорсткопрограмований робот - робот, керована програмна система якого, введена на етапі програмування, не може бути змінена в процесі роботи в залежності від функціонування робота I /(АБО) контрольованих параметрів робочого середовища.

Адаптивний робот - робот, управлінська програма якого може автоматично змінюватись в процесі роботи в залежності від функціонування робота I /(АБО) контрольованих параметрів робочого середовища. В харчовій промисловості знаходять використання роботи з «очувствленням», в яких датчики зовнішньої інформації (відеокамери) дозволяють без зміни програм керування виконувати технологічні операції виробництва смарт-продукції. Інтелектуальний робот - робот, програма керування якого може повністю або частково формуватись автоматично у відповідності з поставленим завданням і в залежності від стану робочого середовища.

Маніпуляційний робот - робот для виконання функцій руху, аналогічним функціям руки людини. Стаціонарний маніпуляційний робот, закріплений на нерухомій основі. Мобільний робот- робот який рухається в робочому середовищі у відповідності з програмою керування. Він може бути забезпечений маніпулятором. До мобільних роботів не відносять пересувні маніпуляційні роботи, які можливо оперативно переміщувати в робочому середовищі в ручному режимі або за рахунок транспортних засобів з ручним керуванням.

Робототехнологічний пристрій вбудований в технологічну лінію виробництва продуктів харчування – інтелектуальний робот, побудований за принципами мехатронних і інформаційних технологій, ефективно виконуючий програмні, функціональні рухи вихідного механізму в умовах зміни параметрів сировини і зовнішнього середовища та призначений для виконання енергетичних, технологічних, транспортних, інформаційних перетворень з метою заміни фізичної праці людини – оператора, підвищення його розумової активності; з метою траекторного управління виробництвом продукції здорового харчування для населення, яке мешкає на забруднених територіях.

Робототехнічні системи знайшли широкий вжиток в харчовій промисловості, особливо в технологіях безлюдного виробництва дитячого харчування та в системах упакування – завантаження - розвантаження продукції. Роботи мають значну функціональну гнучкість за рахунок: прогресивних виконавчих механізмів, ефективних приводів, мікропроцесорних управлінських систем з розвиненим програмним забезпеченням, технічного зору і інших засобів візуалізації, адаптивних систем, елементів штучного інтелекту.

Поняття робототехніки (Р) витікає із наведеної на рисунку 1.5 системи: виробництво -менеджмент – вимоги ринку; механіки - електроніки - комп'ютерної техніки.

Ці атрибути і дали змогу вченим створити сферу науки і техніки, яка оснований на синергетичному Р –об'єднанні механічних, електричних, електронних і комп'ютерних компонентів, які забезпечують проєктування безлюдних технологій в харчовій промисловості.



Рисунок 1.5. – Синергетичне Р-об'єднання механічних, електричних, електронних і комп'ютерних компонентів

Розглянемо узагальнену блок-схему робототехнологічного комплексу виробництва продуктів харчування, яка наведена на рис.1.6. Таку систему будемо в подальшому називати робототехнологічним комплексом.

Комплекс складається із декількох робототехнічних пристроїв, які взаємодіють із сировиною та інгредієнтами з метою одержання інноваційного продукту харчування.

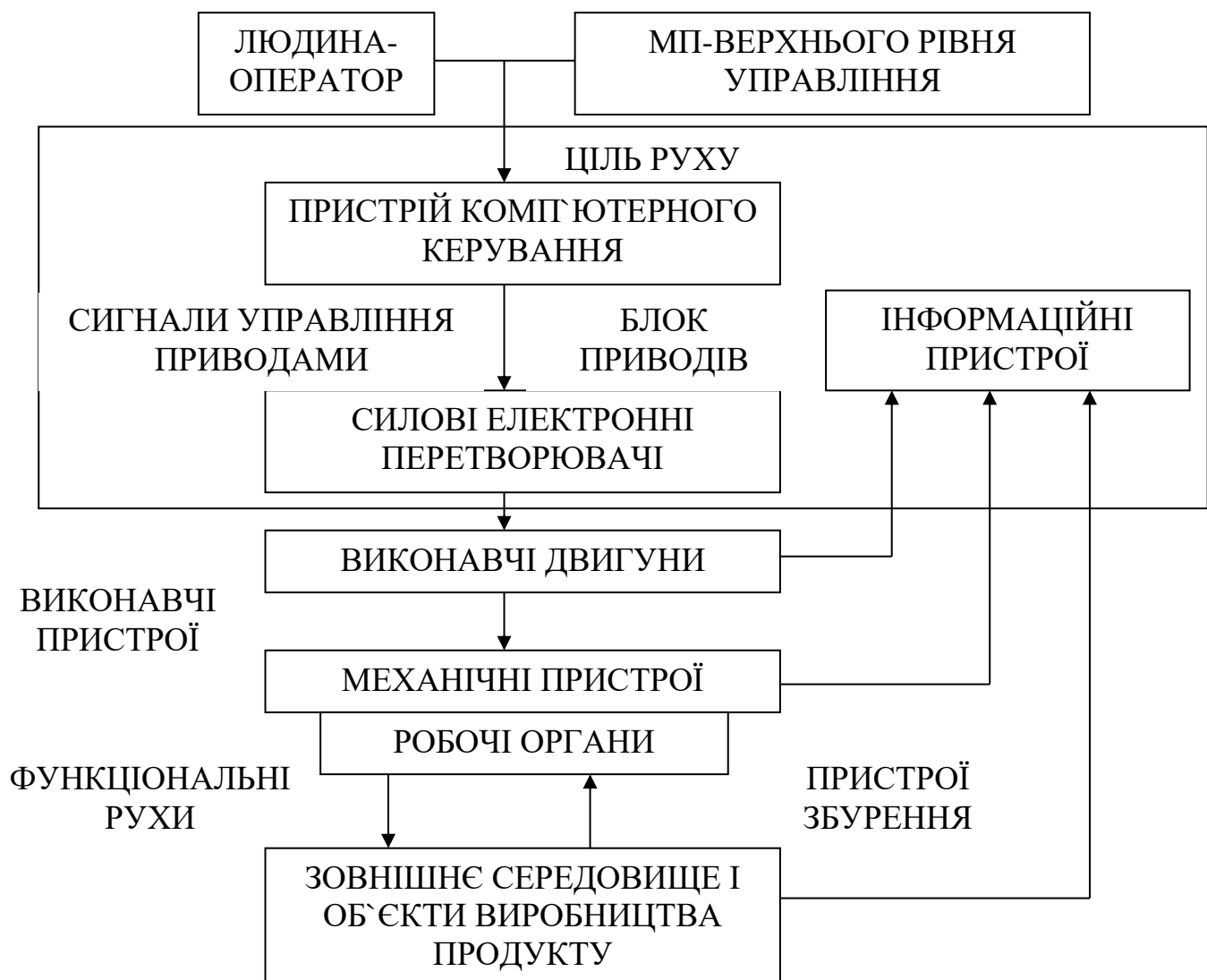


Рисунок 1.6. Блок-схема робототехнологічного комплексу виробництва продуктів харчування

Перспективним напрямком щодо проектування роботизованих виробництв є подальший розвиток комбінованих технологій: гібридних технологій електромеханіки та мехатроніки, цифрових адаптивних систем (інтелектуальних роботів) з керованими впливами на сировину, гетерогенне середовище у вигляді вбудованих робототехнічних інтенсифікаторів та робототехнічних комплексів виробництва смарт-продукції..

Від механічної кавітації до ультразвукової така тенденція розвитку робототехнічних інтенсифікаторів з інтелектуальними системами керування складними процесами диспергування, наприклад м'ясних продуктів або печінки в тісто при виготовленні котлет та інших виробів або спеціального харчування для воїнів ЗСУ.

З використанням автоматизованого проєктування CALS- технологій, авторами монографії [1] розроблені новітні робототехнічні комплекси для умов харчової промисловості, в яких в якості вбудованих систем використані робототехнічні інтенсифікатори з ультразвуковими кавітаційними впливами на гетерогенне середовище(наприклад, опара-тісто), а також холодильні апарати для заморожування продукції.

Перейдемо до класифікації робототехнологічних систем і наведемо приклади їх використання в харчовій промисловості, враховуючи парадигму наукового напрямку - впровадження безлюдних технологій у виробництво смарт-продукції харчування для регіонів з техногенним тиском.

Отже, роботи будемо розділяти:

1. За характером виконавчих операцій: робототехнологічні системи призначені для перетворення сировини, тобто надання їй нових властивостей з метою одержання інноваційної продукції здорового харчування; транспортні - призначені для переміщення сировини, очищення сировини у тому числі і води від забруднень та важких металів (допоміжні роботи в системі підготовки, зберігання сировини її транспортування та оцінки якості); інформаційні - призначені для одержання та перетворення інформації (інформаційні технічні роботи), з властивостями одержувати інформацію в дільницях виробничого процесу не доступного для візуального спостереження оператором в камерах технологічних апаратів та стан навколишнього середовища (температура, волога, концентрація важких металів, концентрація пилу, рН-води тощо).

2. По функціональному призначенню: маніпуляційні, мобільні, інформаційні.

3. За сферами використання: промислові, непромислові.

4. За точністю руху вихідної ланки: мала - помилка позиціонування від 1мм і вище, середня- помилка позиціонування від 0,1мм до 1мм, висока - помилка позиціонування від 0,01 до 0,1, надвисока - помилка позиціонування нижче 0,01мм.

5. За місцем розміщення центра керування рухом або впливом на процес: з власним наведенням, зі зовнішнім наведенням.

6. За типом каналів зв'язку з центром зовнішнього керування: дротяний, радіоканал, інфрачервоний, ультразвуковий.

7. За типом системи керування: керування оператором(дистанційно або безпосередньо), системи з програмним керуванням, супервізорне керування, комбіновані системи дистанційно-автоматичного керування. В свою чергу в залежності від функціонального призначення роботи технічні системи будемо розділяти на три великі класи: маніпуляційні роботи технічні

системи; мобільні роботи технічні системи; інформаційні та управлінські роботи технічні системи, Серед маніпуляційних систем виокремимо - клас автоматично діючих роботів, автоматичних маніпуляторів та роботизованих технологічних комплексів.

Автоматично діючі роботи теж розділяють на чотири класи: жорстко вбудовані, програмні, адаптивні, інтелектуальні. До жорстко вбудованих роботів будемо відносити механічні руки, жорстко зв'язані з технологічним обладнанням і виконуючі операції у відповідності з раніш розробленою програмою без залежності від зміни умов зовнішнього середовища. До таких роботів віднесимо: захист сировини від забруднення тяжким металом, відбору опари- тіста для оцінки густини, запаху, рН- параметрів;

В монографії [1] автори значну увагу приділили проєктним рішенням інтелектуальної автоматизації харчової промисловості, серед них адаптивні роботи з адаптивними регуляторами, які можуть самостійно орієнтуватись у навколишньому середовищі та пристосуватись до нього. В них є вбудовані сенсори та системи візуалізації, які реагують на зміни навколишнього середовища та, які за допомогою ультразвукових інтенсифікаторів взаємодіють з сировиною та гетерогенним середовищем, різними інгредієнтами та додатками,

Інтенсифікацію виробничих процесів за допомогою робототехнологічних комплексів при збереженні високої якості продукції, а саме направлено впливу імпульсних ультразвукових коливань на сукупність хімічних, фізико-хімічних. теплових, дифузійних і біохімічних процесів, які виникають при взаємодії з продуктом виробництва, моніторинг у реальному масштабі часу органолептичних, фізико-хімічних показників за допомогою інтелектуальних систем контролю, автоматизоване мікропроцесорне керування процесом виробництва продукції на всіх стадіях будемо називати безлюдним роботизованим виробництвом смарт-продукції харчування.

Таке виробництво включає також робототехнічні комплекси (РТК).

До робототехнічних комплексів будемо відносити будь-яку систему машин і апаратів, які працюють з людиною І/АБО без нього, який включає лише один робот з функціями без яких система не забезпечує встановлених показників якості її роботи.

Роботизований технологічний комплекс- це сукупність засобів технологічного оснащення (ЗТО), які утворюють взаємозв'язану систему, включаючи промислові роботи і призначені для автоматичного виконання однієї або декількох операцій виробничого процесу завантаження готової продукції.

Основні характеристики якості РТК:

-продуктивність, гнучкість та її вид, ефективність; показники надійності, склад технологічних операцій їх показники якості; час переходу на новий вид виробів, показники ступенів готовності продукції;

-експлуатаційні показники (час роботи без участі людини, чисельність персоналу, площа, яку займає робототехніка, час регламентованого простою (коефіцієнт технічного використання), вимоги до кваліфікації операторів і персоналу для виконання регламентних робіт);

-питомні затрати матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів;

-ергономічні показники; естетичні показники;

-ступінь конкурентоспроможності, ступінь стандартизації та уніфікації;

-патентно-правові показники (ступінь патентного захисту технічних рішень);

-екологічні показники; показники безпеки для персоналу.

Таким чином, з метою впровадження робототехнологічних комплексів у технології виробництва продуктів здорового харчування спочатку необхідно розробити теоретичні основи автоматизованого керування технологічними процесами виробництва продуктів високої якості на основі мікропроцесорних систем..

Прикладами проектування сучасних багаторівневих цифрових робототехнологічних систем виробництва продуктів харчування є спеціальні технологічні апарати - морозильники з роботами-системами завантаження м'ясних продуктів та їх розвантаження.

З метою мінімізації енергетичних витрат та максимізації продуктивності, в них використано: інтелектуальні датчики, мікропроцесорні контролери адаптивних локальних систем з робототехнологічними інтенсифікаторами (нижній рівень).;

32- розрядні ЕОМ розподіленого керування робототехнологічними комплексами з MES, АРМ- системами (середній рівень); 64-розрядні ЕОМ верхнього рівня з ERP- системами оптимізації енергоефективності, потоків грошей та бізнес-процесів та АРМ- топ-менеджерів гнучкого виробництва N- видів продукції.

Розроблені системи за визначенням експертів відповідають європейській ідеології керування Індустрії-4.0 та забезпечують населення високоякісними смарт-продуктами харчування.

1.3. Характеристики промислових роботів

Розпочнемо вивчення цього питання з аналізу геометричних характеристик роботів та мехатронних пристроїв.

До геометричних характеристик промислових роботів відносять: робочий простір, робочу зону, зону обслуговування, досягненність, маневреність, маніпулятивність, об'єм руху.

Робочий простір- множина точок, з якими може співпадати хоч би одна точка виконавчого пристрою промислового робота.

Робоча зона- підмножина точок робочого простору, з якими може співпадати кінцева точка виконавчого пристрою при його функціонуванні.

Зона обслуговування- частина робочої зони, в якій робочий орган виконавчого пристрою виконує задані функції.

Досягненність- можливість робочого органу виконувати програму промисловим роботом попадати в задану найбільш віддалену від початку базової системи координат (БСК) точку С

$$[D] = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2} \quad (1.1)$$

де X, Y, Z-координати точки С.

Маневреність- можливість груп ланок виконавчого механізму промислового робота обертатись навколо однієї або декількох вісь, які проходять через центри сферичних кінематичних пар при фіксованому положенні робочого органу і заданому напрямку його підходу до обраної точки зони обслуговування.

Маніпулятивність- можливість виконавчого пристрою промислового робота орієнтувати робочий орган необхідним чином в заданих точках робочої зони. Перейдемо до аналізу точності характеристик, саме:

Похибка позиціонування- відхилення положення характеристичної робочої точки С робочого органу виконавчого механізму промислового робота від значення, яке задається керуючою програмою.

Чутливість- можливість робочого органу виконавчого пристрою промислового робота відхилитись від заданого положення при змінні узагальнених координат на малу величину g_i .

Номінальна вантажопідйомність m_n (кг)- найбільше значення маси m об'єкту вкупі з масою захоплюючого пристрою m_i . при якому гарантується захоплення, утримання і забезпечення установлених значень експлуатаційних характеристик промислового робота

$$m_n = m + m_i$$

Силкові приводи роботів Приводи промислових роботів включають: двигун, пристрій керування, перетворювач, інформаційний пристрій та комунікації, які необхідні для передачі енергії до приводів і для передачі

сигналів керування та зворотного зв'язку . В залежності від використання виду енергії приводи розділюють на пневматичні, гідравлічні, електромеханічні та комбіновані.

Виконавчі пристрої промислових роботів у загальному вигляді представляє собою важильний механізм з багатоланковим кінематичним ланцюгом. До складу виконавчих пристроїв входять рівнозважувальні системи, які покращують енергетичні характеристики системи керування виконавчих механізмів.

Якщо виконавчий механізм виконано у вигляді руки, то важкопідйомність руки промислового робота- найбільша маса об'єктів маніпулювання(включаючи масу захоплюючого пристрою), які можуть переміщуватися рукою за заданими умовами(при максимальній швидкості,максимальному вильоті руки і т.п.).

Для деяких типів промислових роботів важливим показником є зусилля(або крутний момент), що розвивається виконавчим механізмом за заданими умовами. До таких показників можна віднести умову затиску (захвата, втримання) об'єкта маніпулювання захоплю вальним пристроєм, робоче зусилля руки промислового робота уздовж її повздовжньої осі; крутний момент при ротації захоплю вального пристрою. Число ступенів рухомості промислових роботів- сума можливих координатних рухів об'єкта маніпулювання відносно опорної системи(стойки,основи) промислового робота. Похибка позиціювання- відхилення заданої позиції виконавчого механізму від фактичної при багаторазовому позицію ванні (повторенні рухи). Похибку позиціювання можна оцінювати в лінійних або кутових одиницях.

Захоплювальні пристрої промислових роботів Захоплювальні пристрої промислових роботів та маніпуляторів служать для захоплення і втримання у визначенному положенні об'єктів маніпулювання. Ці об'єкти можуть мати різні розміри, форму, масу і володіти різними фізичними властивостями, а тому захоплюючі пристрої відносять до числа змінних елементів промислових роботів. В системах керування процесом захоплення важливу роль відіграють датчики. Перейдемо до вивчення цього важливого питання.

1.4. Датчики в системах розпізнавання та очуствлення роботів і мехатронних пристроїв

Досвід використання робототехнологічних комплексів в харчовій промисловості показує, що суттєве розширення їх функціональних можливостей та підвищення продуктивності може буде досягнуте за рахунок подальшого інтенсивного розвитку сенсорних пристроїв і підвищення рівня інтелектуалізації систем. Сучасні засоби очуствлення дозволяють

використовувати для керування цими системами різні потоки спостереження(зору), тактильної, звукової, мовної та іншої інформації. Візуальна інформація сприймається та обробляється за допомогою систем, які будемо називати технічним зором. Вони можуть діяти в оптичному, ультразвуковому та радіохвильовому діапазонах. Створені також системи аналізу візуальної інформації, які діють на основі проникнення гама сигналів, рентгенівських випромінювань тощо. Цікавими для мехатроніки є також тактильні аналізатори візуальної інформації, які дозволяють за допомогою технології «дотиків» одержувати інформацію про форму об'єкта досліджень. Оснащення мехатронних пристроїв засобами аналізу візуальної інформації дозволяє одержувати та обробляти загальну картину інформації про поточний стан технологічного процесу, про поточний стан розташування виконавчих механізмів робота та об'єктів маніпулювання; виконувати локацію робочого простору, розпізнавання об'єктів, вимірювання статичних та динамічних робочих характеристик робототехнологічного обладнання . вбудованих в технологічний процес роботів-інтенсифікаторів і т.п. Необхідно також відзначити, що використання засобів аналізу інформації від спостереження за об'єктом в системах автоматичної візуалізації контролю його стану дозволяє виконувати більшість операцій в реальному масштабі часу з високою точністю і надійністю, що значно перевищує можливості людини-оператора. Потенційні можливості автоматичних систем візуалізації безмежні, а відповідно використання в харчовій промисловості систем машинного зору найбільш перспективне в системах виробництва продукції здорового харчування, наприклад в системах контролю якості сировини, продукції відходів тощо.

У сфері автоматичного оброблення візуальної інформації в оптичному діапазоні в сучасний момент досягнуто значних успіхів, а переваги технічного зору в робототехнологічних комплексах дозволили впроваджувати в галузі безлюдні технології виробництва продуктів здорового харчування для дітей та школярів. Потреба автоматично візуально контролювати зовнішнє середовище щодо мінімізації викидів CO₂ привело до використання відповідних аналізаторів, які мають значну швидкодію і можливість контролювати об'єкти харчової індустрії з складними виробничими структурами. Для задоволення цих вимог відповідні системи технічного зору повинні обробляти напів тіньові зображення і виконувати різні функції необхідні для ідентифікації зображення. Приклади подібних систем технічного зору розглянемо в цьому навчальному посібнику в процесі розробки робототехнологічних інтелектуальних комплексів заморожування м'ясних продуктів. Деякі задачі мехатроніки в харчовій промисловості .наприклад автоматична підготовка тушки птиці вимагає фізичного контакту між об'єктом(або навколишнім середовищем) і пристроєм

захоплення робота. Оскільки наявність такого контакту є необхідною умовою успішних проектних рішень, то виникає бажання використовувати його одночасно і для розпізнавання об'єкта, з яким взаємодіє робот, для оцінки його параметрів таких як: геометричні розміри, орієнтація в просторі, ступінь нерівності поверхні напівфабрикату заготовки(хліба,котлет,птиці) тощо. Такі датчики будемо називати тактильними системами, які мають засоби штучного сприйняття і мають високу швидкість оброблення інформації в реальному масштабі часу. Базовий елемент тактильного датчика- сенсор з тактильною чутливістю, або таксел (тактильний піксел). Він перетворює механічний тиск в сигнал.

Дотичність роботів забезпечується різними типами датчиків (мікровиключателі, датчики сили тощо) від найпростіших контактних до тактильних двовимірних. Основу тактильних датчиків складають шари гуми, яка прведе струм . Інколи її називають штучною шкірою, якою накривають виконавчі органи робота. По бокам шару розташовані електроди, з яких знімають сигнали, котрі залежать від зміни електричного опору під впливом локальних механічних зусиль, діючих на шар провідної гуми. Особливістю таких датчиків є їх механічна гнучкість, мала вартість, а також лінійна залежність електричного опору від деформації, а відповідно і від локального навантаження. Основними матеріалами для виготовлення штучної шкіри слугують: каучук, полібутадієн, полізопрен та інші м'які речовини, які змішанні з частинками провідних матеріалів (порошка графіту,вугілля, мінеральної пудри тощо). До недоліків цих матеріалів необхідно віднести: нелінійність відгуку, гістерезис, наявність шумів, у процесі вимірювання, старіння,втома. У той же час відмітимо, що погіршення властивостей датчиків проходить відносно повільно, а тому різка зміна характеристик малоімовірна. Це дозволяє вважати, що у процесі захоплення об'єкту датчик має високу надійність. До тактильних датчиків з різними технічними характеристиками віднесимо:

1-матричні тактильні датчики; 2- оптичні тактильні датчики; 3- ультразвукові тактильні датчики. Розглянемо більш детально принцип дії деяких із них. Розпочнемо цей аналіз з датчиків тиску.

Масиви датчиків тиску. Вони є великими сітками волокон. Волокна є «волоконним елементом» Кожне волокно здатне виявляти нормальні сили.

Волоконний датчик забезпечує високу роздільну здатність «зображення» контактної поверхні. Поряд з просторовою роздільною здатністю і чутливості сили, системно-інтеграційні питання такі як провідники і сили маршрутизації мають важливе значення. Масиви датчиків тиску доступні у вигляді тонких плівок. Приклади таких датчиків масиви, побудовані з електропровідної гуми,

циркон ата-титанату свинцю (PZT), полівініліденфторид (PVDF), PVDF-T2FE, FET і чутливі ємнісні елементи.

Тензометрична розетка. Це система датчиків, які виготовлені із декількох Тензометр, кожен з яких дозволяє виявити силу в певному напрямку. Після об'єднання інформації від тензодатчиків, можна визначити характери сил і моментів.

Біологічно основані датчики дотику. Ця система датчиків, яка об'єднує датчики сили, датчики вібрації і розпізнавання теплопередачі

DIY та Відкрито-Апаратні датчики дотику. Цей тип тактильних датчиків дотику дозволяє одержувати інформацію, що отримується від фізичної взаємодії виконавчих механізмів робота або мехатронного пристрою з навколишнім середовищем. Датчик дотику, як правило проектується за зразком біологічного відчуття дотику шкіри, який здатний виявити подразники в результаті механічного подразнення або зміни температури.

Тактильні датчики широко представлені в системах керування електромеханічними пристроями роботів, а отже перейдемо до вивчення принципу дії електроприводу.

1.5. Електропривід роботів та мехатронних систем

Електропривід- це електромеханічна система для надання руху із заданими параметрами виконавчим механізмом робота в цілях здійснення їх функцій. У відповідності з стандартами України (ДСТУ2313-93 Електроприводи. Терміни та визначення, ДСТУ60204-1 Безпечність машин, електрообладнання машин. Загальні вимоги) сучасний електропривід- це сукупність електродвигуна, який є джерелом механічної енергії, апаратури керування і захисту, а також механічної, гідравлічної або електричної передачі. Електроприводи роботів є основними споживачами електричної енергії (до 60%) і головним джерелом механічної енергії в робототехнологічних системах. Вибір типу привода залежить від функціонального призначення робота. Основними факторами, які визначають вибір типу привода є:

-призначення та умови експлуатації робота, вантажопідємність і необхідні динамічні характеристики конструкції, вид систем керування.

У посібнику будемо розглядати лише електромеханічні приводи. Електромеханічний привід робота складається із електродвигуна, механічного перетворювача, який включає власне перетворювач руху (передачі), механізмів зменшення мертвого ходу, гальмівні пристрої, направляючі, інформаційні пристрої, муфти та системи керування. Отже, електродвигун- це орган перетворення електричної енергії в механічну. В електричних приводах роботів використовують електродвигуни постійного струму, синхронні, асинхронні,

лінійні та крокові. В більшості використовують двигуни постійного струму. Механічний перетворювач- пристрій, який перетворює параметри руху електродвигуна в необхідні параметри руху вихідної ланки привода.

До складу механічного перетворювача віднесені: перетворювач руху (передача)- механізм, який призначено для перетворення одного виду руху в інший . узгодження швидкості і обертальних моментів електродвигуна і вихідної ланки привода. Механізм зменшення мертвого ходу (люфтозменшувальний механізм)- пристрій, який призначений для зменшення проміжку в деяких ланках перетворювача руху.

Гальмівні пристрої- пристрої, які призначені для зменшення швидкості, зупинки та утримання у заданному положенні вихідної ланки привода. Направляючі- пристрої, які забезпечують заданий відносний рух елементів привода.

Інформаційні пристрої- пристрій, який перетворює контролює величину в сигнал, зручний для вимірювання, передачі, перетворення. збереження і реєстрації, а також для впливу ним на керовані процеси. Датчики інформації (датчики переміщення та швидкості) призначені щодо визначення переміщення і швидкості вихідної ланки привода.

Муфта- пристрій для з'єднання вала двигуна з перетворювачем руху, а також для захисту двигуна від перенавантажень.

Пристрій керування- пристрій для формування і надання управлінських впливів електродвигуну у відповідності з програмою керування.

До основних якісних ознак електроприводу віднесемо: широкий діапазон регулювання, безшумність,, відсутність трубопроводів, простота монтажу та налагодження, надійність. Основним недоліком електромеханічного привода є низький показник питомої потужності (відношення потужності електродвигуна до його маси), тому що електродвигуни великі за розміром і масою. Електромеханічний привід розраховують з врахуванням динамічних властивостей в процесі запуску гальмування та зміни навантаження; діапазона регулювання швидкості, виду механічної ; режиму роботи в часі підтримання заданого режиму, частоти включення привідного механізму.

1.6. Системне проектування робототехнологічного обладнання з виробництва продуктів здорового харчування

З наукових джерел [1,3,8,32] відомо, що системне проектування - це методологія вирішення складних проблем, яка також як і системне моделювання ґрунтується на концепції системи.

Відмінною особливістю системного проектування є, то, що воно охоплює набір понять, методологій, технічних, організаційно-технологічних та інших

структур, які можуть бути розвинені для об'єднання складних функціональних систем, щоб подолати проблеми в тому числі «безпрецедентною складності». Системне проектування заохочує використання імітаційного моделювання, а в моделюванні дозволяє висувати теорії або гіпотези про складні системи і взаємодіях в їх межах.

Особливістю системного технічного проектування робототехнологічного обладнання є наступне:

1. Оцінка життєвого циклу робототехнологічного обладнання, наприклад, завантаження сировини, різання та подрібнення, розвантаження, пакування, ідентифікація параметрів процесу якості продукції тощо

2. Взаємодія робототехнологічного комплексу та його обладнання з технологічним обладнанням, створення оптимальної траєкторії руху виконавчих механізмів.

3. Розробка енергетичного обладнання роботів-маніпуляторів, узгоджена оптимізація енергетичного обладнання виробничих процесів та логістика готової продукції.

4. Розробка технологій обслуговування роботів та технологічного обладнання як єдиної керованої системи багаторівневого керування.

Технічне проектування – це процес створення винаходів у системах роботизованого керування, які дозволяють одержати інноваційні результати. Мета проектування полягає у визначенні конфігурації системи, вимог, яким система повинна відповідати, і завданням основних параметрів, які задовольняють вимогам до системи.

Головне завдання проектування- це складання переліку вимог, які повинні задовольняти споживачів. У процесі технічного проектування приймає участь два типи мислення – аналіз і синтез, між якими є принципова різниця.

У процесі аналізу принципу дії робота для безлюдного або переміщення продукту основну увагу приділяється побудові моделей фізичних систем. Метою в цьому випадку є більш глибоке розуміння процесів, які виникають в системах та розробка шляхів удосконалення їх моделей.

Навпаки, синтез – це діяльність в результаті якої створюються нові фізичні структури. Процес проектування може виконуватись по декільком напрямкам, але проєктант обирає оптимальний з них. Це детально продуманий процес, за допомогою якого проєктант створює інноваційний продукт, який задовольняє споживачів незважаючи на практичні обмеження. По своїй природі це ітераційний процес. Досвідчений інженер-проєктувальник спочатку спрощує систему з метою її аналізу та синтезу. При цьому виникає різниця між реальною системою і моделлю. Подібна різниця між реальною оптимальною системою і проектним виробом існує завжди, тому що проєктанту інтуїтивно

простіше поступово покращувати систему керування. Іншими словами, технічне проектування ніколи не виконується по оптимальній траєкторії.

Це – ітераційний, нелінійний, творчий процес. Основний метод, який використовується у більшості задач технічного проектування робототехнологічного обладнання для виробництва продуктів харчування – це метод аналізу та оптимізації параметрів.

Він оснований на ідентифікації(1) ключових параметрів, формування конфігурації системи(2), та оцінка того, що дана конфігурація відповідає заданим параметрам проектування (3). Ці три етапи утворюють замкнений цикл. Як тільки буде встановлено ключеві параметри і синтезована структура системи, то проєктувальник може приступити до оптимізації параметрів.

На практиці число таких налагоджуваних параметрів необхідно звести до мінімуму, що значно прискорює процес проектування.

Синтез систем керування – це приклад технічного проектування.

На рис. 1.7. наведена схема процесу синтезу робототехнологічної системи

Перший крок процесу – визначення призначення системи.

Другий крок – це визначити ті змінні, якими потрібно керувати.

На третьому кроці ми повинні визначити точність системи, з якою потрібно підтримувати вихідні показники керування об'єктом. Останнє визначає вибір датчиків, за допомогою яких вимірюються змінні, які потрібно підтримувати системою керування..

У процесі проектування систем робототехнологічного керування складними технологічними процесами виробництва продуктів харчування проєктант повинен спочатку створити конфігурацію робототехнологічної системи, яка включає в собі датчик візуалізації, об'єкт керування, (наприклад, робот для переміщення продукту) виконавчий пристрій та регулятор. Такий приклад системи наведено на рис.1.8.

Система в нашому випадку функціонує по замкненому циклу. Якщо датчик є високоточним, то вимірюване значення виходу системи дорівнює його дійсному значенню. Різниця між бажаним і дійсним значенням вихідної змінної. тобто помилка надходить на керуючий пристрій (наприклад, підсилювач). З його виходу сигнал **надходить на виконавчий пристрій**, який впливає на об'єкт керування таким чином, щоб зменшити помилку.

Система на рис.1.8. – це система з від'ємним зв'язком, тобто сигнал вираховується (віднімається) із вхідного, а різниця подається на вхід підсилювача (E).

У процесі синтезу системи необхідно звернути увагу на вибір виконавчого пристрою. Прийняття рішення у нашому випадку залежить від типу об'єкта

керування, але в будь-якому випадку визначений пристрій повинен ефективно впливати на поведінку робототехнологічного комплексу.



Рисунок 1.7. – Процес синтезу робототехнологічної системи виробництва продуктів харчування

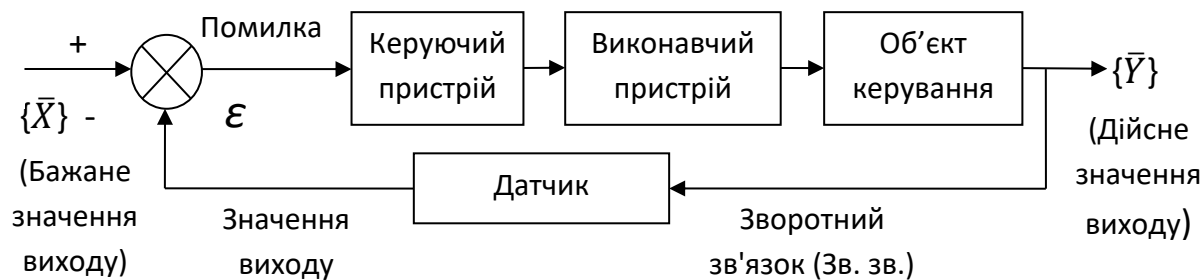


Рисунок 1.8 . Система з від'ємним зворотним зв'язком (керуючий пристрій називають регулятором)

Наприклад, ми в матеріалах посібника будемо проектувати систему роботизованого керування процесом заморожування продукту харчування.

У цьому випадку швидкістю електроприводу конвейера холодильного апарату для заморожування хліба є важливим параметром при проектуванні оптимальної траєкторії керування процесом. Тоді в якості виконавчого пристрою ми можемо вибрати електродвигун постійного струму або асинхронний двигун з тиристорним перетворювачем частоти (АД-ТПЧ). При цьому датчик швидкості руху конвеєра повинен вимірювати цей параметр з високою точністю.

У кінцевому рахунку ми повинні одержати модель для кожного із цих елементів.

Наступний крок полягає у виборі регулятора, який часто представляє собою сумматор. Він виконує операцію порівняння бажаного і дійсного значення вихідної змінної об'єкта, після якої наступний елемент системи – підсилювач сигналу помилки з регулятором відпрацьовує сигнал помилки, змінюючи значення показника положення виконавчого механізму.

Заключний крок процедури синтезу системи полягає у виборі методу налагодження параметрів системи, які б забезпечували бажані показники якості системи.

На цьому процес синтезу системи закінчується, а проектувальник повинен оформити робочу документацію.

Вимоги до якості замкненої системи керування повинні торкатись її основних характеристик, до яких віднесимо наступне: 1 – гарну компенсацію збурень; 2 – бажаний вид реакції на заданий вхідний вплив; 3 – адекватні вхідні сигнали виконавчого пристрою; 4 – мала чутливість до зміни параметрів; 5 – робастність.

В учбовому посібнику процес виконання проектування роботизації виробництва продукції здорового харчування, буде пов'язане з комп'ютерним моделюванням продуктів харчування аналізом і синтезом систем автоматизації

та робототизації.. Високоточне комп'ютерне моделювання дуже важливе для перевірки результатів синтезу таких систем.

У багатьох випадках сертифікація систем робототехніки, шляхом натурального моделювання складних технологічних процесів виробництва смарт- продукції, вимагає від проєктантів значних витрат часу та коштів. У той же час використання комп'ютерного моделювання значно (на 30%) скорочує час на виконання процесу проєктування та сертифікацію системи, а також до 50-60% зменшуються фінансові витрати.

Тема 2. Теоретичні основи адаптивних систем керування в мехатронних та робототехнічних комплексах

2.1. Принципи проєктування адаптивних систем керування виробництвом продуктів здорового харчування

Теорія адаптивних систем виникла в зв'язку з необхідністю рішення широкого класу прикладних задач, для яких неможливо використовувати традиційні методи проєктування систем. Адаптивне керування виконується в функції від параметрів зовнішнього середовища, а тому дозволяє забезпечити досягнення цілі керування в умовах невизначеності об'єкта керування, неповній апріорній інформації про ці параметри. Прикладом простих завдань в мехатронних системах, які можуть бути вирішеними за допомогою адаптивного керування, є робот з системою технічного зору пристрою захоплення продукту тощо.

Система керування, у якій автоматично визначається потрібний закон керування за рахунок аналізу поведінки об'єкту в процесі поточного керування, називається адаптивною. Адаптивні системи можливо розділити на два великих класи: самоорганізаційні і самоналагоджувальні [1,2,3,8,37].

В самоорганізаційних системах в процесі функціонування виникає формування алгоритму керування (його структури і параметрів), що дозволяє оптимізувати систему, з точки зору, поставленої цілі керування (ЦК).

В класі самоналагоджувальних систем (СНС), в яких структура регулятора задана (або вибрана) і лише потрібно визначити лише алгоритм налагодження його коефіцієнтів (алгоритм адаптації). СНС розділяються на два підкласи: пошукові і безпошукові [1,2,8,16].

Найпростішими пошуковими системами є більшість екстремальних систем, в яких вада апріорної інформації доповнюється за рахунок поточної інформації, одержаної у вигляді реакції об'єкту на штучно внесені пошукові (пробні або тестові) впливи.

У безпошукових системах СНС у явному вигляді є модель з бажаними динамічними характеристиками. Завдання алгоритму адаптації полягає у налагодженні коефіцієнтів регулятора таким чином, щоб звести неузгодженість між об'єктом керування і моделлю до нуля. Таке керування називають прямим адаптивним керуванням (directadaptivecontrol), а системи – адаптивними системами з еталонними моделями (modelreferenceadaptivesystem). У випадку непрямого адаптивного керування (indirectadaptivecontrol) спочатку проводять ідентифікацію об'єкту, а потім визначають відповідні коефіцієнти регулятора. Такі регулятори називають самоналагоджувальними (self-tuningregulators) [1,2].

У безошукових самоналагоджувальних системах еталонна модель може бути реалізована у вигляді реальної динамічної ланки (явна модель) або бути присутньою у вигляді деякого еталонного управління, що зв'язують керовані змінні і їх похідні (неявна модель).

Найбільш удосконаленою стратегією управління є адаптивна стратегія, яка полягає в одночасному вивченні об'єкту і управління ним.

Алгоритм адаптивного керування має дворівневу структуру, яка наведена на рис.2.1.

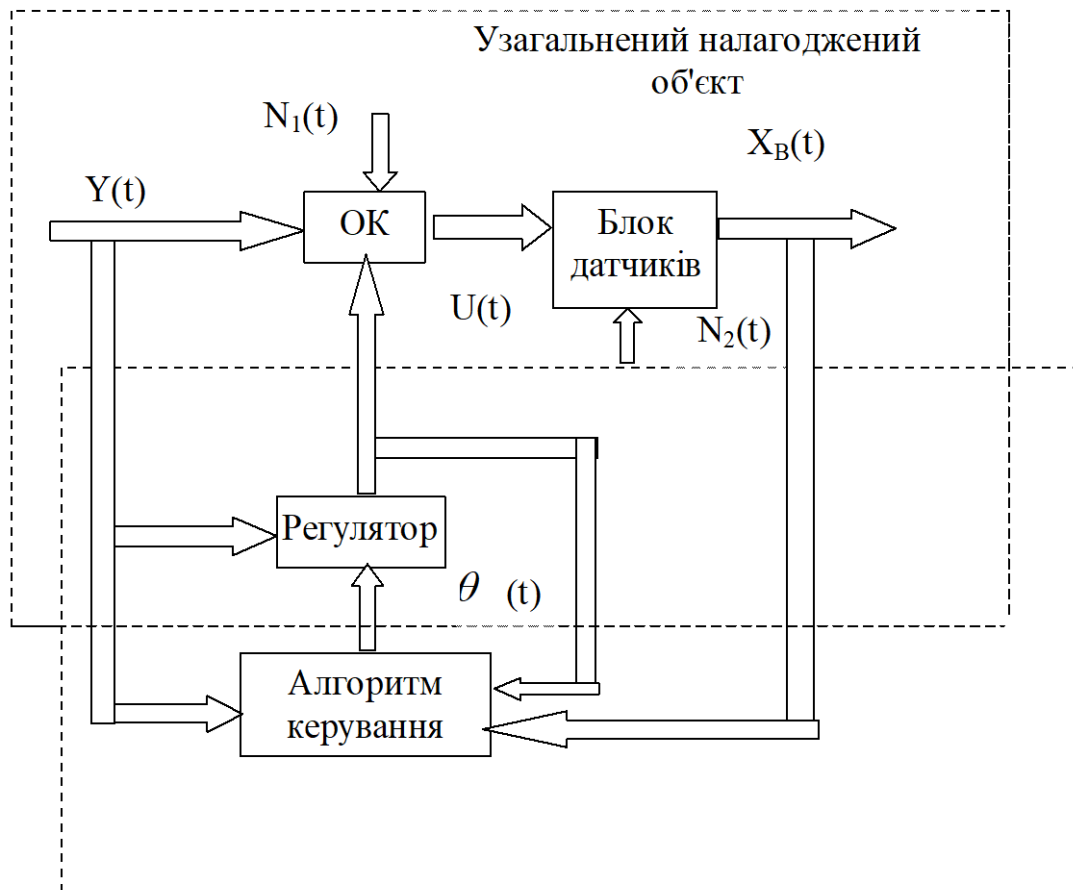


Рисунок 2.1. Структурна схема адаптивної системи керування

Алгоритм 1-го рівня (алгоритм регулювання або алгоритм основного рівня) залежить від вектора параметрів θ (вектора параметрів регулятора), при кожному $\xi \in \Sigma$ він повинен забезпечувати досягнення ЦУ при відповідному виборі $\theta = \theta(\xi)$. Алгоритм 2-го рівня змінює (налагоджує) вектор θ таким чином, щоб забезпечити досягнення ЦУ при невідомих $\xi \in \Sigma$. Сукупність алгоритмів регулювання і адаптації будемо називати алгоритмом адаптивного керування, а динамічна система, яка складається із об'єкту і пристрою, що реалізує алгоритм адаптивного керування – адаптивною системою керування

(АДСК). Формалізуємо задачу синтезу. Нехай неперервна динамічна система, так названа “узагальнений об’єкт”, описується рівнянням стану

$$\dot{X} = F(X, Y, U, N_1, \xi, t), \quad (2.1)$$

$$X_B(t) = G(X, Y, U, N_2, \xi, t), \quad (2.2)$$

де $F(\cdot), G(\cdot)$ - відомі вектор функції, N_1, N_2 – впливи на ОУ і збурення вимірів; $X \in \mathbb{R}^n, U \in \mathbb{R}^m, Y \in \mathbb{R}^r, X_B \in \mathbb{R}^i$ - вектори станів, керування, зовнішніх входів і виходів ОУ відповідно.

В рівняння (2.1), (2.2) крім самого об’єкту керування рівняння виконавчих, вимірюваних пристроїв, еталона модель і т.п.

У простому вигляді ціль управління (ЦУ) задається у вигляді цільової нерівності

$$q \leq \Delta \text{ при } t \geq t_*, \Delta \geq 0, \quad (2.3)$$

де $q(t) = q(X(t), U(t))$ - невід’ємна цільова функція.

В задачах слідкування в якості цільової функції вибирається функція відхилення між дійсною і бажаною траєкторією руху об’єкту $q = q(E(t)t), E(t) = X(t) - X_M(t)$.

Бажана поведінка системи може бути заданою, наприклад, за допомогою еталонної моделі:

$$\dot{X}_M(t) = F_M(X_M, Y, t), \quad (2.4)$$

де $X_M \in \mathbb{R}^n$ - вектор станів еталонної моделі; $Y \in \mathbb{R}^r$ - вектор задаючих впливів. В приватному випадку при $X_M(t) = 0$ (задача стабілізації) одержуємо цільову функцію поточного стану об’єкту $q = q(X(t)t)$. Задача синтезу полягає у знаходженні алгоритму керування із заданого класу дворівневих алгоритмів виду:

$$U(t) = U_i(X(t), U(t), \theta(t), Y(t)), \quad (2.5)$$

$$\theta(t) = \theta_i(X(t), U(t), \theta(t), Y(t)), \quad (2.6)$$

забезпечуючих досягнення ЦУ (2.1) у системі (2.3), (2.4), (2.5), (2.6) для кожного $\xi \in \Sigma$. Тут $U_i(\cdot), \theta_i(\cdot)$ - деякі оператори. Якщо АДСК функціонує в стохастичному середовищі, то цільовий простір (2.3) змінюється “усередненою” ціллю:

$$Mq \leq \Delta \text{ при } t \geq t_{B*}, \Delta \geq 0. \quad (2.7)$$

Система (2.3), (2.4), (2.5), (2.6) називається адаптивною в класі Σ по відношенню до цілі управління, заданої однією із нерівностей (2.3), (2.7), якщо для кожного $\xi \in \Sigma$ і при кожних початкових умовах $X(0), U(0), \theta(0)$ виконується відповідна нерівність (2.3) або (2.7).

В адаптивних системах обов'язковим є контур адаптації. Тому для формулювання задачі синтезу алгоритму адаптації необхідно використати поняття “узагальненого налагодженого об'єкту” (УНО).

Узагальнений налагоджений об'єкт включає в собі всю незмінну частину системи (“узагальнений об'єкт” і регулятор основного контуру).

В якості входів (УНО) можуть виступати як налагоджувальні параметри регулятора $\theta(t)$ (див. рис.2.1), так і входи узагальненого об'єкту $U(t)$ ($\theta(t) = U(t)$), якщо основний контур управління відсутній.

При цьому формально опис системи в формулах (2. 1), (2. 2) або у формулах (2.5)-(2.6) представляє собою систему алгебраїчних і диференціальних рівнянь.

У першому випадку задача полягає у синтезі алгоритму адаптивного керування (2.5), (2.6), а в другому випадку – алгоритму адаптації (2.7). в рамках наведених вище схем потрібно розглянути також нестационарні задачі, в яких вектор невідомих параметрів ξ змінюється в часі ($\xi = \xi(t)$).

При цьому вектор “ідеальних”, з точки зору ЦУ, параметрів регулятора θ також залежить від часу. Алгоритм адаптивного керування для досягнення цілі повинен “відслідковувати” дрейф невідомих параметрів, пристосовуючись до зміни умов роботи системи керування виробництвом продукції.

2.2. Пошукові адаптивні системи керування

У пошукових адаптивних системах (ПАС) вибір напрямку налагодження параметрів, для забезпечення екстремального значення міри якості виконується на основі організації спеціальних пошукових сигналів. Найпростішими ПАС є більшість екстремальних систем.

Типова блок-схема екстремальної системи керування представлена на рис.2.2. На вхід об'єкта подають пошукові впливи і оцінюється реакція об'єкту, що проявляється в зміні цільової функції $q(t)$.

Визначаються ті впливи, які наближають цільову функцію до екстремуму.

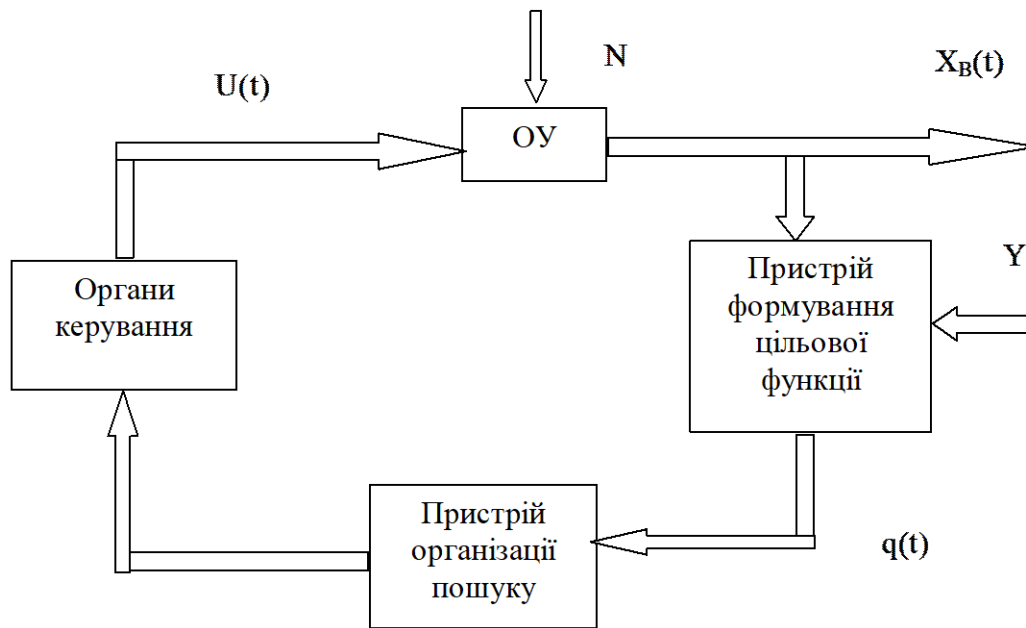


Рисунок 2.2. Структурна схема екстремального регулятора.

Екстремальні системи класифікуються по способу пошуку екстремуму: системи з регулярним пошуком і випадковим пошуком. До регулярних методів відносяться гарно відомі методи повного перебору Гауса-Зейделя, градієнтного пошуку і їх модифікації.

Перейдемо до аналізу і сфери використання пошукових алгоритмів непрямого адаптивного управління з налагодженою моделлю. Непряме адаптивне управління пов'язане з рішенням задачі у два етапи. На першому етапі виконується ідентифікація об'єкту. На другому етапі – вибір коефіцієнтів регулятора.

У пошукових системах ідентифікації вимірюють вхідні і вихідні сигнали об'єкту, але ведеться активний пошук, який супроводжується випробуваннями адаптивної моделі по параметричним каналам. При цьому розширюються межі працездатності систем ідентифікації з адаптивною моделлю.

В основі пошукових систем можуть використовуватися прості методи пошуку екстремуму, починаючи від найпростішого перебору параметрів і, закінчуючи градієнтними методами, а також їх комбінаціями.

Загальна структурна схема пошукової ідентифікації представлена на рис.2.3.

Завданням алгоритму пошукового налагодження є зміна параметрів моделі θ_M , таким чином, щоб мінімізувати цільову функцію відхилення $q(E)$.

Розглянемо більш детально неперервний градієнтний алгоритм ідентифікації із синхронним детектуванням [1,37].

Нехай об'єкт і модель описується рівнянням станів:

$$\dot{X} = F(X, Y, \theta, t, N_1), \quad X_B = G(X, Y, t) + N_2, \quad (2.7)$$

$$\dot{X}_M = F_M(X_M, Y, \theta_M, t), \quad X_{M,B} = G_M(X_M, Y, t), \quad (2.8)$$

де $X \in \mathbb{R}^n$, $X_M \in \mathbb{R}^n$, $X_B \in \mathbb{R}^1$, $X_{B,M} \in \mathbb{R}^1$, $\theta \in \mathbb{R}^{\bar{m}}$, $\theta_M \in \mathbb{R}^{\bar{m}}$, $Y \in \mathbb{R}^m$ – вектори станів, виходів, параметрів і входів об'єкту і моделі відповідно; N_1, N_2 – вектори збурень і перешкод вимірів.

Метою ідентифікації є мінімізація цільової функції $q(E)$ відхилу:

$$E = X_B - X_{B,M}. \quad (2.9)$$

При цьому вважають, що $q(E)$ – випукла, позитивна визначена функція, а налагоджувальна модель – спостерігається, а тому відомі поточні значення X_M, \dot{X}_M, θ_M .

Налагодження параметрів моделі будемо виконувати у напрямку антиградієнту цільової функції:

$$\theta_M = -\Gamma \nabla_{\theta_M} q(E), \quad (2.10)$$

де $\Gamma = \Gamma^T > 0$ – $(\bar{m} \times \bar{m})$ – матриця коефіцієнтів підсилення;

$\nabla_{\theta_M} q(E) = \left[\frac{\partial q(E)}{\partial \theta_M} \right]^T$ – градієнт цільової функції по параметрам моделі.

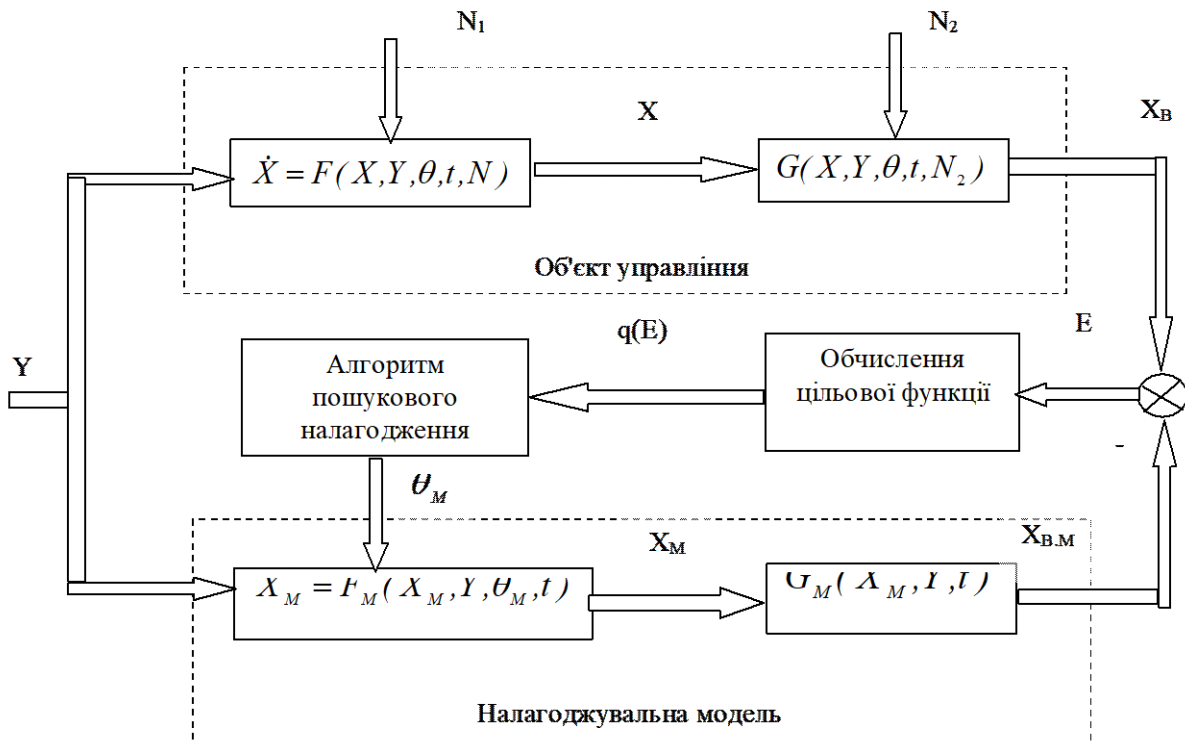


Рисунок 2.3. Структурна схема пошукової ідентифікації.

Відмітимо, що термін синхронне детектування пов'язаний зі зміною варіації $\delta X_M(t)$ синхронно зміни варіації $\delta\theta_M$ (пошук сигналів) відповідно залежності:

$$\delta X_M \approx \frac{1}{p} \frac{\partial F_M}{\partial \theta_M} \delta\theta_M,$$

при достатньому високочастотному сигналі $\delta\theta_M$, а також з можливістю детектування (виділення) градієнту на основі вимірювання величин шляхом їх усереднення

2.3. Безпошукові адаптивні системи керування

Розглянемо задачу управління суттєво нестаціонарними об'єктами, динамічні і статистичні параметри яких змінюються у широких діапазонах.

Ця задача керування потребує розробки в класі систем зі змінною структурою (СЗС) принципово нових способів побудови безпошукових адаптивних систем управління об'єктами виробництва продуктів харчування [2,12,14].

Під об'єктом керування будемо розуміти об'єкт, поведінка якого може бути описана рівнянням виду:

$$\sum_{i=2}^{n+1} a_i x^{(i-1)}(t) + x(t) = f(t) + K_0 U(t), \quad (2.13)$$

де a_i і K_0 – змінні параметри, що приймають значення із діапазонів

$$0 < a_{i_{\min}} < a_i < a_{i_{\max}} < \infty,$$

$$0 < K_{0_{\min}} < K_0 < K_{0_{\max}} < \infty, (i = 2, \dots, n + 1).$$

Утім характеристичне рівняння:

$$\sum_{i=2}^{n+1} a_i \lambda^{i-1} + 1 = 0, \quad (2.14)$$

має від'ємні корені.

Керувати об'єктом (2.14) будемо за допомогою лінійного ПІД-закону керування:

$$U(t) = K_i \varepsilon_1(t) + \int_0^t K_i \varepsilon_1(\tau) d\tau + K_g \varepsilon_1(t), \quad (2.15)$$

де

$$\begin{aligned} \varepsilon_1(t) &= q(t) - y(t) \\ \tau \dot{y}(t) + y(t) &= x(t)' \end{aligned} \quad (2.16)$$

$\varepsilon_1(t)$ – помилка регулювання;

$q(t)$ – заданий вплив;

K_p, K_i, K_g і t_1 - налагоджувальні параметри ПД-закону керування. Управляти об'єктом (2.14) будемо шляхом корекції коефіцієнтів K_p, K_i, K_g .

Перепишемо рівняння виду (2.14) з врахуванням (2.15) відносно вихідної координати фільтра:

$$\sum_{i=1}^{n+1} a_{ii} y^{(i)}(t) + y(t) = f(t) + K_0 U(t), \quad (2.17)$$

де $a_{ii} = \tau_1 a_{i-1} + a_i, (i = 1, \dots, n + 1)$,

$y^{(i)}(0) = 0 (i = 0, \dots, n)$.

Потрібно сформулювати таке $U(t)$, яке б забезпечувало при різних значеннях a_i і K_0 (2.17) якість керування, близьке до якості оптимально налагоджених для кожного сполучення a_i і K_0 лінійних ПД-законів керування.

Управління $U(t)$ будемо шукати у вигляді:

$$U(t) = U_i(t) + U_{ii}(t) + U_g(t), \quad (2.18)$$

$$U_i(t) = K_i(t) \varepsilon_1(t),$$

де
$$U_{ii}(t) = \int_0^t K_{ii}(\tau) \varepsilon_1(\tau) d\tau,$$

$$U_g(t) = K_g(t) \dot{\varepsilon}_1(t),$$

$$\varepsilon_1(t) = q(t) - y(t),$$

$q(t)$ - заданий вплив, $K_p(t), K_i(t)$ і $K_g(t)$ – кусочно-постійні коефіцієнти, що визначаються в процесів активної ідентифікації. Задача зведена до вибору корекції кусково-постійних коефіцієнтів рівняння (2.18).

Виконувати корекцію коефіцієнтів $K_p(t), K_i(t)$ і $K_g(t)$, будемо за допомогою спеціальним чином сформованої функції $\varepsilon_1(t)$, отриманої в результаті активної ідентифікації об'єкту (2.16), (2.18) по каналу керування.

Розглянемо роботу адаптивної системи у найбільш простому випадку, коли заданий вплив $q(t)$ представляє собою східчасту функцію:

$$q(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ q_0 & \text{при } t \geq 0, \end{cases} \quad (2.19)$$

і $f(t) \equiv 0$ при $t \geq 0$.

Синтез такої системи будемо виконувати за допомогою наступних функцій

$$\lambda_1(t) = |\varepsilon_1(t) - \alpha \dot{y}(t) - M_0|, \quad (2.20)$$

де $\varepsilon_1(t)$ – визначається із (2.18),

$\dot{y}(t)$ - визначається із (2.17),

$\alpha > 0$ і M_0 – відносно великі числа,

$$\tau_2 \dot{S}_2(t) + S_2(t) = \tau_2 \frac{d \operatorname{sign} S_1(t)}{dt}, \quad (2.21)$$

де $\tau_2 > 0$ - достатньо мале число.

Це дає змогу представити рівняння $U(t)$ у вигляді

$$U(t) = \begin{cases} (U_i(t) = \bar{K} K_n(0) \varepsilon_1(0) & \text{при } \psi'(t) > 0 \\ U_n(t) + U_i(t) + U_g(t) & \text{при } \psi'(t) < 0 \end{cases} \quad (2.22)$$

де $\bar{K} > 0$ - коефіцієнт, $\varepsilon_1(t) = q_0$ - значення помилки (2.18).

$$\begin{aligned} U_n(t) &= K_n(t) \varepsilon_1(t), \\ U_i(t) &= U_i(t_\gamma) + \int_{t_\gamma}^t K_i(\tau) \varepsilon_1(\tau) d\tau, \end{aligned} \quad (2.23)$$

при $t > t_\gamma$ $\psi'(t) < 0, U_g(t) = K_g(t) \dot{\varepsilon}_1(t)$,

$$K_n(t) = \begin{cases} K_n(0) & \text{при } \psi'(t) > 0 \\ \frac{\bar{K} K_n(0) \varepsilon_1(0)}{(\dot{y}(t_\gamma)) t_\gamma} & \text{при } \psi'(t) < 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

де $|\dot{y}(t_\gamma)| = \max_{0 \leq t \leq \infty} |\dot{y}(t)|$, причому $\psi'(t_\gamma + 0) = -1, \psi'(t_\gamma - 0) = 1$.

$$K_i(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } \psi'(t) > 0 \\ \frac{\bar{K}_i K_n(t)}{t_\gamma} & \text{при } \psi'(t) < 0 \end{cases} \quad (2.25)$$

$$K_g(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } \psi'(t) > 0 \\ \frac{\bar{K}_g K_n(t) t_\gamma}{t_\gamma} & \text{при } \psi'(t) < 0 \end{cases} \quad (2.26)$$

$\bar{K}_n, \bar{K}_i, \bar{K}_g$ - позитивні коефіцієнти.

Із аналізу рівняння (2.26) слідує, що процес відпрацювання східчастого заданого впливу $q(t)$ розподіляється на дві фази. Перша фаза – фаза ідентифікації кусково-постійних параметрів $K_n(t), K_i(t), K_q(t)$ і має місце при $\psi'(t) > 0$ або при $0 \leq t < t_\gamma$.

Друга фаза – фаза обробки заданого впливу (2.23) при $\psi'(t) < 0$ або при $t \geq t_\gamma$.

На першій фазі управління, як слідує із (2.26), представляє собою східчасту функцію амплітуди $KK_n(0)\epsilon_1(0)$, яка надходить на вхід об'єкта (2.17). Тому при $0 \leq t < t_\gamma$ таке керування дозволяє оцінити динамічний γ і статистичний K_0 – параметри об'єкту (2.24, 2.25, 2.26).

Такими оцінками є часові параметри t_γ :

$$t_\gamma(t) = \begin{cases} t_\gamma(0) & \text{при } \psi'(t) > 0 \\ \max \psi(t) & \text{при } \psi'(t) < 0 \end{cases} \quad (2.27)$$

Отже, часові параметри $t_\gamma(t)$ характеризують величину γ і кусково-постійний коефіцієнт $K_n(t)$ при $t \geq t_\gamma$, які характеризують величину зворотно-пропорційного коефіцієнту K_0 .

Дійсно, в момент $t=0$, коли на вхід поступає заданий ступеневий вплив $q(t)$, при $q_0 > M$ функція $S_1(t)$ (2.21) стає позитивною, тому $S_2(0)=S(0)=\varphi(0)=\psi(0)=1$.

В момент $t=0$ у відповідності з (2.27) формується східчаста функція керування. Функція $\psi^1(t)$ у відповідності з залежностями:

$$\psi^1(t) = \text{sign} \varphi(t). \quad (2.28)$$

$$\psi(t) = \begin{cases} \int_0^t \psi(\tau) d\tau & \text{при } \psi'(t) > 0 \\ 0 & \text{при } \psi'(t) < 0 \end{cases} \quad (2.29)$$

змінює свій знак в той момент, коли змінює знак оцінка $y(t)$ похідної модуля $|\dot{y}(t)|$.

Авторами [12] доведено, що оцінка $K_n(t)$ при $t \geq t_\gamma$ зворотно-пропорційна коефіцієнту K_0 об'єкту (2.14).

Таким чином, якщо при деяких значеннях $K_0=K_{0н}$ і $\gamma=\gamma_n$ мало місце оптимального налагодження параметрів $\overline{K_n}, \overline{K_i}, \overline{K_q}$, що входять у вираз для $K_n(t), K_i(t), K_q(t)$.

Тоді після першої фази ідентифікації в алгоритмі (2.27), (2.28), (2.29) змінюються параметри, які відповідають оптимальному налагодженню ПД-закону керування.

2.4. Робастні системи робототехнологічного керування

У процесі керування багатомірними динамічними об'єктами виробництва продуктів здорового харчування часто зустрічаються задачі, коли ціль управління може бути зведена до деякого обмеження на вектор стану об'єкту.

Будемо вважати, що об'єкти керування виробництва продуктів харчування, що розглядаються у арифметичному просторі R^n є динамічними і в загальному випадку можуть бути як лінійними, так і нелінійними, а також як стаціонарними, так і нестаціонарними.

В загальному випадку будемо вважати, що рівняння стану об'єкту управління представляє собою звичайне диференціальне рівняння, яке приводять до нормальної форми або до форми Коші [9,18] і має вид:

$$\begin{cases} \dot{X} = f^\alpha(x, u, w, \beta, t) \\ X(t) = x_0, t \geq 0, \end{cases} \quad (2.30)$$

де $x-(n \times 1)$ – вектор стану об'єкту;

$u-(m \times 1)$ – вектор управління;

$w-(r \times 1)$ – вектор збурень;

$\beta-(d \times 1)$ – вектор параметрів об'єкту;

$\alpha-(n \times 1)$ – вектор індексів, компоненти якого можуть приймати випадкові дійсні значення із R' ;

$f^\alpha(\cdot)$ - деяка $(n \times 1)$ – вектор-функція, що забезпечує існування і єдиність рішення задачі Коші [2,3] із зоною визначення $D_{f^\alpha} \subseteq R^{n+m+r+d+1}$.

Розглянемо методи побудови робастних систем мехатронного керування (СМК).

На рис.2.5 представлена структура САМК, в якій корегуючий пристрій (КП) є лінійною безінерційною ланкою.

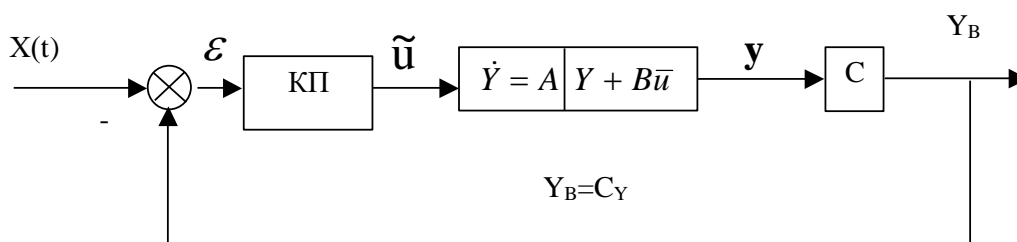


Рисунок 2.5. Система мехатронного керування в прямому ланцюгу

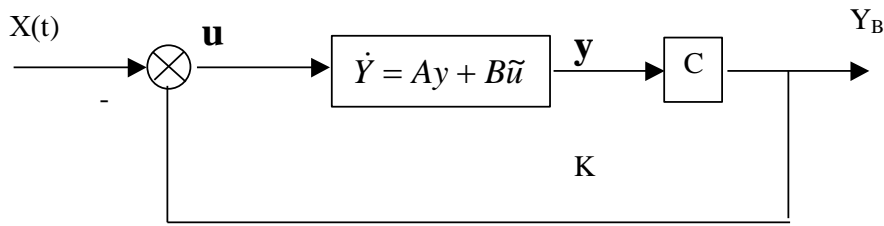


Рисунок 2.6. Система автоматичного керування в ланцюгу зі зворотнім зв'язком

В САК представлених на рис.2.1, рис.2.2 використані наступні позначення:

V – вектор виходу;

$Y_B = C_Y$ рівняння вимірника;

$\bar{\varepsilon} = x - y$ - вектор відхилу;

$x(t)$ – вектор задавальних впливів;

k -($m \times 1$) – матриця регулятора (зворотнього зв'язку, яка в загальному випадку може бути нестационарною, тобто $k=k(t)$, а $U=KY_B=KC_Y B$ - рівняння регулятора).

На рис.2.7. представлена СМК технологічного процесу збагачення інгредієнтами продукту харчування, в якій; $G(p)$ - передавальна функція технологічної системи; $G(p)$ – передавальна функція регулятора; u – управлінська змінна; y_s – вставка. В цій системі зв'язок між керованою і управлінською зміною наступний:

$$Y(p) = G(p)U(p),$$

а завданням регулювання є підтримання умови $y(t)=y_s(t)$ для кожних із збурень $D(t)$.

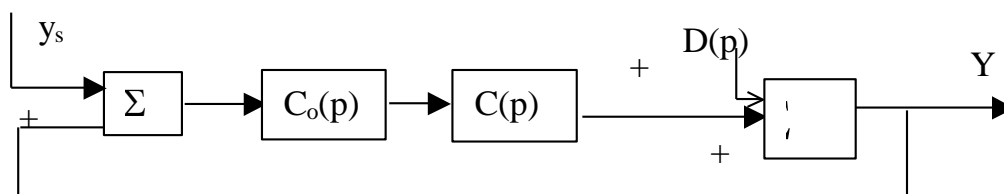


Рисунок 2.7. Система мехатронного керування технологічним процесом зі зворотнім зв'язком

Система на рис.2.7. відрізняється від систем автоматичного керування на рис.2.5, 2.6 тим, що передавальні функції регулятора технологічного процесу записані у вигляді операційної моделі з оператором $p=d/dt$.

Перейдемо до більш детального проектування локальних систем управління технологічними процесами виробництва продуктів здорового харчування, але спочатку розглянемо методи проектування робастних СМК.

Систему, що характеризується допустимими змінними якості при зміні або неточності її моделі, називають робастною.

Робастна система керування має потрібні якості, незважаючи на суттєву невизначеність характеристик об'єкту управління. На рис.2.8 представлена типова структурна схема замкненої системи керування роботом.

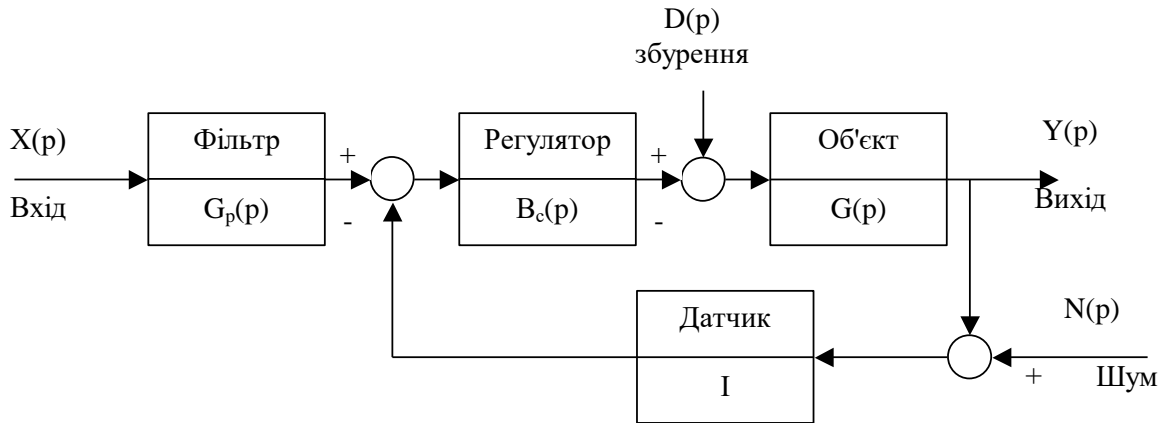


Рисунок 2.8. Типова структурна схема замкненої системи керування роботом

На цій структурній схемі показані елементи робастної системи мехатронного керування: сигнал входу $X(p)$ якого поступає на фільтр $G_p(p)$ і далі через суматор на регулятор $G_c(p)$, який керує об'єктом $G(p)$ з виходом $Y(p)$. Дана модель враховує шум датчика $N(p)$, непередбачені збурення $D(p)$ і об'єкт керування $G(p)$ з неврахованою динамікою або параметрами, які схильні до змін.

Основне завдання системи при значних змінах цих параметрів – зберегти бажану якість в умовах невизначеності. Синтез систем високої точності в умовах невизначеності є класичною проблемою теорії керування [8,11,12,46]. Мехатронна система є робастною, якщо вона володіє достатньою надійністю, грубістю і гнучкістю.

Робастність, по суті справи, характеризується чутливістю системи до факторів, які не враховуються на етапах аналізу і синтезу.

Наприклад, у випадку якщо не враховувати шум датчика і систему параметрів, які впливають на її динаміку, то система повинна бути спроможна протидіяти впливу цих факторів при виконанні задач, заради яких вона спроектована.

При малих змінах параметрів в якості міри робастності можливо використати диференціальну чутливість і чутливість кореня. Чутливість системи визначається так:

$$S_{\alpha}^w = \frac{\partial W(p)/W(p)}{\partial \alpha / \alpha}, \quad (2.31)$$

де α – параметр, а $W(P)$ – передатна функція системи.

Чутливість кореня визначається так:

$$S_{\alpha}^{r_1} = \frac{\partial r_1}{\partial \alpha / \alpha}. \quad (2.32)$$

Проведемо аналіз робастності системи, наведеної на рис.2.8. Потрібно, щоб помилка відтворення вхідного сигналу $x(t)$, $e(t)=x(t)-y(t)$ була достатньо малою, а збурення $\alpha(t)$ повинно по можливості незначно впливати на вихідну зміну $y(t)$. Шум датчика $n(t)$ повинен бути малим в порівнянні з $x(t)$, тобто $|x| \rightarrow |n|$.

Функція чутливості дорівнює:

$$S(p) = [1 + G_c(p)G(p)]^{-1}, \quad (2.33)$$

а передавальна функція замкненої системи при $G_p(p)=1$ має вид:

$$W(p) = \frac{G_c(p)G(p)}{1 + G_c(p)G(p)}. \quad (2.34)$$

Таким чином,

$$S(p) + W(p) = 1. \quad (2.35)$$

Функцію $S(p)$ бажано мати малою. У реалізованих фізичних системах коефіцієнт підсилення контуру $L(p)=G_cG(p)$ на високих частотах повинен бути малим. Це значить, що на вищих частотах $S(j\omega) \rightarrow 1$.

Адаптивне відхилення характеризує набір можливих передатних функцій об'єкту керування (тут ми припускаємо, що $G_c(p)=1$).

$$G_{\alpha}(p) = G(p) + A(p), \quad (2.36)$$

де $G(p)$ є номінальна передавальна функція, а $A(p)$ – його змінна частина, що обмежена по модулю.

Припускаємо, що $G_{\alpha}(p)$ і $G(p)$ мають однакове число полюсів у правій половині S - площини (якщо такі існують). Тоді стійкість системи не зміниться, якщо

$$|A(j\omega)| < |1 + G(j\omega)| \text{ для усіх } \omega.$$

Ця умова гарантує лише стійкість, але не відноситься до динамічних показників якості.

При мультиплікативному відхиленні передатна функція об'єкту керування приймає вигляд:

$$G_m(p) = G(p)[1 + M(p)]. \quad (2.37)$$

Змінна $M(p)$ також вважається обмеженою по модулю, і як і раніше будемо вважати, що $G_m(p)$ і $G(p)$ мають однакове число полюсів у правій площині. Тоді стійкість системи не зміниться, якщо

$$|M(j\omega)| < \left| 1 + \frac{1}{G(j\omega)} \right| \text{ для усіх } \omega. \quad (2.38)$$

Вираз (2.38) називається робастним критерієм стійкості. Він служить перевіркою робастності по відношенню до мультиплікативного відхилення. Такий вид відхилень використовується дуже часто, тому що:

- він є малим при низьких частотах, коли номінальна модель об'єкту звичайно гарно відома;
- він є великим на високих частотах, коли номінальна модель об'єкту завжди неточна.

Для системи представленої на рис.2.8

$$G_p(p)=1, G_c(p) =K, G(p) = \frac{170000(p + 0.1)}{p(p + 3)(p^2 + 10p + 10000)}. \quad (2.39)$$

При $k = 1$ ця система нестійка, але її можливо зробити стійкою, зменшивши коефіцієнт k до значення $k = 0,5$. Тепер оцінимо вплив не врахованого у моделях полюса, якому відповідає $\omega = 50$ рад/с. В цьому випадку мультиплікативне відхилення має вид:

$$1 + M(p) = \frac{50}{p + 50},$$

або $M(p) = -p/(p + 50)$. Для модуля $M(j\omega)$ маємо:

$$|M(j\omega)| = \left| \frac{-j\omega}{j\omega + 50} \right|.$$

Графіки $|M(j\omega)|$ і $1 + \frac{1}{|KG(j\omega)|}$ наведені на рис. 2.9. При цьому нерівність для робастного критерію стійкості задовольняється і система стає стійкою.

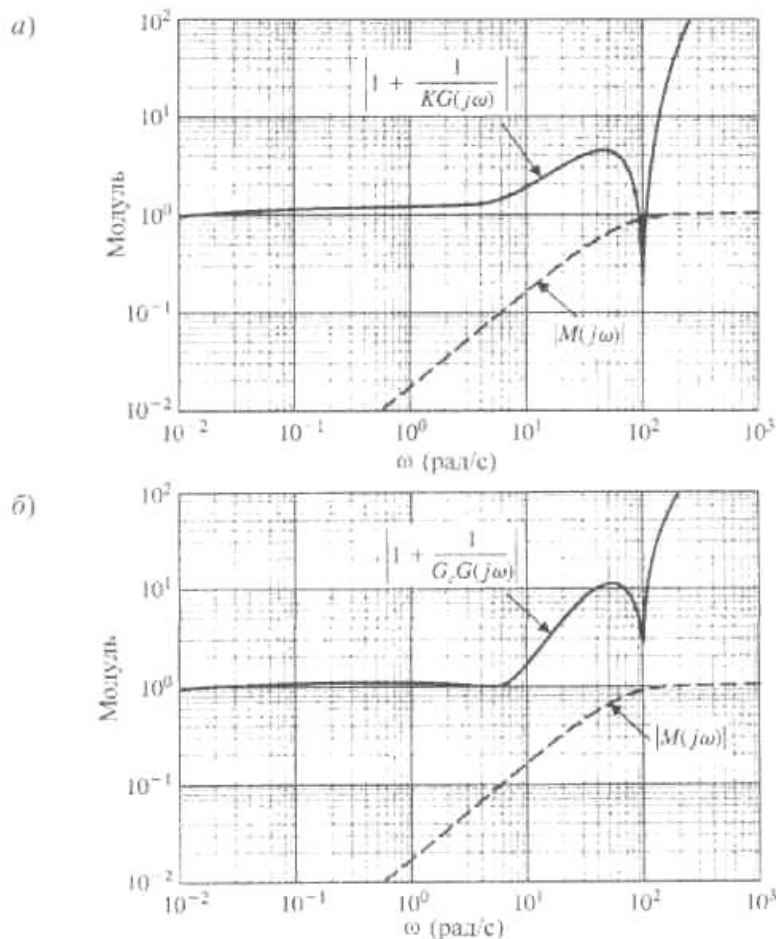


Рисунок 2.9. Критерії робастної стійкості

При синтезі системи зі структурою представленою на рис.2.8. є дві ступені свободи. Вони пов'язані з вибором фільтра $G_p(p)$ і регулятора $G_c(p)$, які задовольняють вимоги до перехідного і встановленого режимів, а також до частотних характеристик системи. При цьому смуга пропуску регулятора повинна бути достатньо малою.

Ця умова пов'язана з наступним: при зміні вхідного сигналу системи завжди виникає шум, а у випадку великого рівня шуму може виникнути ефект насичення останніх каскадів регулятора або вхідних засобів об'єктів регулювання мехатронного пристрою.

Перейдемо тепер до оцінки системи з невизначеними параметрами. Багато систем мають ряд параметрів, які є постійними, але їх значення знаходяться у деякому діапазоні.

Наприклад, розглянемо систему з характеристичними рівнянням виду

$$p^n + a_{n-1}p^{n-1} + a_{n-2}p^{n-2} + \dots + a_n = 0. \quad (2.40)$$

Відомо лише, що коефіцієнти цього рівняння знаходяться в інтервалах:

$$a_i \leq a_i \leq \beta_i, \quad i=0, \dots, n,$$

де $a_n=1$.

Для дослідження системи необхідно перебрати усі можливі поєднання параметрів. В той же час цю задачу ми можемо звести до дослідження обмеженого числа поліномів найгіршого виду.

Наприклад, для системи третього порядку, що має характеристичне рівняння виду:

$$p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0, \quad (2.41)$$

достатньо дослідити чотири поліноми:

$$q_1(p) = p^3 + a_2 p^2 + \beta_1 p + \beta_0$$

$$q_2(p) = p^3 + \beta_2 p^2 + a_1 p + a_0$$

$$q_3(p) = p^3 + \beta_2 p^2 + \beta_1 p + a_0$$

$$q_4(p) = p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + \beta_0$$

Один із цих чотирьох поліномів буде представляти найгірший випадок і може вказувати на те, що система або нестійка, або у крайньому випадку, має найгіршу якість.

Розглянемо систему третього порядку з невизначеними коефіцієнтами, де

$$8 \leq a_0 \leq 60 \rightarrow a_0 = 8, \beta_0 = 60$$

$$12 \leq a_1 \leq 100 \rightarrow a_1 = 12, \beta_1 = 100 \quad (2.42)$$

$$7 \leq a_2 \leq 25 \rightarrow a_2 = 7, \beta_2 = 25$$

утворимо наступні чотири поліноми:

$$q_1(p) = p^3 + 7p^2 + 100p + 60,$$

$$q_2(p) = p^3 + 25p^2 + 12p + 8, \quad (2.43)$$

$$q_3(p) = p^3 + 25p^2 + 100p + 8,$$

$$q_4(p) = p^3 + 7p^2 + 12p + 60.$$

Дослідивши ці чотири поліноми за допомогою критерію Рауса - Гурвіца, ми можемо збагнути, що система стійка у всьому діапазоні невизначених параметрів технологічного процесу виробництва продуктів харчування на основі робототехнологічних комплексів. [1, 3].

2.5. Синтез робастних систем керування

Синтез робастних систем включає дві задачі: визначення структури регулятора і налагодження його параметрів з метою одержання “оптимальної” якості системи. Процедура синтезу звичайно розпочинається з уяви про наявність “повної інформації про об'єкт”.

Крім цього, об'єкт керування представлений у вигляді лінійної неперервної моделі з постійними параметрами.

Структуру регулятора вибирають так, щоб реакція системи задовольняла визначеним критеріям якості.

При поставленні задачі синтезу одним із можливих вимог може полягати в тому, щоб вихідні змінні системи одночасно і точно ідентифікували усі зміни вхідного сигналу. Це означає, що передавальна функція системи повинна бути рівна одиниці:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = 1. \quad (2.44)$$

Іншими словами, частотно-амплітудна характеристика такої системи на всьому діапазоні частот повинна мати 0 дБ (це відповідає нескінченій смузі пропускання), а фазова характеристика на усіх частотах повинна дорівнювати нулю. На практиці таке неможливо, оскільки будь-яка практична система має елементи ємності, індуктивності, накопичувальні елементи енергії того чи іншого типу. Ці елементи в купі з елементами, що розсіюють енергію, визначають динаміку системи керування.

Такі системи, деякі вхідні сигнали можуть ідентифікувати достатньо точно, в той же час як інші не можуть їх ідентифікувати – і все це тому, що смуга пропускання реальної системи не є нескінченною.

Для умови виробництва продуктів харчування з широкого спектру сировини із різними характеристиками один із варіантів постановки задачі може включати вимоги мінімізації впливу збурень на вихідну змінну системи [1,2,6,38,55].

Тут нам потрібно мінімізувати $Y(p)/D(p)$ у як найвищому інтервалі частот.

Розглянемо систему, представлену на рис.2.10. В цій системі $G_1(p)$ - передавальна функція управління роботом, а $D(p)$ – збурення. Тоді ми маємо:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{G_c G_1 G_2(p)}{1 + G_c G_1 G_2(p)}, \quad (2.45)$$

$$i \frac{Y(p)}{D(p)} = \frac{G_2(p)}{1 + G_c G_1 G_2(p)}. \quad (2.46)$$

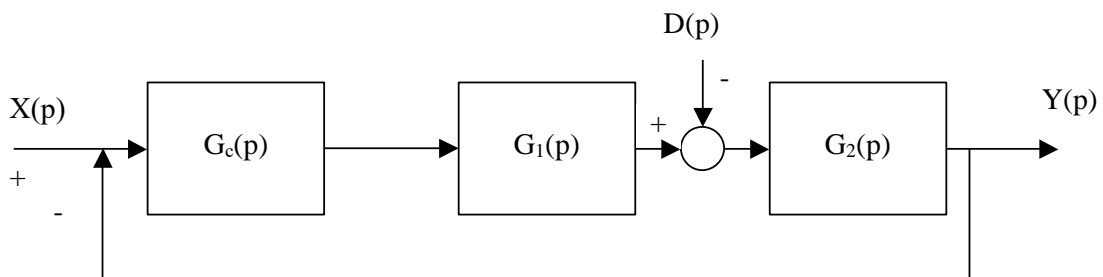


Рисунок 2.10. Система керування роботом за наявності збурення

Відмітимо, що передавальна функція як по відношенню до еталонного вхідного сигналу, так і по відношенню до збурення має один і той же знаменник, тобто система має одне характеристичне рівняння:

$$1 + G_c(p)G_1(p)G_2(p) = 1 + L(p) = 0. \quad (2.47)$$

Нагадаємо, що чутливість $T(p)$ до зміни $G(p)$ дорівнює:

$$S_G^T = \frac{1}{1 + G_c G_1 G_2(p)}, \quad (2.48)$$

тобто характеристичний поліном вносить суттєвий вплив на чутливість системи. Вираз (2.48) показує, що для одержання малої чутливості S необхідно мати велике підсилення у контурі $L(j\omega)$, але, як відомо, це може привести до нестійкості системи, або до суттєвого погіршення її якості.

Тому проєктант повинен досягти наступного:

1. $W(p)$ з широкою смугою пропускання і правильним відтворення $X(p)$.
2. Контур $L(p)$ з великим запізненням, щоб мінімізувати чутливість S .
3. Велике підсилення у контурі $L(p)$, головним чином, за рахунок

$$G_c(p)G_1(p) \text{ оскільки } \frac{Y(p)}{d(p)} \approx \frac{1}{G_c G_1(s)}.$$

Задача синтезу робастної системи у частотній області пов'язана з визначенням такого регулятора $G_c(p)$, при якому чутливість замкненої системи була б менше деякого допустимого значення, а мінімізація чутливості потребує вибору такого регулятора, щоб ця чутливість була рівною або достатньо близькою до мінімального значення.

Аналогічно задача забезпечення заданого запасу стійкості по модулю пов'язана з надходженням відповідного регулятора, а максимізація запасу по модулю все ж таки потребує вибору такого регулятора, при якому цей запас був би найбільш близьким до максимального.

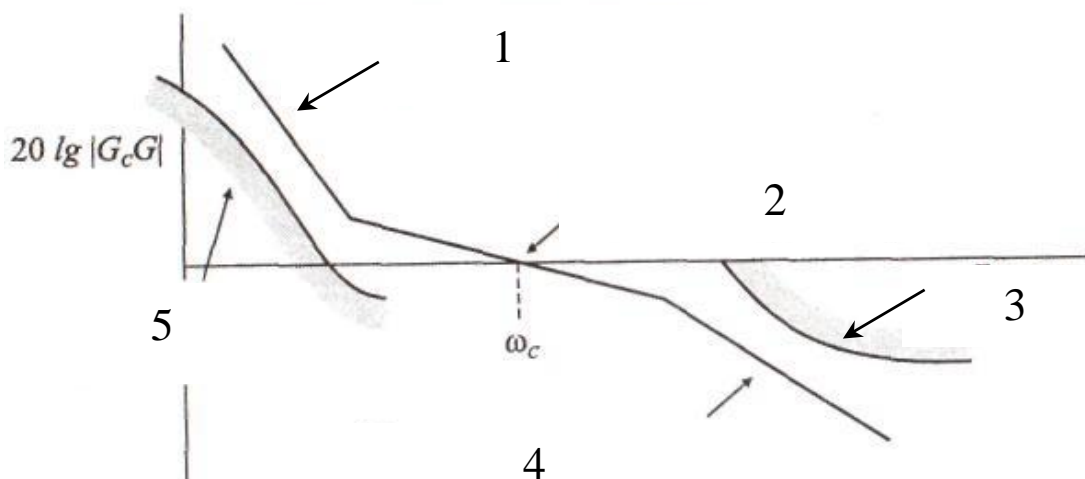


Рисунок 2.11. Частотно-фазова характеристика для $20 \lg |G_c G(j\omega)|$

На рис.2.11 позначено:

- 1 - Високе підсилення для визначення точності відтворення вхідного сигналу.
- 2 - Частота і асимптота, що визначають закони по модулю і по фазі.
- 3 - Межа робастності.

4 - Незначне підсилення для зменшення чутливості до шуму датчика і невизначеності моделі.

5 - Нижня межа, що визначає вимоги до якості.

Припустимо, наприклад, що у мехатронній системі представленої на рис.2.12 характеристичне рівняння має вид:

$$G_c(p) = K, G_2(p) = 1/p(p+1). \quad (2.49)$$

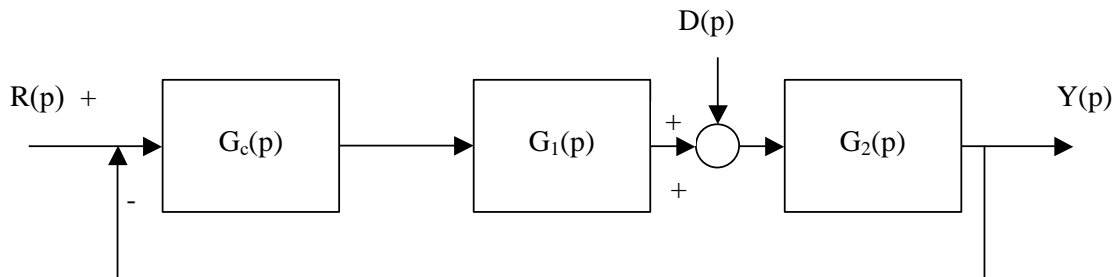


Рисунок 2.12. Система з наявними збуреннями

Крім цього характеристичне рівняння системи має два кореня і ми вибираємо коефіцієнт K таким чином, щоб мінімізувати $Y(p)/D(p)$, мінімізувати S_k^r і щоб домінуючі корені займали бажане положення.

У цьому випадку чутливість кореня:

$$S_k^r = \frac{dr}{dK} \cdot \frac{K}{r} = \frac{dp}{dK} \Big|_{p=r} \cdot \frac{K}{r}, \quad (2.50)$$

а характеристичне рівняння має вид:

$$p(p+1) + K = 0.$$

Звідси $K = -p(p+1)$ і $\frac{dK}{dp} = -(2p+1)$.

Тоді,

$$S_k^r = -\frac{1}{2p+1} \cdot \frac{|1-p(p+1)|}{p} \Big|_{p=r}. \quad (2.51)$$

Якщо $\xi < 1$, то корені є комплексними і $r = -0.5 + j\omega$. Тоді,

$$|S_k^r| = \left(\frac{0.25 + \omega^2}{4\omega^2} \right)^{1/2}. \quad (2.52)$$

На рис.2.13 показана залежність модуля чутливості від K у діапазоні від $K=0,2$ до $K=5$. На ньому наведений графік для відносного перерегулювання при східчастому вхідному сигналі.

Чутливість в цьому випадку потрібно зменшити, але при цьому обмежити K значенням 1,5 або ще менше.

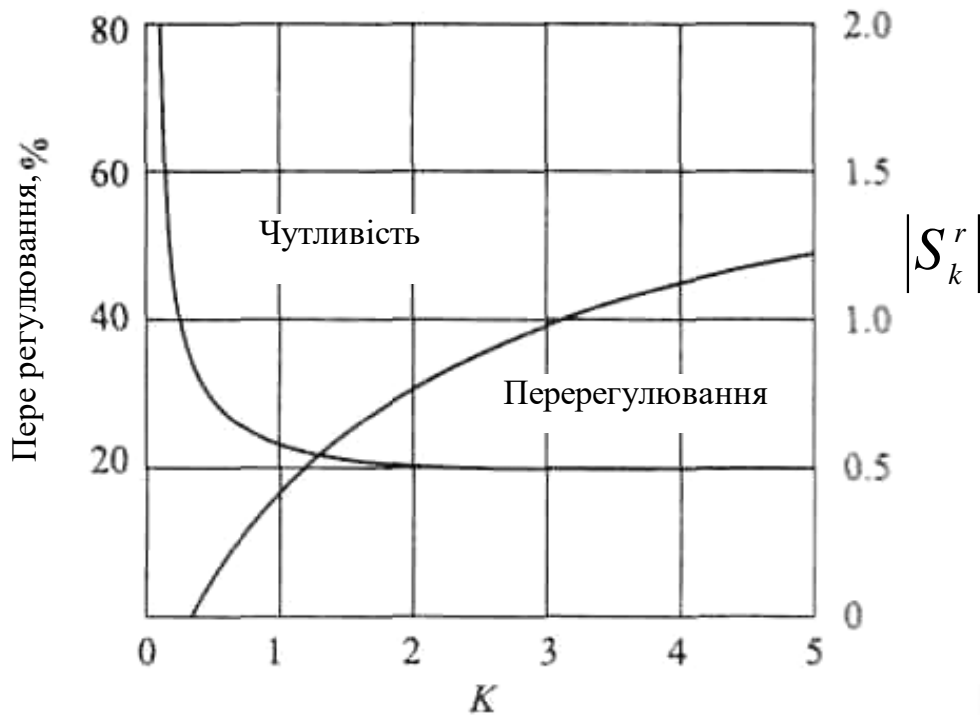


Рисунок 2.13. Чутливість і відносне перерегулювання системи другого рівня

В цьому випадку ми досягнемо визначеного компромісу, оскільки одночасно зі зменшенням чутливості зберігається достатня якість при відпрацюванні східчастого вхідного сигналу

В загальному випадку процедуру синтезу можливо звести до таких етапів:

1. Побудувати кореневий годограф скорегованої системи, вибравши $G_c(p)$ таким чином, щоб забезпечити бажане положення домінуючих коренів.
2. Створити коефіцієнт підсилення $G_c(p)$ максимально можливим, щоб зменшити вплив збуджень (збурень).
3. Визначити S_a^r і досягти мінімального значення чутливості при збереженні вимог до перехідної характеристики, що відповідають етапу 1.

В локальних системах управління технологічних процесів виробництва продуктів харчування широке розповсюдження одержали ПІД-регулятори [1,2,3].

ПІД-регулятор має передавальну функцію:

$$W_c(p) = K_1 + \frac{K_2}{p} + K_3 p. \quad (2.53)$$

Популярність використання ПІД-регуляторів на підприємствах ХП пояснюється тим, що вони працюють у різних стадіях переробки сировини, їх функціональною простотою та робастністю, що створює умови простоти експлуатації [8,14].

Щоб використовувати такий регулятор у системі керування роботом, потрібно налагодити три параметри:

коефіцієнт пропорційності, коефіцієнт у каналі інтегрування і коефіцієнт у каналі диференціювання.

Розглянемо ПІД-регулятор виду:

$$W_3(p) = K_1 + \frac{K_2}{p} + K_3 p = \frac{K_3 p^3 + K_1 p + K_2}{p} = \frac{K_3(p^2 + ap + b)}{p} = \frac{K_3(p + z_1)(p + z_2)}{p}, \quad (2.54)$$

$$\text{де } a = \frac{K_1}{K_2} \text{ і } b = \frac{K_2}{K_3}.$$

Таким чином, ПІД-регулятор вносить у передавальну функцію розімкненої системи один полюс, що розташований на початку координат, і два нуля, які потрібно розмістити в будь-якому місці в лівій половині p -плоскості. Нагадуємо, що кореневий годограф починається в полюсах і закінчується в нулях передавальної функції розімкненої системи.

Якщо в системі представлений на рис.2.12 модель уявити виразом, то:

$$G(p) = \frac{1}{(p+2)(p+5)}, \quad (2.55)$$

Використаємо ПІД-регулятор з комплексними нулями, тоді ми можемо одержати кореневий годограф, який показано на рис.2.14. При збільшенні коефіцієнта K_3 комплексні корені рухаються в сторону нулів. Замкнена система (рис.2.12) має передавальну функцію

$$T(p) = \frac{G(p)G_c(p)G_p(p)}{1+G(p)G_c(p)} = \frac{K_3(p+z_1)(p+z_2)}{(p+r_2)(p+r_1)(p+r_1)} \cdot G_p(p) \approx \frac{K_3 G_p(p)}{p+r_2}, \quad (2.55)$$

так як нулі і комплексні корені приблизно рівні ($r_1 \approx r_2$).

Припустимо, що $G_p(p)=1$, одержимо:

$$T(p) = \frac{K_3}{p+r_2} \approx \frac{K_3}{p+K_3}, \quad (2.56)$$

якщо $K_3 \geq 1$.

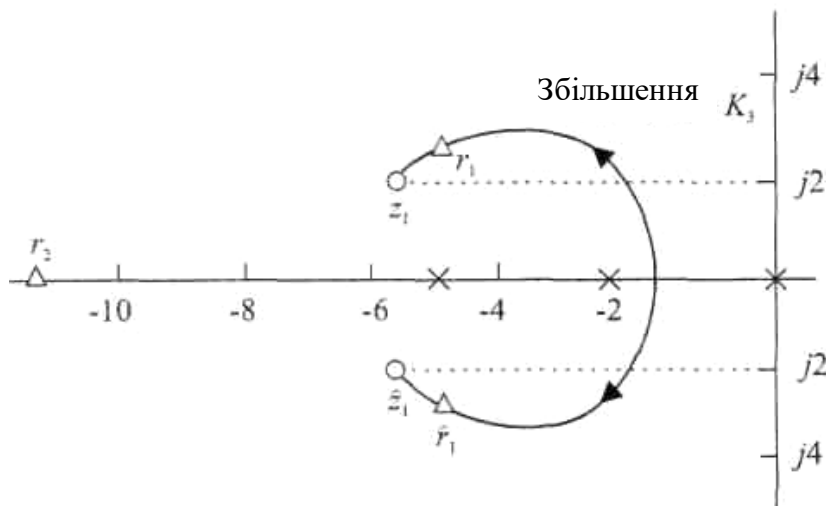


Рисунок 2.14. Кореневий годограф при наявності нуля $z_1 = -6 + 2j$.

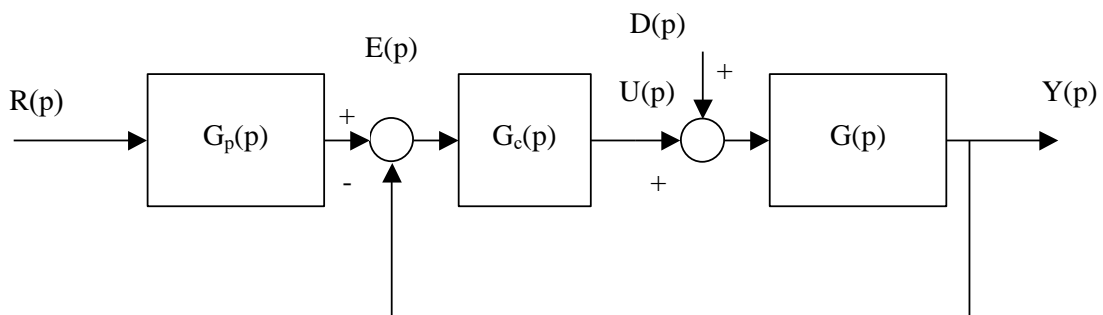


Рисунок 2.15. Мехатронна система керування зі зворотнім зв'язком. $R(p)$ – заданий еталонний сигнал, $D(p)$ – небажане збурення

Перейдемо тепер до синтезу робастної системи з ПД-регулятором.

Вибір трьох коефіцієнтів ПД-регулятора по суті є задачею знаходження потрібної точки у трьохмірному просторі. Кожна точка цього простору відповідає різним комбінаціям трьох параметрів ПД-регулятора. Вибираючи різні точки в просторі параметрів, ми можемо, наприклад, одержати різний вид реакції системи на східчастий вхідний сигнал. ПД-регулятор можливо підібрати шляхом пошуку потрібної точки в просторі параметрів методом проб і помилок.

Головна проблема у виборі вказаних трьох коефіцієнтів полягає у тому, що цим коефіцієнтам не так-то просто поставити у відповідність показники якості і робастності, які хотів би мати проектувальник системи керування. Для рішення цієї проблеми були запропоновані ряд правил і методів [1,2,8].

В цій темі посібника розглянемо методи, пов'язані з використанням кореневого годографу і оцінок якості [2,3,8,18].

Перший метод синтезу базується на використанні оцінки якості (ІЗМП) – інтегралу від зваженого модуля помилки:

$$I_{ЗМП} = \int_0^T |e(t)| dt \quad (2.57)$$

і оптимальних значень коефіцієнтів характеристичного поліному замкнутої системи. Таким чином, ми можемо вибрати три коефіцієнта ПД-регулятора, що мінімізують оцінку ІЗМП, при якій система має гарну реакцію на ступеневий (рис.2.12) або лінійний сигнали.

Процедура синтезу включає в собі наступні етапи:

1. По заданому часу встановлення визначити параметр ω_n замкненої системи.

2. Використовуючи відповідні значення із табл. 2.1 і значення ω_n із етапу 1, визначають три коефіцієнта передавальної функції $G_c(p)$.

3. Визначити попередній фільтр $G_p(p)$ таким чином, щоб передавальна функція замкненої системи не мала нулів, як того вимагає вираз замкненої системи загального виду:

$$T(p) = \frac{Y(p)}{R(p)} = \frac{b_0}{p^i + d_{n-1}p^{n-1} + \dots + b_1p + b_0} \quad (2.58)$$

Таблиця 2.1

Оптимальні значення коефіцієнтів $T(p)$, що базуються на критерії ІЗМП, при східчастому вхідному сигналі:

$$\begin{aligned} & p + \omega_i \\ & p^2 + 1.4\omega_i p + \omega_i^2 \\ & p^3 + 1.75\omega_i p^2 + 2.15\omega_i^2 p + \omega_i^3 \\ & p^4 + 2.1\omega_i p^3 + 3.4\omega_i^2 p^2 + 2.7\omega_i^3 p + \omega_i^4 \\ & p^5 + 2.8\omega_i p^4 + 5.0\omega_i^2 p^3 + 5.5\omega_i^3 p^2 + 3.4\omega_i^4 p + \omega_i^5 \\ & p^6 + 3.25\omega_i p^5 + 6.60\omega_i^2 p^4 + 8.60\omega_i^3 p^3 + 7.45\omega_i^4 p^2 + 3.95\omega_i^5 p + \omega_i^6 \end{aligned}$$

Таблиця 2.2

Оптимальні значення коефіцієнтів $T(p)$, що базуються на критерії ІЗМП, при лінійному вхідному сигналі:

$$\begin{aligned} & p^2 + 3.2\omega_i p + \omega_i^2 \\ & p^3 + 1.75\omega_i p^2 + 3.25\omega_i^2 p + \omega_i^3 \\ & p^4 + 2.41\omega_i p^3 + 4.93\omega_i^2 p^2 + 5.14\omega_i^3 p + \omega_i^4 \\ & p^5 + 2.19\omega_i p^4 + 6.50\omega_i^2 p^3 + 6.30\omega_i^3 p^2 + 5.24\omega_i^4 p + \omega_i^5 \end{aligned}$$

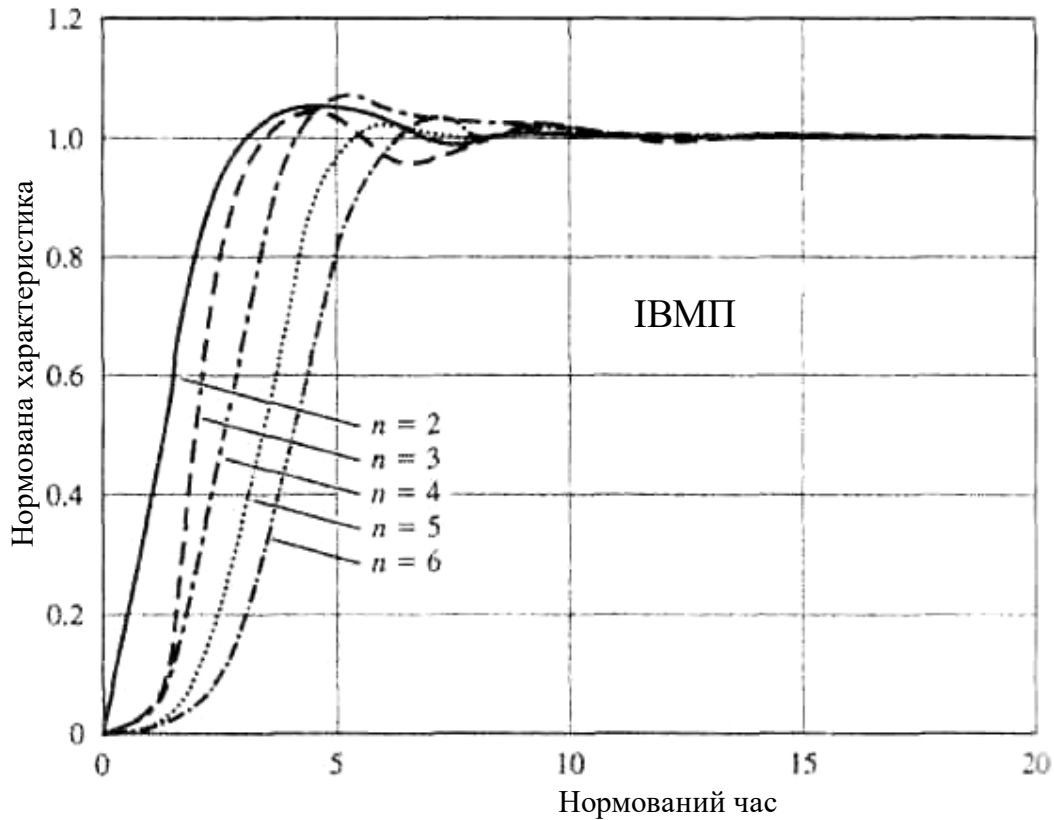


Рисунок 2.16. Перехідна характеристика САК процесів з виробництва продуктів харчування

Розглянемо більш детально типову систему керування об'єктом виробництва з ПД-регулятором і проведемо синтез такої робастної системи [16].

Типова САК виробництва продуктів харчування з ПД-регулятором в системі, що наведена на рис.2.11 і характеризується значними запізнюваннями, в якій:

$$G(p) = \frac{Ke^{-0.1p}}{0.1p + 1} \quad (2.59)$$

При цьому $K=20$, щоб забезпечити малу помилку встановлення при східчастому входному сигналі і $G_p(p)=1$. Для таких систем потрібне перерегулювання менше 5%.

Побудувавши частотно-фазову характеристику системи для $G(j\omega)$, ми бачимо, що система має від'ємний запас стійкості по фазі і, відповідно, нестійка.

Задаємося бажаним запасом по фазі 70° і для досягнення цього використаємо ПД-регулятор виду:

$$G_c(p) = \frac{K(\tau_1 p + 1)^2}{p}. \quad (2.60)$$

Тоді передавальна функція замкнутої системи приймає вид:

$$GG_c(p) = \frac{20e^{-0.1p}(\tau_1 p + 1)^2}{p(0.1p + 1)}, \quad (2.61)$$

де $K_2 K = 20$.

Якщо побудувати частотно-фазову характеристику без врахування двох нулів (рис.2.17), то ми визначимо, що запас по фазі дорівнює -32° , тобто система нестійка.

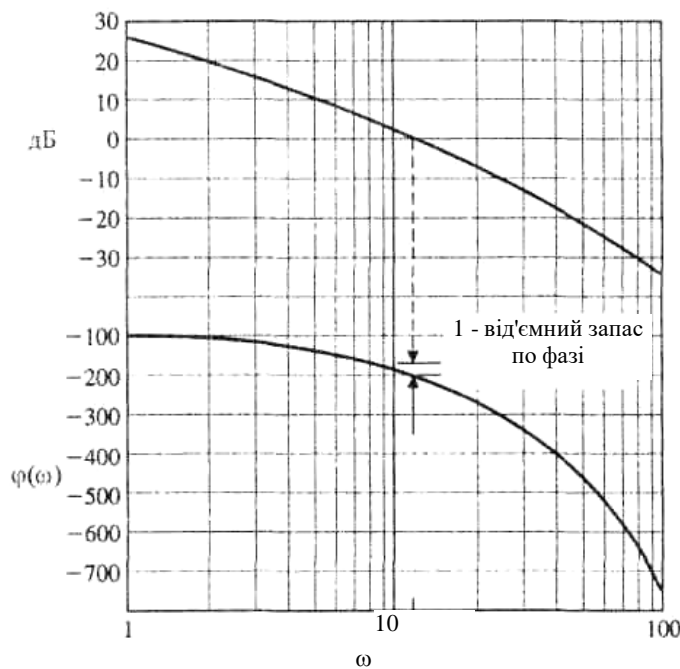


Рисунок 2.17. Частотно-фазова характеристика типової СМК робото технічного пристрою для $G(p)/p$

Оскільки введення ПІД-регулятора додає у передатну функцію розімкненої системи полюс на початку координат, то це забезпечує встановлену помилку і ми маємо право зменшити $K_2 K$.

Із рис.2.17 слідує, що $\omega_n = 11$, тому вибираємо нулі так, щоб вони були близькими до цього значення, наприклад, приймаємо $\omega = 16.7$. Тоді $\tau_1 = 0.06$ і зменшивши коефіцієнт підсилення до $K_2 K = 4.5$, одержимо передатну функцію скорегованої системи:

$$G_c G(p) = \frac{4.5(0.06p + 1)^2 e^{-0.1p}}{p(0.1p + 1)}. \quad (2.62)$$

Відповідно (2.62) частотно-фазова характеристика наведена на рис.2.18. В цьому випадку ми маємо нове значення $\omega_n = 4.5$ і запас по фазі 70° . Перехідна характеристика системи не має пере регулювання, а час устанавлення (за критерієм 2%) дорівнює 0,8с, що задовольняє вимогам до таких систем. Якщо продовжити синтез системи, то при збільшенні K_2K до 10 і дещо збільшити швидкодію системи перерегулювання залишиться на рівні менше 5%.

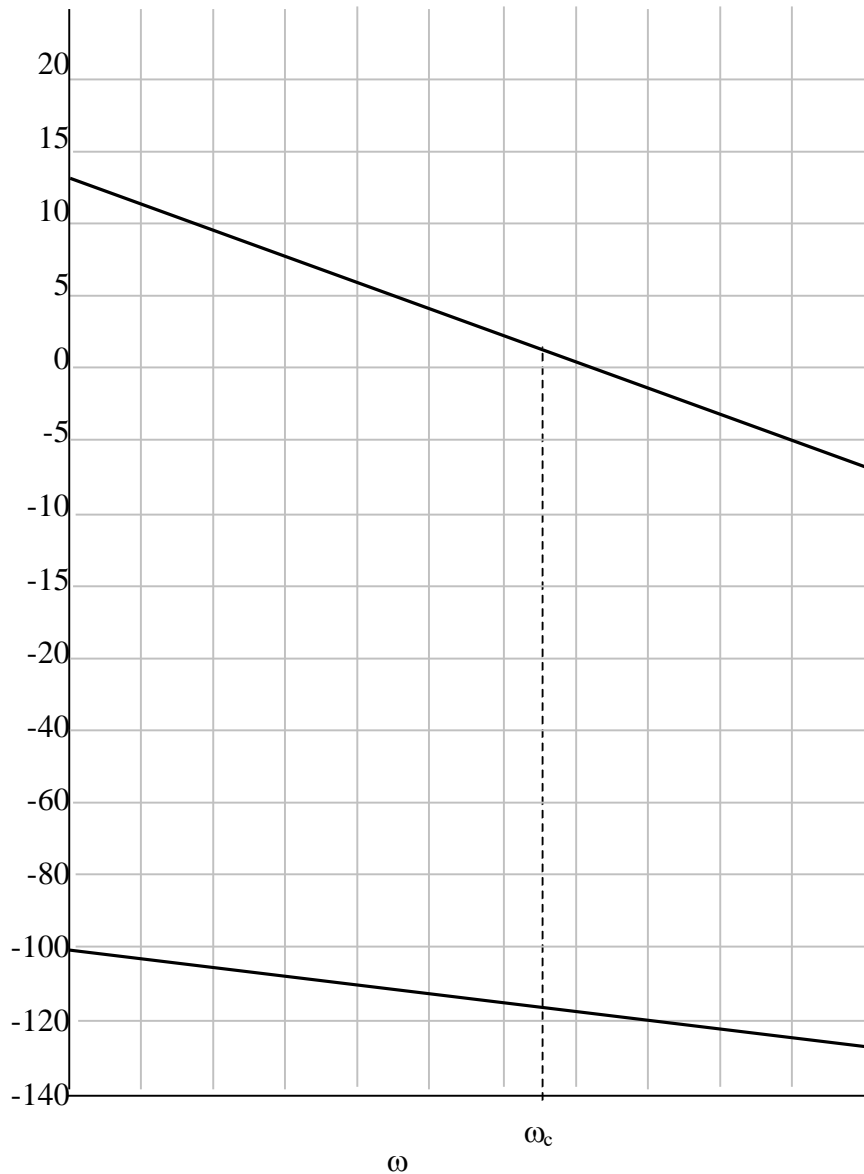


Рисунок 2.18. Частотно-фазова характеристика типової СМК виробництва продуктів харчування для $G_cG(p)$

2.6. Комбіноване робастне і адаптивне керування в робототехніці

Сьогоднішня теорія робастного управління (H_∞ -теорія керування, H_∞ -керування) є однією із інтенсивно розвинутих гілок теорії керування складними технологічними процесами виробництва продуктів харчування [1]. Вона виникла із рішення практичних проблем синтезу багаторівневих лінійних

систем керування, що функціонують в умовах різного типу збурень і зміни параметрів складного виробництва продукції.

Алгоритми адаптивного керування (прямого і непрямого) для виробництва продуктів харчування були як правило не чутливими до неврахованих зовнішніх і параметричних збурень, причому алгоритми без пошукового самоналагодження ляпуновського типу – особливо чутливими до типу сировини [2,3,14,16,37].

В реальних умовах проєктанти СМК повинні вибрати комбінований підхід до керування складним технологічним процесом виробництва продуктів харчування. Одержані успіхи в розробці проблем штучного інтелекту дають можливість синтезувати таке керування. Дійсно, такий підхід дає можливість спроектувати СМК процесом виробництва продуктів, яка використовує особливості двох типів керування (адаптивного і робастного) з вибором типу керування на основі методів штучного інтелекту.

Одним із основних понять в теорії робастного керування є поняття невизначеності. Невизначеність об'єкту пов'язана з точністю моделі об'єкту, причому як параметричної, так і структурної. Розглянемо це положення за допомогою простої мехатронної системи з одним входом і одним виходом і покажемо це на рис.2.19.

Сигнали мають наступну інтерпретацію: r – заданий вхідний сигнал; u – вхід об'єкту; d – зовнішнє обурення; y - вихідний сигнал (вихід) об'єкту, що вимірюється.

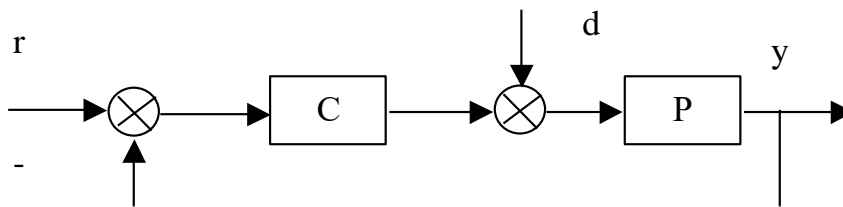


Рисунок 2.19. Система мехатронного керування з одним входом і одним виходом

У H_∞ - теорії керування [2,3] невизначеність можливо задати у частотній зоні. Якщо передавальна функція нормального об'єкту W_0 , а об'єкту збурення $\bar{W}_{\text{сА}} = (1 + \Delta W)W_0$. Тут W – фіксована передавальна функція (вагова функція), а Δ – випадкова стійка передавальна функція; задовольняюча нерівності $\|\Delta\|_\infty \leq 1$. таке збурення Δ будемо називати допустимим. Наведемо деякі варіанти моделей невизначеності:

$$(1 + \Delta W)W_0; W_0 + \Delta W; \frac{W_0}{1 + \Delta W W_0}; \frac{W_0}{1 + \Delta W}. \quad (2.63)$$

Відповідні припущення ми можемо зробити для величин Δ і W в кожному випадку.

Невизначеність вхідних сигналів d відбиває різну природу зовнішніх збурень, діючих на об'єкт і регулятор.

Невизначений об'єкт будемо розглядати як деяку множину об'єктів виберемо деяку характеристику систем зі зворотнім зв'язком, наприклад, стійкість.

Регулятор C є робастним відносно цієї характеристики, якщо нею володіє кожний із множини об'єктів, що задаються невизначеністю.

Таким чином, поняття робастності розуміє наявність регулятора множини об'єктів і фіксацію визначеної характеристики системи. Для об'єктів виробництва продуктів здорового харчування проведемо дослідження в рамках H_∞ -теорії керування лише задачу мінімальної чутливості. Тобто необхідно побудувати регулятор C , який стабілізує замкнену систему і мінімізує вплив зовнішніх збурень на вихід y , іншими словами, мінімізує H_∞ -норму матриці передавальних функцій від зовнішніх впливів до виходу y . У процесі проектування таких систем (регулятора C) задаються обмеженнями на вхідні впливи і невизначеність об'єкту у вигляді нерівностей $\|\Delta\|_\infty \leq 1, \|d\|_2 \leq C_1$.

Відмітимо, що в процесі функціонування робастної системи інформація про невизначеність не використовується в системі для керування. Такі системи консервативні і мало чутливі, а якість перехідних процесів не задовольняє проєктантів. В цих випадках проєктантам необхідно перейти до іншого способу керування – адаптивного. Частіше всього властивість адаптації досягається за рахунок формування у явному або неявному вигляді математичної моделі об'єкту або вхідного впливу. Цим відрізняється як пошукове адаптивне керування, в основу якого покладений пошук і утримання екстремуму показника якості керування, так і без пошукового керування, в основу якого покладена компенсація відхилення фактичних змін управляючих координат від бажаних змін, які відповідають заданому рівню показника якості.

Таким чином, основна особливість адаптивних систем керування – можливість одержання інформації в процесі функціонування і використання цієї інформації для керування.

Більш того, в адаптивних системах завжди використовуються апріорі інформація про невизначеність в системі. Це принципова різниця адаптивного керування від робастного.

Розглянемо типову систему адаптивного керування, яка забезпечує відстеження вхідного сигналу у присутності завад (перешкод) на вході об'єкту (рис.2.20).

Алгоритми побудови такої системи детально описані вище.

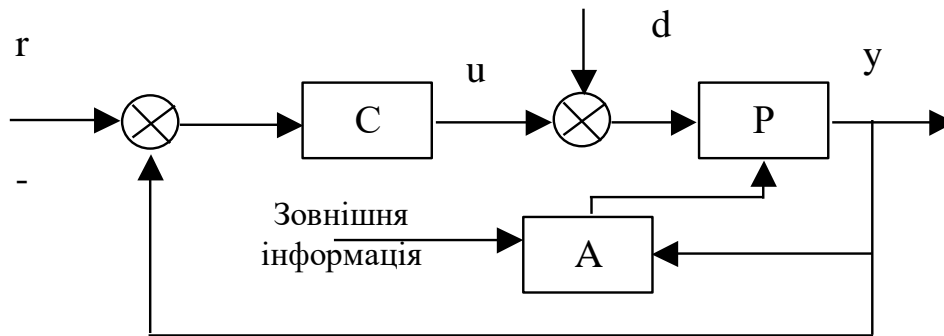


Рисунок 2.20. Адаптивна система керування

В цій системі використовується блок адаптації А, який на основі вихідного сигналу об'єкту і сигналу, що характеризує задану якість перехідного процесу, виробляє сигнал налагодження коефіцієнтів адаптивного регулятора. В системі за допомогою блока адаптації А виробляє деяку інформацію про стан зовнішнього середовища. Наприклад, ми можемо знайти інформацію про d - зовнішні збурення. Алгоритм керування C_a відповідає поточному стану зовнішнього середовища відповідно до занесеного в блок адаптації критерію. Але адаптивна система вимагає, щоб вхідний сигнал r мав широкий діапазон і має жорсткі обмеження на значення і частотний спектр сигналу зовнішнього збурення d . Тому адаптивні системи можуть працювати лише у вузьких діапазонах вхідного сигналу r і зовнішнього збурення d .

Зовні цих діапазонів адаптивна система має низьку якість управління і інколи це приводить до втрати стійкості.

Розглянуті вище якості робастного і адаптивного керування проводять до висновку, що в процесі функціонування системи у одних випадках вигідно використовувати робастне керування, а у інших – адаптивне.

Для умов виробництва продуктів харчування такі випадки пов'язані з одержанням продуктів здорового харчування заданих “портфелем” замовлень якості, тобто залежать від стану зовнішнього середовища, в якому працює харчова-промисловість. Основне питання при проектуванні систем комбінованого керування полягає в тому, яким чином, на основі яких знань (інформації) виконати вибір того чи іншого типу керування.

Схема комбінованого керування наведена на рис.2.21. Як видно із схеми, сигнал керування і повинен переключатися з робастного регулятора на

адаптивний і навпаки – по мірі зміни зовнішнього середовища у процесі функціонування системи.

Використовуючи методи теорії інтелектуальних систем, можливо забезпечити перехід з одного типу керування на інший в залежності від умов роботи системи.

Розглянемо спочатку, яку інформацію потрібно використати для роботи інтелектуального блоку системи. Відомо, що системи з одним входом і виходом гарно описують у частотній зоні. Тому природно використати частотні характеристики для організації процесу прийняття рішень при виборі типу керування.

Як було показано вище, частотна характеристика системи з робастним керуванням відповідає найгіршому поєднанню параметрів у зоні невизначеності.

Тому робастне керування можливо приймати за одну із меж вибраного керування. Інша межа визначається можливостями досліджуваної системи (типи сипровини, що надходять на виробництво продуктів харчування, тип обладнання, електроприводу, продуктивність стадій, рециклів тощо). Між цими двома межами знаходиться зона, де розумно використовувати адаптивне керування.

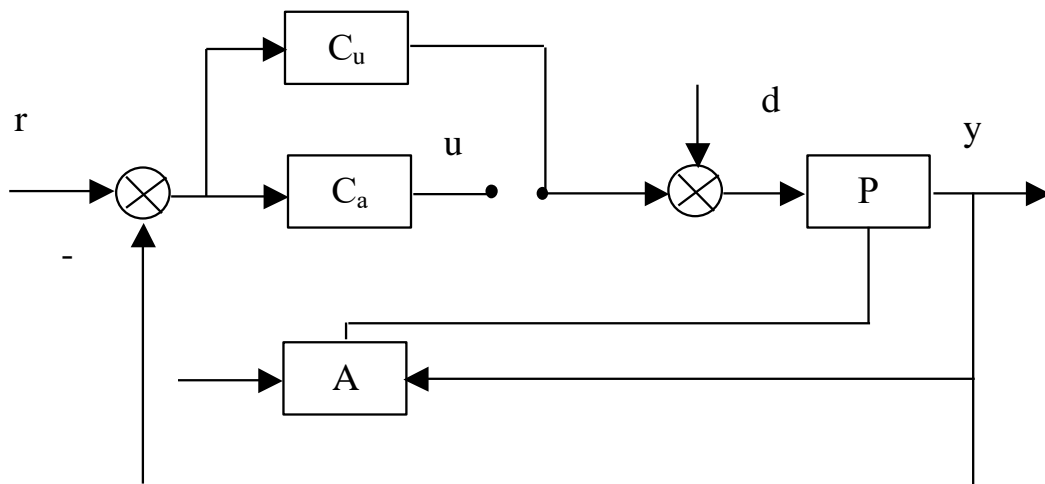


Рисунок 2.21.Схема комбінованого керування

На першому етапі функціонування системи потрібно використовувати робастне керування, яке нечутливе до швидкості зміни зовнішньої перешкоди (завади). Але в цьому випадку виникає велика тривалість перехідних процесів і значно більші допустимих значень вихідної координати при дії перешкоди.

Після деякого часу роботи системи робастне керування необхідно переключити на адаптивне. Адаптивне керування дозволяє більш точно відстежувати вхідний сигнал при наявності інформації про перешкоди.

Адаптивне керування вимагає до широти спектра вхідного сигналу i , коли, наприклад, сигнал завади змінюється монотонно (дуже повільно), то можливі зриви процесів адаптації або їх уповільнення. В цій ситуації необхідно знову переходити на робастне керування, що гарантує стійкість роботи системи.

Тема 3. Теоретичні основи цифрових систем робототехнічних установок

3.1. Принципи побудови цифрових систем роботозованих харчових виробництв

Цифрові системи керування в останні десять років знаходять широке використання на підприємствах харчової промисловості. Вони відіграють важливу роль у керуванні виробничими процесами [1,7], в яких сумісна робота комп'ютера і виконуючого механізму забезпечує високу точність виконання операцій дозування. На рис. 3.1 представлена функціональна схема цифрової системи керування. Комп'ютер по визначеній програмі виконує оброблення представленої у цифровій формі помилки і видає на виході сигнал також у цифровій формі. В цифровій системі керування обов'язково є комп'ютер, вхідний і вихідний сигнал якого перетворений у вигляді числового коду. Перетворення неперервного сигналу у цифрову форму виконується аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП), як показано на рис.3.1.

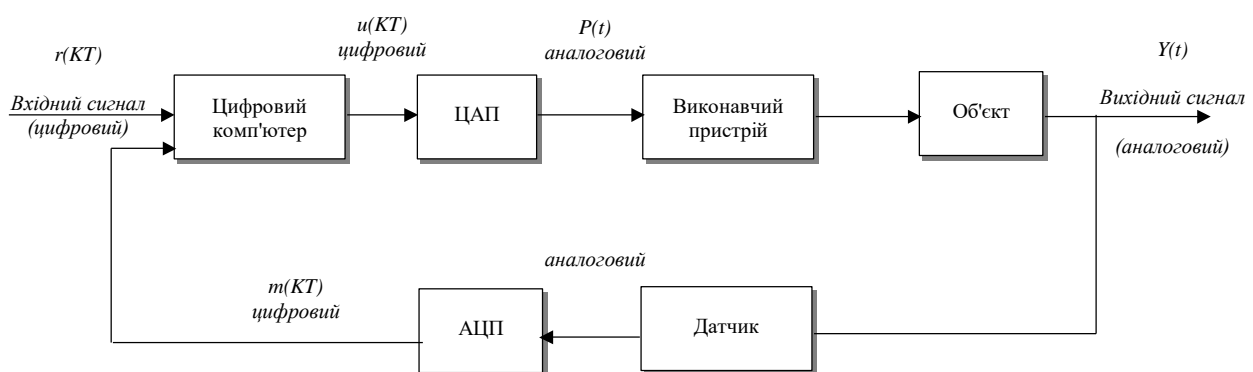


Рисунок 3.1. Функціональна схема цифрової системи керування

В системі вихідний сигнал комп'ютера (цифровий) перетворюється у неперервний за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП).

Отже, в системах керування зі зворотнім зв'язком функції регулятора або корегуючого пристрою може виконувати цифровий комп'ютер. Оскільки введення інформації в комп'ютер виконується через визначені інтервали часу,

то необхідно розробити спеціальний метод математичного опису і аналізу якості цифрової системи керування.

Цифрові системи оперують з даними, які одержують із неперервного сигналу шляхом вибору його зі значень в рівновіддалені моменти часу. В результаті цього одержану часову послідовність даних називають дискретними сигналами. Цю послідовність можливо перетворити в область змінної p і, в кінцевому рахунку, в область змінної z за допомогою співвідношення $z = e^{pT}$. Область комплексної змінної z характеризується дуже подібними властивостями до області змінної p перетворення Лапласа.

Комп'ютери, що використовуються в системах керування, з'єднуються з об'єктом і виконавчим пристроєм за допомогою перетворювача сигналу. Вихідний сигнал комп'ютера надходить на цифро-аналоговий перетворювач. Будемо вважати, що усі числа вводяться в комп'ютер і виводяться з нього з одним і тим же фіксованим періодом T , що називається періодом квантування. Якщо еталонний вхідний сигнал представляє собою послідовність дискретних значень $r(KT)$, а змінні $r(KT)$, $m(KT)$ і $iu(KT)$ є дискретними сигналами, то дані, що одержані про змінні системи лише у дискретні моменти часу і назначені як $x(KT)$, називаються квантовими даними або дискретним сигналом [7,8,17]. Оскільки вихідний сигнал ідеального квантувача $r^*(t)$ представляє собою послідовність імпульсів з амплітудою $r(KT)$, то його можливо описати виразом:

$$r^*(t) = \sum_{k=0}^{\infty} r(KT)\delta(t - KT), \quad (3.1)$$

де δ - одинична імпульсна функція (δ - функція); сигнал $r(t)$ виконується для $t > 0$.

Перетворюючи (3.1) по Лапласу одержимо:

$$L\{r^*(t)\} = \sum_{k=0}^{\infty} r(KT)e^{-KpT}. \quad (3.2)$$

Цей вираз представляє собою нескінчений ряд зі ступенем члена e^{-pT} . Введемо змінну:

$$z = e^{pT}, \quad (3.3)$$

яка виконує конформне відображення з p -площини на z -площину. Тоді ми можемо визначити нові перетворення, які назовемо z -перетворенням:

$$z\{r(t)\} = z\{r^*(t)\} = \sum_{K=0}^{\infty} r(KT)z^K. \quad (3.4)$$

В якості прикладу наведемо z -перетворення одиничної східчастої функції $\beta(t)$. Маємо:

$$z\{\beta(t)\} = \sum_{K=0}^{\infty} \beta(KT)z^{-K} = \sum_{K=0}^{\infty} z^{-K}, \quad (3.5)$$

тому що $\beta(KT) = 1$ для всіх $K \geq 0$.

Цей ряд можливо представити у замкнутій формі, використовуючи вираз для суми членів геометричної прогресії:

$$\beta(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}} = \frac{z}{z - 1}.$$

В загальному вигляді ми будемо визначати z - перетворення функції $f(t)$ як:

$$z\{f(t)\} = F(z) = \sum_{K=0}^{\infty} f(KT)z^{-K}. \quad (3.6)$$

В табл. 3.1 наведені z – перетворення, що найчастіше зустрічаються в практиці керування цифровими системами на підприємствах ХП.

Таблиця 3.1

Типові z – перетворення

$X(t)$	$X(p)$	$X(z)$
$\delta(t) = \begin{cases} 1, & t = 0 \\ 0, & t = KT, \quad K \neq 0 \end{cases}$	1	1
$\delta(t - KT) = \begin{cases} 1, & t = KT \\ 0, & t \neq KT \end{cases}$	e^{-KTp}	z^{-K}
$\beta(t)$ - одинична східчаста функція	$1/p$	$\frac{z}{z - 1}$
t	$1/p^2$	$\frac{Tz}{(z - 1)^2}$
e^{-at}	$\frac{1}{p + a}$	$\frac{z}{z - e^{-aT}}$
$1 - e^{-at}$	$\frac{1}{p(p + a)}$	$\frac{(1 - e^{-aT})z}{(z - 1)(z - e^{-aT})}$
$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$	$\frac{z \sin \omega t}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1}$
$\cos \omega t$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$	$\frac{z(z - \cos \omega T)}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1}$
$\sin \omega t e^{-at}$	$\frac{\omega}{(p + a)^2 + \omega^2}$	$\frac{ze^{-aT} \sin \omega t}{z^2 - 2ze^{-aT} \cos \omega T + e^{-2aT}}$
$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{p + a}{(p + a)^2 + \omega^2}$	$\frac{z^2 - ze^{-aT} \cos \omega t}{z^2 - 2ze^{-aT} \cos \omega T + e^{-2aT}}$

Розглянемо деякі властивості z -перетворень, які наведемо в табл.3.2.

Властивості z-перетворень

№ п/п	X(t)	X(z)
1.	KX(t)	KX(z)
2.	X ₁ (t)+X ₂ (t)	X ₁ (z)+X ₂ (z)
3.	X(t+T)	ZX(z)-zX(0)
4.	TX(t)	$-Tz \frac{dX(z)}{dz}$
5.	e ^{-aT} X(t)	X(ze ^{aT})
6.	X(0), початкові значення	$\lim_{z \rightarrow \infty} X(z)$, якщо границя існує
7.	X(∞), кінцеві значення	$\lim (z-1)X(z)$, якщо система стійка і границя існує, тобто, якщо усі полюси (z-1)(X(z)) знаходять внутрішньо одиничного кола $ z =1$ на z - площині

Для більш детального вивчення цифрових систем розглянемо принципи синтезу цифрових систем.

3.2. Принципи синтезу цифрових систем керування

На рис.3.2. представлена замкнена дискретна система робота, в якій є мікропроцесор. Об'єкт дослідження має передавальну функцію:

$$W_p(p) = \frac{K}{p(\tau p + 1)}. \quad (3.7)$$

Передавальна функція W(p) при умові, що квантування вибрано довільно, має вид:

$$W(p) = \frac{K\{(z-E)[T-\tau(z-1)] + \tau(z-1)^2\}}{(z-1)(z-E)}, \quad (3.8)$$

де $E = e^{-T/\tau}$. Запишемо характеристичне рівняння замкненої системи у вигляді:

$$W(z) = z^2 + z\{K[T-\tau(1-E)] - (1+E)\} + K[\tau(1-E) - TE] + E = 0. \quad (3.9)$$

Оскільки поліном W(z) має другий порядок, а його коефіцієнти дійсні, то для того, щоб корені знаходилися внутрі одиничного кола, необхідно і достатньо виконання наступних умов:

$$|q(0)| < 1, \quad q(1) > 0, \quad q(-1) > 0.$$

Ці умови були одержані шляхом переходу від характеристичного рівняння W(z)=0 до рівняння W(p) і перевірки коефіцієнтів поліному q(p) на позитивність. Якщо використовувати ці умови до рівняння (3.9), то ми одержимо:

$$K\tau < \frac{1 - E}{1 - E - (T/\tau)E}, \quad (3.10)$$

$$K\tau < \frac{2(1 + E)}{(T/\tau)(1 + E) - 2(1 - E)}, \quad (3.11)$$

при $K > 0$ і $T > 0$.

Для даної системи можливо обчислити максимально допустимі (із умови стійкості) значення коефіцієнтів підсилення. Відповідні результати наведені в табл.3.3 для деяких значень співвідношень T/τ . Якщо комп'ютер, що використовується в системі, має достатньо високу швидкість обчислень і оброблення даних, то можливо встановити $T/\tau = 0,1$ і одержати характеристики системи дуже близькі до відповідних характеристик неперервної системи (при відсутності квантування).

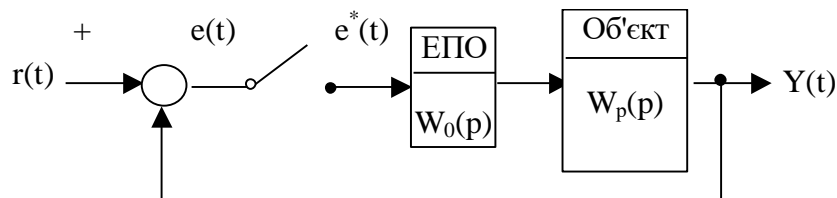


Рисунок 3.2. Замкнена мікропроцесорна система

Таблиця 3.3

Максимально допустимі коефіцієнти підсилення для дискретної системи другого порядку

T/τ	0	0,1	0,5	1	2
K/τ	∞	20,4	4,0	2,32	1,45

На рис.3.3 наведені криві, що відповідають максимальному пере регулюванню дискретної системи другого порядку при одиничному сходящому вхідному впливу.

Криві значень сталої помилки при лінійному вхідному сигналу $r(t)=t$ наведені на рис.3.3. і 3.4. Якщо задавати відношення T/τ , то ми можемо зменшити величину усталеної помилки, але при цьому система буде мати значно більше пере регулювання і час установлення у випадку східчастого вхідного сигналу.

Для покращання показників якості керування робототехнологічних систем управління процесом виробництва макаронних виробів (САК рівнем тіста, якості вихідних показників тістомісильної машини) використовують мікропроцесор (див. рис. 3.2,рис.3.5).

Замкнута система такої САК має передавальну функцію:

$$\frac{Y(z)}{R(z)} = T(z) = \frac{G(z)D(z)}{1 + G(z)D(z)}. \quad (3.12)$$

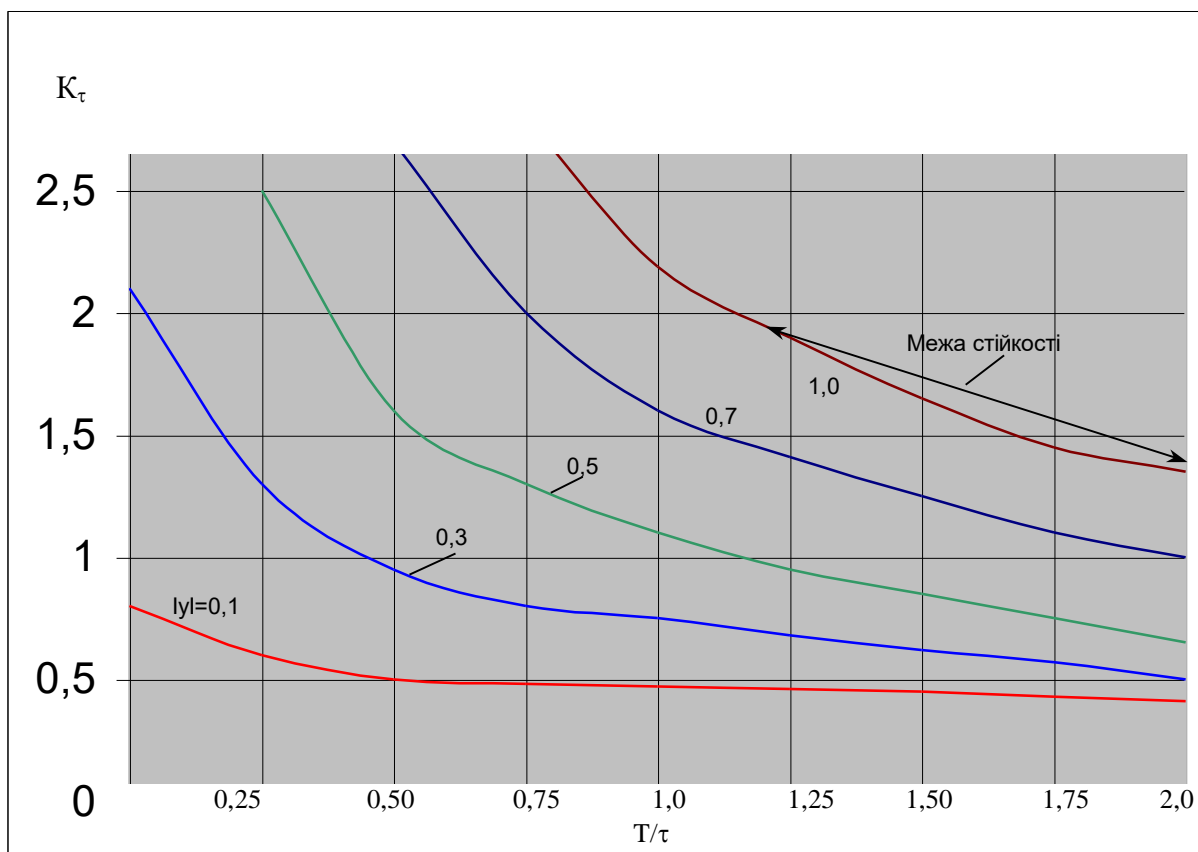


Рисунок.3.3. Максимальне перерегулювання ІуІ дискретної системи другого порядку при одиничному сходячому вхідному сигналі

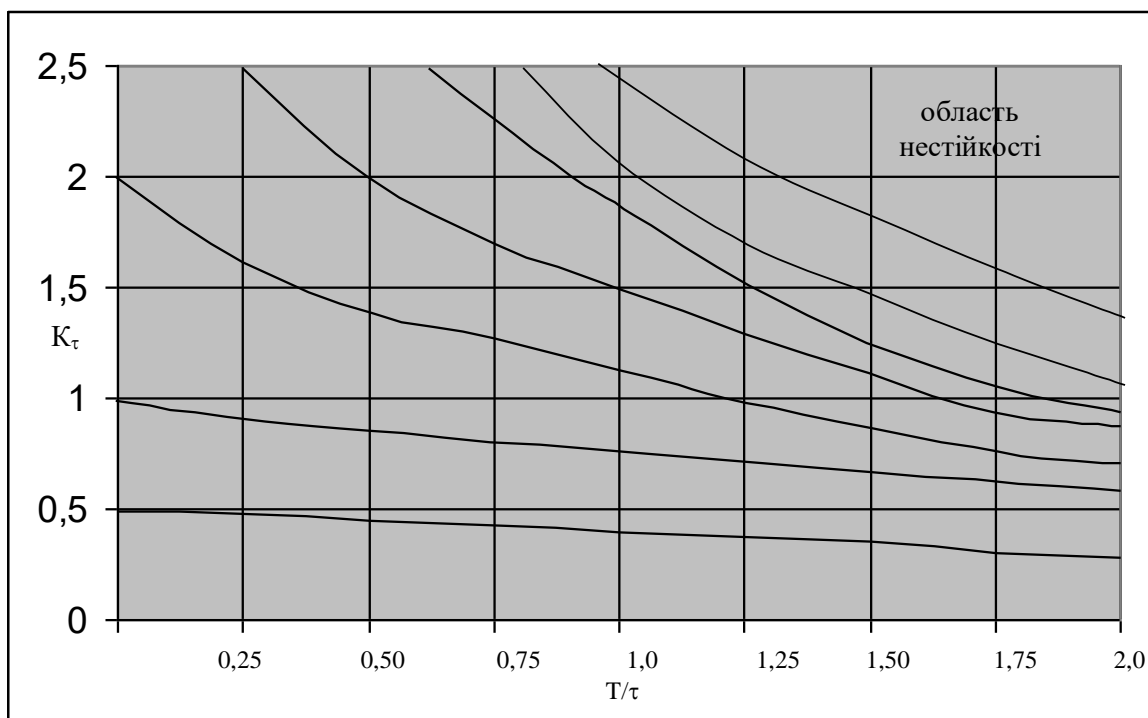


Рисунок.3.4. Криві постійних значень усталеної помилки для дискретної системи другого порядку при лінійному вхідному сигналі $r(t)=t, t>0$

Мікропроцесор представимо наступною передавальною функцією:

$$\frac{U(z)}{E(z)} = D(z). \quad (3.13)$$

Якщо $D(z)=K$, а $T=1\text{с}$, то перевагою використання комп'ютера в якості корегуючого пристрою буде очевидним, тоді:

$$G(z) = \frac{0,3678(z + 0,7189)}{(z - 1)(z - 0,3678)}. \quad (3.14)$$

Якщо вибрати:

$$D(z) = \frac{K(z - 0,3678)}{z + r}, \quad (3.15.)$$

то ми скоротимо полюс функції $G(z)$ в крапці $z=0,3678$ і тоді залишається визначити два параметри K і r . Якщо прийняти:

$$D(z) = \frac{1,359(z - 0,3678)}{z + 0,240}, \quad (3.16)$$

то тоді ми одержимо:

$$G(z)D(z) = \frac{0,50(z + 0,7189)}{(z - 1)(z + 0,240)}. \quad (3.17)$$

Обчислення реакції системи на одиничний східчастий сигнал показує, що вихідний сигнал стає рівним вхідному у четвертий момент квантування, а потім стає незмінним.

На рис.3.6 наведена реакція системи без корекції і з корекцією. Перерегулювання в скорегованій системі складає 4%, а в системі без корекції складає 45%.

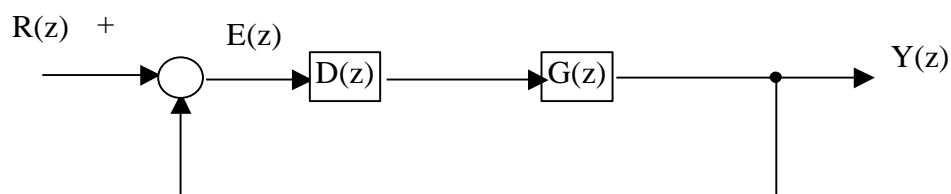


Рисунок 3.5. Замкнена система керування процесом виробництва опари

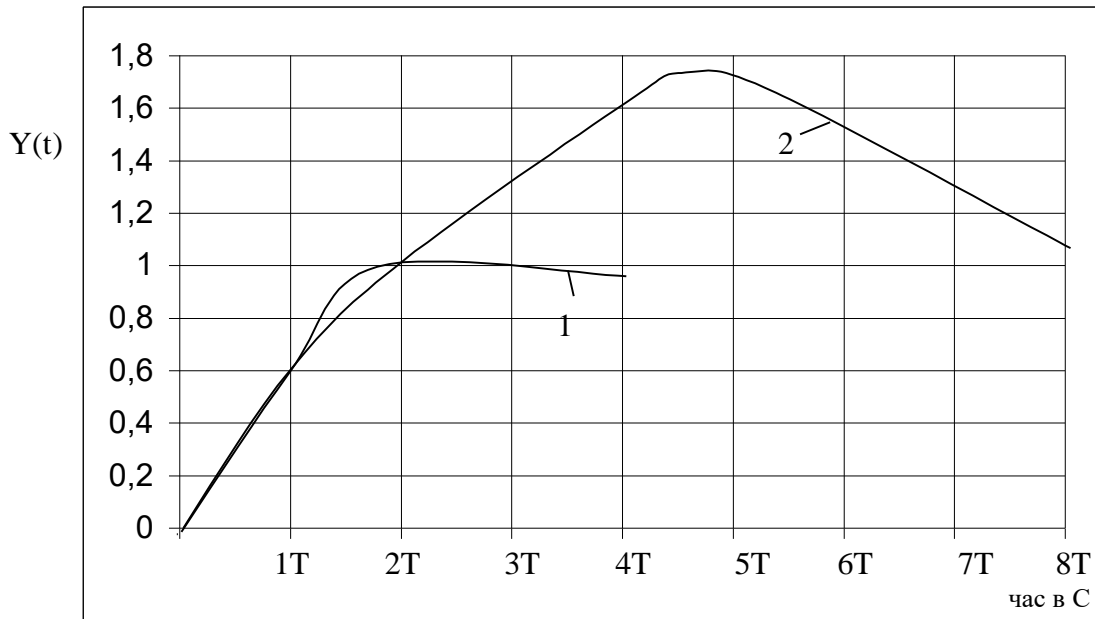


Рисунок 3.6. Перехідні характеристики мікропроцесорної системи керування процесом виробництва опари(1 – з корекцією; 2 – без корекції)

Перейдемо до реалізації цифрових регуляторів. Неперервний ПІД-регулятор запишемо у вигляді:

$$W_c(p) = K_1 + \frac{K_2}{p} + K_3 p.$$

Цифрову реалізацію цього регулятора можливо одержати, якщо використовувати дискретну апроксимацію операцій диференціювання і інтегрування. Для похідної за часом ми використовуємо правило зворотної різниці:

$$U(KT) = \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=KT} = \frac{1}{T} \{X(KT) - X[(K-1)T]\}. \quad (3.18)$$

Застосуємо до (3.18) z-перетворення і одержимо:

$$U(z) = \frac{(1 - z^{-1})}{Tz} X(z). \quad (3.19)$$

Операцію інтегрування можливо апроксимувати за допомогою формули прямокутників:

$$U(KT) = U[(K-1)T] + TX(KT), \quad (3.20)$$

де $U(KT)$ – вихід інтегратора у момент $t=KT$.

Застосуємо до (3.20) z-перетворення, одержимо:

$$U(z) = z^{-1}U(z) + TX(z), \quad (3.21)$$

звідси передавальна функція дискретного інтегратора:

$$\frac{U(z)}{X(z)} = \frac{Tz}{z-1}.$$

Таким чином, передавальна функція цифрового ПІД-регулятора має вид:

$$G_c(z) = K_1 + K_2 \frac{Tz}{z-1} + K_3 \frac{z-1}{Tz}. \quad (3.22)$$

У подальшому на основі цієї передавальної функції можливо одержати рівняння різниці, що описує алгоритм роботи цифрового ПІД-регулятора [ми використовуємо позначення $X(KT) = X(K)$]:

$$\begin{aligned} U(K) &= K_1 X(K) + K_2 [U(K-1) + TX(K)] + \frac{K_3}{T} [X(K) - X(K-1)] = \\ &= [K_1 + K_2 T + \frac{K_3}{T}] X(K) - \frac{K_3}{T} X(K-1) + K_2 U(K-1) \end{aligned} \quad (3.23)$$

Обчислення рівняння (3.23) можливо виконати за допомогою алгоритмів наведених в джерелах [2.3,7].

Таким чином, цифрові системи керування робототехнологічними комплексами, які спроектовані на базі сучасних мікропроцесорів мають ряд суттєвих переваг, а саме: виконують функції оброблення інформації та технічного зору; кращі енергетичні характеристики приводів роботів та робототехнологічних комплексів; кращі ергономічні та екологічні показники.

Тема 4. Нечітка логіка в системах керування робототехнологічними системами

4.1. Основні операції нечіткої логіки та принцип роботи нечітких систем керування

В основі теорії чітких множин лежить чітка логіка, а у випадку нечітких множин існує нечітка логіка – основа для операцій над нечіткими множинами. У випадку використання нечіткої логіки можливо створити необмежене число операцій, але на практиці використовують лише найбільш важливі із них.

Розглянемо розширення чітких логічних операцій НІ, І, АБО до нечітких операцій, ці розширення називають відповідно нечіткими запереченнями, t – нормою і s – нормою (або t - конормою).

В нечіткому просторі число станів необмежено велике, тому неможливо операцію заперечення описати у вигляді таблиць істинності, як у випадку двозначної логіки.

Нечітке заперечення – аналог чіткої операції НІ представляє собою бінарну операцію заперечення у нечіткому сенсі оцінки $[0,1]$, що дає у відповіді оцінки $[1,0]$. Типова операція нечіткого заперечення – “вирахування із 1”

$$x = 1 - x \quad \forall x \in [0,1]. \quad (4.1)$$

З точки зору нечітких множин це відповідає розумінню додаткової нечіткої множини.

Операція нечіткого заперечення (позначимо її N^o) задовольняє наступним умовам:

1. $N^o: [0,1] \rightarrow [0,1]$;
2. $N^o(0)=1, N^o(1)=0$ – граничні умови;
3. $N^o(N^o(x))=x \quad \forall x \in [0,1]$ – подвійне заперечення;
4. $x_1 < x_2 \rightarrow N^o(x_1) > N^o(x_2)$ - інвертування оцінок.

При $x=0,5$ $N^o(x)=0,5$, тобто незмінно, в цьому сенсі $0,5$ є центральним значенням і звичайно x і $N^o(x)$ приймають симетричні значення відносно $0,5$. нечітким розширенням I є t -норма. Це дійсна функція двох змінних, яка приймає значення на інтервалі $[0,1]$:

$$T: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1],$$

задовольняюча наступним умовам:

1. $x T 1 = x, x T 0 = 0 \quad \forall x \in [0,1]$ – граничні умови;
2. $x_1 T x_2 = x_2 T x_1$ – комунікативність;
3. $x_1 T (x_2 T x_3) = (x_1 T x_2) T x_3$ - асоціативність;
4. $x_1 \leq x_2 \rightarrow x_1 T x_3 \leq x_2 T x_3$ - упорядкованість.

Типовою операцією t- норми є операція min або логічне множення:

$$x_1 T x_2 = \min(x_1, x_2) = x_1 \wedge x_2. \quad (4.2)$$

Нечітке розширення АБО s-норма (називається також t- конормою). Серед умов, яким повинна задовольняти s-норма, тільки граничні умови відрізняються від випадку t-норми, останні – те ж:

1. $S: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$;
2. $xS1=1, xS0=x \quad \forall x \in [0,1]$ – граничні умови;
3. $x_1Sx_2=x_2Sx_1$ – комунікативність;
4. $x_1S(x_2Sx_3)=(x_1Sx_2)Sx_3$ – асоціативність;
5. $x_1 \leq x_2 \rightarrow x_1Sx_3 \leq x_2Sx_3$ - упорядкованість.

Типовою s-нормою є логічна сума, що визначається за допомогою операції max:

$$x_1 S x_2 = \max(x_1, x_2) = x_1 \vee x_2. \quad (4.3)$$

Відмітимо, що в чіткій логіці закон суперечливості (деяка якість і заперечення цієї якості одночасно несправедливі) і закон виключення третього (деякі якості і заперечення цієї якості охоплюють усі стан, ніякого проміжного стану немає) оперують лише з двозначними оцінками.

В нечіткій логіці, яка допускає також деякі проміжні оцінки, можливо вважати природнім те, що ці закони несправедливі, тобто не виконується закон комплементарності: $x \wedge (1-x) \geq 0$, $x \vee (1-x) \leq 1$, а усі інші якості, що правдиві у чіткій логіці, є слухними. У зв'язку з цим на практиці частіше усього використовуються наведені вище стандартні нелогічні логічні операції, а інші можливі операції – у спеціальних випадках.

Системи керування складними технологічними процесами з нечіткою логікою (СНЛ) в останні роки одержали широке розповсюдження [1,2,14,33,40,50,52]. Основна ідея, що використовує в СНЛ, полягає у використанні “досвіду експерта” (людини-диспетчера, особи, що приймає рішення (ОПР)) у розробку системи, яка керує динамічним процесом виробництва продукції. У СНЛ складні відношення між входом і виходом складних динамічних процесів описуються набором правил нечіткої логіки (IF – THEN- правил), що розуміють використання лінгвістичних змінних замість складної динамічної системи. Використання лінгвістичних змінних, правил і законів нечіткої логіки, а також наближених міркувань дозволяє вносити досвід експерта у розроблену схему керування об'єктами виробництва продукції харчування.

Досвід експерта й інженерні знання відіграють дуже значну роль на етапі вибору змінних стану і керованих змінних.

Звичайно вхідними сигналами для СНЛ є стан об'єкту, помилка обчислювання станів, похідна помилки, інтеграл від помилки і т.п. Слідуючи правилам завдання лінгвістичних змінних, вхідний вектор X і вектор вихідного стану Y , який вміщує можливі стани (або керовані сигнали) об'єкту керування, можуть бути визначені відповідні так:

$$X = \left\{ (x_i, U_i, \{T_{x_i}^1, T_{x_i}^2, \dots, T_{x_i}^{k_j}\}, \{\mu_{x_i}^1, \mu_{x_i}^2, \dots, \mu_{x_i}^{k_i}\}) \Big|_{i=1, \dots, n} \right\}, \quad (4.5)$$

$$Y = \left\{ (y_i, V_i, \{T_{y_i}^1, T_{y_i}^2, \dots, T_{y_i}^{k_j}\}, \{\mu_{y_i}^1, \mu_{y_i}^2, \dots, \mu_{y_i}^{k_i}\}) \Big|_{i=1, \dots, m} \right\}, \quad (4.6)$$

де вхідні лінгвістичні змінні x_i утворюють нечіткі множини – простір входів $U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$, а вихідні лінгвістичні змінні y_i утворюють нечіткі множини – простір виходів $V = V_1 \times V_2 \times \dots \times V_m$.

Із рівнянь (4. 5), (4. 6) слідує, що вхідна лінгвістична змінна x_i у предметній області U_j характеризується $T(x_i) = \{T_{x_i}^1, T_{x_i}^2, \dots, T_{x_i}^{k_j}\}$ і $\mu(x_i) = \{\mu_{x_i}^1, \mu_{x_i}^2, \dots, \mu_{x_i}^{k_i}\}$, де $T(x_i)$ – множина термів для x_i , тобто множина імен значень лінгвістичних змінних x_i , пов'язаних x кожним із значень. Наприклад, якщо x_1 означає швидкість підготовки цукрового буряка в технологічному процесі подрібнення, то $T(x_i) = \{T_{x_i}^1, T_{x_i}^2, \dots, T_{x_i}^{k_j}\}$ може означати {"дуже повільно", "повільно", "середньо", "швидко" і т.п.}. Аналогічно, вихідна лінгвістична змінна y_i пов'язана з множиною

$$T(y_i) = \{T_{y_i}^1, T_{y_i}^2, \dots, T_{y_i}^{k_j}\} \text{ і } \mu(y_i) = \{\mu_{y_i}^1, \mu_{y_i}^2, \dots, \mu_{y_i}^{k_i}\}. \quad (4.7)$$

Розмір (або потужність) множини термів $|T(x_i)| = K_i$ визначає число нечітких розподілень вхідного простору на підмножину u відповідності до вибраного ступеня деталізації опису об'єкту керування. На рис.4.1а. За показані три нечітких підмножини на інтервалі $\{-1,+1\}$. Випадок семи нечітких підмножин, що перетинаються представлений на рис.4. 1б.

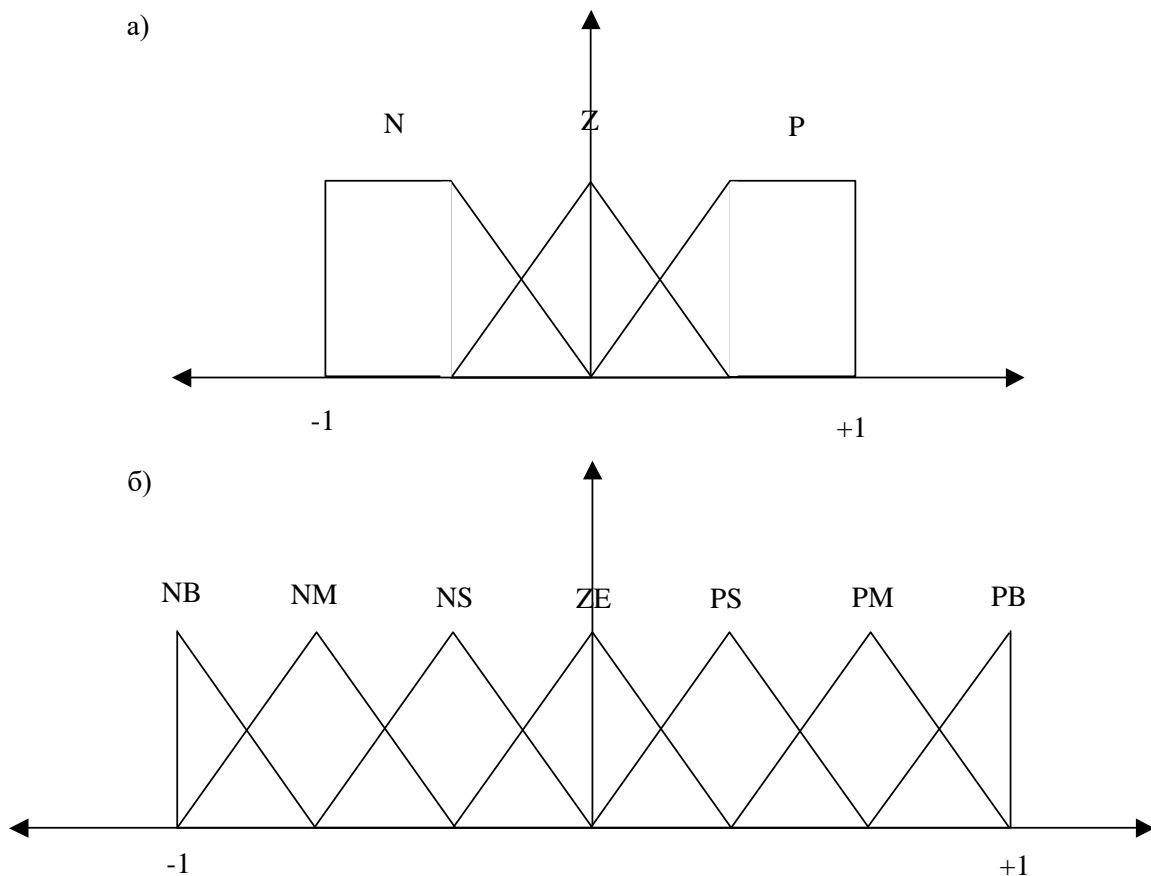


Рисунок 4.1. Графічне уявлення нечіткої декомпозиції

- а) груба нечітка декомпозиція з трьома нечіткими підмножинами N – від'ємний; Z – нуль; P – позитивний;**
б) більш детальна нечітка декомпозиція з семи компонентів: NB – від'ємний великий; NM – від'ємний середній; NS – від'ємний малий; ZE – нуль; PS – позитивний малий; PM – позитивний середній; PB – позитивний великий.

Кількість перетинів вхідної множини при рішенні визначеної задачі керування визначає максимальне число правил нечіткої логіки.

Наприклад, у випадку СНЛ з двома входами і двома виходами, якщо $|T(x_1)| = 3$, а $|T(x_2)| = 7$, то максимальне число правил нечіткої логіки буде дорівнювати $|T(x_1)| \times |T(x_2)| = 21$.

Вхідні функції належності $\mu_{x_i}^k, k = \overline{1, k_i}$ і вихідні функції належності $\mu_{y_l}^l, l = \overline{1, l_i}$, що використовуються у СНЛ, звичайно є такими параметричними функціями, як, наприклад, трикутні, трапецеїдальні і функції у формі дзвону.

Перейдемо до аналізу основної структури і принципу роботи системи нечіткої логіки. Як правило, типова структура СНЛ складається із чотирьох головних компонент: вхідний перетворювач – блок фаззифікації, блок бази правил нечіткої логіки, блок нечіткого логічного виводу і вихідний перетворювач із нечіткої змінної у чітку (блок дефаззифікації).

Фаззифікація. Блок фаззифікації виконує функцію перетворення чітких значень вхідних змінних у нечіткі.

Таке перетворення фактично є свого роду нормуванням, необхідним для переводу вимірних даних у суб'єктивні оцінки. Отже, воно може бути визначено як відображення значень змінних, що їх бачать у відповідні нечіткі.

В реальних СНЛ відображені дані звичайно є чіткими (хоча вони можуть бути зашумленими). Простий метод вхідного перетворення полягає у тому, щоб перетворити чітке значення x_0 у нечіткий сінглетон (singleton).

Це означає, що функція належності $\mu_A(x)$ буде дорівнювати 1 у точці x_0 і нулю у всіх останніх точках.

В даному випадку всяке конкретне значення $x_i(t)$ в момент часу t відображається на нечітку множину $T_{x_i}^1$ зі значенням $\mu_{x_i}^1(x_i(t))$, а на нечітку множину $T_{x_i}^2$ ці значення $\mu_{x_i}^2(x_i(t))$ і т.п.

Цей метод широко розповсюджений у реальних СНЛ тому, що він суттєво полегшує процес побудови нечітких міркувань. У більш складних випадках, коли відображені дані надходять змішано із випадковими шумами, блок фаззифікації повинен перетворювати ймовірні дані у нечіткі числа. Для цього повинно бути визначено взаємооднозначні перетворення, яке трансформує ймовірні значення у можливе за рахунок використання концепції ступені необхідності.

База правил нечіткої логіки. Правила нечіткої логіки зображені набором нечітких “IF – THEN” конструкцій, в яких передумови і висновки розуміють використання лінгвістичних змінних. Цей набір керуючих правил нечіткої логіки (або нечітких управляючих тверджень) характеризує зв'язок входу системи з її виходом.

Загальна форма зображення правил нечіткої логіки для випадку СНЛ з множиною входів і одним виходом (MISO – multi-input-single-output) така:

$$R^i: \text{IF } x \text{ із } A_i, \dots, \text{ AND } y \text{ із } B, \text{ THEN } Z=C_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4. 8)$$

де x_1, x_2, \dots, y – лінгвістичні змінні, які представляють змінні стани деякого управлінського процесу і управлінські змінні відповідно, а A_i, \dots, B, C_i – лінгвістичні значення змінних x_1, \dots, y у предметних областях U, \dots, V, W .

У варіанті іншої форми зображення правил нечіткої логіки розуміють, що заключення представляється як функція змінних стану керованого процесу x, \dots , у тобто

$$R^i: \text{IF } x \text{ із } A_j, \dots, \text{ AND } y \text{ із } B_i, \text{ THEN } Z=f(x, \dots, y), \quad i = \overline{1, N}, \quad (4. 9)$$

де $f_1(x, \dots, y)$ – функція змінних x, \dots, y стану керованого процесу.

Нечіткі правила в рівняннях (4. 8), (4. 9) обчислюють стан процесів (помилку визначення стану, інтегральну помилку станів і т.п. у момент часу t ,

потім розраховують і приймають рішення про керовані впливи, що реалізуються у вигляді функцій змінних стану процесу (x, \dots, y) .

Блок виводу. Блок виводу представляє собою ядро СНЛ, яке використовується для моделювання наближених роздумів і процесу прийняття рішень людиною в складних ситуаціях. Нечіткі виводи, нечіткі або наближені міркування – це найбільш важливі моменти при використанні засобів нечіткої логіки в управлінні складними технологічними процесами.

Для організації нечітких множин необхідно визначити поняття відношення. Припустимо, що знання експерта $A \rightarrow B$ відбиває нечіткі причинні відношення передумови і заключення, яке називається нечітким R :

$$R = A \rightarrow B. \quad (4.10)$$

Саме усі реально працюючі прикладні системи, що використовують проміжні нечіткі оцінки, це системи, основані на нечітких продукційних правилах. При виконанні нечітких виводів використовують нечіткі відношення R , що задані між однією зоною (множина X) і іншою зоною (множина Y) і у вигляді нечіткої підмножини прямого сполучення $X \times Y$, яке визначається по наступній формулі:

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \{(\mu_R(x_i, y_j) | (x_i, y_j))\}, \quad (4.11)$$

де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – зона посилянь;

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – зона заключень;

$\mu_R(x_i, y_j)$ – функція належності (x_i, y_j) нечіткому відношенню R : $\mu_R(x_i, y_j) \in [0, 1]$, а знак Σ означає сукупність (об'єднання) множин. Для продукційних правил типу “IF THEN B”, використовуючи нечіткі множини $A (A \subset X)$ і $B (B \subset X)$, один із способів побудови нечіткої відповідності R полягає у наступному:

$$R = A \times B = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \{(\mu_A(x_i) \wedge \mu_B(y_j) | (x_i, y_j))\}, \quad (4.12)$$

або

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)), \quad (4.13)$$

де $\mu_A(x), \mu_B(y)$ – функції належності елементів x, y відповідно множинам A і B . Для згортки (композиції) нечітких відношень частіше вибирається згортка \max - \min (максимінна композиція). Нехай R – нечітке відношення множини X і множини Y , а S – нечітке відношення множини Y і множини V . Тоді нечітке співвідношення між X і V визначається як згортка (композиція) $R \circ S$, де

$$R \circ S = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1, y_j \in Y}^i \vee (\mu_R(x_i, y_j) \wedge \mu_S(y_j, v_k) | (x_i, v_k)), \quad (4.14)$$

або

$$R \circ S = \max_{(x_i, v_k)} \min_{y_j \in Y} (\mu_R(x_i, y_j), \mu_g(y_j, v_k)) \quad (4.15)$$

R можемо розглянути як нечітку множину на декартовому сполученні $X \times Y$ повного простору передумов X і повного простору висновків Y .

Таким чином, процес одержання (нечіткого) результату виводу B' з використанням даних спостережень A' і знання $A \rightarrow B$ можливо представити у вигляді формул

$$B' = A' \circ R = A' \circ (A \rightarrow B). \quad (4.16)$$

Для використання в нечітких міркуваннях в СНЛ узагальнених висновків, які можуть бути записані наступним чином:

Умова 1: IF x із A THEN y із B

$$\text{Умова 2: } x \text{ із } A' \quad (4.17)$$

Вивід: y із B' ,

де A, A', B, B' - нечіткі предикати (нечіткі множини або відношення) в універсальних множинах U, U, V, V відповідно.

В загальному випадку, правило керування нечіткої логіки (тобто умова 1 в рівнянні (4.16) є нечітким відношенням, яке записано у вигляді нечіткої імплікації $R = (A \rightarrow B)$.

У відповідності з композиційним правилом виводу із рівняння (4.16) вивід B' може бути одержаним при взятті нечіткої композиції нечіткої множини A' і нечіткого співвідношення (у даному випадку це нечітке співвідношення є нечіткою імплікацією) $A \rightarrow B$:

$$B' = A' \circ R = A' \circ (A \rightarrow B). \quad (4.18)$$

Крім нечіткої композиції і нечіткої імплікації існують інші типи композиційних операторів, які можуть бути використані в композиційному правилу виводу. До цих операторів відносяться оператори, пов'язані з t -нормами: операція мінімуму Заде, операція добутку Кауфмана, операція граничного добутку і т. ін. В СНЛ, що застосовуються в системах керування виробництвом продуктів харчування високої якості, композиційні оператори мінімуму і добутку використанні найбільш широко із-за їх обчислювальної простоти і ефективності.

Якщо забезпечити через $\langle * \rangle$ будь-який із можливих композиційних операторів, рівняння (4.17) приймає вигляд:

$$B' = A' * R = A' * (A \rightarrow B).$$

$$\mu_{B'}(v) = \sup_u \{ \mu_{A'}(u) \mu_{A \rightarrow B}(u, v) \}, \quad (4.19)$$

де $\langle * \rangle$ означає такі операції t -нормування, як операції мінімуму, добутку, обмеженого добутку і радикального добутку.

Якщо детально розглянути нечітку імплікацію типа $A \rightarrow B$, то існує близько 40 різних функцій нечіткої імплікації, які наведені в табл.4.1.

Перші чотири нечіткі імплікації наведені в таблиці є t-нормами.

Наприклад, нечітка імплікація мінімуму Мандані одержується, якщо в нечіткій кон'юнкції використовувати оператор межування, а операція добутку Арсена одержується, якщо у нечіткій кон'юнкції використовувати алгебраїчний добуток.

Арифметичне правило Заде здобує при використанні оператора обмеження суми, правило мінімуму Заде – операторів перехрестя і об'єднання.

Решта правил нечіткої імплікації із таблиці 4.1 можуть бути одержані за рахунок використання різних визначень нечітких імплікацій.

Таблиця 4.1

Правила нечіткої імплікації

Правило нечіткої імплікації	Формула імплікації	Нечіткі імплікація $\mu_{A \rightarrow B}(u, v)$
Правило min (Мандані)	$x \rightarrow y = x \wedge y$	$\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)$
Логічний добуток (Ларсен)	$x \rightarrow y = x \cdot y$	$\mu_A(u) \cdot \mu_B(v)$
Граничний добуток	$x \rightarrow y = 0 \vee (x + y - 1)$	$0 \vee [\mu_A(u) + \mu_B(v) - 1]$
Драстичний добуток	$x \rightarrow y = \begin{cases} x, & \text{якщо } y = 1 \\ y, & \text{якщо } x = 1 \\ 0 & \text{якщо } x, y < 1 \end{cases}$	$\begin{cases} \mu_A(u), \mu_B(v) = 1 \\ \mu_B(v), \mu_A(u) = 1 \\ 0, \mu_A(u), \mu_B(v) < 1 \end{cases}$
Арифметичне правило Заде	$x \rightarrow y = 1 \wedge (1 - x + y)$	$1 \wedge (1 - \mu_A(u) + \mu_B(v))$
Мах-min правило Заде	$x \rightarrow y = (x \wedge y) \vee (1 - x)$	$\mu_A(u) \wedge \mu_B(v) \vee (1 - \mu_A(u))$
Правило Шарпа	$x \rightarrow y = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \leq y \\ 0 & \text{якщо } x > y \end{cases}$	$\begin{cases} 1, \mu_A(u) \leq \mu_B(v) \\ 0, \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$
Правило Буля	$x \rightarrow y = (1 - x) \vee y$	$(1 - \mu_A(u)) \vee \mu_B(v)$
Правило Геделя	$x \rightarrow y = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \leq y \\ y & \text{якщо } x > y \end{cases}$	$\begin{cases} 1, \mu_A(u) \leq \mu_B(v) \\ \mu_B(v), \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$
Правило Гогена	$x \rightarrow y = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \leq y \\ y/x & \text{якщо } x > y \end{cases}$	$\begin{cases} 1, \mu_A(u) \leq \mu_B(v) \\ \frac{\mu_B(v)}{\mu_A(u)}, \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$

Модель прийняття рішень на основі композиційного правила виведення описує зв'язок усіх можливих станів складної системи з управлінськими рішеннями. Формально модель задається у вигляді трійки (X, R, Y) , де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – базові множини, на яких задані входи A_j і виходи B_j системи, R – нечітка відповідність “вхід-вихід”. Відповідність R будується на основі мовної кількісної інформації, яка представляється спеціалістами-експертами шляхом безпосередньої формалізації їх нечітких стратегій.

Експерти описують особливості прийняття рішень при функціонуванні складної системи у вигляді ряду висловлювань типу:

IF A_1 , THEN B_1 , ELSE IF A_2 , THEN $B_2, \dots, \text{ELSE IF } A_N \text{ THEN } B_N$;

тут $A_1, A_2, A_3, \dots, A_N$ – нечіткі підмножини, визначені на базовій множині X , а B_1, B_2, \dots, B_N – нечіткі підмножини із базової множини Y . Усі ці нечіткі підмножини задаються функціями належності $\mu_{A_i}(\delta) \quad \text{и} \quad \mu_{B_i}(y)$.

Правило “IF A_i THEN B_i ” визначається функцією належності $\mu_{R=A \rightarrow B}(x, y)$. Зв'язку “ІНАКШЕ” між правилами розуміють як АБО – зв'язка, оскільки загальне нечітке відношення складається із Правило 1, АБО правило 2, АБО, ..., АБО правило N . Тому загальне відношення R формально визначається наступним чином:

$$R = \bigcup_i R_i = \max_i [\min(\mu_{A_i}(\delta), \mu_{B_i}(y))], i = \overline{1, N}. \quad (4.20)$$

Якщо припустити, що ми маємо нечітку подію A' , тобто вхідну ситуацію, що зображена нечіткою підмножиною, і відомо загальне відношення R , тоді результуюча дія виводиться по композиційному правилу виводу: $B' = A' \cdot R$.

Значення функції належності для B' обчислюється за рахунок максимінної операції:

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= \bigvee_{x \in X} (\mu_{A'}(x) \wedge \mu_R(x, y)) = \bigvee_{x \in X} (\mu_{A'}(x) \wedge \mu_{A'}(x) \wedge \mu_B(y)) = \\ &= (\bigvee_{x \in X} (\mu_{A'}(x) \wedge \mu_{A'}(x))) \wedge \mu_B(y) = \bigvee_{x \in X} \mu_{A' \cap A}(x) \wedge \mu_B(y) = a \wedge \mu_x(y) = \\ &= \mu_{aY \cap B}(y). \end{aligned} \quad (4.21)$$

Рівняння (4.21) найбільш чітко використовуються в нечітких системах виводу, оскільки на основі цих рівнянь при відомих функціях належності кінцеві результати обчислюються дуже просто. Крім того, забезпечується графічна інтерпретація механізму нечіткого виводу. Розглянемо найбільш важливі модифікації нечіткого виводу. Для спрощення припустимо, що у базі даних маємо два правила, представлені у вигляді

R_1 : IF x is A_1 AND y is B_1 THEN z is C_1 ,

R_2 : IF x is A_2 AND y is B_2 THEN z is C_2 ,

де x, y – імена вхідних змінних, z – ім'я вихідної змінної; $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2$ – визначені функції належності.

Необхідно знайти чітке значення змінної z_0 на основі значень x_0, y_0 , що задані.

Рівень істинності для першого (R_1) і другого (R_2) правила можуть бути виражені як:

$$a_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \text{ і } a_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0), \quad (4.22)$$

де $\mu_{A_1}(x_0)$ і $\mu_{B_1}(y_0)$ визначають ступінь відповідності між корисними вимогами і даними, що задаються у правилі.

Нечіткий вивід по Мамдані. В цьому варіанті нечіткого виводу використовуються операції взяття мінімуму у якості нечіткої імплікації (рис.4.2).

Тоді кожне i -те правило приведе до наступного рішення:

$$\mu_{C_i}(z) = a_i \wedge \mu_{C_i}(z).$$

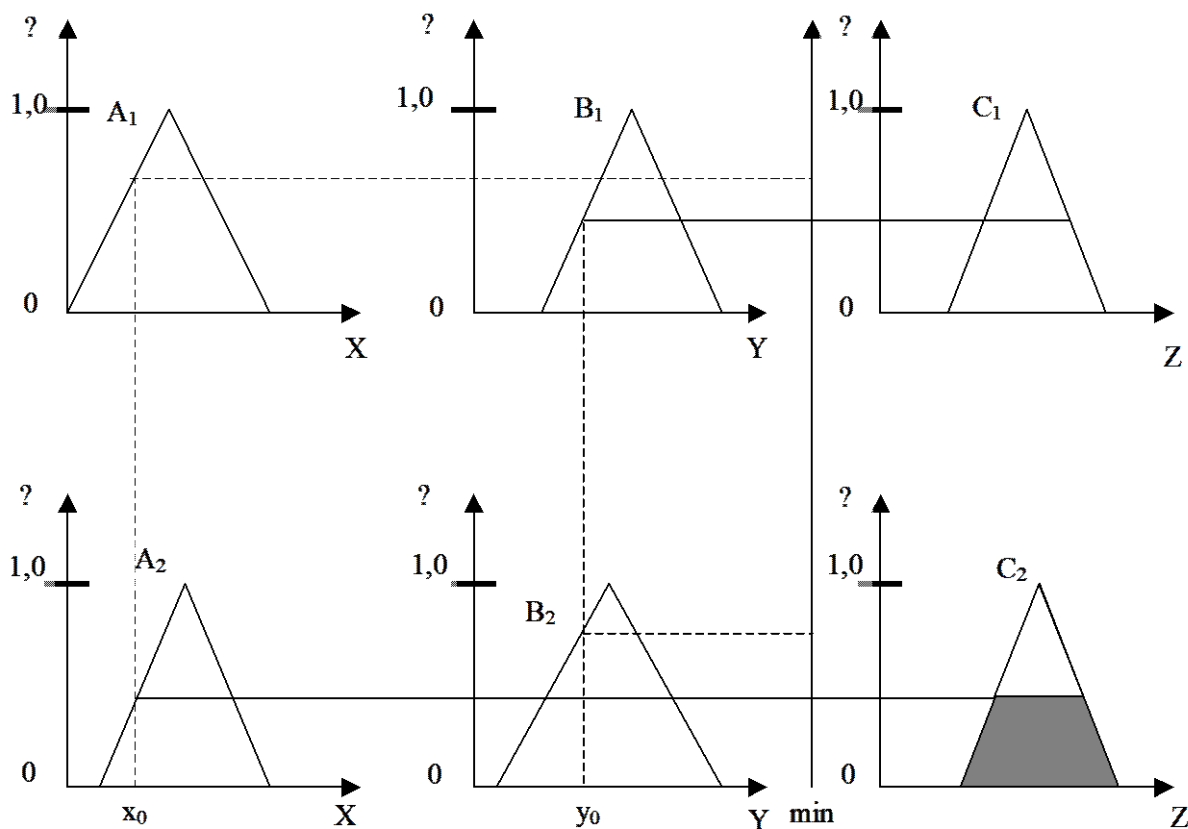


Рисунок 4.2. Діаграма нечіткого виводу по Мамдані

На наступному етапі виконується операція взяття максимуму і у результаті чого одержуємо сумарний висновок (рис.4.3).

$$\mu_c(z) = \mu_{C_1} \vee \mu_{C_2} = [a_1 \wedge \mu_{C_1}(z)] \vee [a_2 \wedge \mu_{C_2}(z)]. \quad (4.23)$$

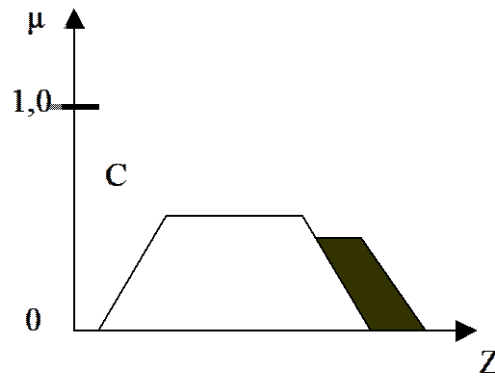


Рисунок 4. 3. Ілюстрація одержання сумарного результату нечіткого виводу по Мамдані

Нечіткий вихід по Ларсену. В якості операції нечіткої імплікації в цьому варіанті нечіткого виводу використовують операцію добутку (рис.4. 4).

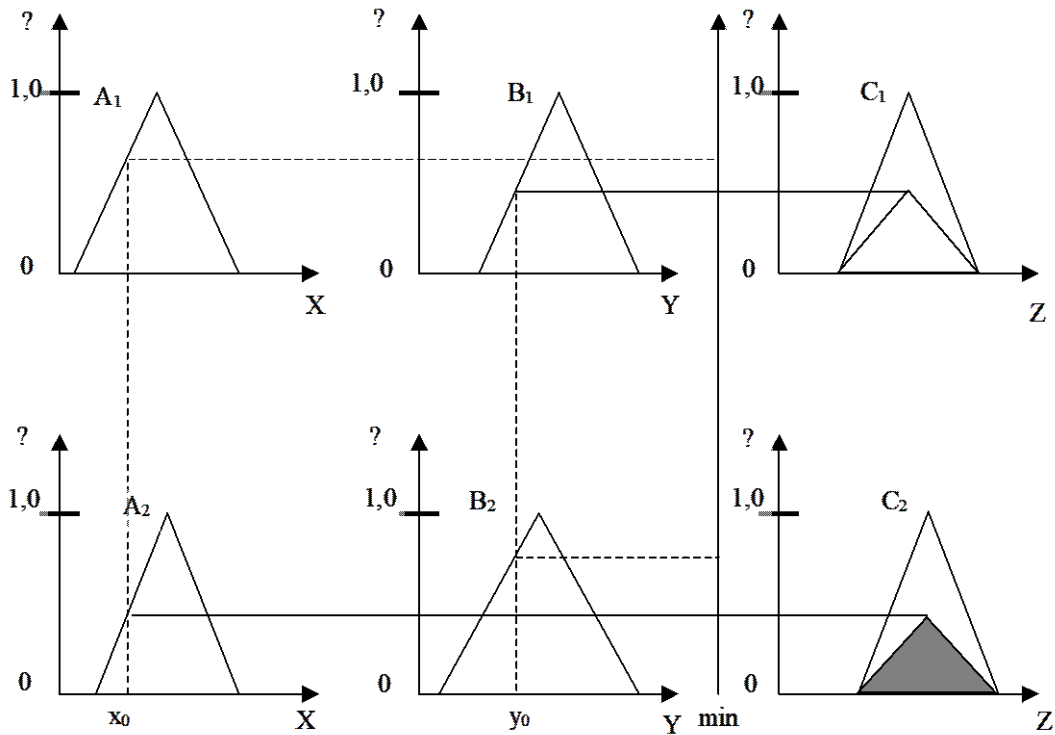


Рисунок 4.4. Діаграма нечіткого виводу по Ларсену

В цьому випадку одержуємо наступне рішення:

$$\mu_{C_1} \cdot (z) = a_1 \mu_{C_1} (z).$$

На заключному етапі функція належності μ_i визначається шляхом об'єднання нечітких підмножин (рис.4.5).

$$\mu_C(z) = \mu_{C_1} \vee \mu_{C_2} = [a_1 \wedge \mu_{C_1}(z)] \vee [a_2 \wedge \mu_{C_2}(z)]. \quad (4.24)$$

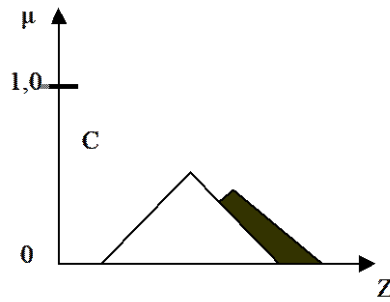


Рисунок 4.5. Ілюстрація одержання сумарного результату нечіткого виводу по Ларсену.

Нечіткий вивід по Цукамото. Це спрощений нечіткий вивід, що базується на класичному композиційному виводу, але в цьому випадку потрібно звернути увагу на монотонність функції C_i .

В цьому випадку μ_{C_i} повинна бути такою монотонною функцією, що існує її зворотна функція $\mu^{-1}_{C_i}$. Результати виводу із першого і другого правил (рис.4.6) представлені так

$$z_1 = \mu^{-1}_{C_1}(a_1) \text{ і } z_2 = \mu^{-1}_{C_2}(a_2). \quad (4.25)$$

Відповідно чітке значення вихідної змінної одержуємо як вагову комбінацію

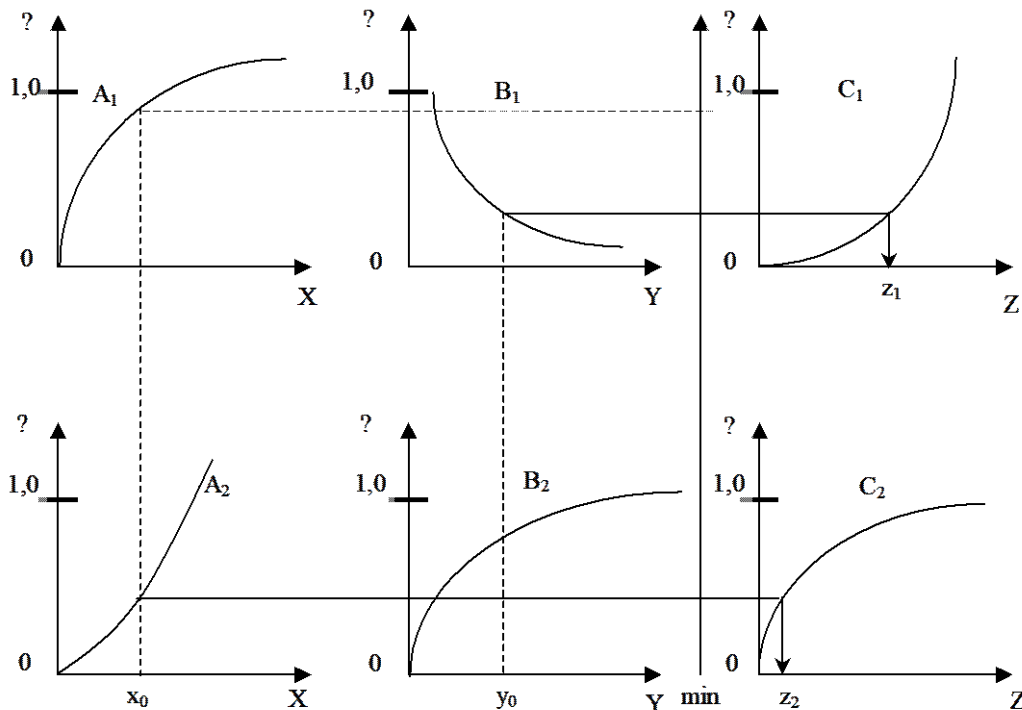


Рисунок 4.6. Діаграма процедури нечіткого виводу по Цукамото

$$z_0 = \frac{a_1 z_1 + a_2 z_2}{a_1 + a_2}. \quad (4.26)$$

Перейдемо до вивчення операції дефазифікації.

Під дефаззифікацією розуміють процедуру перетворення нечітких величин, одержаних у результаті нечіткого виведення, в чіткі. Ця процедура є необхідною у тих випадках, коли буде потрібна інтерпретація нечіткого виведення конкретними чіткими величинами, тобто коли на основі функції належності $\mu_c(z)$ виникає потреба визначити для кожної точки у Z числовими значеннями. На сьогоднішній день відсутня системна процедура вибору стратегії дефаззифікації. На практиці чітко виконують два найбільш загальних методи: метод центра ваги (ЦТ - центральний), метод максимуму (ММ).

Для дискретного простору в центральному методі формула для обчислення чіткого значення вихідної змінної зображена у наступному вигляді:

$$z_{\text{ЦТ}} = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_c(z_j) z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_c(z_j)}. \quad (4.27)$$

В загальному випадку

$$z_{\text{ЦТ}} = \frac{\int \mu_c(z) z dz}{\int \mu_c(z) dz}. \quad (4.28)$$

Стратегія дефаззифікації ММ обумовлює підрахунок усіх тих z , чиї функції належності досягли максимального значення. В цьому випадку (для дискретного варіанту) одержуємо

$$z_{\text{ММ}} = \sum_{j=1}^m \frac{z_j}{m}, \quad (4.29)$$

де z_j – вихідна змінна, для якої функція належності досягла максимуму; m – число таких величин.

Із тих двох найбільш частіше використовують стратегію дефаззифікації, стратегія ММ дає кращі результати для перехідного режиму, а ЦТ – у встановлених режимах за рахунок зменшеної середньоквадратичної помилки.

4.2. Нечіткі регулятори в системі керування робототехнологічними комплексами

Нечіткі або фаззі системи мехатронного керування (СМК) знаходять зараз широке використання, у тому числі в якості СМК стабілізації вихідних змінних у виробничих процесах харчових технологій.. Вони можуть бути використані і як СМК стабілізації і оптимізації технологічних процесів виробництва продукції високої якості.. При цьому фаззі-СМК мають ряд важливих переваг [1,2,3,14,36] щодо типових СМК з ПД – регуляторами.

Якщо складні процеси виробництва продуктів здорового харчування віднести до квазінеелінійних, то при керуванні ними кращі результати одержують тоді, коли проєктанти САК використовують фаззі-СМК [13,36]. Технологічні процеси, наприклад, на хлібозаводах такі, як підготовка борошна, виробництва опари- тіста, його випікання та охолодження уявляють собою складні квазінеелінійні об'єкти керування. Їх ідентифікація та роботизація – предмет сучасних наукових досліджень, вимагає значних інвестицій щодо створення математичних моделей їх досліджень, доведення СМК до виробництва. Для таких підприємствах у процесі робототехнологічного керування необхідно постійно проводити моніторинг сили борошна і постійного прогнозування зміни робочих характеристик тіста. Такі довготермінові збудження повинні бути враховані при проєктуванні фаззі – СМК і які повинні адаптуватися в темпі з процесом надходження сировини на подрібнення. На рис.4.7. наведена типова блок-схема адаптивної фаззі-системи стабілізації густини опари зливу опарного апарату.

Адаптація виникає при тривалих і значних змінних збуреннях характеристик борошна та дріжджів у порівнянні з їх стандартними значеннями, що потрібно враховувати при розрахунку САК. Основний блок фаззі-керування (БФК) адаптивної САК з пристроями керування (ПК) і фаззі-регулятором (фаззі-ПД алгоритм керування).

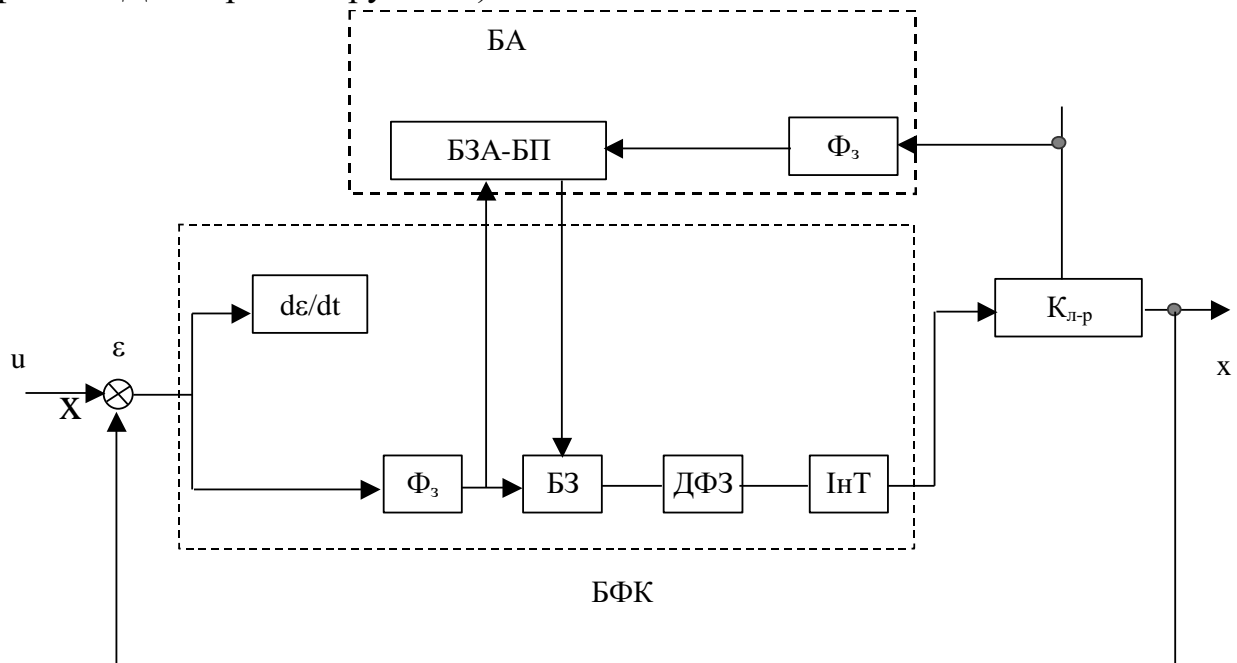


Рисунок 4.7. Блок-схема адаптивної фаззі-системи стабілізації густини опари

БФК – блок фаззі-керування адаптивної САК;

Φ_3 – фаззіфікатор, БЗ – база знань; ДФЗ – дефаззіфікатор, ІнТ – інтегратор, БПЛ – база правил логічних, $K_{л-р}$ – класифікатор - об'єкт керування (ОК), БА – блок адаптації

Блок фаззі-керування складається із фаззіфікатора (ФЗ), бази знань (БЗ) і дефаззіфікатора (ДФЗ).

На вхід ФЗ основного каналу САК (див. рис. 4.9.) подаються сигнали помилки ε , при цьому $\varepsilon=u-x$ і її похідної $d\varepsilon/dt\varepsilon(\varepsilon=\varepsilon(t))$, $x(x=x(t))$, $y(y=y(t))$ є функціями часу (тут і в подальшому аргумент t опущений). Диференціатор $d\varepsilon/dt$ є практично обов'язковим на вході фаззі-ПК, так як похідна в часі вхідної змінної, як правило, існує у так названих декларативних логічних правил БЗ. Інтегратор (ІнТ на рис.4.7.) доданий для введення інтегральної складової при проектуванні ПД-фаззі-алгоритмів. В нашій схемі ПД-фаззірегулятор встановлений паралельно основному каналу фаззі-САК,

У ФЗ вхідні змінні перетворюються у терм-множину, які зображені, як правило, у вигляді функцій належності (ФН). Наприклад, змінна помилки ε відображенням (ФН μ_ε , її похідна $\varepsilon' = d\varepsilon/dt$ - відповідно ФН μ'_ε і т.п. ФЗ блоку адаптації (БА) перетворює сигнали від сенсорів збурень – елементів вектору \bar{f} . Наприклад, \bar{f}_1 - густина опари, тобто параметри, що характеризують відсоток борошна в гетерогенному середовищі; f_2 - важлива ознака, що характеризує запах опари і т.п.

Вектор \bar{f} повинен враховувати і інші параметри ОК (механічні, енергетичні та ін.). Вхідні сигнали тієї частини БЗ, яка виконує в САК функції адаптації (БЗА) і бази правил БП також складаються із змінних збурень і їх похідних.

Усі ФН, як правило, геометрично можуть бути зображені у лінійаризованому вигляді у формі трикутників, трапецій або сінглетонів [1,2,3]. База знань (БЗ), база знань адаптації (БЗА) і база правил (БП) складається із логічних правил Якщо ..., то..., розроблених експертами. Експертні правила зображені у вербальній (словесній) формі у вигляді термів терм-множин. На практиці терм-множини складаються не більше ніж із семи-десяти термів. Для зображення ФН терм-множин САК стабілізації густини опари, як правило, використовується шкала змінної з нулем посередині [1,13].

“Стандартний” набір термів у БЗ, наприклад, для нашого випадку має три позитивних і три від'ємних терма: (зліва направо) від'ємні: великий (ВВ), середній (ВС), малий (ВМ), в подальшому біля нуля (Н) і три позитивних: малий (ПМ), середній (ПС), великий (ПВ). У БЗІ крім ФН з індексами $\varepsilon, \varepsilon'$

приймають участь також ФН з індексами змінних елементів вектора збурень $\mu f_1, \mu f_2, \dots$, або $\mu f'_1, \mu f'_2 \dots$

Значення термів терм-множин, що надходять від ФЗ записуються в частину ЯКЩО логічних правил ЯКЩО...То. У частині ТО може фігурувати лише один терм ФН μ_y , який часто зображують у формі синглетонів. У БЗ (включаючи БЗА) є також так звані процедурні логістичні правила [1,2]. Ці правила створені експертами, що приймають участь в програмуванні контролерів, які проєктанти використовують в якості апаратних засобів ПУ фаззі-САК.

Процедурні правила працюють при змінних режимах дії фаззі-СМК і можуть мати в частині ЯКЩО такі умови, на основі яких в частині ТО буде, наприклад, сгенерована команда заміни одних правил і БЗ іншими, частково із БЗА. Блок БА включається в роботу при значних і тривалих змінах збурень. Для цього у БЗА необхідно контролювати час дії нерегламентованих збурень і визначати “критичні” проміжки часу для кожного збурення. Необхідність включення блока адаптації перевіряється по значенням (у динаміці) сигналів X і ε . Перед дією керування проводиться аналіз усіх збурень, тобто фактично аналіз впливу на СМК середовищі. Це відрізняє адаптивну фаззі-СМК від комбінованих фаззі-СМК, які мають у своєму складі безперервно діючі фаззі-компенсатори [14,15,16].

На рис.4.8. зображені графіки ФН μ_ε , які розділені на 7 термів і які лінеаризовані у вигляді трикутників.

Конфігурація трикутників вибрана таким чином, щоб статична характеристика ПК САК забезпечувала високі значення коефіцієнту підсилення K в області стабілізує мого (заданого) значення u по відношенню до інших значень ε . Таким же по формі і кількості виконується ФН μ_ε (графік кривих наведено). Терм-множину ФН μ_y (рис.4.10.) наведено у формі синглетонів і має 9 термів. Додатково добавлені “спеціальні” терми ВДВ – від’ємний дуже великий і ПДВ – позитивний дуже великий, які збільшують вихідний сигнал – керовану величину Y в режимі адаптації фаззі-САК. За нуль (близько нуля) прийняте значення сигналу керування u, що відповідає завданню $x=u$, $\varepsilon=0$. коефіцієнт підсилення ПК фаззі-САК можливо розрахувати, використовуючи методику наведену в [1].

У дискретній формі для статичного режиму дослідного фаззі-САК (рис.4.9) при визначеній апроксимації можливо записати

$$Y_K = K_{\text{о} \hat{\varepsilon}} \cdot \varepsilon_K, \quad (4.40)$$

де $K=1/\Delta t$, Δt – постійна дискредитації, $K=1,2,3 \dots$

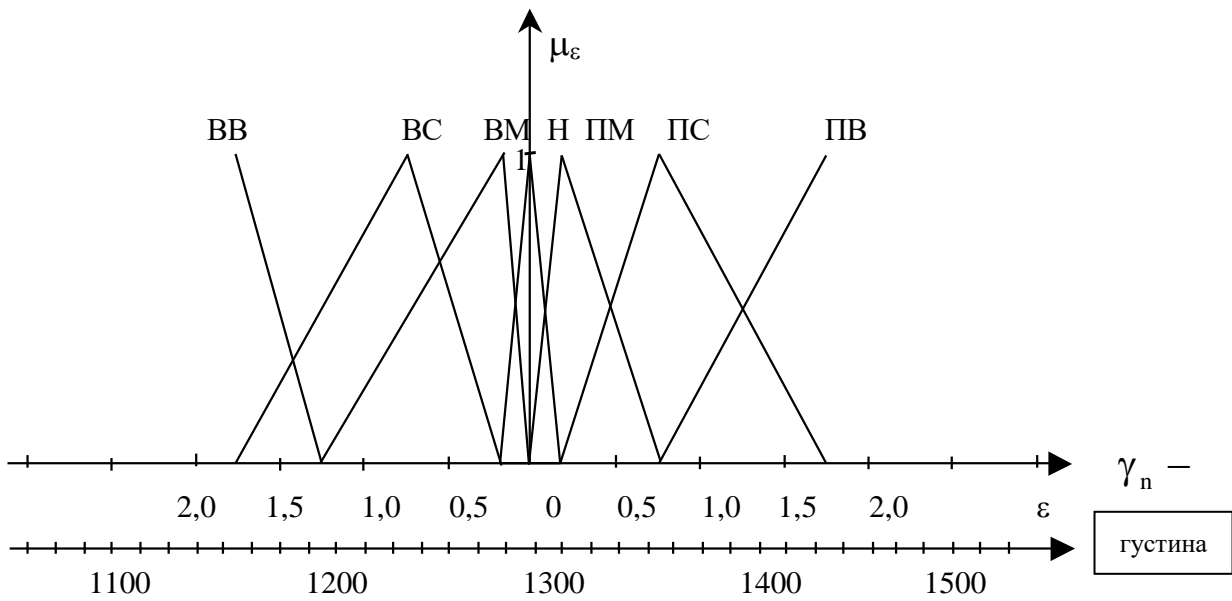


Рисунок 4.8. Функція належності μ_ε помилки керування ε

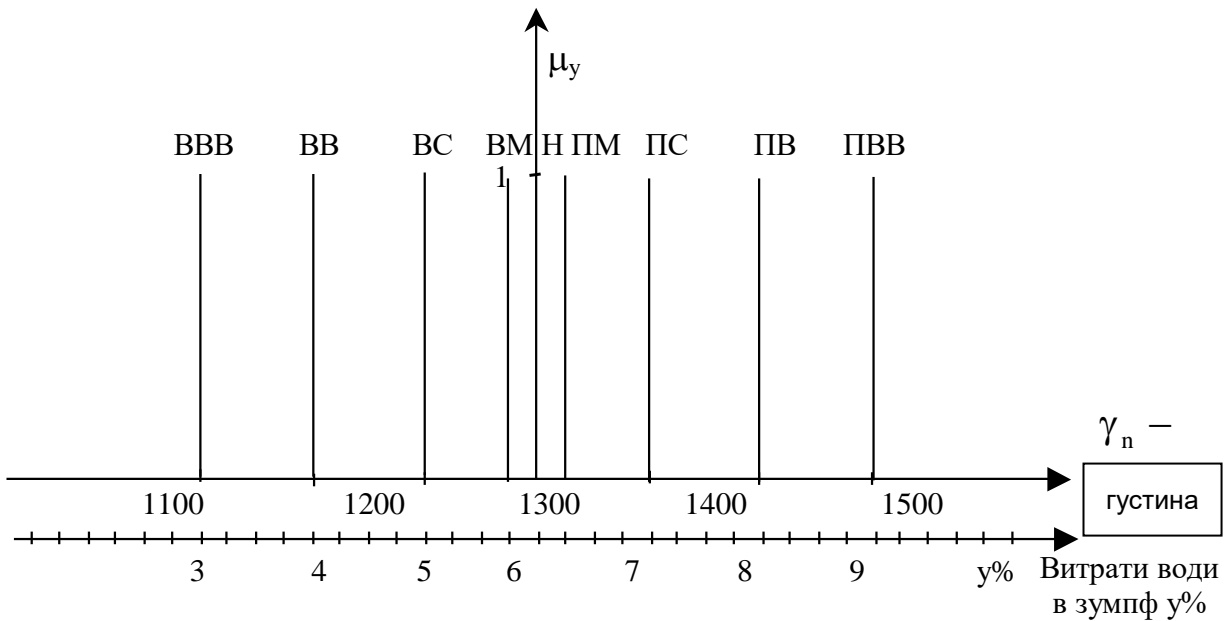


Рисунок 4.9. Функції належності μ керованому впливу y

Розрахунок коефіцієнтів підсилення фаззи ПУ проводиться по максимальним значенням термів ПУ μ_ε і μ_y і y відповідності з рис.4.9, 4.10 по формулі

$$K_{фк} = \frac{y}{\varepsilon_k} \quad (4.41)$$

У розрахунках для терма Н (близько нуля) $K_{\phi(0)}$ має граничні значення, тобто

$$K_{\phi(0)}=K_{\phi(-1)}=K_{\phi(+1)}. \quad (4.42)$$

На рис.4.10. наведені графіки функцій $y=f_y(\varepsilon)$ s $K_{\phi}=f_k(\varepsilon)$. Перша із цих функцій повинна бути розрахована при обчислюванні необхідних технологічних характеристик (витрати електрики, матеріальний потік, вагові характеристики тіста і т.п.),керованих впливів ОК.

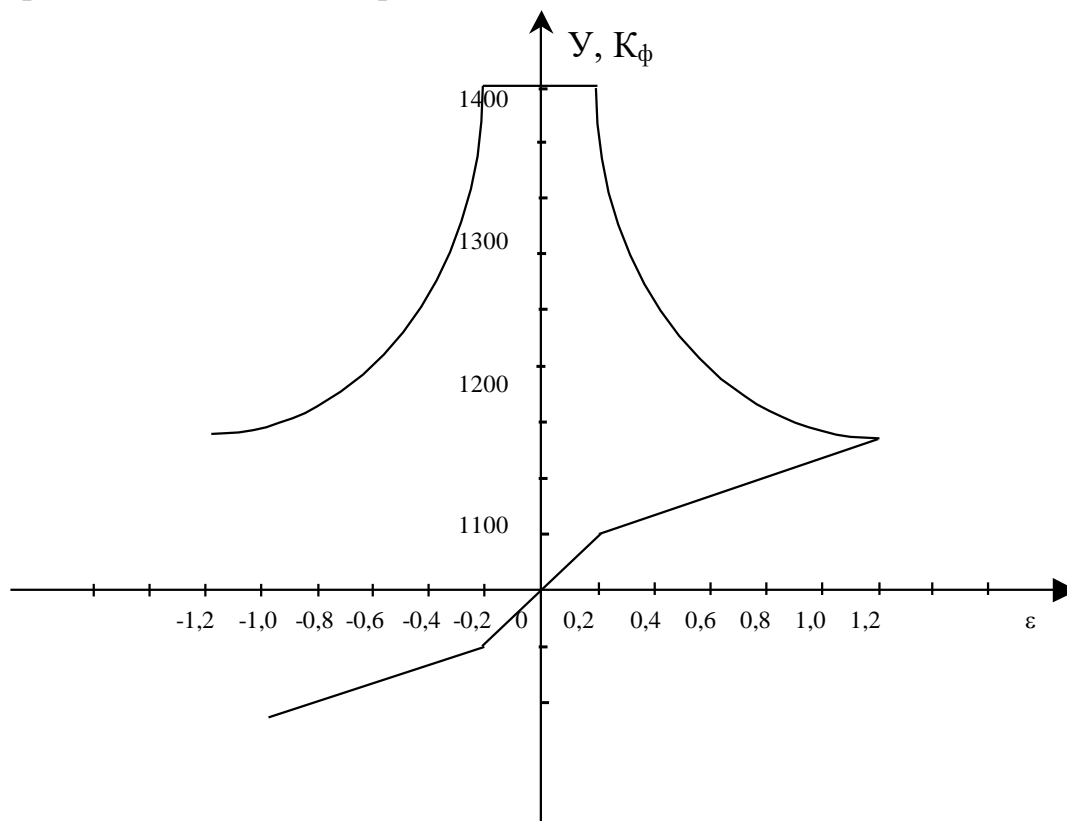


Рисунок 4.10. Статична характеристика фаззі-СМК

Значення K_{ϕ} , як видно із графіку $K_{\phi}=f_k(\varepsilon)$, зростає по мірі наближення x до заданого значення u і для термів ВМ, Н, ПМ досягає максимального значення, що підвищує якість регулювання, зменшуючи амплітуду вибігу стабілізованої величини x .

Тема 5. Мікропроцесорні системи керування робототехнологічними процесами харчових виробництв

5.1. Основні визначення

Мікропроцесор (МП) - функціонально закінчений, керований збереженою у пам'яті програмою (здебільшого 8, 16, 32 - розрядні) пристрій оброблення цифрової інформації., виконаний у вигляді однієї чи кількох або надвеликих інтегральних схем. За своїми функціями та структурою він нагадує спрощений варіант процесора звичайних ЕОМ. Мікропроцесорна система(МПС) представляє собою функціонально закінчений пристрій, який складається із одного або декількох пристроїв, основу яких складає мікропроцесор. Мікропроцесор характеризується великим числом параметрів й властивостей, так як він, з одного боку . є складним обчислювальним пристроєм, а з іншого боку електронним приладом. Як засіб обчислювальної техніки він характеризується, по-перше своєю архітектурою, тобто сукупністю програмно-апаратних якостей, наданих користувачу. Сюди віднесемо систему команд, типи та формати оброблених даних, режими адресації, числота розподіл регістрів, принципи взаємодії з оперативною пам'яттю і зовнішніми пристроями. По-друге мікропроцесор призначений для рішення задач цифрового оброблення різного типу інформації - від інженерних розрахунків до роботи з базами даних, не зв'язаними жорсткими обмеженнями на час виконання завдання. Цей клас мікропроцесорів одержав найбільше розповсюдження на підприємствах. До нього відносяться такі відомі мікропроцесори, як МП ряду Pentium фірми Intel і МП родини Athlon - фірми AMD.

Архітектуру мікропроцесорів розділимо на декілько типів (див. рис 5.1.).

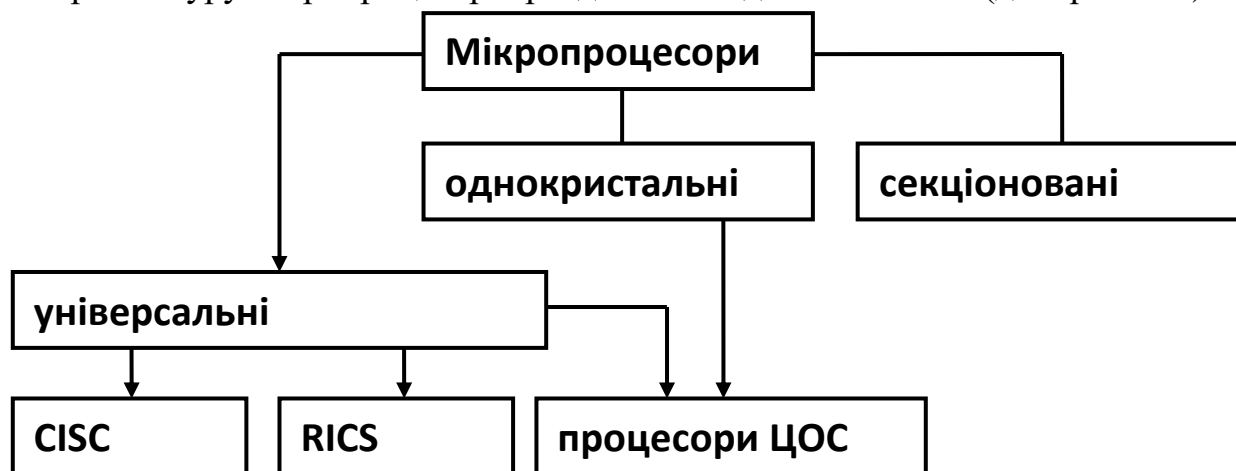


Рисунок 5.1. – Класифікація мікропроцесорів

Універсальні мікропроцесори будемо розділяти на CISC та RISC мікропроцесори, CISC-мікропроцесори (completed instruction set computing- обчислення з повною системою команд) мають в своєму складі весь класичний набір команд з широкорозвинутими режимами адресації операндів. Саме до цього класу відносяться, наприклад, мікропроцесори класу Pentium, У той же час RISC- мікропроцесори (reduced instruction set computing- обчислення зі скороченою системою команд) використовують, як слідує із визначення, зменшене число команд та режимів адресації.

У нашому випадку слід виокремити мікропроцесори типу Alpha21+64, PowerPC.

Однокристалні мікроконтролери (ОМК, або частіше МК) призначені для використання в системах робототехніки. Вони представляють собою великі інтегральні схеми (ВІС), в які включені всі пристрої, необхідні для реалізації цифрової системи керування мінімальної конфігурації: процесор, ЗП команд, ЗП даних, генератор тактових сигналів, програмований пристрій для зв'язку з зовнішнім середовищем (контролер переривання, таймер-лічильник, різні порти введення- виведення, аналого- цифрові та цифро-аналогові перетворювачі) і т. п. Цей клас мікропроцесорів називають мікро-ЕОМ. До класу однокристалних мікропроцесорів відносяться мікропроцесори серії MCS-51 фірми Intel та аналогічні мікропроцесори інших виробників, архітектура яких де-факто є стандартом. Секційовані мікропроцесори (інша назва мікромодульні або розрядно-модульні) мікропроцесори, які призначені для побудови спеціалізованих процесорів. Вони представляють собою мікропроцесорні секції відносно невисокої розрядності з доступом користувача до мікропрограмованого рівня керування засобами для об'єднання декількох секцій. Така організація дозволяє побудувати мікропроцесор необхідної розрядності та з спеціальною системою команд. За рахунок малої розрядності мікропроцесорні секції можуть бути побудованими з використанням швидкодіючої технології, наприклад ТТЛШ. Сукупність всіх цих факторів дозволяє створити процесори, які орієнтовані на заданий клас алгоритмів як за системою команд і режимів адресації, так і за формами даних.

Процесори цифрового оброблення сигналів або сигнальні процесори, представляють собою клас мікропроцесорів, призначених для рішення задач цифрового оброблення звукових сигналів, зображення, розпізнавання образів і т. п. Вони мають риси однокристалних мікроконтролерів: гарвардською архітектурою, яка характеризується фізичним та логічним розділенням пам'яті програм і пам'яті даних, вбудованих у ВУС, з розвиненими можливостями роботи зі зовнішнім пристроєм. У той же часу них присутні риси універсальних МП, особливо з RISC- архітектурою: конвеєрна організація

роботи, програмні апаратні засоби для виконання операцій з плаваючою комою, апаратна підтримка складних спеціалізованих обчислень, особливо множення.

Як електронний пристрій МП характеризується наступними параметрами:

- 1) Вимогами до синхронізації: максимальна частота, стабільність;
- 2) Кількість та номінали джерел постачання, вимоги до їх стабільності;
- 3) Потужність розсіювання;
- 4) Рівнями сигналів логічного нуля та логічної одиниці, які зв'язані з номінальними джерелами постачання;
- 5) Тип корпусу;
- 6) Температура навколишнього середовища, при якій може працювати схема;
- 7) Завадостійкість;
- 8) Властивість до навантаження;
- 9) Надійність;
- 10) Характеристики технологічного процесу.

Перейдемо до вивчення 32-розрядного універсального мікропроцесора. Структура такого мікропроцесора наведена на рис.5.2.

Спочатку розглянемо склад та призначення основних блоків цього МП. Процесор оброблення чисел з фіксованою крапкою має 32-розрядний арифметико-логічний пристрій (АЛП) та блок регістрів загального призначення. Арифметико-логічні пристрої - призначені для виконання простих арифметичних операцій різних пересилань і різноманітних зсувів інформації та операцій булевої алгебри надпочатковими операціями. Блок регістрів загального призначення (БРЗП), до складу якого входять як регістри, доступні для програміста, тобто ті, зміст яких можна змінювати безпосередньо, так і регістри тимчасового зберігання, не доступні для нього.

Пристрій керування (ПК) координує роботу АЛП, блока регістрів у процесі виконання команди, що надійшла в процесор. Мікропроцесор має внутрішню шинну організацію, що переходить у зовнішню шину (магістраль): шину даних, шину адреси, шину керування. Процесор оброблення чисел з фіксованою крапкою (комою) включає 32-розрядний АЛП і блок внутрішніх регістрів загального призначення. АЛП виконує оброблення двійкових чисел довжиною 1, 2 або 4 байта без знаку, або зі знаком представляють у додатковому коді. Блок регістрів загального призначення (БРЗП) має вісім 32-розрядних регістрів, частина із яких допускає 16 та 8 розрядне звернення

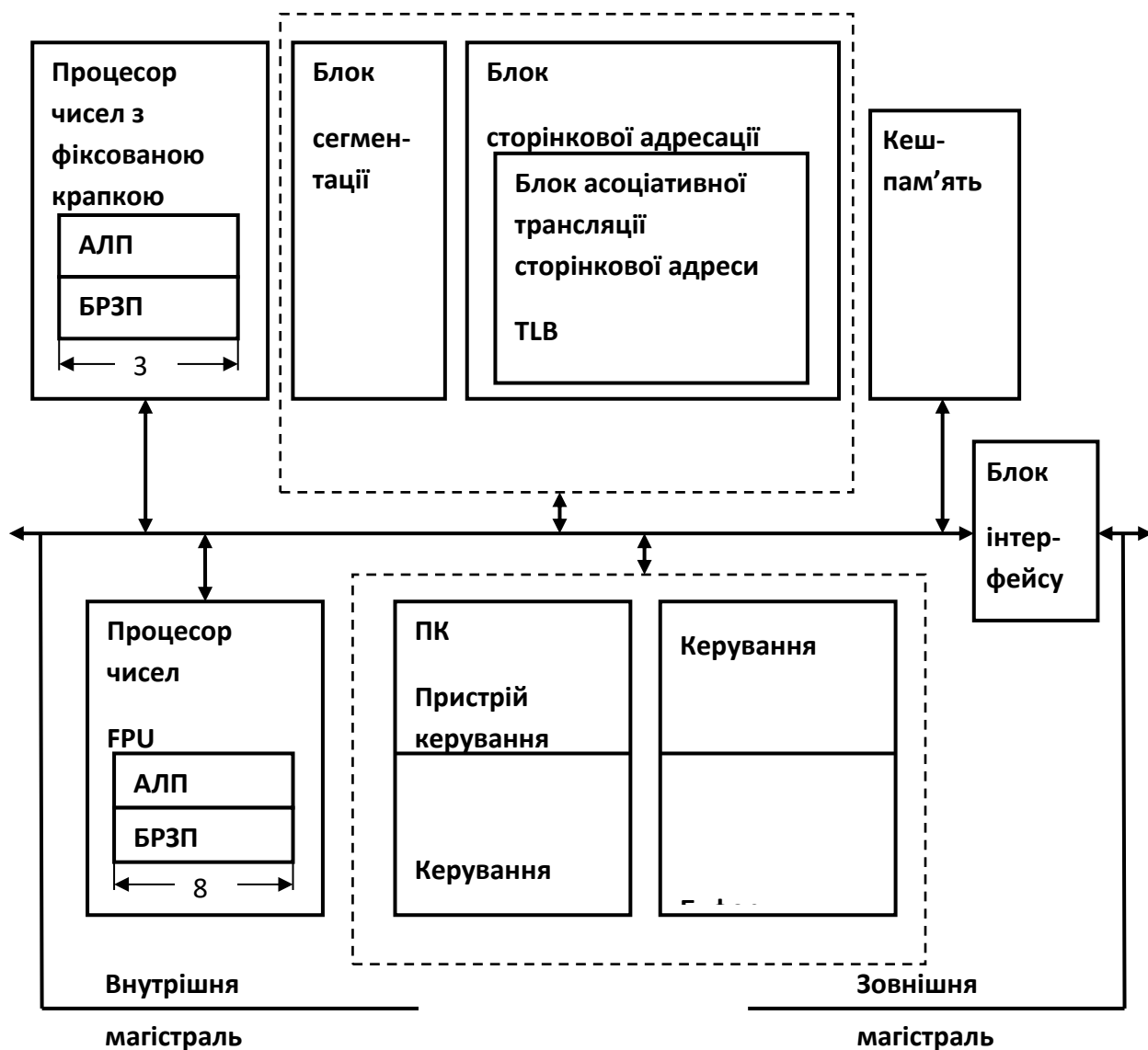


Рисунок 5.2. – Структура універсального мікропроцесора

Процесор оброблення чисел з плаваючою крапкою складається із 80 розрядного АЛП, блока з восьми 80-розрядних регістрів загального призначення, а також керування регістрами. Блок керування пам'яттю (Memory Management Unit - MMU) складається з двох основних блоків у відповідності з організацією пам'яті. У загальному випадку пам'ять в мікропроцесорі розділяється на сегменти, які в свою чергу розділяються на сторінки. У відповідності з цим MMU має блок сегментації (або блок сегментного перетворення адреси) і блок сторінкового перетворення, до складу якого входить, так названий буфер асоціативної трансляції, адрес сторінок (TLB). Кеш-пам'ять представляє собою проміжну ступінь між оперативною пам'яттю та регістрами мікропроцесора. Вона призначена для збереження найбільш часто використовуваної інформації. До складу блока керування входить:

- пристрій керування, тобто та класична схема, яка під дією коду команди відпрацьовує набір керованих сигналів, які надходять як на різні вузли мікропроцесора, так і на блок інтерфейсу зовнішньої шини;

- керування захистом пам'яті: забезпечує апаратний захист програм та даних щодо керування пам'яттю та за привілеями;

- блок керування перед виборкою команд: реалізує упередкованозаповнення буфера команд, який представляє собою деяку буферну пам'ять. Буфер команд має ємність 32 байта та заповнюється командами із слідуючих комірок пам'яті команд по мірі свого визволення. Цим забезпечується прискорене оброблення мікропроцесором наступної команди. Блок інтерфейсу зовнішньої шини виконує електричне узгодження параметрів внутрішньої магістралі з сигналами зовнішніх магістралей, формування необхідних сигналів на зовнішню магістраль й прийом сигналів із зовні. Зовнішня магістраль мікропроцесора складається із шини адреси, шини даних і сигналів керування:

- шина даних має ширину 32 розрядів;

- 32 розрядна адреса передається по 34- розрядній шині.

Щоб з мінімальними втратами узгодити 32-розрядну шину даних в процесі їх передачі меншої розрядності, молодші розряди адреси (A_1, A_0) передаються у дешифрованому вигляді (V_3, V_2, V_1, V_0). $ША = A_3 \dots A_2 + (V_3, V_2, V_1, V_0)$, Ці розряди показують, які саме байти із 32-розрядної шини даних у цей момент реально потрібні: 1 байт, 2 молодших байта, два старших байта або всі 32 розряди даних; - шина керування 32-розрядна. По ній передаються сигнали запису і читання змісту оперативної пам'яті та зовнішніх пристроїв, сигналів записів перериванням, прямого доступу до пам'яті тощо. Особливим інтерес представляють режими роботи мікропроцесора: реальний, захищений та режим віртуального МП і8086. Центральним елементом 32-розрядного МП є арифметично-логічний пристрій (АЛП), який за командами блока керування виконує арифметичні та логічні операції над даними. Блок регістрів - склад, структура і призначення регістрів універсального МП є важливими характеристиками його архітектури та в багатьох випадках визначають його функціональні можливості. В універсальному 32-розрядному МП виокремлюють наступні групи регістрів: - основні функціональні; процесори з плаваючою комою; системні; налагодження та тестування. Перші дві групи використовують прикладні програми, останні дві групи – системні програми, які мають найвищий рівень привілей. Ці пристрої з'єднані інформаційними магістралями -внутрішніми шинами: керування, адреси, даних. Пристрій керування керує роботою АЛП та блоком регістрів загального призначення, який є внутрішньою пам'яттю МП й призначений крім тимчасового зберігання даних і команд також для деяких операцій оброблення інформації. Зовнішній зв'язок

МП реалізується за допомогою зовнішніх магістралей (зовнішніх шин): керування, даних, адреси, з'єднаних з внутрішніми. Універсальний мікропроцесор доповнено запам'ятовувальними пристроями і пристроями введення та виведення інформації, а крім того його запрограмовано на обмін інформацією між МП та ОК. У кожному МП є оперативна пам'ять (ОЗП-оперативний запам'ятовувальний пристрій) та постійна (ПЗП-постійно запам'ятовувальний пристрій) пам'ять і пристрій введення-виведення (ПВВ), призначені для одержання й оброблення числової інформації та керування цим процесом. Основними операціями з пам'яттю є записування-занесення інформації до пам'яті та зчитування тобто вибирання її з пам'яті. Ці операції будемо називати зверненням до пам'яті. Пам'ять характеризується ємністю, розрядністю вибірки, часом звернення і споживаною електропотужністю. Розвиток мікропроцесорної техніки в сфері сучасних універсальних МП іде шляхом постійного підвищення їх продуктивності. За деякими оцінками продуктивність системи пропорційна квадратному кореню із числа виконавчих блоків.

На даному етапі розвитку МП з метою підвищення їх продуктивності використовують ряд нових підходів:

1. Напрямок SMT (Simultaneous Multi Threading) - багато ниткова архітектура;

2. CMP (Chip Multi Processing)- створення на одному кристалі системи із декількох мікропроцесорів (багато ядерність);

3. EPIC (Explicitly Parallel Instruction Computing)- обчислення з явним паралелізмом у командному слові.

4. Метод збільшення розрядності. У перших МП розрядність оброблюваних слів складала 8 біт. Потім з розвитком інтегральної технології підвищувалась ступінь інтеграції ВІС, що дозволило створити 16-розрядні МП. Починаючи з появи МП Intel 80386, розрядність оброблюваних слів складала 32 біт. Для більшості систем МП керування в харчовій промисловості, у тому числі для адаптивних систем, АРМ оператора, розподілених систем керування цієї розрядності достатньо.

Розроблені в останні десять років 64-розрядні однокристалні комп'ютери забезпечують іще більшу продуктивність. Крім розрядності оброблюваних слів для мікропроцесорних систем важливим є розрядність адресів, з якими може працювати МП. Це визначає об'єм адресної пам'яті системи, а отже, і можливості роботи з більшим об'ємом програм і оброблених даних, більш удосконаленим програмним забезпеченням, більш продуктивною і зручною для користувача оперативною системою. Процесори останнього покоління Pentium орієнтовані на рішення задач мультимедіа, які вимагають інтенсивних операцій

з цілими числами. Подібні задачі вирішують комунікаційні, навчальні програми, які використовують графіку, аудіо, 3D-зображення тощо. В промисловості поширені також 64-розрядні МП фірми AMD родини K-8 Athlon 64, Opteron (2003 рік). Переваги процесорів K-8 виявляються під час роботи з великими базами даних і системами САПР (CAD- системи). У порівнянні з 32-бітною адресацією в 4Гб пам'яті при 64-бітній адресації комп'ютер одержує в своє розпорядження 16Тб.

Сучасні великі БД уже значно перевищили об'єм в 4Гб. Процесори фірми AMD можуть працювати як в режимі сумісності з 32-бітним програмним додатком, так і з 64-бітним. Для повної реалізації таких МП використана 64-бітна ОС Windows. Важливою перевагою МПК-8 є можливість організації над продуктивних багатопродуктивних структур завдяки новому трьохмірному високошвидкісному інтерфейсу HyperTransport, через який процесори зв'язані між собою. Ці методи підвищення продуктивності МП детально описані в [1,2] та надають інформацію користувачам, з точки зору проєктних рішень щодо розробки АСУ-АСУТП з 64-розрядними ЕОМ у верхньому рівні управління.

В АСУТП, які розроблені вченими Доннует імені Михайла Туган-Барановського м.Кривий Ріг [1,2] важливу роль відіграють нейро-комп'ютери.

Розглянемо концепцію нейро-комп'ютерної архітектури (NeuroComputer, NC).

5.2. Нейрокомп'ютери

Нейрокомп'ютер - це обчислювальна система з паралельними потоками однорідних команд множиною потоків даних, в яких процесорний елемент однорідної системи спрощений до рівня нейрона, різко ускладненні зв'язки між елементами, а програмування перенесено на зміну вагових коефіцієнтів зв'язків між обчислювальними елементами. Нейрон виконує зважене підрахування сигналів, які надходять на його вхід.

Нейрокомп'ютер побудований на основі нейронної мережі та реалізує нейромережеві алгоритми. Нейронною мережею (НМ) називають динамічну систему, яка складається із сукупності зв'язаних між собою по типу вузлів направлено графа елементарних процесорів, які називають формальними нейронами, і здатних генерувати вихідну інформацію у відповідь на вхідні впливи [2]. Нейронна мережа є основною операційною нейронних ЕОМ, які використовуються в вузлах нейронної мережі.

Математична модель формального нейрона може бути представлена у вигляді:

$$Y=f(a_ix_i+x_0), \quad (5.1)$$

де y - вихідний сигнал нейрона; x_i - i -й вхідний сигнал;

a_i - вага i -го входу, x_0 - початковий стан нейрона;

$i=1, n$ - номер входу нейрона; n - число входів;

f -функція вихідного блоку нейрона (функція активації)

Підсумовування в (5.1) виконується по параметру i . Виразу (5.1) відповідає наступна структурна схема, яка наведена на рис.5.4.

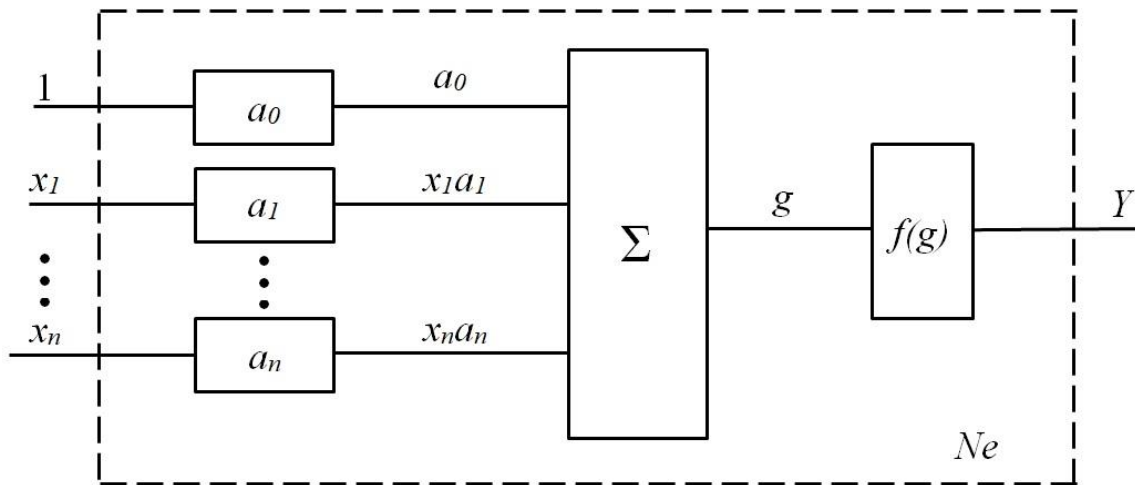


Рисунок 5.4. Структурна схема формального нейрона

Як слідує із схеми в суматорі виконується зважене не підсумування вхідних сигналів. Ця функція подається на блок функціонального перетворювача $f(x)$. Функція, яка реалізує цей блок, одержала назву функції активації (або функції збурення, або перехідна функція). Функція активації може бути лінійною з насиченням, релейною, квадратичною, сигмоїдальною і т.п. Вигляд функції активації в багатьох випадках визначає обчислювальні можливості нейронної мережі, яка складається із формальних нейронів [14]. Графічну інтерпретацію з'єднання нейронів між собою будемо називати топологією. В АСУТП виробництва смарт-продуктів розповсюджені багатошарові мережі для розпізнавання виробничих ситуацій, оцінки стану працездатності обладнання, якості сировини, параметрів густини тіста тощо.

На рис. 5.5. наведено схему багатошарової нейронної мережі, в якій є вхідний шар, два схованих шари і вихідний шар.

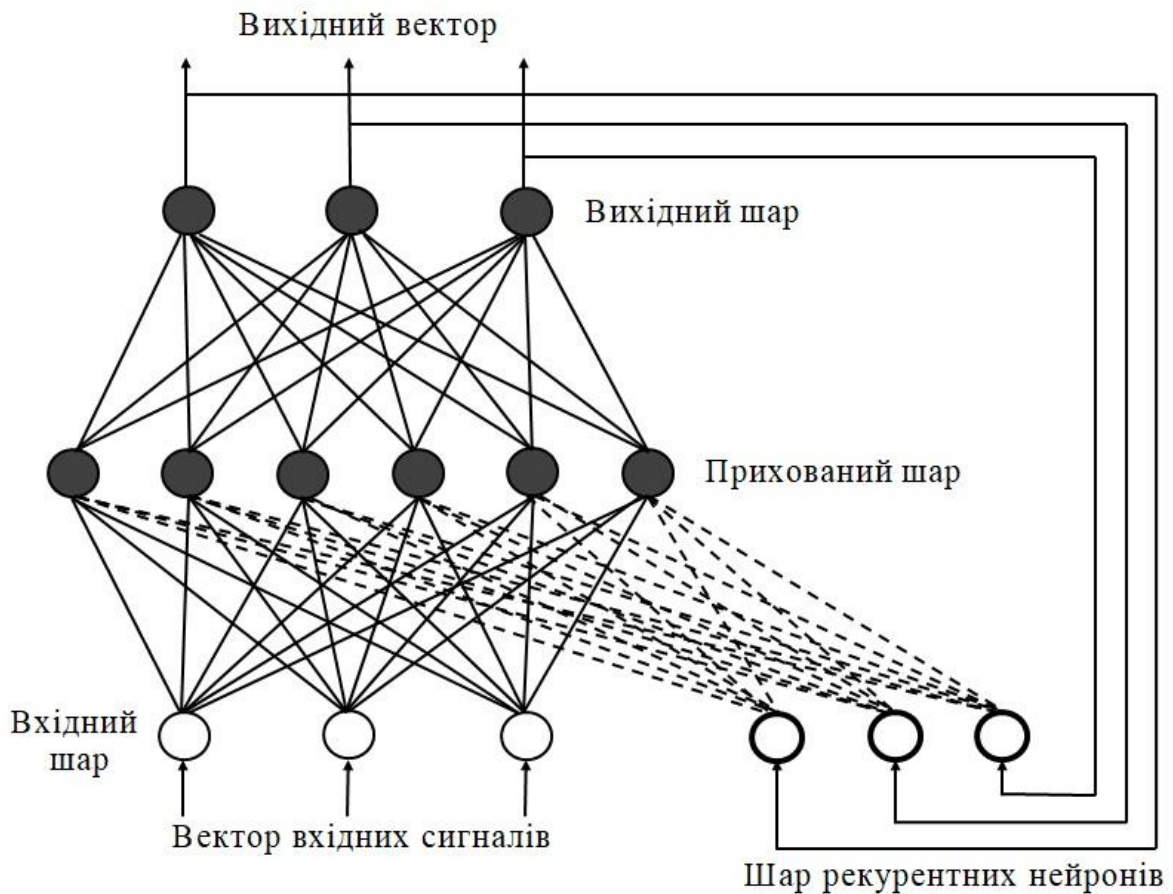


Рисунок 5.5. - Схема багат шарової нейронної мережі

На нейрони вхідного шару подаються вхідні сигнали (вхідний вектор $\{X_1, X_2, \dots, X_k\}$), закодований вхідний вплив або образ зовнішнього середовища, шляхом активації нейронів цього шару. Виходи нейронів вихідного шару є виходами мережі. Множину вихідних сигналів $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_k\}$ називають вектором вихідної активності або патерном активності нейронної мережі. У процесі функціонування (еволюції станів) мережі виконується перетворення вхідного вектора у вихідний. В задачах розпізнавання образів вхідний вектор виконує набір ознак, а вихідний – розпізнавання образів. Сховані шари призначені для віддзеркалення специфіки знань, в таких мережах зазвичай використовують передавальні сигмоїдальні функції. Структура нейронної мережі визначається числом вузлів, наприклад 25-10-5, тобто 25 вузлів знаходиться в першому шарі, десять в схованому і п'ять у вихідному. Визначення числа схованих шарів й числа нейронів в кожному шарі для конкретної задачі є неформальною проблемою, при рішенні якої можливо використати наступне евристичне правило: число нейронів в наступному шарі у два рази менше ніж у попередньому[2].

5.3. Концепції побудови систем мікропроцесорного керування роботизованими технологічними процесами харчових виробництв

Мета проектування і впровадження систем керування: забезпечення якості продукції, збільшення економічності виробництва, підвищення надійності функціонування обладнання, підвищення продуктивності, забезпечення екологічності та безпечності умов праці обслуговуючого персоналу.

На рис. 5.6. наведено піраміду комплексної цифровізації підприємства харчової промисловості.

В системі цифрового управління підприємством нижні рівні мікропроцесорного керування виробництвом продукції 5-4-3 представляють:

5-цифро-аналогові датчики та ВМІ/О(Input/output, інтелектуальні системи комп'ютерного зору;

4-засоби локального керування (Control); 3- станції технічного оперативного керування АРМ-персоналу ММІ(MenMachingInterface), спроектовані на основі SCADA DCS систем з підсистемами оповіщення оперативного персоналу про відхилення технологічного процесу(ТП) від заданих параметрів(Alarms Management).;

2- системи диспетчерського управління MES; 1. ERP системи планування ресурсів та стратегічного управління. В таких багаторівневих системах цифрового управління підприємством режим функціонування систем керування – автоматизований (оператор – технолог + ЕОМ з високим рівнем використання роботів та робототехнологічних систем)

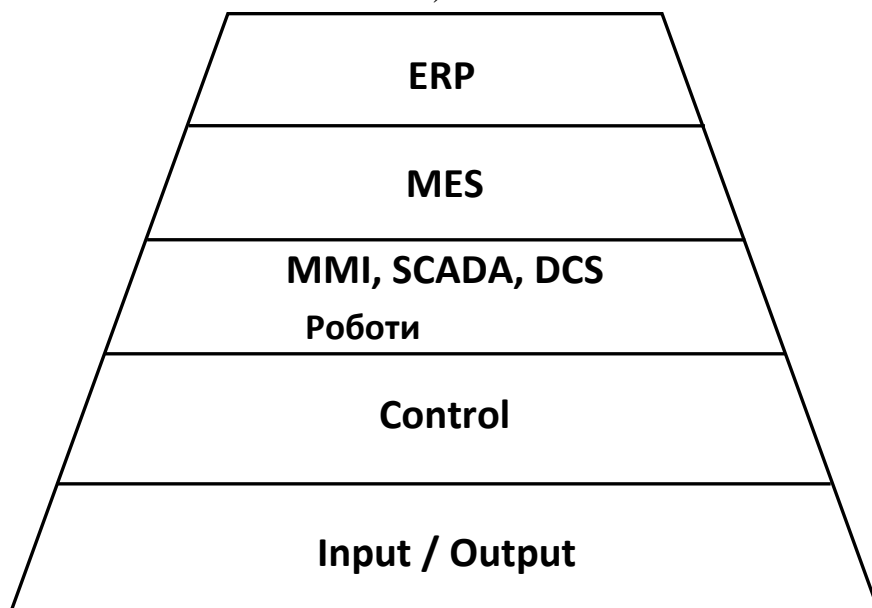


Рисунок 5.6 .– Піраміда комплексної автоматизації та роботизації підприємства

Система керування – цифрова. Під мікропроцесорними системами керування (МПСК) будемо розуміти комплекс апаратурних і програмних засобів, який під впливом оператора – технолога або автоматично керує станом будь – якого об'єкту виробництва смарт- продукції харчування.

Робота МПСК щодо керування реальними об'єктами, як правило, виконується: з необхідністю обміну інформації з великим числом зовнішніх пристроїв; рішенням багатьох задач у реальному масштабі часу керування об'єктами виробництва смарт- продукції харчування.

Ці умови необхідно враховувати при проектуванні архітектури МПСК.

Із структурних особливостей МПСК слід відмітити:

1) Розвинену структуру спряження з великою кількістю зовнішніх пристроїв (ВМ, датчиків інформації);

2) використання різного роду каналів введення- виведення стандартного інтерфейсу;

3) розвинену систему засобів керування та відображення інформації;

4) значну систему пам'яті (використання ОЗУ, ПЗУ ППЗУ великої інформаційної ємності і швидкості);

5) наявність системи апаратурного контролю ;6) наявність лічильників РЧ. Системне ПЗ МПСК повинно бути орієнтоване на виконання обчислень в реальному масштабі часу, забезпечення обміну інформації в часі рішення задач, великий об'єм використання даних і прикладних програм велике число операцій логічного перетворення пошуку та впорядкування інформації, використання ПЛ способів захисту від можливих збоїв і відмовлень.

Структуру МПСК представляють системно-орієнтовані контролери та модулі, які виконують збирання інформації і автоматичне керування технологічним процесом. Будемо проектувати МПСК на основі контролерів серії АДАМ-4000, АДАМ-5000. Вона представляє собою компактні та інтелектуальні пристрої оброблення сигналів датчиків, формування сигналів керування ВМ. Об'єктом керування є хлібопекарні пічі хлібозаводу. Для випікання хліба і хлібобулочних виробів використовують пекарні камери різних конструкцій з температурою тепловіддаючих поверхонь 300-400С, паропровідного середовища пекарної камери 200-250С. У процесі випікання тісто в пекарній камері швидко збільшується в об'ємі. Через деякий час приріст його об'єму різко сповільнюється, а потім припиняється. Температурна якість наприкінці випікання не перевищує 100С, тоді як температура поверхні хліба швидко досягає 105С і під кінець випікання підвищується до 180С, Поверхня тіста інтенсивно прогрівається і через 1-2хв. втрачає майже всю вологу, досягаючи рівноважної вологості пекарної камери. Узв'язку з поганою волого провідністю тіста та великою різницею температур його поверхневих і

внутрішніх шарів (явищетермовологопровідності) волога до поверхні надходить повільніше за інтенсивність її зневоднювання, тому в хлібну камеру вприскують за допомогою ультразвукових диспергаторів воду для керування заданих параметрів вологості. Ці важливі експертні знання технологічного процесу випікання тіста утворюють БЗ при побудові АСУТП процесу випікання.

На рис. 5.7. наведено мехатронну систему мікропроцесорного керування процесом випікання хліба.

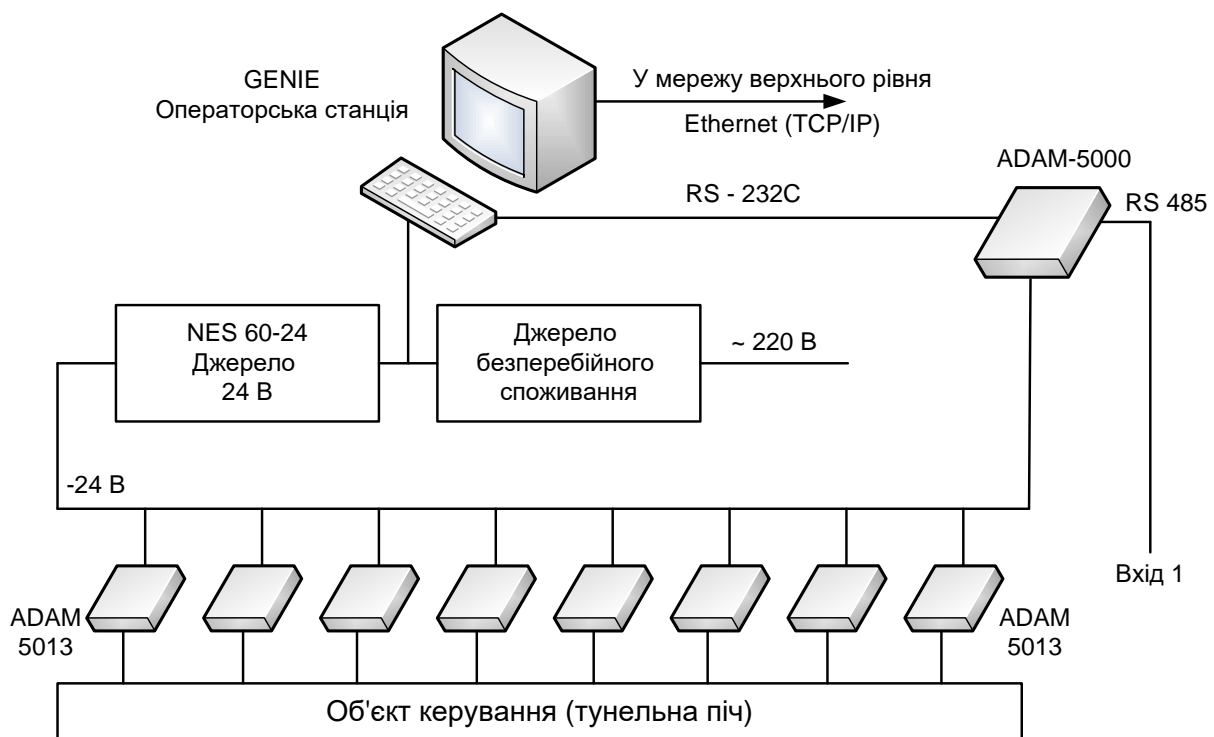


Рисунок 5.7. – Мехатронна системи мікропроцесорного керування процесом випікання хліба

Наявність вбудованих МП дозволяє їм виконувати нормалізацію сигналів, операції аналогового і дискретного введення-виведення віддзеркалення даних та їх передачу (або прийом) по інтерфейсу RS-485. Усі модулі мають гальванічну розв'язку за мережами споживання та інтерфейсу RS-485, програмну установку параметрів, командний протокол AC11. Контролери серії ADAM-5000 призначені для проєктування територіально розподілених систем збирання даних і керування. Вони забезпечують виконання наступних функцій: аналоговий вхід-вихід; дискретний вхід-вихід; прийняття команд від віддаленої обчислювальної системи і передачу в її адресу перетворення даних з використанням інтерфейсів RS – 485, ADAM -5000 складається із трьох модульних компонентів процесора, крос-плати, модулів введення- виведення.

Кожний пристрій може мати 4 модулі (64 канали введення-виведення), існує гнучка конфігурація системи. Завдяки пристроїв, що входять до її складу проєктанти можуть будувати МПКС у залежності від кількості контрольованих параметрів, а також від місця розташування контрольованих об'єктів. Пристрої серії ADAM-5000 можуть об'єднуватись у багато чисельну мережу на базі інтерфейсу RS-485, яким керує центральний контролер. Представником серії ADAM -5000 є мікроконтролер ADAM -5510. IBMPC сумісний ПМК ADAM-5510 використовується в локальних та розподілених системах автоматизації АСУТП відділення випікання N-сортів хлібобулочних виробів та його логістики в якості автономного контролера. Він забезпечує прийняття та видачу аналогових й дискретних сигналів, первинне перетворення сигналів запрограмованим користувачем алгоритмом і обмін інформації за послідовними каналами зв'язку на базі інтерфейсів RS-485 та RS-232. Контролер має відкриту архітектуру та може бути запрограмованим, як за допомогою традиційних мов програмування (C, Асемблер), такі за допомогою мови логічного програмування у відповідності зі стандартом MEK-61131 (у нашому прикладі підтримка ADAM-5510 реалізована в системі програмування Ultralogik).

Призначення і конфігурація системи. Автоматизована система повинна виконувати наступні технологічні задачі:

- оперативний контроль (моніторинг) параметрів технологічного процесу випікання хлібобулочних виробів, які виникають за змінного режиму роботи тунельної печі (температури, вологість середовища пекарської камери, час випікання, витрати газу тощо). Для цього в пекарській камері тунельної печі створюють кілька зон з різною температурою і вологістю середовища печі. З метою створення оптимального режиму роботи тунельної печі забезпечення процесу випікання хліба оператор за допомогою меню на екрані дисплея та клавіатури контролює температуру: зони зволоження тістової заготовки; зони інтенсивного нагрівання до температури 280-300 гр. С. в якій утворюється скоринка; зони утворення м'якушки при температурі 180-200.С. Тривалість випікання тістової заготовки 35-40хв А тому цей параметр з високою точністю підлягає оптимізації. - автоматичне регулювання технологічних параметрів завантаження тістових заготовок, швидкості конвеєра, продуктивності, співвідношення витрат газу-повітря, температурних режимів роботи печі тощо); - діагностику (стану поверхні м'якушки хліба, конвеєрної стрічки, пристроїв завантаження-вивантаження, роботи повітряно-вентиляційних установок, CO₂ тощо). Система складається із робочих станцій різного функціонального призначення (рис.5.7.), які об'єднані між собою локальною обчислювальною мережею АСУТП відділення випікання хлібобулочних виробів. Кожна із станцій передає інформацію про зміни

технологічних параметрів з дискретністю 0,1с з іншими абонентами системи. Система мікропроцесорного керування передбачає регулювання параметрів та режимів роботи печі ПХС-25 тунельного типу, а саме: контроль і регулювання температури пекарської камери; контроль температури топкових газів; контроль тарегулювання тисків та витрат газів, що надходять у камеру згорання; сигналізація про кількісні параметри тістових заготовок і візуалізація за допомогою комп'ютерного зору процесу їх завантаження, регулювання параметрів зволоження та керування конвеєром. Розробниками системи керування дільницею випікання хліба реалізовано обмін інформацією інженерних станцій з верхнім рівнем управління АСУ-АСУТП хлібозаводу. Інженерні станції потрібні для технічного обслуговування, реконфігурування та діагностики системи. При цьому використана операційна система Windows мови програмування BorlandC++ 5.0 та Delphi 2.0. Станція авторегулювання (одна на кожен тунельну піч) виконує цифрове автоматичне регулювання основних технологічних параметрів та процесів (температури в камері тунельної печі, витрат газу, форми хліба, кольору скоринки і т.п.). Проектантами використана система реального часу ОС-9 (мова програмування Ultralogik). Інженерна робоча станція представляє собою повномасштабну станцію (ПЕОМ Pentium 100 /16 /1000), яка дозволяє у повному об'ємі виконувати усі функції технолога - оператора. Крім цього вона виконує введення системних і технологічних протоколів, архівування історії процесу, обмін інформацією МЕС з АСУ-АСУТП, санкційовану модифікацію баз даних (вставок, параметрів налагодження регуляторів, конфігурація системи керування параметрами якості, охолодження, упакування, система паролей тощо) та мнемосхем.

Розглянемо приклад проектування мікропроцесорної системи керування тістомісильної машини дільниці підготовки безопарного тіста на базі Мікро-ЕОМ. На рис. 5.8. наведена блок - схема системи керування тістомісильним апаратом за допомогою Мікро-ЕОМ. До системи мехатронного керування віднесені наступні елементи: 1- технологічний об'єкт керування; 2- вимірювальні перетворювачі керованих впливів; 3.- вимірювальні перетворювачі вихідних параметрів ОК; 4.- вимірювальні контролери; 5- управлінська Мікро-ЕОМ; 6.- інтерфейсні блоки зв'язку з об'єктом; 7- виконавчий механізм; 8- внутрішні шини керування; 9.- блок пам'яті; 10- пульт оператора. Мікро - ЕОМ - це компактний пристрій на базі мікропроцесора, який має блок пам'яті, систему введення-виведення та спряження. Мікропроцесор повинен працювати з агрегатом і системою керування порційним замісом тіста, який виробляє порції тіста за експресною технологією з використанням концентрованих молочнокислих заквасок. Об'єкти керування - тістомісильна машина періодичної дії з інтенсивним механічним обробленням тіста,

порційний автоматичний дозатор борошна з цифровим указником, комплекс дозаторів об'ємної дії з регульованим приводом завантаження системи.

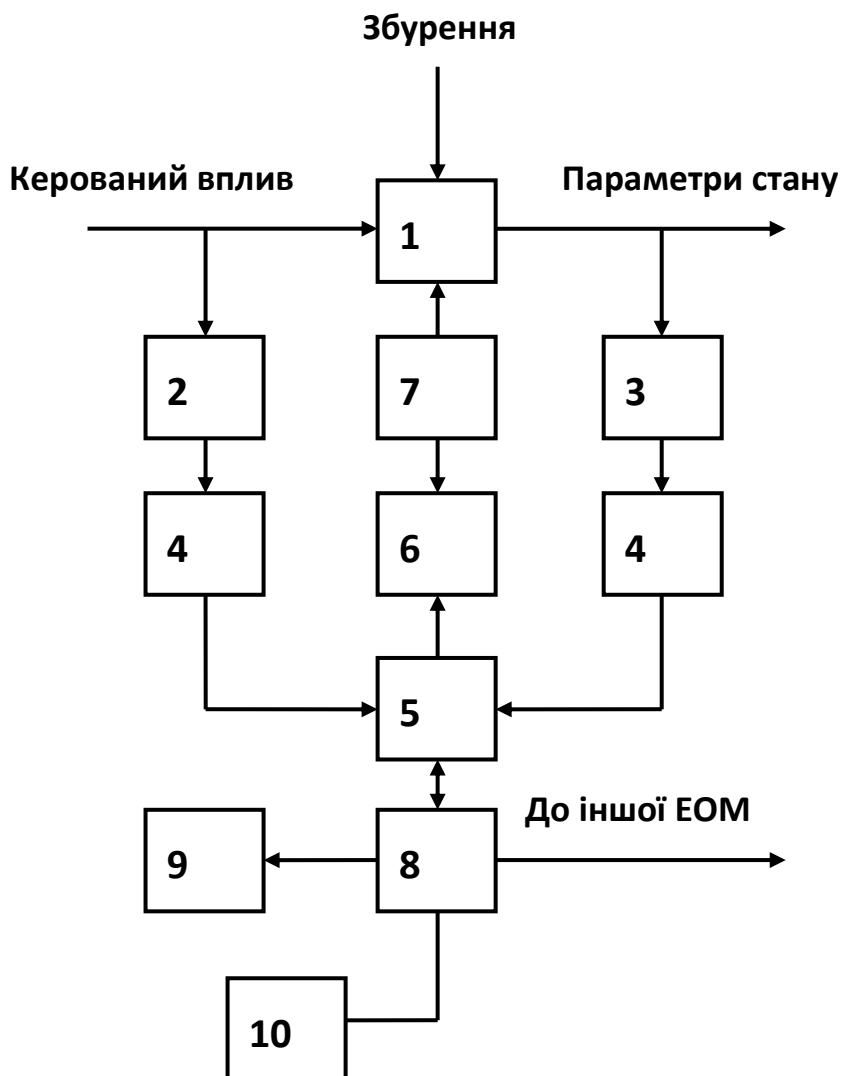


Рисунок 5.8. – Структурна схема мікропроцесорної системи керування з мікро-ЕОМ:

1 – технологічний об'єкт керування (ОК); 2 – вимірювальні перетворювачі управлінських впливів; 3 – вимірювальні перетворювачі вихідних параметрів (ОК); 4 – вимірювальні контролери; 5 – управлінська мікро-ЕОМ; 6 – інтерфейсні блоки зв'язку з об'єктом; 7 – виконавчий механізм; 8, 9 – порти I, II; 10 – пульт оператора

Безопарним способом замішують тісто з усієї кількості борошна, води, солі і дріжджів, Початкова температура його бродіння 28-30С, тривалість бродіння 2-4 год. Використання висококислої, власне консервованої закваски з інтенсивним замісом забезпечує виробництво високоякісних хлібобулочних виробів. при значному зниженні витрат сухих речовин борошна в процесі

бродіння і скорочення часу приготування тіста. Контроль параметрів борошна, витрат інгредієнтів виконує Мікро-ЕОМ шляхом обміну сигналами з ОК (вимірювальні контролери та інтерфейсні блоки зв'язку).

Алгоритми керування реалізовані у вигляді програм, які зберігаються у пам'яті ЕОМ. Інтерфейсні блоки слугують для зв'язку ЕОМ з ОК (з виконавчими механізмами та регулюючими пристроями) і периферійним обладнанням (з пультом оператора, дисплеєм). Пульт оператора використовують для керування роботою Мікро-ЕОМ з дисплеєм – для надання оператору інформації про стан обладнання, контрольовані параметри та інші характеристики автоматизованого виробництва тіста. Збирання і перетворення аналогових сигналів у цифрову форму про хід технологічного процесу, які надходять від різного роду датчиків та цифрової інформації виконується вимірювальними контролерами.

До складу інтерфейсних блоків зв'язку і контролерів можуть входити мікропроцесори, які виконують операції щодовведення-виведення та попереднього оброблення інформації, які зазвичай виконує центральний процесор. Мікропроцесори використані в наступних локальних системах відділення приготування тіста: автоматичного керування витратами борошна, води, інгредієнтів, автоматичного контролю якості тістових напівфабрикатів з функцією комп'ютерного зору та систем керування робототехнологічними інтенсифікаторами, системи автоматичного керування процесами заморожування напівфабрикатів. Автоматичне керування витратами води, інгредієнтів виконується наступним чином: на основі цифрових сигналів інтелектуальних датчиків витрат борошна і води, інгредієнтів, які надходять в тістомісильний апарат і сигналів датчиків густини тіста та його запаху відпрацьовується адаптивний алгоритм регулювання продуктивності виробництва тістових заготовок за період T_z . У цьому випадку, наприклад контролер САР витрат води в тістомісильний апарат формує імпульсний командний сигнал на ВМ, який за рахунок зміни прохідного перетину збільшує або зменшує витрати води, яка надходить в апарат. Довжина командного імпульсу пропорційна параметру відхилення поточного значення питомих витрат густини тіста від заданого значення.

До складу системи адаптивного керування густиною тіста віднесені: перепрограмований мікропроцесорний контролер, таймер, мікропроцесор, постійний запам'ятовувальний пристрій (ПЗП), панель індикації, контролер і поле клавіатури та блок живлення. Діапазон регулювання інгредієнтів залежить від заданих параметрів хлібобулочних виробів, які забезпечує мікропроцесорний контролер САК витрат інгредієнтів в трьох режимах: програмування, роботи і діагностики. У режимі програмування технолог-

оператор за допомогою клавіатури може вводити технологічні параметри тістомісильного агрегату(робочі характеристики густини тіста його температурні режими, тип і число інгредієнтів їх витрати) в залежності від параметрів сили борошна. Введені дані та завдання візуалізуються на панелі цифрової індикації, при цьому автоматично перевіряється процес виконання стабілізації заданої норми витрат інгредієнтів в залежності від густини та запаху тіста. Адаптери Мікро-ЕОМ зовнішнього інтерфейсузабезпечують 64-канали зв'язку зі зовнішніми пристроями МП, який має кварцовий генератор тактових сигналів та програмований таймер для синтезу необхідних системі керування часових інтервалів спостереження. Крім цього МПСАК витрат інгредієнтів виконує функцію корекції частоти обертання АД - приводу мішалки тістомісильного апарату за інформацією індуктивних датчиків положення обертання. Панель керування та індикація з відповідними схемами формування сигналів має клавіатуру та дисплей із рідинних кристалів, на якому може ініціалізуватись повідомлення у цифровій формі та у вигляді вказівок (надписів), піктограм робочих органів (у відповідності з символами, розташованих на кнопках клавіатури). Мікроконтролер може також реалізувати різні програми щодо команд керування тістомісильним апаратом, які введені з клавіатури. Наприклад, команда «тест» запускає програму діагностики стану робочих характеристик процесу приготування молочнокислої закваски та тіста з заданими параметрами якості, роботи приводів насосів та технологічного апарату й дільниці в цілому. При цьому може виконуватись цифрова індикація стану їх кінематичних режимів. Частоту обертання насосів та робочих органів тістомісильного апарату, виміряних в режимі х. х., контролер введе в пам'ять Мікро-ЕОМ.

У подальшому, з врахуванням реальної частоти обертання валу АД-приводів насосів, сигналів датчиків вібрації МП формує сигнали технологую-оператору про порушення режимів роботи насосів, ВМ шнекових давальників завантаження борошна, витрат води й інгредієнтів. Команди «ПУСК» і«СТОП» відповідно запускають та зупиняють програму контролю робочих органів насосів, й АД в процесі виконання технологічних процесів. Команда «СОР» запускає програму корекції системи автоматичного керування швидкістю конвеєра холодильної установки (КХУ). Команда «АРЗ» (автоматичне регулювання завантаження) запускає робот завантаження КХУ.

Сигнал формується контролером на основі інформації про частоту обертання валу двигуна холодильного конвеєра,сигналу датчика потужності АД,температурних режимів роботи холодильної камери,кількісних параметрів хліба на конвеєрній стрічки тощо. Цей сигнал надходить в системуМП - керування тиристорним перетворювачем частоти АД-ТПЧ, який змінює

швидкість поступового руху КХУ, при відхиленні значення сигналу керування завантаженням конвеєрної стрічки від заданого. Візуальний контроль за станом технологічного процесу виробництва тіста й тістових заморожуваних напівфабрикатів здійснюється за допомогою відеокадрів на екрані дисплея Мікро - ЕОМ у вигляді мнемосхем, графіків, гістограм, відхилень значень параметрів технологічного процесу від норми тощо. За кольоровими мнемосхемами технолог – оператор, спостерігаючи за зміною технологічних параметрів у вигляді цифрової інформації або стовпчастих діаграм, приймає рішення щодо оптимального керування тістомісильним відділенням. У разі виникнення перед аварійної або аварійної ситуації на дисплеї змінюється режим індикації параметрів чи колір відображення або відображення починає миготіти, то оператор - технолог приймає рішення щодо визначення алгоритму оцінки виробничої ситуації та переведення системи до стабілізації параметрів виробництва продукції. За потреби може вмикатися звуковий сигнал для технолога – оператора, а також йому надаються рекомендації щодо виведення із аварійного режиму, що супроводжується появою на екрані пояснювальної текстової інформації. В цьому випадку технолог - оператор за допомогою клавіатури або сенсорного екрану може втручатись в режими роботи тістомісильної машини, змінюючи завдання, чи параметри налаштування регуляторів продуктивності опарних насосів, продуктивності шнекових давальників, витрат води та інгредієнтів або дистанційно керувати ВМ.

Технолог - оператор може скористатись режимом перегляду передісторії виведення технологічного режиму на номінальні показники, проаналізувавши зміну параметрів густини тіста його запах в реальному масштабі часу та сили борошна, його вологу тощо.

Тема 6. Синтез систем автоматичного регулювання в мехатроніці

6.1. Загальна структура системи мехатронного регулювання

Теорія автоматичного регулювання (ТАР) є складовою частиною теорії керування технологічним процесом на основі робототехніки..

Система автоматичного регулювання (САР) складається із об'єкта регулювання, датчика і автоматичного регулятора.

На рис. 6.1. наведено типову блок-схему мехатронної системи автоматичного регулювання.

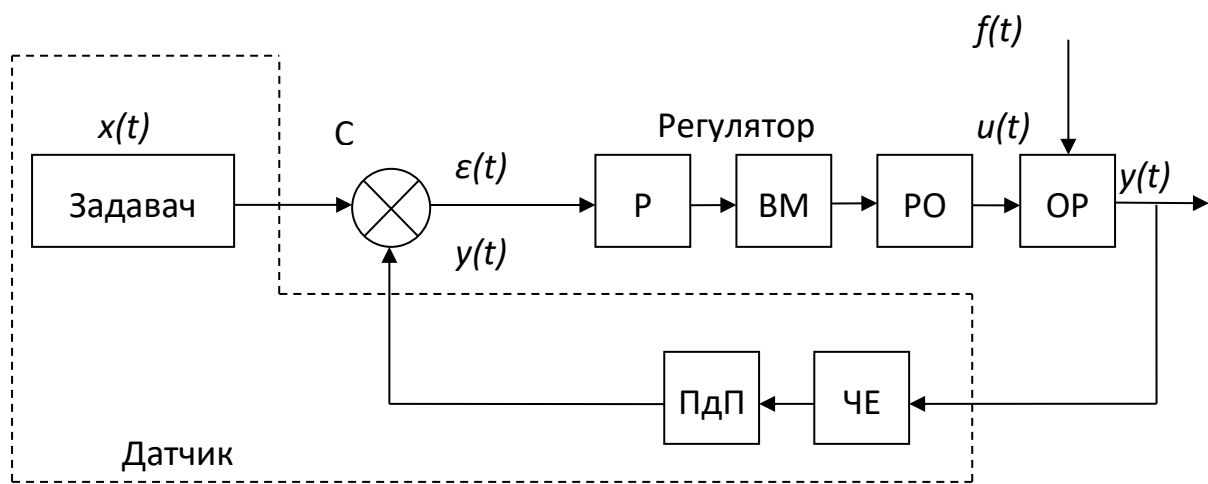


Рисунок 6.1. – Блок-схема мехатронної системи автоматичного регулювання:

С – суматор; Р – регулятор; ВМ – виконавчий механізм;
РО – регулюючий орган; ОР – об'єкт регулювання; ЧЕ – чутливий елемент;
ПдП – підсилювач-перетворювач

На САР діють деякі зовнішні фактори, які прагнуть вивести її із рівноваги (сталого стану). Ці фактори будемо називати збуреннями $f(t)$. Збурення бувають: ступеневі, імпульсні, гармонічні, стохастичні, «білий шум».

Метою САР є підтримування постійної величини (параметра), що характеризує процес або зміни її за заданим законом (алгоритмом), при якому величина, що регулюється, незначно відрізняється від заданого значення.

Існує три принципи побудови САР, які забезпечують реалізацію необхідного закону зміни регульованої величини:

- за розімкненого циклу (принцип Понселе, за збуренням);
- за замкненого циклу (принцип Ползунова-Уатта, за відхиленням);
- за комбінованого циклу (по замкнено-розімкненому принципу).

Регулювання за збуренням або за компенсацією основане на тому, що із сукупності збурень, діючих в системі, виокремлюють одне головне, на яке реагує САР. При цьому компенсується вплив на регулюючий параметр $y(t)$ лише основного збуреного впливу і регулюючого впливу $u(t)$, що формується в САР відповідно результатам вимірювання головного збурюючого фактору, діючого на об'єкт. Цей алгоритм керування наведено на рис. 6.2.

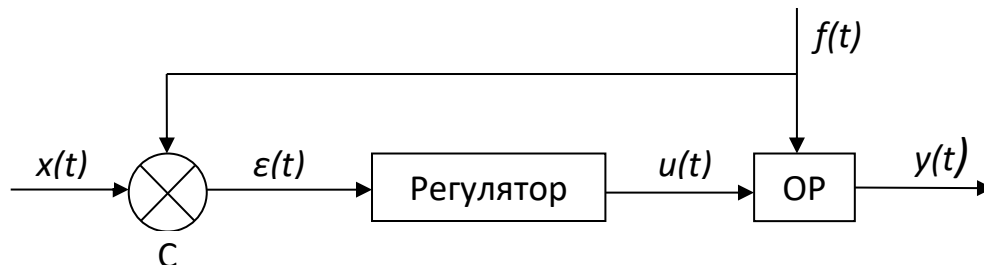


Рисунок 6.2. – Блок-схема САР за збуренням

$$\varepsilon(t) = x(t) - y(t) - \text{неузгодження}$$

Переваги цього принципу у тому, що вплив збурення $f(t)$ на систему можна зменшити до того, як виникне відхилення регульованого параметра, внаслідок впливу регулятора на об'єкт. Регульований параметр $y(t)$ на виході об'єкта не зв'язаний із входом регулятора. Регулюючий вплив $u(t)$ не залежить ані від протікання (ходу) процесу в об'єкті, ані від регулюючого параметру, проте формується лише збуджувальним впливом і законом керування, який реалізує регулятор. Регулювання за відхиленням базується на тому, що будь-яке відхилення параметра, що регулюється, $y(t)$, від його заданого значення $x(t)$ обумовлює формування впливу, що регулюється, $y(t)$, незалежно від кількості, виду і місця прикладання збурення. На рис. 6.3 наведено САР за відхиленням.



Рисунок 6.3. – Блок-схема САР за відхиленням

Параметр, що регулюється, $y(t)$, порівнюється із заданим значенням $x(t)$, визначається різниця (неузгодження) $\varepsilon(t) = x(t) - y(t)$ і регулятор виробляє регулюючий вплив $u(t)$, тобто, для формування регулюючого впливу необхідна наявність помилки, що є недоліком цього методу.

6.2. Комбінований (замкнуто-розімкнутий) принцип регулювання

Принцип керування за відхиленням і за збуренням сполучає переваги і недоліки описаних вище систем.

На рис. 6.4 наведено блок-схему комбінованої системи мехатронного керування (СМР).

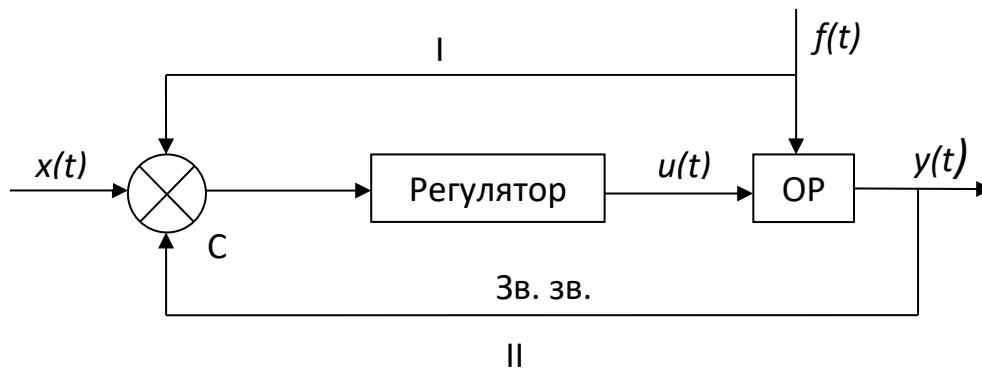


Рисунок 6.4. Блок-схема комбінованої СМР

У комбінованій САР вплив за навантаженням $f(t)$ забезпечують в темпі з процесом формування регулюючого впливу $u(t)$ відповідно змінні навантаження (контур I) і за відхиленням (контур II), з метою зменшення неузгодження, що виникає в результаті помилки регулювання за навантаженням.

Таким чином, комбінований принцип регулювання має переваги: дія основного збурення на ОР компенсується спочатку контуром I (у головному розімкненому контурі збурення без впливу власне на його величину), а неузгодження від решти збурень компенсується потім регулятором по принципу регулювання за відхиленням, тобто за рахунок контуру II і зворотного зв'язку (Зв. зв.), у мірі дії цих збурень на ОР, у замкненому контурі вихідного параметру $y(t)$.

Відомий ще і такий принцип регулювання, як адаптація. На рис. 6.5 наведено його принципову блок-схему.

Автоматичні системи регулювання, що спроектовані за цим принципом, відносяться до замкнених супервізорних систем з самоприспосовуванням та самоналагодженням [1,2,3]. Вони обов'язково містять ідентифікатор (Id), який враховує в реальному масштабі часу вихідне значення $y(t)$, основного збурення $f(t)$ та виробляє завдання $u_{завд}(t)$ регулятору АР.

Системи за принципом адаптації є більш доцільними за функціонування ОР в умовах зміни робочих характеристик обладнання, технологічних, виробничих,

бізнес- величин і здійснюються за допомогою комп'ютерних систем керування технологічними процесами в харчовій промисловості

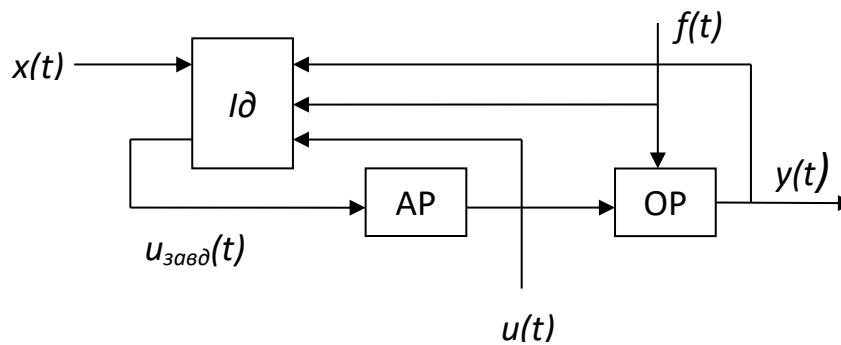


Рисунок 6.5. – Адаптивна система регулювання з ідентифікатором ($I\partial$)

Системи за принципом адаптації є більш доцільними за функціонування ОР в умовах зміни робочих характеристик обладнання, технологічних, виробничих, бізнес- величин і здійснюються за допомогою комп'ютерних систем керування технологічними процесами в харчовій промисловості.

Якщо в автоматизованій системі регулювання (АСР) підтримується постійне значення технологічного параметра $y(t) = const$, то саме мінімум неузгодження є критерієм керування: $\Delta y = y_{зад} - y(t)$.

Сучасні комп'ютерні АСР здійснюють оптимальне керування технологічними апаратами, тому проєктанти обирають більш складні показники, наприклад, продуктивність або енергоефективність.

З цього погляду критерій керування – це технологічний параметр (неузгодження) або техніко-економічний показник (собівартість), що характеризує якість роботи технологічного ОР у складі АСР.

Під оптимізацією керування будемо розуміти пошук оптимального керування, що дасть змогу досягнути максимуму, мінімуму або сталого значення критерію керування за існуючих умов виробництва продуктів здорового харчування [1, 2,14]

Технологічні процеси і системи комп'ютерного керування в харчовій промисловості вирізняються за апаратними рішеннями, але в них обов'язково є наступні елементи.

Регулятор (Р) – автоматичний пристрій, що реагує на відхилення параметра, що регулюється, від заданого значення і змінює приріст речовини абр енергії до об'єкту, що регулюється, з метою підтримування сталого стану. Регулятор складається із вимірюючого і керувального пристроїв, виконуючого механізму, регулюючого органу та лінії зв'язку.

Датчик – вимірюючий пристрій – вимірює за допомогою чутливого елемента (ЧЕ), перетворює і підсилює вплив, що одержує, сформований у вигляді сигналу, для керування наступним елементом регулятора (ВМ).

Пристрій керування – призначений для сприйняття впливу від пристрою вимірювання, і який порівнює його з впливом від задавальника в суматорі (С) та виробляє сигнал (неузгодження), пропорційний заданому значенню параметру, що регулюється. Пристрій керування підсилює одержану різницю (неузгодженість) і керує (підтримує) задані значення параметрів температури (процес стерилізації), охолодження (процес підготовки), енергоефективності (процес мінімізації витрат енергії) за допомогою виконавчих механізмів.

Виконавчий механізм (ВМ) – призначений для переміщення регулюючого органу (РО) під впливом сигналу узгодження, одержаного від керувального пристрою.

Регулюючий орган – слугує для впливу на об'єкт регулювання (ОР) шляхом збільшення або зменшення сигналу на об'єкт регулювання (наприклад, зменшення/збільшення витрат води в тістомісильний апарат, зменшення частоти напруги ТПЧ асинхронного двигуна тощо).

Для забезпечення необхідного впливу регулятора на РО у перехідному процесі, тобто з метою переходу від сталого попереднього стану процесу до нового, будемо використовувати *зворотні зв'язки* (Зв. зв.). У перехідному процесі регулятор не завжди може забезпечити необхідний характер зміни параметра, що регулюється, від заданого значення, що обумовлено наявністю перерегулювання, тобто великого значення відхилення параметру, що регулюється, від заданого значення, що недопустимо з точки зору оптимального процесу виробництва продукту харчування. Отже, керуючий пристрій водночас знаходиться під впливом вимірювального і задавального пристроїв, а також зворотного зв'язку. Вплив, що його одержує регулятор від об'єкта за рахунок вимірюючого пристрою, називається головним або зовнішнім зворотним зв'язком.

Крім цього, є внутрішні зворотні зв'язки, що дозволяють змінювати характеристику регулятора. Внутрішні зворотні зв'язки бувають позитивними та від'ємними.

Позитивний зворотний зв'язок діє на попередній елемент системи з тим же законом, з яким на нього виконується основний вплив від вимірювального перетворювача (ВП) або вторинного приладу. Ефект позитивного зворотного зв'язку полягає у підсиленні діючого основного сигналу.

Від'ємний зворотний зв'язок діє зі знаком, протилежним знаку основного впливу. Такий зв'язок забезпечує значну стійкість системи, значно зменшує інерційність, збільшує ступінь згасання, змінює динамічну характеристику перехідного процесу.

У свою чергу, зворотні зв'язки бувають гнучкими та жорсткими.

Жорсткий зворотний зв'язок передає імпульс, пропорційній вихідній величині. Введення цього зв'язку призводить до формування статичної системи регулювання зі статичною помилкою, але при цьому має місце швидке затухання коливань параметрів системи в перехідний період.

Гнучкий зворотний зв'язок передає імпульс, пропорційний швидкості зміни вихідної величини. Цей зв'язок в стійкому режимі працює таким чином, як і система без зворотних зв'язків, що забезпечує системі астатичне регулювання, тобто у цьому випадку відсутня статична помилка. У перехідному періоді гнучкий зворотний зв'язок зменшує коливання, але повільніше, ніж при жорсткому зворотному зв'язку.

У регуляторах може використовуватись синтез гнучких і жорстких зворотних зв'язків, що дозволяє сформувати гнучкий ізодромний зв'язок. Ці зв'язки забезпечують стійке регулювання системи без статичної помилки.

Жорсткі зворотні зв'язки формують важільні, важільно-пневматичні, важільно-гідравлічні, локальні, електричні мостові, електронні та інші пристрої.

Гнучкий зворотний зв'язок може створюватись в сильфонно-пневматичній системі сильфонами та важелем зворотного зв'язку, що діє на дросельну заслінку; в електронній мостовій системі – резисторами, що підігріваються нагрівачем.

Будь-яка САР складається із 2-х основних елементів: об'єкта регулювання регулятора.

Об'єкт регулювання (ОР) – апарат, машина або інша структура, де протікає певний технологічний процес.

У залежності від структури ОР підрозділяються на *одновимірні* – мають по одній вхідній та одній вихідній змінній – наприклад, резервуар (збірник) води, та *багатовимірні* – мають число векторів вхідних і вихідних змінних більше за одиницю, наприклад, два послідовно з'єднаних резервуари води.

Основними властивостями об'єктів регулювання є:

- ємність об'єкта;
- самовирівнювання;
- час розгону об'єкта;
- запізнення.

Ємність об'єкта – це здатність об'єкта акумулювати речовину або енергію.

Самовирівнювання – властивість об'єкта регулювання після внесення збурення (наприклад, зміни рівноваги між припливом і витратами речовини) самостійно, без участі людини або регулятора, переходити у новий рівноваговий стан. Самовирівнювання сприяє більш швидкій стабілізації величини, що регулюється, і, відповідно, полегшує функціонування регулятора.

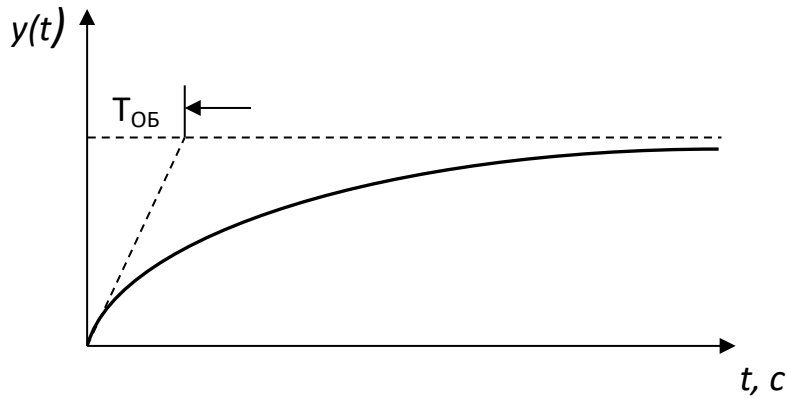


Рисунок 6.6. – Міра інерційності (ємності) статичного об'єкту

Математично самовирівнювання ОР пов'язане з виглядом його рівняння динаміки, а саме:

1. Об'єкт із позитивним самовирівнюванням, якщо його модель описана рівнянням виду:

$$T_{об} \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_1 x(t) \quad (6.1)$$

2. Об'єкт без самовирівнювання, якщо його модель описана рівнянням виду

$$\frac{dy(t)}{dt} = K_2 x(t) \quad (6.2)$$

3. Об'єкт з негативним самовирівнюванням, якщо його модель описана рівнянням виду:

$$-T_{об} \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_3 x(t) \quad (6.3)$$

Перехідні характеристики таких ОР мають вигляд, наведений на рис. 6.7.

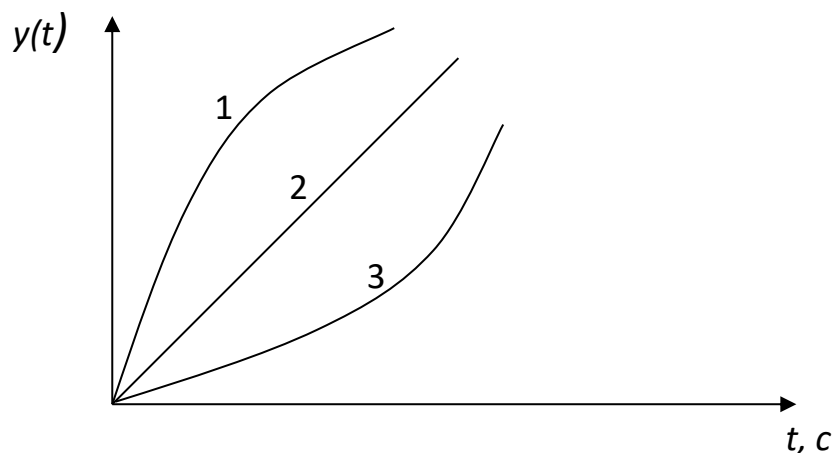


Рисунок 6.7. – Перехідні процеси в об'єктах:

1 - із позитивним самовирівнюванням;

2 - без самовирівнювання; 3 - із негативним самовирівнюванням

Отже, щоб з'ясувати, стійкий об'єкт чи нестійкий, достатньо знати, як впливає в САР відхилення регульованого параметра на надходження і витрату речовини або енергії в об'єкті.

Розглянемо два прості приклади.

Нехай в стійкому режимі, за визначеним значенням приходу палива, тиск пару в барабані котла P_0 . При збільшенні кількості палива значення параметру P_0 також збільшується і дорівнює P_1 , тобто знову досягається стійкий режим, але вже на новому рівні. Це нове положення рівноваги після збурення у визначених межах може бути досягнуто без регулятора, як наведено на рис. 6.8.

Цей приклад віднесено до об'єктів регулювання з самовирівнюванням. Мірою ємності ОР із самовирівнюванням є постійна часу кривої розгону $T_0 = T_{об}$. Це час, впродовж якого регулюємий параметр змінюється з постійною швидкістю від нуля до номінального значення (див. рис. 6.8)

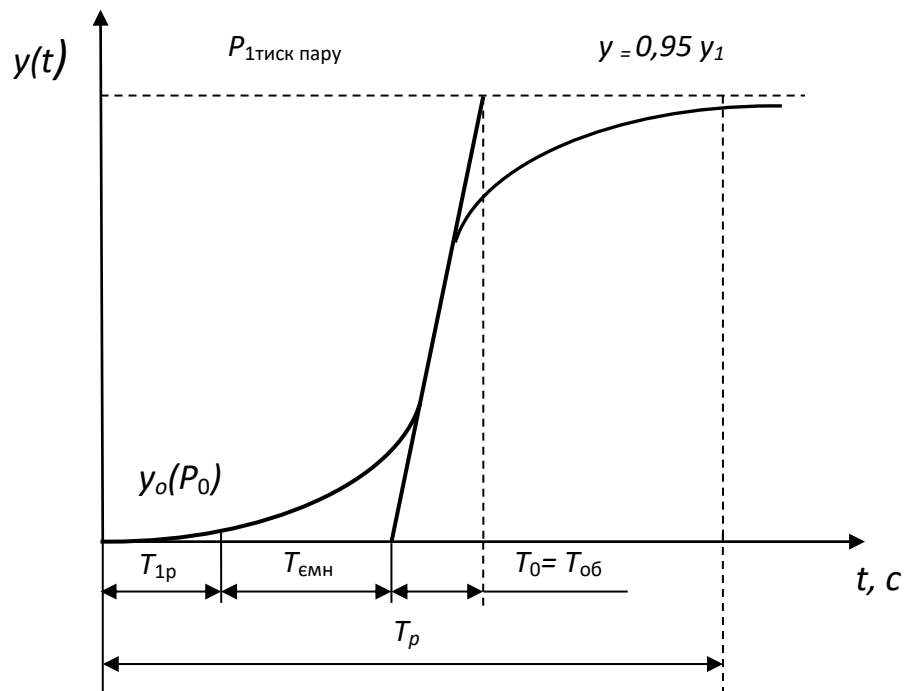


Рисунок 6.8. – Крива розгону статичного об'єкту.

Об'єкт регулювання – барабан

До об'єкта без самовирівнювання можна віднести рівень води в барабані котла. Цей приклад наведено на рис. 6.9. При різкому збільшенні витрат води в барабан котла її рівень (H) в барабані збільшується.

Витрата пару із котла залишається тим же значенням, проте надходження води продовжується, тому рівень H зростає.

У цьому випадку (для об'єкта без самовирівнювання) значення часу розгону T_p і постійної часу об'єкта $T_{об}$ можуть співпадати.

Величина, зворотна часу розгону, завжди пропорційна швидкості розгону об'єкта:

$$\varepsilon = \frac{1}{T_p(1/c)} \quad (6.4)$$

Кількісно самовирівнювання визначається коефіцієнтом, що показує, який приріст вхідної величини спричинює зміну вихідної на одиницю її вимірювання, тобто він показує, в якій ступені відхилення параметра впливає на небаланс:

$$\rho = \frac{Y}{X} \quad (6.5)$$

де X – кількісний показник збурення;

Y – кількісний показник величини, що регулюється.

Для об'єктів із самовирівнюванням частіше використовують величину, яка зворотна коефіцієнту самовирівнювання. Її будемо називати коефіцієнтом підсилення об'єкта K_p , причому:

$$K = \frac{1}{\rho} \quad (6.6)$$

У системах автоматичного регулювання після одержання збуреного впливу (стрибком змінюються витрати речовини) регульований параметр змінюється не миттєво, а через деякий час. Цей час називається запізнюванням в об'єктах.

Запізнювання в об'єктах проявляється подібно до інерційності в тому, що вихідна величина починає змінюватися не відразу після прикладання збурення (керування), а через деякий проміжок часу, що і визначає запізнювання [1]. Воно спричинюється тим, що речовина або енергія розповсюджується в об'єкті з кінцевою швидкістю, як і інформація про це.

Ємнісне запізнення залежить від ємності об'єкта. Додамо, що ємність об'єкта – його здатність акумулювати (витратити або накопичувати) речовину чи енергію в процесі керування (регулювання) ним.

Для гідравлічних об'єктів ємність, як і місткість, оцінюється об'ємом накопиченої рідини, теплових – кількістю накопиченої теплоти, рухомих – кількістю руху (моментом інерції). Ємність показує кількість речовини або енергії, що накопичується в об'єктах за визначеного (або певного) значення вихідної величини (рис. 6.9.).

За видом походження запізнювання може називатись транспортним $\tau_{тр}$, коли час $\tau_{тр}$ від моменту вчинення збурення до початку зміни керованого параметра. Транспортне запізнювання пов'язане зі швидкістю v розповсюдження дії в

середовищі об'єкта і може спостерігатися навіть в астатичних або в без інерційних об'єктах.

При цьому значення і форма вихідної величини залишаються такими самими, як і у вихідної, а перехідні процеси, що відбуваються в об'єкті (рис. 6.10а) мають вигляд, зображений на рис. 6.10,б.

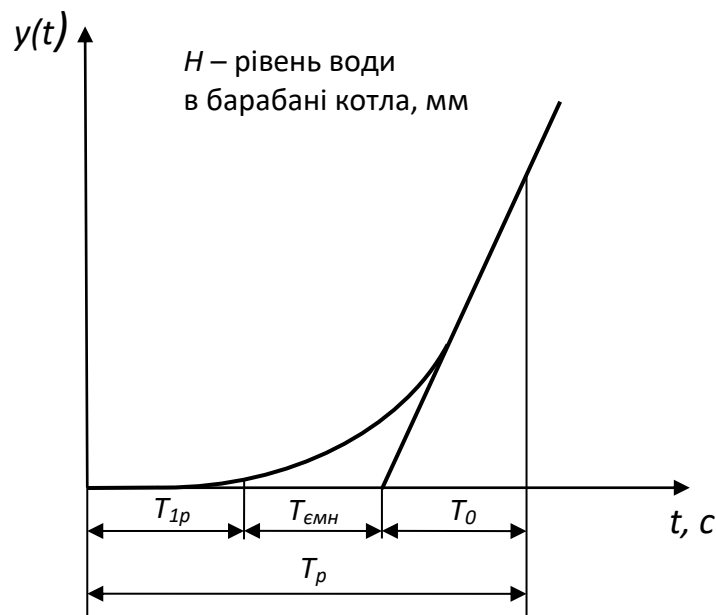
Перехідне запізнювання $\tau_{\text{п}}$ пов'язане з інерційністю об'єкта та формою (закономірністю) зміни вихідної величини, що показано на рис. 6.8.

Повне запізнювання визначається за формулою:

$$\tau_{\text{з}} = \tau_{\text{тр}} + \tau_{\text{п}}, \quad (6.7)$$

$$\tau_{\text{тр}} = \frac{l}{v}.$$

Найбільшим запізнюванням характеризуються об'єкти, в яких регулюється температура, а найменшими – об'єкти, в яких підтримується навантаження



**Рисунок 6.9 – Криві розгону астатичного об'єкту.
Об'єкт регулювання – барабан котла**

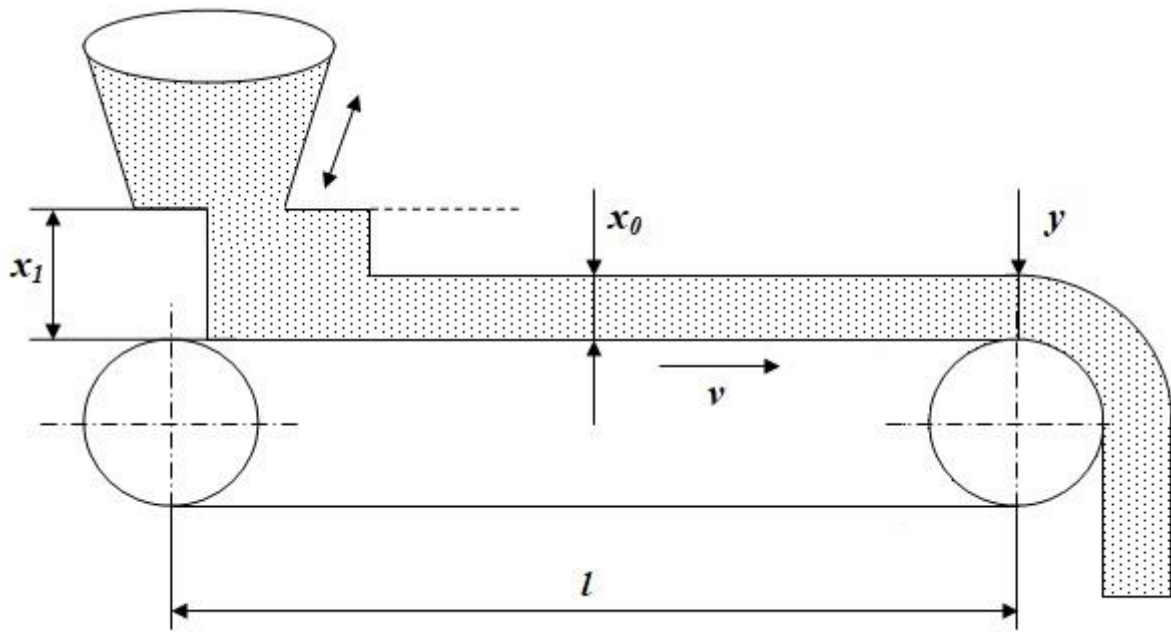


Рисунок 6.10,а – Схема об'єкта з чистим (транспортним) запізнювання

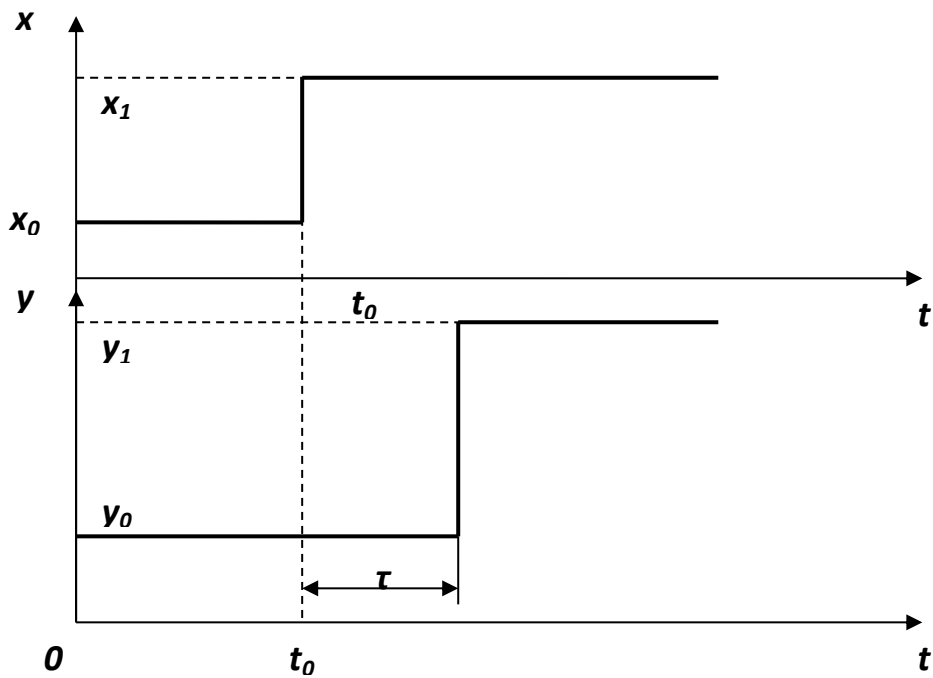


Рисунок 6.10,б – Динамічна характеристика об'єкта регулювання з чистим (транспортним) запізненням

6.3. Мехатронні модулі та синтез систем мехатронного керування виробництвом продукції харчування

Мехатронний модуль – це функціональний і конструктивно самостійний синергетичний, апаратно та програмно інтегрований виріб, що складається з елементів різного фізичного походження і призначений для реалізації певних функцій системи.

Розпочнемо цю важливу тему з синтезу мехатронних систем керування процесом очищення борошна від металевих частинок за допомогою магнітних сепараторів.

Рівняння ідеальної сепараційної характеристики для магнітного сепаратора з моношаром борошна:

$$\varepsilon_H(\chi) = \begin{cases} 0, & \text{при } \chi < \chi_p \\ 0,5, & \text{при } \chi = \chi_p \\ 1, & \text{при } \chi > \chi_p \end{cases} \quad (6.8)$$

де χ - магнітна сприйнятливості магнітних частинок: χ_{min}, χ_{max} – мінімальне, максимальне значення магнітної сприйнятливості частинок металу; $\varepsilon_H(\chi)$ - ідеальна сепараційна характеристика, χ_p - магнітна сприйнятливості розділення. На основі аналізу рівнянь масопереносу [10] і балансу магнітних та відцентрованих сил, що діють на магнітні частинки в борошні, одержано вираз для магнітної сприйнятливості розділення χ_p :

$$\chi_p = \frac{v^2 \rho_0}{RH_{gradH}} \quad (6.9)$$

де: v – лінійна швидкість обертання барабана сепаратора; R – радіус барабана сепаратора; H – напруженість магнітного поля магнітної системи сепаратора.

Аналіз рівняння (6. 9) показує, що реальним регулюючим впливом, для сепараторів з постійними магнітами, який стабілізує межу розділення χ_p , є швидкість обертання сепаратора. Ця швидкість впливає на відцентрову силу, змінює баланс сил, що діють на залізну частинку в борошні, умови очищення борошна та виділення металевих частинок [1,13].

Кінетику процесу сухого магнітного виділення із борошна металевих частинок опишемо формулою [13]:

$$\varepsilon(\chi, t) = (1 - e^{t\tau k}) + \frac{1}{2} e^{t\tau B}, \quad (6.10)$$

де

$$r = \frac{H_{gradH}}{3\alpha \cdot 2B\gamma_{BX}(\chi)} \left[\frac{H_{gradH}(\chi_{max} - \chi_{min})2B}{3D\alpha} - 1 \right], \quad (6.11)$$

Час процесу сепарації металевих частинок із борошна t залежить від довжини робочої зони сепаратора L та лінійної швидкості обертання його барабану v .

У формулі (6.11) H – напруженість магнітного поля сепаратора; B – товщина шару борошна, що поступає до відділення опара-тісто; α – коефіцієнт опору середовища, D – коефіцієнт дифузії; $\gamma_{окід}(\chi)$ - диференційна функція розподілу властивості борошна.

Вимогою управління процесу очищення борошна від металевих частинок є розподілення на чисте борошно і металеві частинки – залізо.

Цей процес є стохастичним і вимагає більш детальної ідентифікації параметрів, які визначають динамічні режими очищення борошна: τ_p - час еквівалентного запізнювання, M – запаси борошна, Q – продуктивність процесу очищення:

$$Q_n = \frac{M}{\tau_0}, \quad (6.12)$$

На рис 6.11 наведено функціональну схему мехатрони системи керування процесом виділення (очищення) борошна від магнітних частинок.

Борошно з бункера B_1 через подавач 1 надходить на конвейер 2 МС1 з магнітною системою 3. В системі очищення борошна від металевих частинок використано наступні елементи:

МС1 – магнітний сепаратор; B_2 - бункер для очищеного борошна; B_3 - бункер для магнітних частинок; АД – асинхронний двигун; ТПЧ – тиристорний перетворювач; ω_1 - кутові швидкості обертання магнітного сепаратора; МС1, а також 2 – барабан; 3 – магнітна система; 4 – здавачі магнітної індукції у вигляді магнітних резисторів. П1 – перетворювач постійного струму; Р1 – регулятор межі розділення x_{p1} – сепаратора МС1.

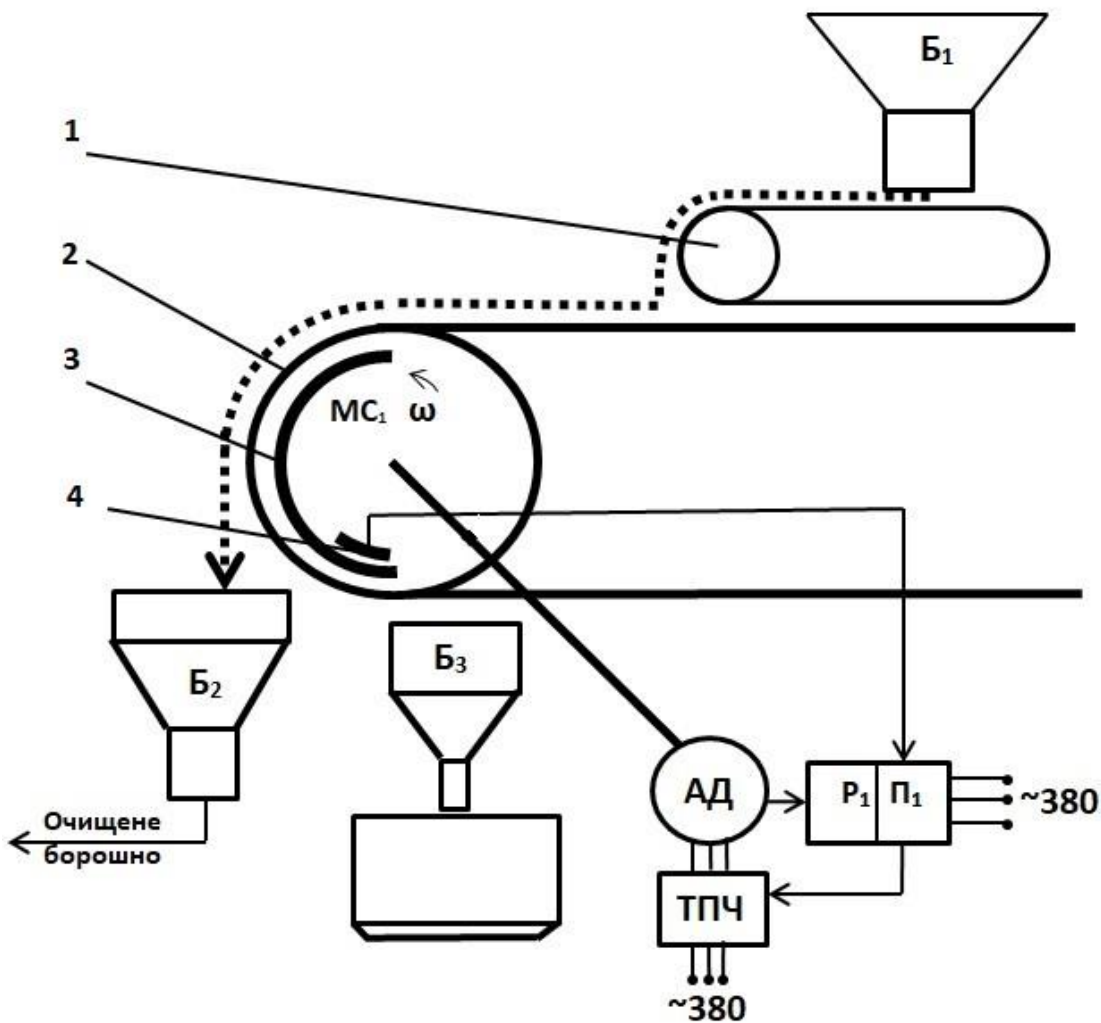


Рисунок 6.11. Функціональна схема автоматизації процесу виділення (очищення) борошна від магнітних частинок.

Борошно з бункера B_1 поступає через давач на магнітний сепаратор MC_1 , що має межу розділення x_{p1} , сепараційну характеристику $\varepsilon_1(\chi)$. При зміні характеристик борошна задана межа розділення x_{p1} стабілізується зміною кутової швидкості ω_1 , за допомогою тиристорного перетворювача ТП. У бункер B_1 - йде борошно, а до B_2 залізні частинки, вихід яких $\gamma_1(\chi)$.

Виконані дослідження імпульсивної системи регулювання межі розділення магнітного сепаратора шляхом зміни швидкості обертання його барабану. Цей процес опишемо кінцево – різностним рівнянням системи:

$$I_B(n + 1) + A_1 I_B(n) = A_1 I_{B_0}(n), \quad (6.13)$$

де I_B - вихідний токовий сигнал датчика магнітної індукції у робочій зоні сепаратора; I_B – завдання.

На рис 6.12 побудована реакція імпульсної системи на одиничну східчасту зміну завдання шляхом рішення кінцево-різнісного рівняння системи (6.13).

Отже, підвищити ефективність розділення борошна на чисте і виділення магнітних металевих частинок можливо за допомогою АСУ, в якій чистоту борошна можливо досягти шляхом регулювання швидкості обертання барабана за допомогою ТП, та імпульсивного цифрового регулятора швидкості асинхронного електродвигуна [13,14].

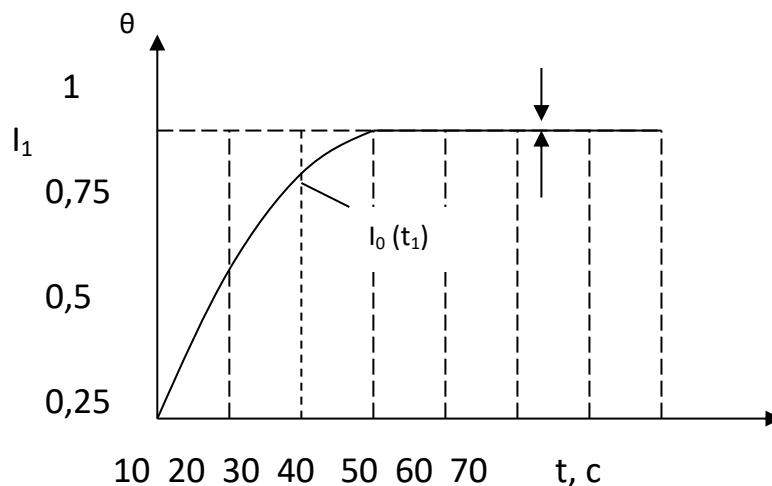


Рисунок 6.12 Реакція системи на одиничну східчасту зміну завдання

В системі управління очищенням борошна від металевих частинок використано також регулятор P_1 , який має передатну функцію:

$$G_c(p) = \frac{k(p+2)}{p+12}, \quad (6.14)$$

Регулятор P_1 враховує величину повітряного проміжку (Π) і дозволяє скорегувати зміни чинників і межі розділення χ_p шляхом вибору оптимальної швидкості барабана 2 і його конвеєра.

Перейдемо до синтезу деяких мехатронних систем керування відділенням приготування тіста. Система керування рівнем рідини в тістомісильній машині відноситься до відносно простих мехатронних систем.

На рис 6.13 наведено мехатрону систему керування рівнем рідини (α) та структурну схему системи.

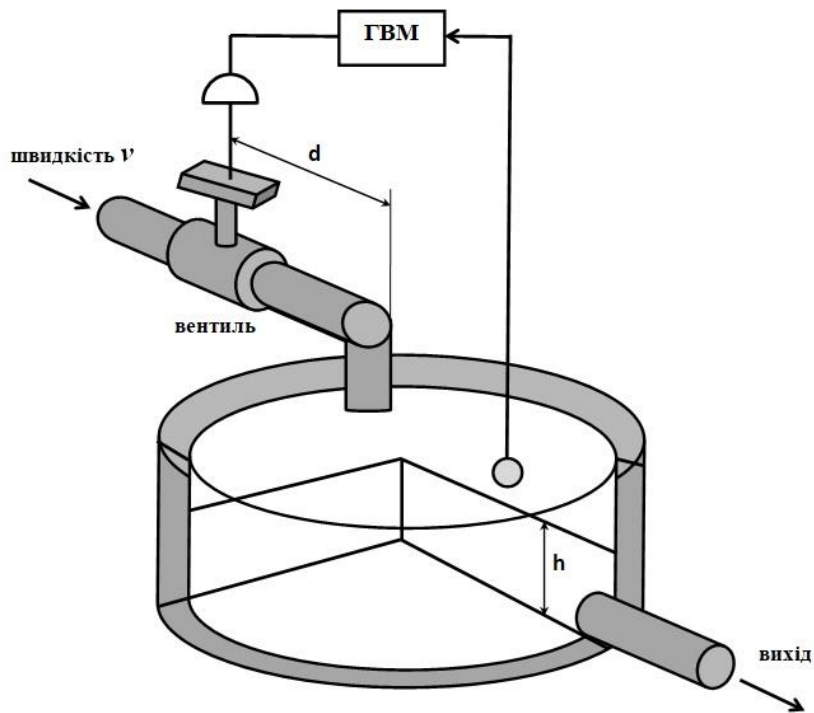


Рисунок 6.13. Мехатронна система керування рівнем рідини тістомісильної машини

Запізнення між вентилем і точкою введення рідини в резервуар складає $T = d/vc$, де d – розмір, який визначено конструктивно,

v – швидкість. Якщо, наприклад, потік рідини дорівнює $5 \text{ м}^3/\text{с}$, площа поперечного перетину трубопроводу 1 м^2 , а відстань $d = 5 \text{ м}$, то запізнення $T = 1 \text{ с}$.

Відмітимо, що ланка запізнення завжди вносить додатковий від’ємний фазовий зсув і відповідно погіршує стійкість замкненої системи. Оскільки в багатьох системах з великим запізненням для одержання стійкості необхідно зменшувати коефіцієнт підсилення, але при цьому збільшується помилки в системі щодо регулювання рівня рідини. Розглянемо інший приклад мехатронної системи, а саме: дистанційно керована платформа з діжою, в якій тісто надходить в систему підготовки хліба. Таку систему будемо називати мехатронним модулем руху.

Мехатронний модуль руху (ММР)- це конструктивно й функціонально самостійний пристрій, що складається з механічної, електротехнічної, електронної та інформаційної компонент.

Один із прикладів такого мехатронного модуля руху наведено на рис.6.14.

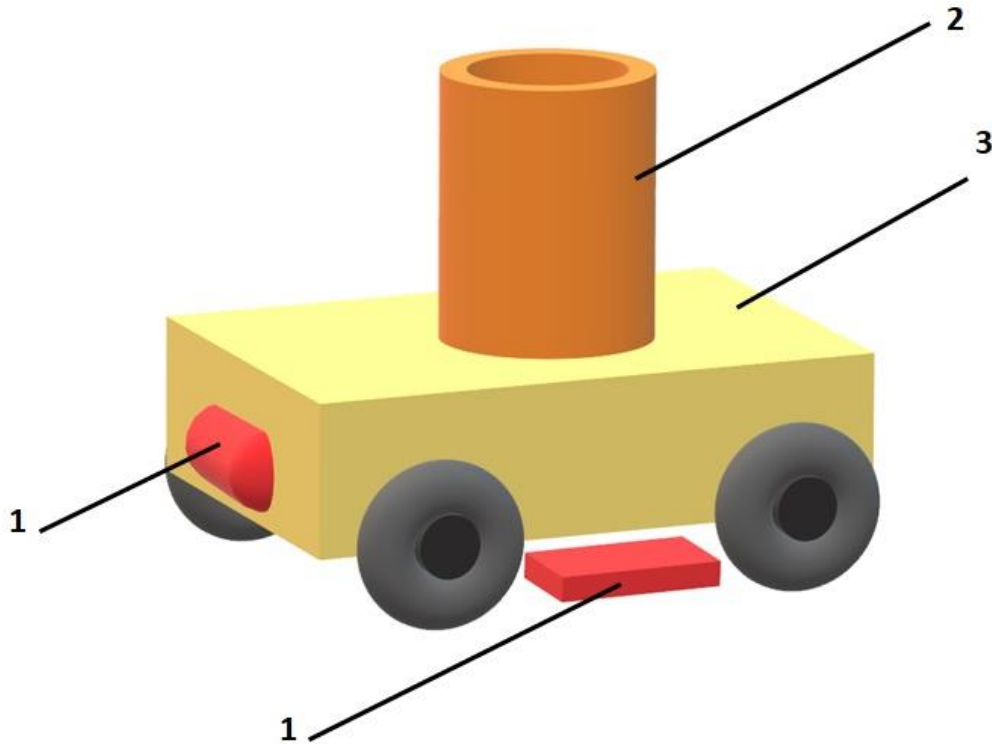


Рисунок 6.14 Дістанційно керована платформа з діжою

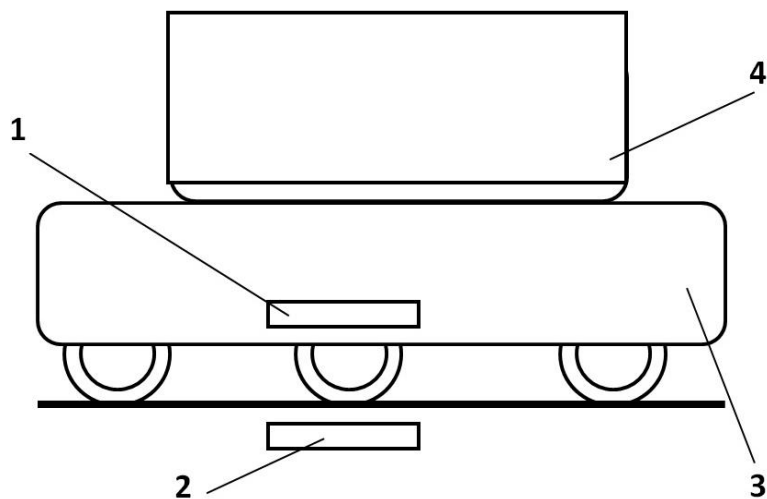
1 – візуальні датчики; 2-діжа з тістом;3- платформа

Інформація про задану швидкість передається у ММР по промисловому інтернет-зв'язку. На шляху руху апарату-діжі виникають збурення $D(p)$, які пов'язані з різного роду нерівностями. Система керування у випадку ступеневого вхідного сигналу $R(p)$ повинна забезпечувати малу сталу помилку і мале відносне перерегулювання. В табл.6.1. наведено показники якості системи при різних значеннях K .

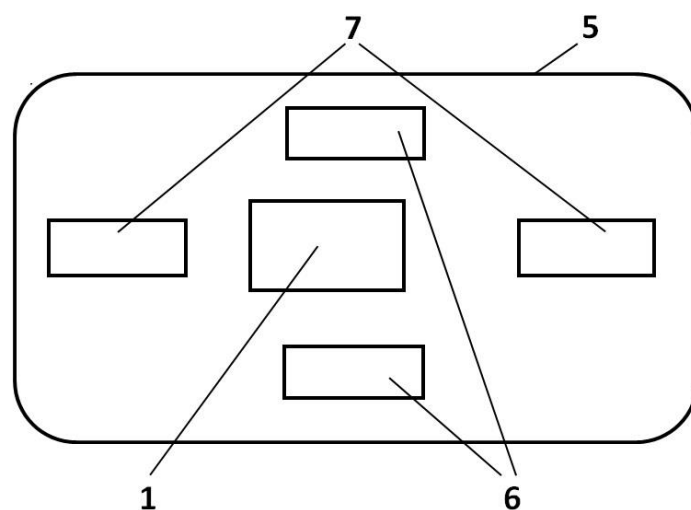
Показники якості при різних значеннях К

К	4,44	10	20
Відносне перерегулювання %	32,4%	48,4%	61,4
Час устанавлення, с	4,94	5,46	6,58
Час максимума перехідної характеристики, с	1,19	0,88	0,67
e_{ss}	31%	16,7%	9,1%

В технологічній системі транспортування готової продукції інтелектуального підприємства використовують транспондери, зовнішній вид якого наведено на рис. 6.15.



а)



б)

Рисунок 6.15. Автоматично керований засіб-транспондер для перевезення контейнерів з хлібом на склад.

а) загальний вигляд транспондера: 1 - візуальний датчик; 2 - вбудований в підлогу сенсор-бірка транспондера; 3 - візок; 4 - бункера з хлібом; 5 - акумуляторний відсік; 6 - колеса ведучі; 7 - регулююче колесо;

б) структурна схема керування.

Система транспортування хліба повинна забезпечити рух точно по заданому маршруту, а головне бути не чутливою до зміни коефіцієнту K_1 і ефективно зменшувати вплив збурень (див. результати імітаційних досліджень табл. 6.2)

Таблиця 6.2.

Показники якості при різних значеннях K

K	4,4	10	20
Відносне перерегулювання, %	32,6%	48,8%	62,6
Час установлення, с	4,34 с	5,26	6,38
Час максимуму перехідної характеристики, с	1,29	0,86	0,58
e_{ss}	31%	16,2%	9,23%

Відносне перерегулювання визначено за формулою:

$$В. П. = \frac{M_p - M_{к.з}}{M_{к.з}} \cdot 100\%, \quad (6.15)$$

де M_p – максимальне значення перехідної характеристики; $M_{к.з}$ – кінцеве значення (інколи $M_{к.з} = 1$). На рис. 6.17 призначено інформативно – вимірювальний мехатронний модуль з системою керування відеокамерою.

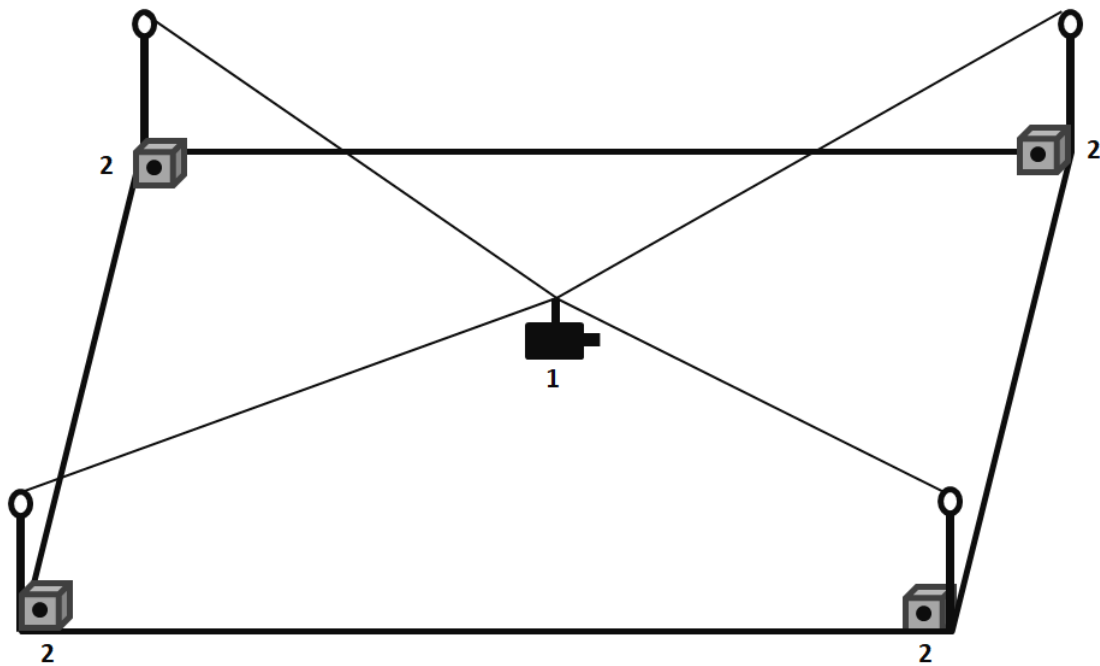


Рисунок 6.17. Дистанційна система керування відеокамерою

1- камера візуалізації; 2 – привід важеля.

В системі оптимальними параметрами є: $\tau_1 = 20 - 25 \text{ мс}$; $\tau_s = 2 \text{ мс}$; $D(p)$ – збурення компенсовано при $K=11$.

Система керування приводом кожного важеля мехатронного простора ідентифікована рівнянням виду:

$$G_B(p) = \frac{10}{p(p+1)(0.1p+1)}, \quad (6.16)$$

Отже, інформаційно- вимірювальні мехатронні модулі призначені: 1. для візуалізації параметрів системи; 2. для збору, обробки, передачі, зберігання та подання достовірної інформації у зручному для обчислювальної техніки вигляді та для реалізації керування мехатронними системами.

Розроблені системи мехатронного керування технологічними операціями в подальшому будуть об'єднані в систему інтелектуального управління технологічними процесами виробництва продукції, утворивши робототехнологічний комплекс.

Запитання для самоперевірки до першого модуля:

- 1. Що таке робот?*
- 2. Система координат робота*
- 3. Етапи проектування мехатронних комплексів.*
- 4. Швидкодія робота 5. Маніпулятор робота, що діє в декартовій системі координат(переваги та недоліки)*
- 6. Оценіть перспективи використання роботів та мехатронних пристроїв в харчовій промисловості*
- 7. Що таке синергетичний ефект?*
- 8. Адаптивні мехатронні пристрої*
- 9. Основні напрями застосування мехатронних систем.*
- 10. Сформулюйте поняття (визначення) мехатронний модуль*
- 11. Чим пояснюється широке використання в мехатронних системах принципу синергетики?.*
- 12. Назвіть приклад комбінованих технологій в робототехнологічних системах*
- 13. З якою метою проєктанти використовують адаптивні системи в роботизованому керуванні технологічних процесів виробництва продуктів харчування?*
- 14. Дайте визначення загальної структури системи автоматичного регулювання.*
- 15. Поясніть сутність принципу Ползунова-Уатта*
- 16. У чому особливість аналізу комбінованих(замкнуто-розімкнутих)принципів регулювання?.*
- 17. Методи використання зворотних зв'язків*
- 18. Комбінований (замкнуто-розімкнутий)принцип регулювання.*
- 19. Назвіть основні ознаки об'єкта керування.*
- 21. У чому особливість аналізу математичного самовирівнювання ОР.?*
- 22. Вкажіть вигляд рівняння динаміки об'єктів регулювання.*

Модуль 2. Інтелектуальні робототехнологічні системи керування, побудовані за використанням нечіткої логіки та штучних нейронних систем

Тема 7. Інтелектуальні робототехнологічні системи

7.1. Основи теорії

За останні десять років в промисловому комплексі України досягнуто значний прогрес в сфері робототехнологічного переозброєння виробництва продукції. Передові технології виробництва продукції на корпоративних підприємствах харчової промисловості) вимагають від проєктантів систем управління підприємствами розробки сучасних інтелектуальних систем інтегрованого керування технологічними і мехатронними системами. Таким чином, створення наукових основ і розробка сучасних типових систем інтелектуального управління підприємствами на основі досягнень нейрофізіології, теорії управління, інформаційних технологій, мехатроніки і мікропроцесорних систем є актуальними і своєчасними завданнями, що стоять перед науковцями України.

Наукові і практичні напрямки досліджень щодо розробки інтелектуальних системи були сформульовані ще в кінці 1989 року як закордоними, так і українськими вченими [1,2,3,4,5,10,11,17,36]. В цих наукових працях наведено визначення інтелектуальних систем як об'єднаної інформаційним процесом сукупності технічних засобів і програмного забезпечення, що працює у взаємозв'язку з людиною або колективом людей, або автономно, яка на основі використання знань при наявності мотивації виробляє рішення про дії і знаходить раціональні способи їх реалізації.

Досягнення в галузі нейрофізіології, мікроелектроніки, інформаційної технології і техніки одержання інформації про стан процесів виробництва харчової продукції, розробки адаптивних систем управління привели дослідників до можливості створення нового покоління систем – інтелектуальних [2,8,9].

В основу концепції таких систем була покладена теорія функціональної системи, яка описує системну реакцію живого організму і яка вмє пристосовуватися до зовнішнього оточення.

Розвиток інформаційних технологій в двадцять першому сторіччі буде сполучено з розробкою і створенням інтелектуальних систем обробки інформації і управління в різних середовищах життя і діяльності людини. Сьогодні сучасні комп'ютерні засоби управління і SAP почали впроваджувати

для управління на підприємствах харчової промисловості, які дозволяють людині-диспетчеру, ОПР-особі, що приймає рішення (майстри, інженери-технологи, начальники змін і начальники цехів) краще обробляти складну інформацію, гнучко управляти виробництвом n-видів продукції. Сучасні комп'ютерні технології керування значно перевищили можливості людини щодо обробки інформації, розрахунків, обробки текстів та в сфері логічного виводу. В той же час в умовах управління складними технологічними процесами і невизначеності прийняття рішень їм ще не вистачає гнучкості, в розпізнаванні технологічних ситуацій, рішенні задач в умовах неповної інформації, у вмінні постійного навчання, прогнозі результатів дій оперативного персоналу і розробки керувань (управління) в умовах складних динамічних технологічних ситуацій, великих запізнь і з врахуванням динаміки руху процесів переробки борошна у реальному часі.

Кожна людина-оператор, технолог навчилась “гнучко” обробляти інформацію, і яка відрізняється від традиційної “жорсткої” обробки інформації за допомогою електронних обчислювальних машин (ЕОМ), такі технології допускають наявність повністю заданої інформації в “апріорі” оговореному світі або проблемній області.

Цей підхід до обробки інформації будемо називати асоціативним або “інтуїтивним” у протиположності логічному, який ще зовсім не є розвинутим в існуючих на підприємствах інформаційних технологіях. Відмітимо, що в останні десять років розвиток інформаційних технологій виник у взаємодії з еволюцією обчислювальних систем. Особливий інтерес викликають ЕОМ п'ятого покоління, в яких інформація використовується для обробки бази даних (БД) і побудови бази знань (БЗ), та логічного виводу, що створює початок інтелектуалізації управління складних виробничих та економічних систем [11].

В кінці 80-х років 20 сторіччя була висунута концепція “Інтелектуальних систем” з новою парадигмою обробки інформації [1,2].

З початку 90-х років минулого сторіччя в Японії, як продовження програми “Обчислювальні системи п'ятого покоління” розроблена програма “Обчислювальні системи реального світу” (Real-World Computing-RWC), яка враховує умови інформаційної фази розвитку суспільства до середини ХХІ сторіччя.

Суть цієї програми є пошук алгоритмів, забезпечуючи інтеграцію нових базисних функцій при підтримці наступних сфер знань:

- розпізнавання і розуміння ЕОМ жестів, руху пальців, оператора технологічного процесу;
- розуміння мови операторів;
- логічний вивід і рішення задач;
- розробка інформаційних баз для створення БЗ і алгоритмів прийняття

рішень на основі статистичних даних в умовах обмежень;

- методи самоорганізації складних інформаційних баз;
- рішення задач моделювання і організація дружнього інтерфейсу;
- розпізнавання намірів людини і робота з широколінійними каналами зв'язку, які він використовує для передачі інформації (за допомогою жестів, звуків, малюнків).

У подальшому дослідження щодо процесів виробництва хліба будуть направлені на реалізацію автономних інформаційних інтегрованих систем і інформаційних систем про зовнішнє середовище. Тобто такі системи дозволяють як керувати складними технологічними процесами (траєкторія виробництва продукції), так і бізнес-процесами (траєкторія управління чистими потоками грошей (ЧПГ)), та управління “портфелем” замовлень продукції здорового харчування.

В концепції інтелектуальних систем принциповим є те, що вони постійно взаємодіють із зовнішнім середовищем, завжди присутня мотивація, використовуються знання для синтезу цілі, оцінки, прийняття рішень і розробки управління, контроль реальних результатів управління і співставлення їх з розробленими нижче динамічними експертними системами управління виробництвом продукції здорового харчування[1,2]. Тому дослідження і створення інтелектуальних експертних систем потребує в свою чергу розробки нових інформаційних технологій. Такі технології експертних оцінок і управління базуються на роботах українських вчених [1,2, 13, 17].

Інформаційні технології знайшли широке використання на підприємствах харчової промисловості і почали використовуватись в системах раціонального розподілу продукції, управління якістю продукції, управління енергоефективністю, екологією тощо. Сучасні інформаційні технології визивають якісні покращання образу життя, стимулюють розвиток криворізького регіону. Використання Промислового Інтернет речей розширює можливості персоналу підприємств щодо енергоефективності виробництва та надійності і працездатності обладнання й підвищення якості продукції) [1,14].

В зв'язку з цим для розробки інтелектуальних систем важливо вивчити інтуїтивний (асоціативний) аспект обробки інформації людиною і включити їх у вигляді нової інформаційної технології в корпоративну інтегровану SAP. При цьому координуючи логічний та інтуїтивний аспекти обробки інформації, інтелектуальні системи (ІС), виступаючи як нова парадигма інформаційної технології: будуть включати також нові функції:

- синтез цілі на основі мотивації, знань зовнішнього середовища і власного стану системи;
- інтеграції різної, складної, з перехресними зв'язками інформації, яка містить в собі невизначеність і одержання приблизного рішення в потрібний

час;

- активного опанування необхідної інформації, знаннями і набуття знань інтуїтивно;
- адаптації самої системи до споживача в умовах зміни середовища;
- розробка і використання управління для досягнення цілей.

Оскільки людина може гнучко обробляти інформацію тому, що мозок з'єднує розподілене уявлення інформації, високу паралельну обробку, здібність до навчання і самоорганізації, а також здібність інтегрувати інформацію, то в технічній реалізації цих характеристик штучних інтелектуальних систем потрібно вказати на два аспекти:

- функціональний аспект, для якого характерні допущення і інтеграція невизначеної і сумнівної інформації і здібність до адаптації та інтеграції;
- обчислювальний аспект, для якого характерна високо паралельна і розподілена обробка багатомодульної, багатомірної, з великою кількістю зв'язків інформації.

По суті, обробка інформації – це функція, здібність, яку одержали люди в процесі еволюції, пристосовуючись до зміни обставин і впливів зовнішнього середовища. Ця функція хоч і багатогранна, але в ній ми можемо виділити аспекти логічної і інтуїтивної обробки інформації.

В цьому зв'язку важливо розглянути, яким чином ці два аспекти обробки інформації розвиваються та інтегруються у обчислювальній частині інтелектуальної системи по відношенню до обробки інформації і розробки управління людиною.

Маємо деяку різницю ε між результатами обробки інформації мозком людини і за допомогою алгоритмів, реалізованих в тому чи іншому обчислювальному середовищі.

Ця різниця повинна бути мінімізована, приймаючи до уваги, що здатність до “гнучкості” обробки інформації поки все ж належить людині. Крім того, повинно бути синтезоване таке управління, яке спонукає до досягнення цілі, яка вибирається в інтелектуальній системі.

Технологія обробки інформації повинна доповнювати або замінювати людську функцію її обробки шляхом автоматизації і інтеграції логічних і інтуїтивних підходів.

Відмітимо, що історично механізми автоматизації розвивалися теоретично і технологічно виключно для застосування до логічної обробки в традиційних цифрових комп'ютерах, і в зв'язку з цим послідовна обробка затвердилася сьогодні як панівна парадигма. Крім цього інтуїтивна обробка інформації вивчалася у таких сферах, як розпізнавання образів і навчання, алгоритми яких реалізуються на базі нейронних обчислювальних мереж, на яких може бути реалізована паралельна і розподілена обробка інформації. При цьому інтуїтивна

обробка інформації залишається ще слабко розвинутою сферою інформаційних технологій.

Звідси витікають нові проблеми в розробці і створенні інтелектуальних систем. Системи повинні підтримувати різні аспекти людської діяльності, накопичуючи у базі знань (БЗ) інформацію про реальний світ і, використовуючи її для прийняття рішень і розробки управління для досягнення прогнозованих результатів дій усієї системи. Така інформація дуже широка і по своїй природі їй властива модальність, невизначеність, і неповнота. Тому інтелектуальні системи вимагають реалізації нових функцій з різною гнучкістю, які об'єднують в собі такі поняття, як стійкість, функціонування, якість, протікання перехідних процесів у реальному часі, відкритість. Новизна функцій повинна будуватися на основі нових теоретичних положень або алгоритмів, які придатні для інтелектуальних систем, що включають такі гнучкі функції, як інтеграція символів і образів, навчання і самоорганізацію.

Для управління підприємством й розробки сучасних систем інтелектуального управління необхідна гнучка обробка інформації:

- розпізнавання і знання різного роду інформації типу рисунків, звуків мови і символічної інформації, яка властива природній мові;
- вивід і рішення задач за допомогою бази знань, які допускають пряму обробку інформації і мають здатність до навчання і самоорганізації;
- інтерфейс і моделювання взаємодії людини з реальним зовнішнім середовищем;
- управління середовищем і автоматичне керування в інтелектуальних системах, що функціонують в реальному середовищі.

В зв'язку з цим вкажемо на два напрямки розвитку інтелектуальних систем управління підприємством. Це – автоматичні інтелектуальні системи, адаптовані до реального зовнішнього середовища і діалогові системи, в яких інтегровані функції автоматичних систем і людини в їх взаємозв'язку [16].

Перший напрямок означає об'єднання інтелектуальних систем з реальним світом. При цьому системи повинні бути здатними автономно приймати і контролювати середовище шляхом активної і адаптивної взаємодії з реальним світом і спроможні взяти на себе частину діяльності людини в цьому світі. Таким системам потрібно навчитися управляти об'єктами, наприклад, виробництва хліба в умовах невизначеності, зі змінами інформації про характеристики борошна, низької точності систем контролю, змін інформації про “портфель” замовлень, бізнес-процесів тощо.

До нових функцій цих систем потрібно віднести: розуміння впливу зовнішнього оточення (середовища), моделювання реального операційного бізнес-процесу, планування послідовності дій, оптимальне управління з метою

досягнення бажаних результатів як монетарних, так і немонетарних цілей, елементи адаптації і самоорганізації.

Другий напрямок означає “об’єднання” системи з людиною. Це повинні бути гнучкі системи, що підтримують і підвищують інтелектуальну діяльність людей в таких сферах, як рішення задач інтегрованого управління підприємствами харчової промисловості, синергетики бізнес-процесів і одержання інформації за рахунок розширення каналів зв’язку між людьми і системами процесного управління бізнес-процесами на базі систем ERP [16].

Для того, щоб допомогти людям в рішенні задач і одержання нової інформації, потрібно гнучко оцінювати інформацію як важливий ресурс бізнес-процесів в системі інтегрованого управління підприємством.

Тут нові функції в системі: це питання і відповідь, які висловлені на природній мові; розуміння намірів на базі різнотипної інформації, що надходить від людей; реалізація інтелектуальної підтримки для знаходження і представлення потрібної інформації у значній кількості даних, що зберігаються у базах даних (БД) і прогнозування виробничих показників (продуктивності, якості продукції, ліквідності, чистих потоків грошей (ЧПГ), тобто змін в реальному часі).

Для інтелектуальних систем ці нові функції необхідно оцінити з точки зору забезпечення таких важливих характеристик інтелектуальних систем: стійкість, відкритість і робота в реальному часі.

Крім того, інтелектуальні системи зі штучним інтелектом XXI століття, наприклад платформа Chat GPT, стане за словами Біла Гейтса інновацією подібною до Інтернет-технологій, яка дозволє створити безлюдні технології.

Сучасні системи зі штучним інтелектом базуються не на одній, а на різних ключових інформаційних технологіях, таких як технології для високо паралельних обчислювальних мереж (трансп’ютероподібних), оптичних обчислювальних систем, нейросистем і логічних обчислювальних систем [2,13,19,20,33]. Ці технології повинні інтегруватися в інтелектуальних системах управління складними технологічними процесами, щоб забезпечувати реальні цілі корпоративних власників підприємств в умовах складного зовнішнього середовища і високої конкуренції [17,21,22]. Перейдемо до створення концепції та визначення основних понять інтелектуальної системи.

Поява мікропроцесорів високої продуктивності і з великим об’ємом пам’яті, можливість організації мультитрансп’ютерних мереж для реалізації паралельних обчислювань, з одного боку, і необхідність оброблення значних масивів інформації, використання бази знань для формування цілеспрямованої діяльності – з іншої, привели до створення сучасних інтелектуальних систем управління виробництвом продуктів харчування [1].

Як уже було визначено під інтелектуальною системою управління підприємством (підрозділом, цехом) будемо розуміти об'єднану інформаційним процесом сукупність технічних засобів і програмного забезпечення, працюють у взаємозв'язку з людиною (колективом людей) або автономно, і яка на основі знань про технології процеси і процеси управління бізнесом на рівні підприємства і при наявності мотивації синтезує основну ціль корпоративного підприємства і виробляє рішення про дії і знаходить раціональні способи їх досягнення шляхом оптимізації ресурсів. Розглянемо структуру інтелектуальної системи, представлені на рис. 7.1.

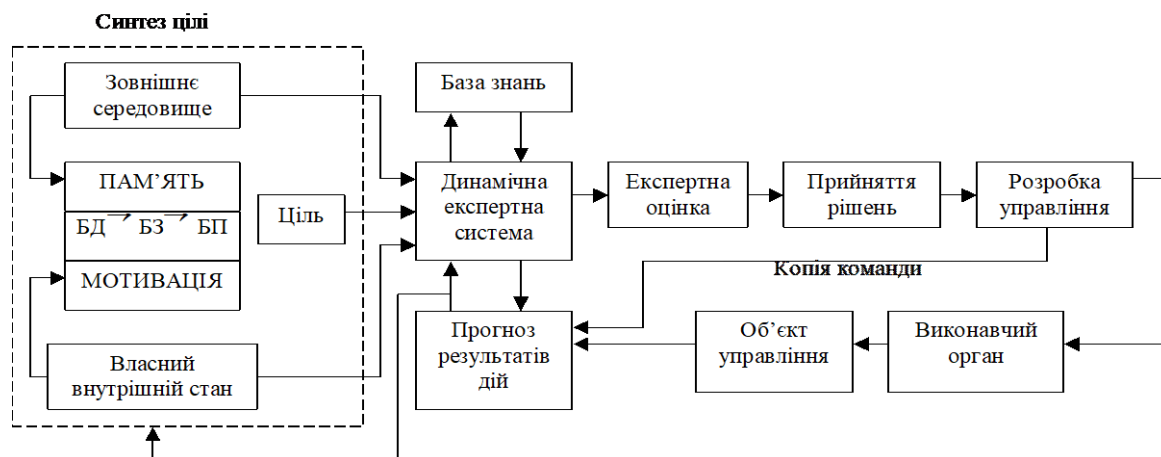


Рисунок 7.1. Структурна схема інтелектуальної системи

На основі інформації про стан зовнішнього ринкового середовища виробництва хліба, у галузі і власного внутрішнього становища при наявності БЗ, БП (бази правил) – пам'яті і мотивації синтезується ціль, яку в сукупності з іншими даними розуміє динамічна експертна система.

Остання з використанням бази знань проводить експертну оцінку, на основі якої приймаються рішення про дії і прогнозуються результати дій (акцептор дій). У відповідності з прийнятим рішенням розробляється керування, тобто синтезується той чи інший алгоритм або закон керування, який реалізується за допомогою різних виконавчих органів і впливає прямо на об'єкт управління.

Результати цього впливу порівнюється з прогнозованими (механізм зворотного зв'язку, акцептор дій). При невідповідності результатів на базі нової експертної оцінки приймається рішення, розробляється і реалізується управління, яке знімає цю невідповідність. При відповідності результатів підтверджується первинне управління і якщо відповідальність узгодженість не досягнута, та тоді уточнюється ціль. Дана структура інваріанта до об'єкту управління і має універсальний характер.

Рішення задачі синтезу цілі вимагає розробки методів і засобів одержання інформації про зовнішнє середовище і ефективну ідентифікацію власного стану як об'єкту управління, так і власної системи. При формуванні цілі виникає проблема достатності їх реалізації як на змістовому, так в на конструктивному рівнях. Динамічна експертна система виконує розрахунок, оптимізацію, прогноз і моделювання результатів тому повинна мати високу швидкість обробки інформації.

Потенціал накопичений при розробці алгоритмів прийняття рішень і розробки технологій керування може успішно використовуватись у інтелектуальних системах, але для цього потрібно розпаралелити алгоритми, і їх мультитранспю'терну реалізацію і, зрозуміло, не виключено синтез нових, ефективних паралельних алгоритмів [1,23].

Джерелом збурених дій для інтелектуальної системи є зовнішнє середовище, а функціонування системи повинно забезпечити в кінцевому результаті компенсацію цього впливу при досягненні цілі.

Представляє інтерес побудова моделі аферентного синтезу цілі. Дійсно, такі компоненти, як мотивація, обставини і пускова аферентація, пам'ять, що знаходиться у взаємодії, приводить до появи цілі і прийняття рішень, направлених на оптимізацію виробництва хліба і бізнес-процесів щодо виконання "портфеля" замовлень.

До практичних задач інтелектуального управління в системах робото-технічного керування необхідно віднести:

- ідентифікацію і прогнозування виробничих ситуацій в сфері оперативного планування виробництва хлібобулочних виробів в умовах невизначеності термінів операцій постачання сировини і розподілу ресурсів;
- розпізнавання і прогнозування ситуацій, пов'язаних з виконанням "портфелю" замовлень в умовах невизначеності;

Історично рішення проблеми прийняття рішень методами ШІ (штучного інтелекту) пішло за двома напрямками: когнітивному і логічному. Дослідники по ШІ когнітивного напрямку вивчали уявлення знань, що орієнтовано на можливість рішення задач. В своїх дослідження вони базувалися на принципах організації людської пам'яті і моделювання виводу (прийняття рішень) на основі цих принципів.

Типовими моделями для зображення знань є моделі, що побудовані на використанні продукції, фреймів і семантичних мереж [2,24,25].

Дослідники логічного напрямку пішли по шляху вивчення теоретичних методів уявлення знань. В результаті таких досліджень створені моделі уявлення знань на основі логіки предикатів першого порядку [2,3]. Характерно, що дослідники логічного напрямку обирають об'єктом своїх досліджень прості

задачі управління, а дослідники когнітивного напрямку рішають реальні задачі управління виробничими та економічними системами. В 90-х роках 20 ст. ці два напрямки дослідження ІІІ стали розвиватися у взаємозв'язку і створення гібридних знакоорієнтованих систем (ЗОС) на базі використання персональних комп'ютерів [2,19].

Створення ЗОС реального часу необхідних для управління складними технологічними процесами виробництва продуктів харчування в умовах невизначеності.

Системи ЗОС використовують інформацію від датчиків і приладів для опису виробничих ситуацій. Наприклад, інтерпретація показників приладів вимірювання і контрольних приладів на хлібо заводі для визначення стану технологічного процесу виробництва хліба і завантаження тунельних печей [8].

Детальний аналіз розвитку ІС за останні двадцять років показав, що ІС пройшли шлях від простих систем прийняття рішень до сучасних систем – повноцінних помічників і радників ОПР. Такі системи навчилися проводити аналіз числових і нечислових даних, оцінювати достовірність фактів, самостійно поповнювати свої знання, контролювати складні технологічні системи і управляти ними. Наявність таких можливостей характерна для динамічних експертних систем і бази знань. Їх загальними характерними рисами є вміння навчатися на прикладах і розвитку, тобто еволюціонувати і бути підсилювачем інтелектуальних можливостей оператора складного технологічного процесу.

7.2. Динамічні експертні системи і бази знань в системі керування складними технологічними системами

Формально інтелектуальні системи (ІС) можливо описати наступними шістьма виразами:

$$\begin{aligned}
 T \times X \times S &\xrightarrow{\alpha_1} M \times T \\
 T \times M \times S &\xrightarrow{\alpha_2} C \times T \\
 C \times T \times S &\xrightarrow{\alpha_3} R \times T \\
 T \times X &= \{A \times T\}X \times T + \{B \times T\}U \times T \\
 T \times Y &= \{D \times T\}X \times T \\
 T \times R \times Y &\xrightarrow{\alpha_4} C \times T,
 \end{aligned} \tag{7.1}$$

де T – множина моментів часу,

X, S, M, G, R, Y – множина станів системи, зовнішнього середовища, мотивації, цілі, прогнозованого і реального результату,

A, B, D – матриці параметрів,

$\alpha_i, i = \overline{1,4}$ - інтелектуальні оператори перетворення, що використовують знання.

В цьому описі поєднується уявлення (представлення) об'єктів системи у вигляді множини значень або множини висловів, або інших форм.

Динамічні властивості ІС можуть бути описані в просторі станів. Інтелектуальні оператори, що реалізують уявлення, представлення, формування поняття, судження і умозаключення в процесі пізнання, є формальним засобом обробки відомостей і знань, а також прийняття рішень. Всі ці аспекти повинні бути покладені в основу побудови динамічних експертних систем (ДЕС), що функціонують в реальному часі і реальному світі. Динамічна експертна система є деяке комплексне утворення, яке може оцінювати стан системи і середовища, спів ставити параметри бажаного і реального результатів дій, приймати рішення і виробляти управління, що спонукає до досягнення цілей.

Для цього ДЕС повинна мати запас знань і мати методи рішення задач. Знання, що передаються експертній системі можливо розділити на три категорії Концептуальні (на рівні понятійного апарату) знання – це знання, втілені в словах мови людей або, конкретніше, - у науково-технічних термінах і, природно, і у поставлених за цими термінами класах і властивостях об'єктів зовнішнього середовища.

Сюди входять зв'язки, відношення і залежності між поняттями і їх властивостями, причому зв'язки абстрактні, також виражені словами і термінами.

Концептуальні знання – це сфера, головним чином, фундаментальних наук, якщо враховувати, що поняття є вищий продукт вищого продукту матерії – мозку.

Предметні знання – це сукупність відомостей про якісні і кількісні характеристики конкретних об'єктів.

Саме з цією категорією знань пов'язані терміни “інформація” і дані. Лише таке вживання цих термінів дещо зменшує їх значення.

Кожне знання несе інформацію і може бути представлено у вигляді даних, фактуальні знання – це те, з чим завжди мали справу обчислювальні машини і з чим вони мають справу і сьогодні.

Сучасну форму накопичення даних будемо називати базами даних (БД). Зрозуміло, що організація баз даних, для пошуку в них потрібної інформації необхідно спиратися на концептуальні знання. Алгоритмічні, процедурні знання – це ті, що прийнято називати словами “вміння”, “технологія” і т.п.

В обчислювальній справі алгоритмічні знання реалізуються у вигляді алгоритмів, програм і підпрограм, але не усяких, а таких, які можуть передаватися із рук в руки і використовуватися без врахування авторів.

Така реалізація алгоритмічних знань називається програмним продуктом. Найбільш розповсюджені форми програмного продукту – пакети прикладних програм, програмні системи та інші, орієнтовані на конкретну сферу використання ДЕС.

Організація і використання пакетів прикладних програм базується на концептуальних знаннях. Очевидно, що концептуальні знання є більш високою категорією серед знань. В той же час, при побудові (проектуванні) ДЕС для виробничих процесів інші практичні знання можуть відігравати найбільш велику роль. Носієм концептуальних знань залишається завжди людина. Це є гальмом в процесах автоматизації багатьох технологічних процесів.

Представлення концептуального знання як визначального в процесах управління будемо називати базою знань (БЗ).

Створення і широке використання баз знань (БЗ) в інтелектуальних системах (ІС) – одна із актуальних задач.

Концептуальну частину бази знань будемо називати моделлю предметної області, алгоритмічну частину – програмною системою, а фактуальну частину – базою даних.

Головна (наступна) функція ДЕС – рішення управлінських задач.

Задача може бути вирішена машиною лише у тому випадку, якщо вона формально проставлена – якщо для неї написана формальна специфікація. Остання повинна опиратися на деяку базу знань. Модель предметної області описує узагальнену обставину управління, в якій виникла задача, а специфікація – зміст задачі. В сукупності вони дозволяють встановити, які абстрактні зв'язки і залежності, в яких сполученнях і в якій послідовності повинні бути використані в процесі вирішення задачі. Прикладні програми представляють собою конкретні засоби, які стоять за цими залежностями, а також мають алгоритми для рішення, виникаючих при цьому рівнянь. І, нарешті, база даних представляє усі вихідні дані або частину їх для виконання цих алгоритмів. Тих даних яких немає або недостатньо повинні міститися у специфікації.

Цим трьома частинами баз знань (БЗ) відповідають три етапи рішення задач:

- побудова абстрактної програми рішення (виникнення задачі, постановка задачі і специфікація);
- вибір мови машини і переведення задачі на цю машинну мову;
- трансляція і виконання програми.

Побудова абстрактної програми пов'язана з представленням і обробкою концептуального знання в ІС і по визначенню є сферою штучного інтелекту.

Штучний інтелект зв'язують з обробкою текстів, різних усних повідомлень на природній мові, з аналізом і обробкою інформації (розпізнавання усіх видів зображення, доведення теорем, логічний вивід і т.п.).

Функціями ДЕС є також оцінка результатів рішення задачі, формування параметрів майбутнього результату дій, прийняття рішень про управління, виробка управління і співставлення параметрів бажаного і реального результатів.

Тут потрібно використати моделювання процесів для оцінки можливих наслідків і коректності рішення задач.

Відмітимо, що в реальних випадках існує проблема опису досліджуваних об'єктів.

Такий опис неправомірний щодо частини специфікації задачі, оскільки відносно одного об'єкту ставиться, як за правило, багато задач, що природно, потребує врахування при формуванні бази знань. Крім цього, може так статися, що задачу, яка виникла не можливо рішення до кінця автоматично, наприклад, за рахунок неповноти специфікації або опису об'єкту.

Тому в ІС можливо на визначених стадіях використовувати інтерактивний режим роботи з ДЕС. Потрібно зрозуміти наступне: модель предметної області описує загальні обставини (знання), а специфікація – зміст задачі.

Дуже важливими проблемами ж створення єдиного програмного середовища і синтез алгоритмів з точки зору постановки задачі.

В залежності від цілі, яка стоїть перед ІС, база знань, алгоритми рішення задачі, прийняття рішень, розробка керування можуть, природно, мати різне уявлення, яке залежить в першу чергу і від характеру рішення задач. Відповідно до цього розглянемо три типи ДЕС.

Структура ДЕС першого типу представлена на рис.7.2.

Припустимо, що концептуальні і фактуальні (фактичні) знання дуже точно відображають процеси і дані, що відносяться до деякої предметної області.

Тоді рішення задачі, що виникає в цій області, буде одержане на основі чітких доказів з використанням математичних методів у відповідності з постановкою і специфікацією.

Результати дослідження рішень і прогноз використовуються для одержання експертної оцінки і прийняття рішень про необхідність управління. Після чого на основі наявного алгоритму керування, який ми маємо в базі знань, формується вплив управління. Ефективність цього впливу, перш ніж воно поступить на об'єкт управління, оцінюється за допомогою імітаційного моделювання (імітаційної математичної моделі). При цьому оцінка повинна виконуватися швидше реальних процесів у ІС. Проте ДЕС, що реалізують прийняття рішень, представляють собою складні програмні комплекси, які

призначені для автоматичного прийняття рішень або для допомоги ОПР і особам, що приймають рішення.

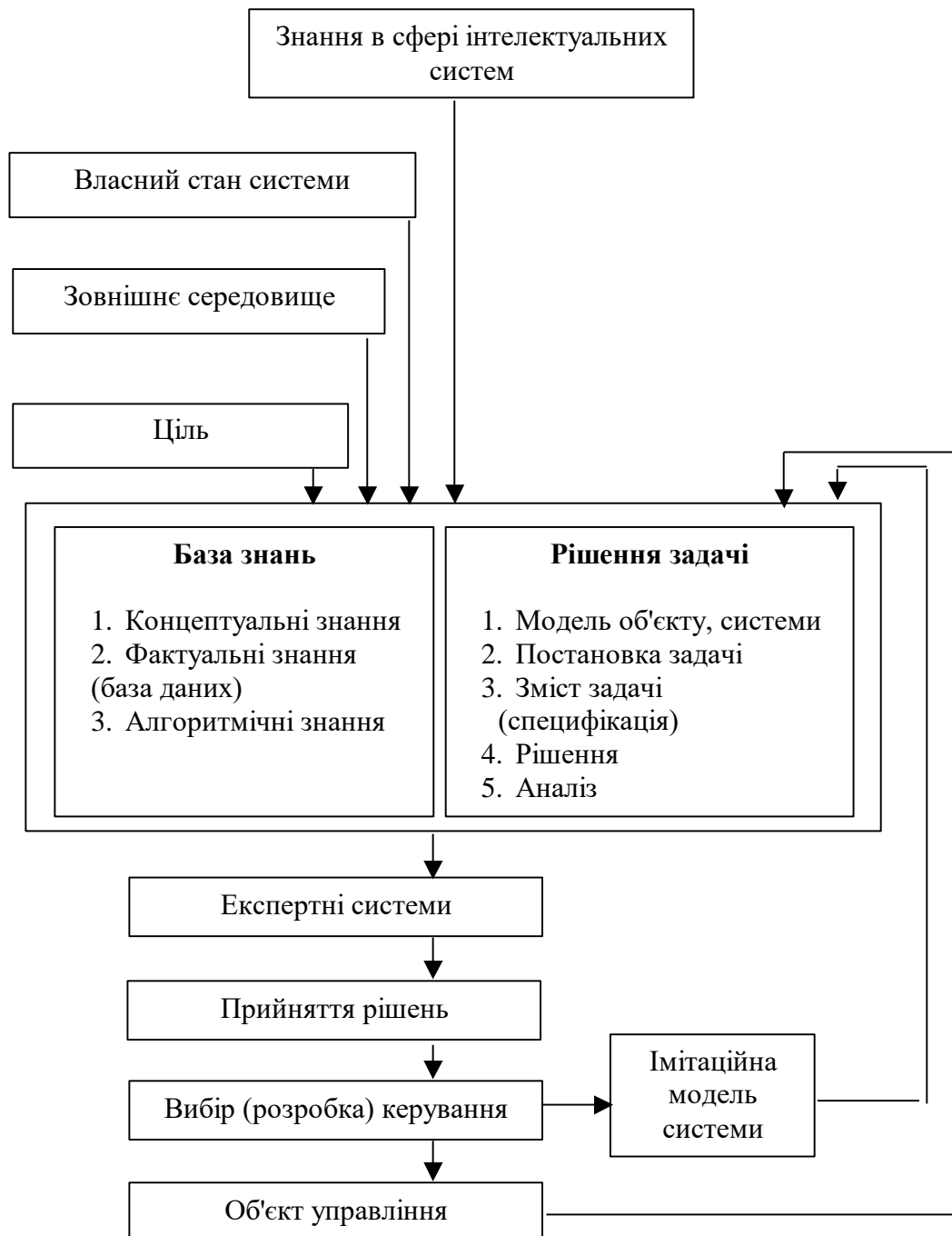


Рисунок.7.2. Структура ДЕС першого типу

У процесі оперативного управління такі системи працюють в умовах жорстких часових обмежень.

Отже, системи ДЕС першого типу, які призначені для пошуку оптимального рішення і, які базуються на чітких математичних методах і моделях оптимізації знаходять використання для тих процесів управління, які добре структуровані і

можуть бути використані для ОПП-диспетчерів складних технологічних процесів.

ДЕС другого типу орієнтовані на рішення важко формалізованих задач, коли відсутня повна і достовірна інформація про об'єкт дослідження.

В цьому випадку використовуються експертні моделі, побудовані на сонові знань експертів-спеціалістів у даній проблемній області та евристичні методи пошуку рішень. Однією із основних проблем при проектуванні ДЕС другого типу є вибір формального апарату для опису процесів прийняття рішень і побудови на його основі моделі прийняття рішень, адекватної проблемної області. Така модель повинна бути семантично коректною.

В якості такого апарату звичайно використовують продукційні системи. При цьому основні дослідження ведуть в контексті алгоритмічного (детермінованої) трактування продукційної системи, в яку покладена послідовна схема прийняття рішення. Моделі, що одержані в процесі дослідження об'єкту, як за правило, неадекватні реальним проблемним областям і характеризуються недетермінізмом процесу пошуку рішень. Вихід із такого положення – паралельний пошук. На рис.7.2 представлена ДЕС другого типу. Реально при проектуванні ЕС складних технологічних та енергетичних процесів потрібно об'єднати ідеї побудови ДЕС першого і другого типів у розрахунково-логічну ДЕС третього типу, в якій база знань поєднує опис у вигляді строгих математичних формул з інформацією експертів, а також відповідно – математичні методи пошуку рішень з не суворими евристичними методами. При цьому вага того чи іншого компоненту визначається можливістю адекватного опису предметної області і способу знайдення рішення (рис.7.3) .

У процесі розробки динамічних експертних систем виникають наступні проблеми:

- визначення складу бази знань і їх формування;
- розробка нових і використання відомих теорій і методів для опису інформаційних процесів у ІС;
- розробка методів представлення і організації використання знань;
- розробка алгоритмів і програмного забезпечення “гнучкої логіки”;
- пошук відповідного обчислювального середовища для реалізації паралельних алгоритмів при формуванні ДЕС.

Разом з цим відмітимо, що ДЕС повинні мати властивості адаптації до динамічної проблемної області, а також можливість введення нових елементів і стратегій функціонування об'єктів у процес прийняття рішень і розробки управління, роботи з неповною, нечіткою і суперечливою інформацією і т.п.

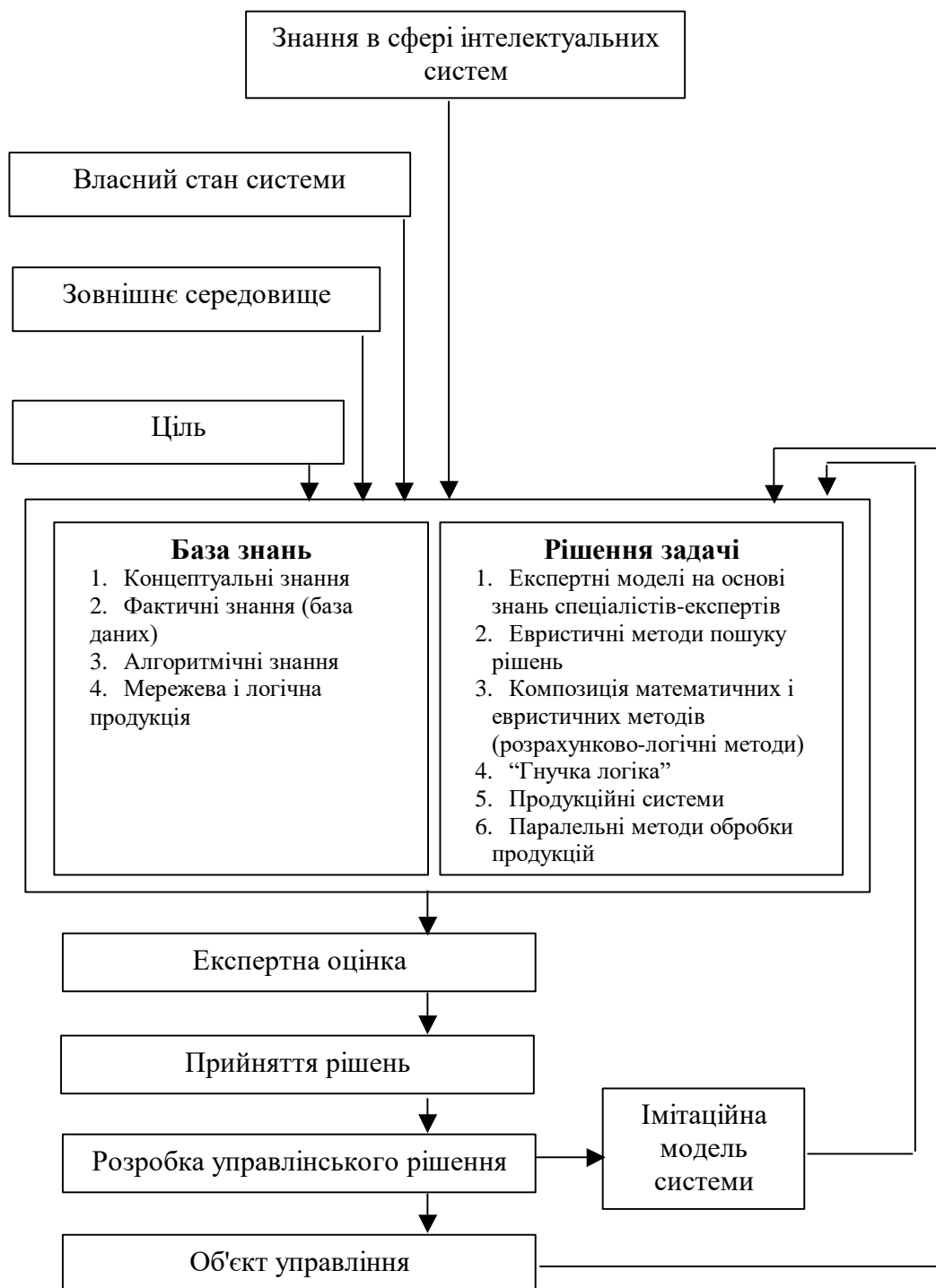


Рисунок.7.3. Структура ДЕС другого типу

Розглянемо детально вимоги до ДЕС. Динамічні експертні системи функціонуються в складі ІС, як мають зворотні зв'язки і тому важливо забезпечити стійку роботу таких ІС. З традиційних позицій будемо вважати, що довгота реакції ДЕС на вхідні впливи, тобто час, що йде на обробку вхідної інформації і розробка українських впливів, є чисте запізнення. На основі частотного аналізу можливо оцінити зміни фазових властивостей системи і тим самим визначити запас стійкості.

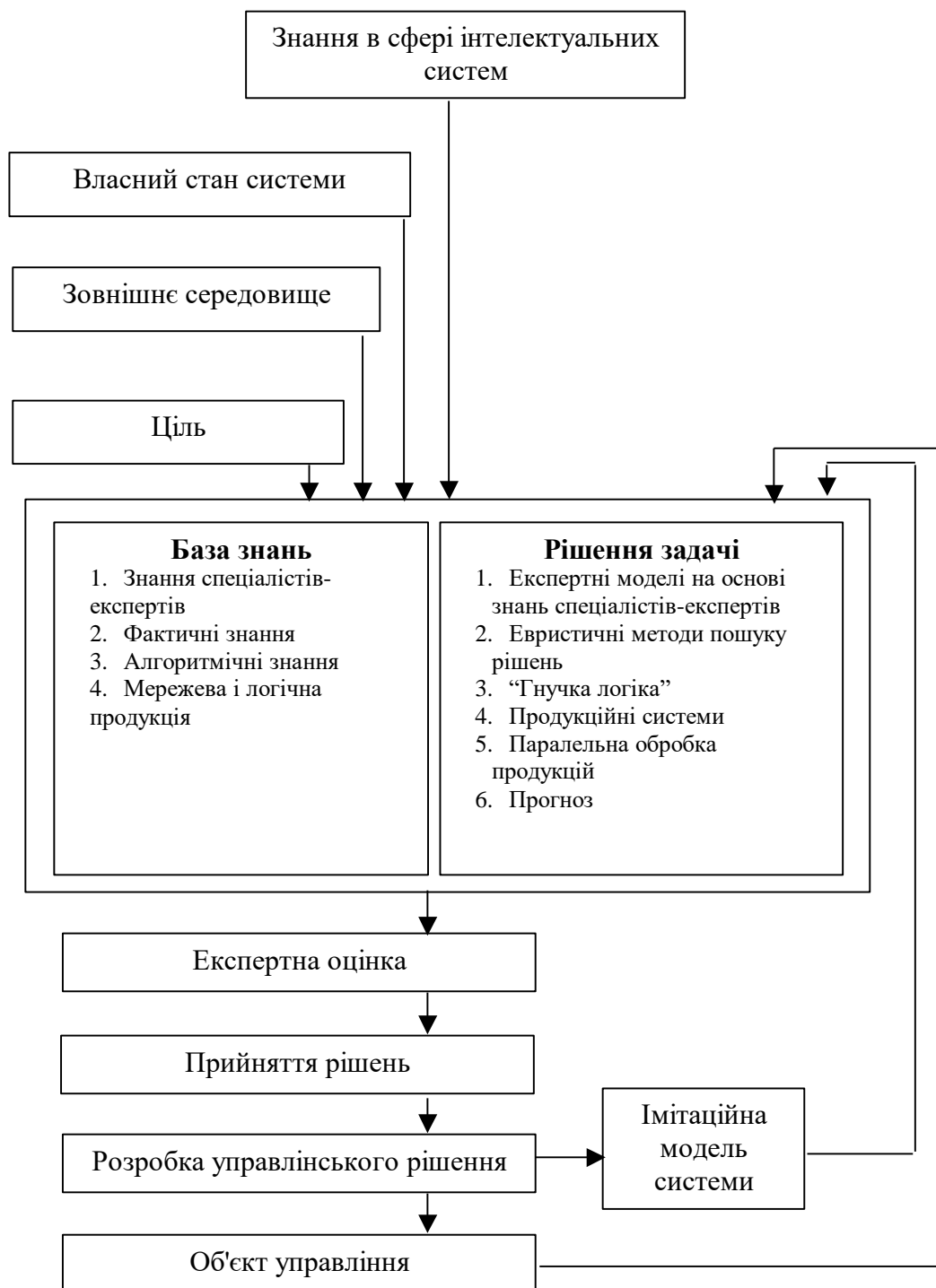


Рисунок.7.4. Структура ДЕС третього типу

При необхідності можливо провести корекцію системи з використанням фільтрів. Крім цього для підвищення ефективності роботи ДЕС в системі управління технологічними процесами виробництва продуктів здорового харчування необхідно створити базу знань і базу правил.

7.3. Проектування баз знань (БЗ) інтелектуальних систем керування складними технологічними процесами виробництва продуктів здорового харчування

Інтелектуальні системи (ІС) працюють не з реальними мехатронними об'єктами, а з їх формальними уявленням, яке закладене у вигляді моделей, правил, і фактів.

Створення бази знань (БЗ) пов'язане з концепцією побудови предметної області, алгоритмів і бази даних, дозволяє реалізувати основні вимоги, що висунуті перед мехатронною системою, основаної на знаннях [1,2,27]. Розглянемо їх більш детально:

1. Усі одиниці інформації повинні мати гнучку структуру, тобто на різних рівнях сприйняття використовують різний рівень деталізації. Крім того, необхідно підтримувати механізм зв'язування окремих інформаційних одиниць відношеннями типу “частина - ціле”, “елемент - клас”.

2. На базі знань необхідно забезпечити об'єднання окремих елементів через відношення “причина - наслідок”, темпоральні відношення, відношення типу “бути рядом”, або інші подібні зв'язки.

3. Серед всього поле відомих фактів І/АБО правил корисно виділити актуальну в поточний момент підмножину. Ця підмножина об'єднує семантичну близькість, або релевантність, розглянутої ситуації, тобто відповідність даній типовій обставині.

4. Інтелектуальна система відрізняється від алгоритмічних програм тим, що її функціонуванням управляють данні, а не команди. Поява в базі нових фактів або правил змінює характер дій, що виникають в процесі керування складним динамічним процесом.

Це потребує активності бази знань при взаємодії із зовнішнім світом (процес оцінки конкурентоспроможності продукції, вимоги до виконання портфеля замовлень).

Отже, база знань повинна зберігати, обробляти і організовувати інформаційні одиниці.

Доки система оперує лише фактами або експериментальною формою подання інформації, вона не може реалізувати зв'язки між своїми елементами.

Якщо система зберігає лише загальні закономірності – інтенціональну частину знань, то вона не зможе реагувати на зміни зовнішніх умов, яке виконується надходження нової фактуальної інформації.

В свою чергу вивід нового знання будується на алгоритмах обробки інформації, що забезпечує активність ІС і актуальність БЗ.

Найбільш складною складовою є створення моделі предметної області, так як ця частина системи в значній мірі основана на суб'єктивних знаннях експерта.

Сучасні інтелектуальні системи використовуються декілька основних способів представлення знань про предметну область:

продукційні моделі, семантичні мережі, фрейми і формальні логічні системи [24,28]. Продукцій на модель основна на правилах виду “Якщо умова, то дія”.

Під умовою розуміють деякий взірець (зразок), по якому виконується пошук у базі знань, а під “дією” – дії, що виконується при успішному результаті пошуку.

Термін “продукція” належить Е. Посту, який доказав, що продукційна система є логічною системою, еквівалентною машині Т'юрінга, тобто вона універсальна і кожна формальна система, що оперує символами, може бути реалізована у вигляді одної із продукційних систем [1,2].

Продукція звичайно може бути представлена у наступному вигляді:

$$I: Q: P: A \rightarrow V: N, \quad (7.2)$$

де I – ім'я продукції;

Q – сфера використання продукції, яка слугує для визначення специфічних зон впливу поточної продукції;

$A \rightarrow V$ – ядро продукції, де \rightarrow - узагальнена секвенція, яка може бути логічним наслідком або опису зв'язків умови A і дії V; N – післямова, яка описує дії і процедури, необхідні для реалізації ядра продукції.

Сукупність продукції утворює систему продукцій.

Вірне рішення може бути прийняте в системі продукції при додержуванні її несуперечності, тобто в кожній поточній ситуації не повинні виникнути правила «Із A слідує B» і «Із A слідує заперечення B».

Більшу частину знань експерта можливо представити у вигляді системи продукції. Але перевірка несуперечності продукційної системи тим складніша, чим більше в неї введено правил. Крім того, в кожній момент активізується (тобто попередня умова виконана, а сфера дії співпадає з поточною) множина продукцій.

Це потребує організації системи управління продукціями або завдання метаправила виробу продукцій. Вважається, що стійко працювати можуть лише системи продукцій, які вміщують не більше тисячі правил.

Продукційна модель використовується в цілому ряді промислових баз знань.

Серед них можливо відмітити класичну інтелектуальну систему MYCIN, яка дозволяє утворити систему із декількох сотень правил [1,2]. Крім неї використовують систему G2, яка дозволяє реалізувати наступні цілі:

- організації БЗ динамічної ЕС реального часу;
- модульність БЗ;
- об'єктна орієнтація процесу розробки БЗ;
- клієнт / сервер взаємодії на рівні об'єктів (CORBA), даних (DDE) і додатків (Telewindows);
- розподіл обробки задач;
- системи G2 має розвинутий набір засобів для моделювання зовнішнього середовища, через які виконується розширення бази знань.

Широке розповсюдження продукційної моделі БЗ обумовлено її орієнтацією на спосіб використання знань експерта у вигляді довідника.

Логічні моделі подання знань мають великі переваги перед іншими формами за рахунок суворості системи організації знань, яка одночасно достатньо близька до природної форми вираження правил експертом. Цей клас моделей оснований на поданні інформації в логічних мовах. Прикладами можуть слугувати логіка предикатів першого порядку, К-значна логіка. Основою логіки предикатів є поняття предикат [2].

Предикат – логічна функція, зоною визначення якої є множина значень деяких сутностей – сортів, а зона значень належить множині [істина, хибність].

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) (x_i \in \{a_1, a_2, \dots, a_k\}) = r, (r \in \{\text{істина, хибність}\}) \quad (7.3)$$

Система предикатів дозволяє визначити практично кожен предметну область.

Причому в формальних мовах встановлені правила додатків нових одиниць знань, як в момент наповнення БЗ, так і при виведенні формул серед існуючого поля відомих базі елементів опису предметної області. В логічних системах можливо реалізувати виведення нових конкретних факторів або зібрати введені факти у більш загальну форму, тобто автоматично створювати нові правила.

Виведення фактів базується за таким правилом. Якщо формула “А” є істиною і формула “Із А слідує В” є істиною, то і “В” є істиною. Проблема логічного прямування для систем логіки є найбільш суттєвою. Основна задача кожної такої системи – представити алгоритм або метод, що дозволяє для кожних формул “А” і “В” встановити факт спрямування (або його відсутність).

Логічні моделі, побудовані з використанням мови логічного програмування, широко використовуються в базах знань інтелектуальних систем. Ще однією перевагою цього класу моделей є їх орієнтація на об'єктне спрямування інформації. Предикатну модель достатньо легко розуміє людина-експерт і часто виражає свої знання в такій формі.

Проблема логічних моделей полягає в тому, що необхідно використовувати кваліфікованих експертів при наповненні БЗ, тобто існує деякий період часу для розробки експертом БЗ.

Мережеві моделі або семантичні сітки (СС) Цей клас моделей був запропонований Квіліаном (M.R. Quillian) в 60 роках ХХ століття. Семантичні сітки представляють собою орієнтований граф, вершини якого – поняття, а дуги – відношення між ними [1,9].

Сучасні мережеві моделі дозволяють виконувати наступні принципи:

- блочна організація СС, коли рівень деталізації дозволяє сховати або показати зміст деякої частини мережі і встановити відношення типу “частина-ціле”

- локальність представлення інформації, тобто кожний блок або вершина наповнюється інформацією незалежно;

- внесення додаткового смислового навантаження за рахунок використання семантичних відмінків у процесі опису елементів мережі (вершина є “об’єктом дій”, вершина є “суб’єктом дій” і т.п.)

Прикладом систематичної мережі є структура класів об’єктних мов програмування.

Вона демонструє наслідування від класів “предків” до “нащадків”, блочну організацію при опису якостей і методів і локальне визначення екземплярів класів.

Мережеві зображення, дозволяють реалізувати широкий спектр зв’язків між елементами знань, але вони в основному орієнтовані на роботу людини в процесі створення БЗ.

Експерт визначає вид і характер зв’язків для кожної одиниці інформації, тобто неперервно бере участь у формуванні семантичної сітки даної предметної області.

Очевидно, що динамічне оновлення бази знань в таких умовах не завжди можливе.

Розвитком мережевих моделей зображення є фрейми.

Фрейм – структура даних, призначена для зображення деякої стандартної ситуації [1,13]. В рамках фреймових зображень виділяють два основних поняття.

Протофрейм – абстрактна ієрархічна структура даних, де визначена жорстка система слотів (імен признаков для опису об’єктів) і закріплені їх зв’язки.

Екземпляр фрейма презентує собою конкретизацію протофрейма, де зафіксовані значення слотів (не обов’язково усіх).

Відмітимо, що об’єктні мови програмування складені із протофреймів (класів), для яких визначені екземпляри (екземпляр класу). Структурна частина

інформаційного поля програми (класи або записки - record) не несуть знань до того часу, доки немає екземплярів, тобто реальних даних.

На рис 7.5 виконано зображення протофрейму і наведений екземпляр фрейма. Фреймові зображення знань мають розвинутий набір засобів реалізації різних ситуацій [2]. Слоти фрейма можуть приймати наступні значення:

- інші слоти, тобто ієрархію вкладів;
- по замовленню, тобто вихідне значення буде замінено на більш необхідне, якщо це потрібно;
- функції, які обробляють ситуації, тобто фрейми можуть мати власну активність;
- неперервні і дискретні числові характеристики, символічні сутності, графічні об'єкти;
- інші фрейми, що дозволяють організувати систему фреймів.

Фрейм у якого немає вкладних слотів або фреймів називається нормалізованим, або простим.

Фреймові моделі реалізовані за допомогою мови презентації знань, як KRL, FRL, K-NET [2]. Ці мови дозволяють створити протофрейми і наповнити екземпляри фреймів конкретною інформацією. Вони забезпечують зв'язок окремих фреймів у систему фреймів, що представляє опис деякої предметної області. Перевагою цього типу опису в порівнянні з СС є більш проста методика створення баз знань і їх супровід.

Але семантичне навантаження, що підтримується такими БЗ, декілька нижче.

Крім перерахованих методів презентації знань, слід відмітити широкий спектр нечітких уявлень, які можуть модифікувати модель предметної моделі. Нечіткі моделі дозволяють значні значно розширити можливості подання складних понять, які інтуїтивно оцінює людина – оператор (багато, замало, дуже мало і т.п.).

Нечіткі бази знань одержали широке розповсюдження при побудові АСУТП виробництвом хліба як у вигляді самостійних моделей, так і у формі гібридних інтелектуальних систем.

Але відмітимо, що семантичні моделі подання інформації реальної бази знань – не простий метод організації реальної бази знань.

Переваги смислової орієнтації системи нівелюються її високою складністю. Частіше всього в технічних системах вихідна інформація має вид числової таблиці (матриці), що складається із m строк ознак об'єктів і n – стовпців інформації про конкретні об'єкти або ситуації.

Протофрейм “хлібо пекар”	
Worker	Ім'я фрейму
Info	Включення протофрейма інформацію про людину
First Name	String
Family Name	String
Second Name	String

Екземпляр фрейма “хлібо пекар”	
PetrovII	Ім'я фрейму
Info	Petrov Informacia
First Name	Ivan
Family Name	Petrov
Second Name	Ivanovich

Рисунок 7.5. Протофрейм і екземпляр фрейму

Ця схема відповідає простому (ненормалізованому) фрейму. Але використання подібної таблиці без її оброблення також не може задовольнити ІС.

Як було показано раніше, що база знань це сукупність фактів і більш загальних правил із даної предметної області. Відповідно проста форма зображення фактів потребує введення розвинутої підсистеми витягування загальних закономірностей (алгоритмічна частина БЗ) і підсистему підтримання концептуальних подань про предметну область (алгоритмічна складова концептуальної частини бази знань).

У подальшому подання інформації для побудови бази знань будемо виконувати наступним чином:

$$D^N = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}, X = \langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle \quad (7.4.)$$

де D^N – простір ознак $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ для презентації об'єкту $\{\bar{X}\}$ у вигляді набору значень ознак $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$; N – число ознак; a_1 – значення ознаки X_1 для об'єкту X .

Таку форму подання знань будемо називати поданням ознак. В межах розглянутої організації БЗ можливо визначити декілька основних питань, пов'язаних з процедурою наповнення бази знань:

1. Який об'єм інформації необхідно і достатньо зберегти для адекватної роботи бази знань?
2. Які технології обробки інформації слід використовувати для створення концептуальних правил даної предметної області?
3. Які складові вхідної інформації слід враховувати при створенні моделі предметної області?

Розглянемо сучасні підходи до рішення поставлених задач.

Об'єм інформації, яка використана для створення бази знань ІС, може бути дуже великою, а також і незначної потужності.

Рішення про число прийнятих до розгляду одиниць інформації залежить від об'єму обчислюваної задачі, її складності, якості надходження знань, повторення одиниць інформації та інших характеристик.

Все це можливо об'єднати поняттям представницької вибірки.

Вибірка A вважається представницької у заданому просторі ознак для заданого класу обчислювальних функцій, якщо вона дозволяє побудувати правило розпізнавання нових об'єктів (Q) з помилкою, ще не більше заданої величини [12].

Ідеальний процес навчання не завжди можливо використати для об'єктів виробництва хліба. Наприклад, вибірка Q звичайно не доступна в процесах навчання.

В цьому випадку визначити чи навчена система, неможливо. Тому приходиться додатково використовувати емпіричні гіпотези про структуру предметної області. Відмітимо, що з роботи [1] слідує, що зв'язок ознак X з цільовою ознакою z на множині навчання (A) і контрольних (Q) об'єктів є закономірним. Показано, що чим більший об'єм множини A при умові її незалежності, тим більше ймовірність того, що побудована на A закономірність справедлива і для Q .

Ключовим терміном у даному випадку є термін “незалежність вибірки”. В реальних умовах побудови БЗ можливо використати технології навчання в такій послідовності: спочатку на першій стадії проводять обробку вибірки A і перевірку результату в Q , а на другому кроці вибірка A розширюється за

рахунок помилок із вибірки Q. Таким чином, процедура формування правила носить циклічний характер, що значно збільшує час навчання.

7.4. Інформативність опису предметної області

Інформативність опису предметної області в багатьох випадках залежить від того, наскільки вдало підібрана система ознак і їх значень. Очевидно, що ознака “колір борошна або тіста” для оператора має більше значення при роботі в просторі “вибір навантаження тістомісильного апарату” і значно меншу у предметній області “завантаження бункера борошном”. Загальна інформативність системи ознак будується із індивідуальної інформативності ознак і їх взаємозалежності. Розглянемо детальніше питання інформативності окремих ознак і їх сукупності. В задачах розпізнавання образів, які автори в подальшому використовують для оцінки виробничих ситуацій, оцінки типів борошна, яке надходить на виробництво хліба, критерієм вибору ознак є величина втрат від помилок [31,32,35].

В той же час існують алгоритми, які використовують інші методи обчислювання інформативних ознак. Один із методів використовується у рамках алгоритму ІДЗ (Induction Decision Tree). Інформативність визначається в термінах ентропії H, яка визначає міру труднощів при розпізнаванні образів. Нехай об'єкти розподілені на шкалі X, яка вміщує t-значень. Ймовірність попадання i-го об'єкту у j-значення дорівнює P(j/i). Для усіх об'єктів i по j-му

значенню X одержимо $P_j = \sum_{i=1}^V P(j/i)$, де V – число об'єктів. Вклад i-го об'єкту в суму $r_i = P(j/i)/P_j$, так що ентропія j-го значення по Шенону виражається наступним рівнянням:

$$H_j = -(r_1 \log r_1 + r_2 \log r_2 + \dots + r_i \log r_i + \dots + r_k \log r_k) \quad (7.5)$$

Загальна невизначеність по ознаці x має вигляд:

$$H_x = \sum_{j=1}^t H_j P_j \quad (7.6)$$

Недоліком цього підходу є те, що при навчанні відома лише невелика частина простору і виконати оцінку параметрів інформативності ознаки для усього простору дуже важко. Нами цей метод використаний для вибору простору оцінки ознак якості хлібобулочних виробів.

Оцінку інформативності ознак можливо одержати і безпосередньо в процесі побудови правил у вигляді дерева дихотомічного ділення (розподілу) вибірки

по окремим ознакам [31]. При цьому будемо вважати, що значення ознаки X можливо розділити на дві градації $X \leq l$ і $x > l$.

Неоднорідність складу цієї градації можливо оцінити величиною

$$R_1 = \sum_{\substack{i=1 \\ u=i+1}}^k m_{ij} m_{ui}, \quad (7.7)$$

де m_{ij} – число реалізацій об'єктів i -го класу, визначених у першій градації; m_{ui} – число реалізацій об'єктів u -го класів, визначених в першій градації; k – число об'єктів.

Аналогічно обчислюється R_2 . Величина $R_i = R_1 + R_2$ характеризує інформативність ознаки x на порозі поділу на дві градації ($x=1$). Змінюючи положення l , ми можемо знайти таке значення, що R_1 досягне мінімального значення R' .

Якщо $R' = 0$, то інформативність ознаки максимальна. Це витікає із рис.7.6 при $l^1 R_1 = 12$, при $l^2 R_1 = 0$ вихідна невизначеність складає $m_1 m_2 = 24$, де m_1 – число чорних об'єктів, а m_2 – число білих.

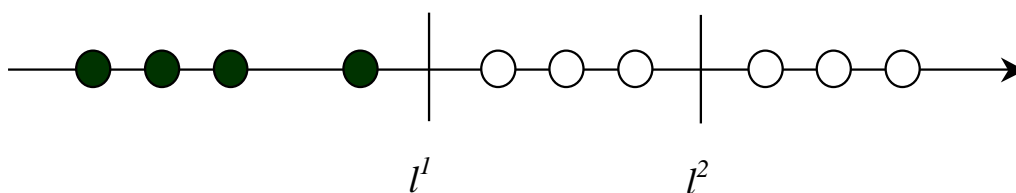


Рисунок 7.6. Дихотомія ознак X

Якщо ознака є неінформативною, то вона може бути виділена із системи ознак. Розглянемо деякі питання інформативності системи ознак. Для цього потрібно використати методику евристичного алгоритму направлено перебору, серед якого виділимо метод послідовного скорочення (алгоритм DEL) і послідовного додавання (алгоритм Add) [1]

Сенс алгоритмів полягає в послідовному виключенні для DEL або додавання для Add ознак і обчислення помилки. На кроці t зберігається система ознак, яка дає найменшу помилку. Крім цих методів використовують метод випадкового пошуку з адаптацією, таксономічний пошук ознак і т.п. або евристик, пов'язаних з конкретним алгоритмом розподілу об'єктів.

Сьогодні науковцями для вибору інформативності ознак достатньо детально розроблені також:

- відбір даних на основі показників значимості;
- генетичні алгоритми;
- метод пониження розмірності тощо.

Розглянемо технології створення правил бази знань інтелектуальних систем керування робототехнологічним комплексом.

До технологій, що сприяють створенню і розробки баз знань, відносять KDD-Knowledge Discovery in Databases і DM-Data Mining. У більшості публікацій [2] вони використовуються як синоніми.

В нашому випадку будемо говорити про синонімічні визначення інтелектуальної обробки елементарних одиниць інформації.

Серед методів KDD над об'єктами-носіями деякого знання можливо виділити два різних класи дій:

- одержання чітких фактів на основі використання загальних правил – дедукція;
- одержання загальних правил на основі множини приватних фактів – індукція.

У процесі функціонування БЗ велику роль відіграє перший тип дій, так як необхідно отримувати рішення, які базуються на відомих системі правилах із стану зовнішнього середовища і врахування внутрішніх параметрів об'єктів.

Процедура створення баз знань передбачає або одержання інформації від експерта, або генерування правил на основі вхідного набору та прикладів ситуацій або об'єктів. Передача знань експертом досліджена в роботах науковців [17], в яких розглянуті питання взаємодії експерта, інженера по знанням та інтелектуальної системи як з точки зору психолога, так і з точки зору інженерії знань.

На сучасному етапі розробки та існування ІС велике значення приділяють автоматичному наповненню баз знань.

Розглянемо деякі із методів створення правил баз знань. Почнемо ці дослідження з вивчення нейронних мереж. Штучні нейронні мережі (ШНМ) як засіб оброблення інформації моделюють по аналогії з відомими принципами функціонування біологічних нейронних сіток.

Їх структура базується на наступних допущеннях [17,37]:

- обробка інформації виконується на множині простих елементів-нейронів;
- сигнали між нейронами передаються по зв'язкам від виходів до входів;
- кожний зв'язок характеризується вагою, на яку множать сигнал, що передається по ньому;

- кожний нейрон має активізаційну функцію (як правило, нелінійну), аргумент якої розраховується як сума зважених вхідних сигналів, а результат вважається вхідним сигналом.

Таким чином, нейронні мережі представляють собою набір з'єднаних вузлів, кожний із яких має вхід, вихід і активізаційну функцію (як правило, нелінійну).

Вони мають здатність навчатися на відомому наборі прикладів множини, яка є навчаючою. Навчена нейрона мережа представляє собою “чорний ящик” – прогнозу модель, яку можливо використати у задачах класифікації, кластеризації і прогнозування.

Алгоритм на основі грубих множин (rough sets theory) [37] використовують для областей з неточними та інколи суперечливими даними.

Нехай $T_x \subseteq D^N$ - деякі підмножини ознак, що описують предметну область (ПО). Визначимо відношення еквівалентності $R(t_x)$ наступним чином:

$$\forall O_1, O_2 \in O: O_1 R(T_x) O_2 \leftrightarrow \forall x_i \in T_x [f(O_1, x_i) = f(O_2, x_i)], \quad (7.8)$$

де $f(X, x_i)$ – функція, що визначає значення X_i для заданого об'єкту X .

Отже, два об'єкта належать одному класу еквівалентності, якщо вони не можуть бути розпізнанні з використанням даної підмножини ознак. Вся множина класів еквівалентності $R^*(T_x) = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$.

Відношення R дозволяє апроксимувати підмножину C (клас) множини O , тобто побудувати опис цього класу, де

$$\text{Lower}(C) = \bigcup_{e_i \subset C} e_i, \quad \text{Upper}(C) = \bigcup_{e_i \cap C \neq \emptyset} e_i \quad (7.9)$$

- нижні і верхні наближення відповідно. Пара $\langle \text{Lower}(C), \text{Upper}(C) \rangle$ складає грубу множину. Нехай $\text{Pos}(C) = \text{Lower}(C)$ – позитивна область, $\text{Neg}(C) = O \setminus \text{Lower}(C)$ – від'ємна область і $\text{Bnd}(C) = \text{Upper}(C) \setminus \text{Lower}(C)$.

Можливо сформулювати правила:

Опис $\text{Pos}(C) \rightarrow C$;

Опис $\text{Neg}(C) \rightarrow C$;

Опис $\text{Bnd}(C) \rightarrow$ можливо C . (7.10)

Сформульовані правила дозволяють побудувати продукційну систему для бази знань. Загальна структура методу наступна:

- гіпотези про причини і анти причини явищ народжуються на основі правил логічної індукції;

- гіпотези підлягають перевірці (“фальсифікації”), наприклад, через перевірку чи не входить гіпотеза причини у який-небудь контрприклад. Послідовність циклів генерації гіпотез і їх відхилення дозволяє визначити дуже складні закономірності предметної області (прогнозування властивостей складу боршна, що надходить на тощо).

Позитивними якостями методу є те, що відомі приклади дозволяють побудувати множину гіпотез про причини явищ, які дослідники (проектанти) нечітких систем управління процесів вирощування хліба створюють для побудови моделей управління.

Алгоритм ID3 орієнтований на дискретні ознаки і реалізує традиційні для цього класу методів аналізу інформативної ознаки (як інформаційної ентропії H).

Інформативність ознаки дозволяє вибрати напрямок нарощення дерева рішень для його нарощення мінімальної висоти.

На кожному етапі синтезу дерева досліджується зважування поточної вершини дерева вибірки об'єктів O . По цій виборці обчислюють

$$H(X_i) = -\sum_{j=1}^m P_j \log_2 P_j, \quad (7.11)$$

де $P=(p_1, p_2, \dots, p_m)$ – дискретний розподіл ймовірностей розділу множини O на непересічні класи C_1, C_2, \dots, C_m . Розділивши множину зразків на основі значень атрибуту X_i на підмножини O_1, O_2, \dots, O_m ми можемо обчислити $\text{Info}(O)=H(P)$ як зважену середню інформацію, що необхідна для ідентифікації класу зразків у кожній підмножині:

$$\text{Inf}_j(x_i, O) = \sum_{j=1}^m \frac{|O_j|}{|O|} \text{Info}(O_j). \quad (7.12)$$

Величина $\text{Gain}(x_i, O)=\text{Info}(O)-\text{Info}(x_i, O)$ показує кількість інформації, яку ми одержуємо за рахунок атрибуту x_i .

Алгоритм ID3 має наступні кроки:

1. Вибираємо атрибут кореневого вузла і сформуємо гілки по кожному із його значень.

2. Зважуємо гілки класифікованими по значенням атрибуту x_i ід множинами O . Якщо всі об'єкти виділеної у вузлі підмножини відносяться до одного класу, то це лист.

3. Перевіряємо чи є на поточному рівні вузла не листки. Якщо “так”, то приймаємо ці вузли за кореневі і переходимо до побудови наступного рівня дерева, намітивши вузол ім'ям наступним атрибутом. У протилежному випадку алгоритм закінчує роботу.

Алгоритми типу ID3 добре зарекомендували себе у широкому спектрі додатків. Вони забезпечують високу якість класифікації і дозволяють працювати із зашумленими даними. Але рішення, що приймається по правилу, що народжене ID3, носить жорсткий, якісний характер.

Крім того, висувають вимоги обов'язкового точного розподілу зразків на щасливі і нещасливі, що завжди можливі у реальних задачах.

Алгоритми на основі генерації гіперповерхні у дискретному просторі ознак.

Подібні алгоритми засновані на проведенні досліджень прикладів бази фактів, спроб побудувати оболонку або поверхню по результатам досліджень, що відділяє один клас об'єктів від іншого.

Ідея алгоритму заснована на одержанні функції вибору (ФВ) по множині T , які містять зразки вдалих об'єктів і множину F , що вміщає зразки нещасливих об'єктів:

$$Y(X) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{K_i} X_{ij} C_{ij} + C_0 + hZ \quad (7.13)$$

де X_{ij} – j -е значення i -ої координати простору ознак DN ; N – число координат (ознак); C_{ij} – вагові коефіцієнти при j -ому значенні i -ї ознаки; C_0 – поріг функції вибору; h – множина $\{h_1, h_2, \dots, h_k\}$ вагових коефіцієнтів нелінійних компонент із множини Z ; K – число нелінійних компонентів; Z – множина $\{z_1, z_2, \dots, z_k\}$ нелінійних компонентів виду $Z_m = X_{ad} \& X_{gr} \& \dots \& X_{st}$, де X_{gr} – r -е значення ознаки X_g , а довжина Z_m не менше 2 і не більше N .

Значення C_{ij} визначається при обчисленні системи рівнянь, що утворені із умов розподілу

$$\begin{aligned} y(x) &\geq 0 \quad \text{при} \quad x \in T; \\ y(x) &< 0 \quad \text{при} \quad x \in F. \end{aligned} \quad (7.14)$$

Обчислення нелінійних компонентів засноване на покритті лінійно нерозділеної частини DN формованими нелінійними компонентами до виконання умов розподілу 1 і 2.

Цикл навчання закінчується процесом висування гіпотез, які експерт повинен оцінити на якісному рівні.

Гіпотези, визначені людиною оператором як позитивні зразки доповнюють множину T , а негативні гіпотези доповнюють множину F .

Алгоритм побудови кулястих областей Real Weight [2] спрямований на роботу з інформацією, опис якої вміщує велику кількість неперервних характеристик і має нечітке визначення цілей. Алгоритм подібний до

таксономічних алгоритмів FOREL і KOLAPS, але має можливість виділити декілька підвидів зразків, а не лише фон і об'єкти.

Кожна задача S_i у просторі DN повинна містити факти, які повністю задовольняють цілям t_j і повністю не задовольняють цілям t_i^{-1} .

Але існують зразки, коли неможливо точно віднести ні до t_i , ні до t_i^{-1} . Це невизначені зразки t_i^{H1} . Більшість алгоритмів узагальнення потребують однозначного відношення факту до t_i^{-1} або t_i , що зменшує якість розподілу об'єктів у DN. В алгоритмі Real Weight визначимо правило розподілу об'єктів у просторі DN наступного виду:

$$y_i(X) = \begin{cases} 1 \geq y_i(x) > 0, & x \in t_i; \\ y_i(x) = 0, & x \in t_i^H; \\ -1 \leq y_i(x) < 0, & x \in t_i^{-1}. \end{cases} \quad (7.15)$$

де x – факт, що описаний через множину ознак $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$; $y_i(x)$ – правило побудови для задачі S_i .

При визначенні $y_i(x)$ для кожної множини (t_i, t_i^{-1}, t_i^H) позначимо

$$P(t_i) = \{P_1(t_1), P_2(t_2), \dots, P_q(t_1)\} \quad (7.16)$$

(аналогічно для $P(t_i^{-1})$ і $P(t_i^H)$) зони у DN, покриття такими сферами радіусу r_j для P_j , що усі відомі об'єкти із множини t_i (або t_i^{-1} , або t_i^H) накриті, а відомі об'єкти інших типів не накриті.

По кожній області P_i множини $t_i(t_i^{-1}, t_i^H)$ обчислюємо

$$y'_i(x)[t_i] = \text{відстань від } x \text{ до } \text{cntr}_j / (r_j \times (1 - \text{mod } a) + \max r_j \times \text{mod } a), \quad (7.17)$$

де $\text{mod } a \in [0, 1]$ – коефіцієнт, що визначає можливість моделі до узагальнення.

При $\text{mod } a = 1$ маємо дуже сильні узагальнення і меншу точність, а при $\text{mod } a = 0$ – маємо саму високу точність зображення уже відомої частини простору; r_j – радіус області P_j (тобто відстань у DN до останнього об'єкту, що належить до P_j); $\max r_j$ – максимальний радіус P_j (тобто відстань у DN до першого об'єкту, що не належить до P_j); відстань від x до $\text{cnt } r_j$ – відстань у DN від об'єкту, що ми вивчаємо до центру P_j .

Для кожної множини $t_i(t_i^{-1}, t_i^H)$ визначаємо максимальні значення $y'_i(x)[t_i], y'_i(x)[t_i^{-1}], y'_i(x)[t_i^H]$ і ці значення порівнюємо між собою. Значення $y_i(x)$ буде відповідати максимальному із них. При цьому якщо максимумо $y'_i(x)[t_i]$, то $y_i(x) = y'_i(x)[t_i]$. Якщо максимум в $y'_i(x)[t_i^{-1}]$, то тоді $y_i(x) = -y'_i(x)[t_i^{-1}]$, а якщо максимум в $y'_i(x)[t_i^H]$, то тоді $y_i(x) = 0$.

Факти, що лежать на межі областей $t_i(t_i^{-1}, t_i^H)$ і які не входять у базу відомих об'єктів, можуть бути використані в якості питань до експертів на етапі додаткового навчання системи. На рис.7.7 сірим тоном відмічені області пошукового класу, на схемі а чорними крапками відмічені відомі об'єкти, а на схемах б і в наведені результати обробки відомих об'єктів при різних значеннях $mode$.

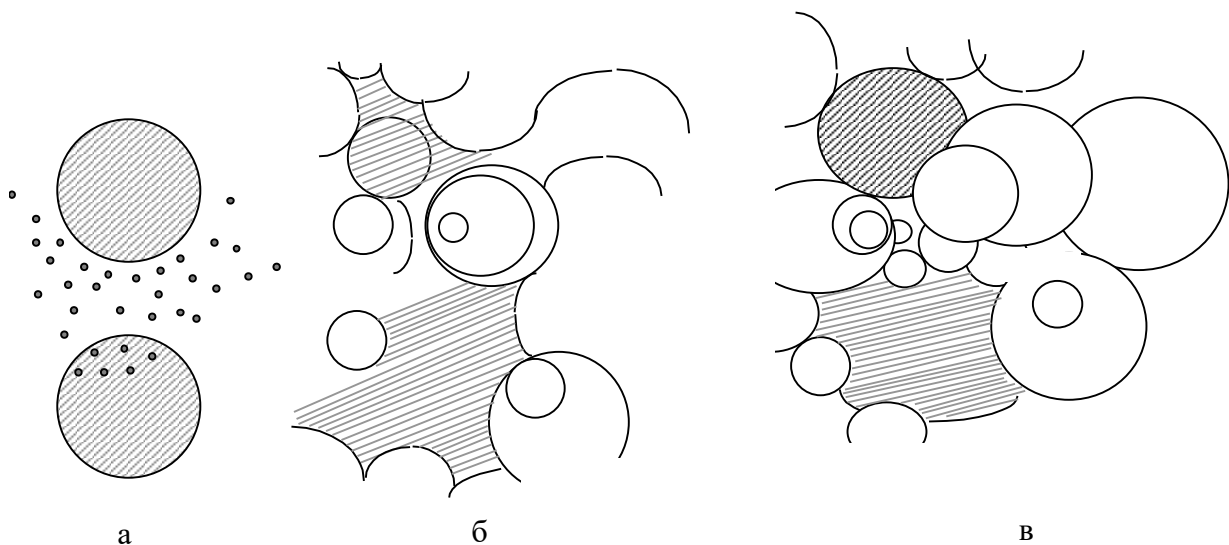


Рисунок 7.7. Модель простору D(a) і його розподіл при $mod d=0,5$ (б) і $mod a=1$ (в)

Основним недоліком даного алгоритму є різке зростання об'єму пошукового простору при використанні великого числа дискретних ознак, так як кожний із них будемо досліджувати як множину неперервних ознак інтервалах $[0,1]$ по кожному із величин. Кращі результати авторами посібника одержані у процесі розпізнавання технологічних ситуацій і опису складних кулястих гіперповерхень [1, 2], що дало змогу розробити алгоритми для інтелектуального управління виробництвом продуктів харчування.

7.5. Інструментальні засоби і реалізація інтелектуальних систем керування

Інтелектуальні системи управління (ІСУ) з розподіленою структурою характеризуються великим об'ємом перетворення інформації і високою складністю використаних алгоритмів обробки інформації і прийняття рішень. Разом з тим при проектуванні до цих систем пред'являють жорсткі вимоги щодо надійності. Вказані характеристики ІСУ можуть бути забезпечені лише за рахунок використання багатопроцесорних обчислювальних мереж (БОМ), наприклад, трансп'ютерних систем [2].

В цій темі буде розглянутий підхід оптимального відображення структури ІСУ на архітектуру БОМ, який полягає в такому розподілі програм, що реалізують підсистеми ІСУ, по процесорам БОМ, які мінімізують заданий критерій ефективності відображення.

Відомим наближеним методом рішення задач відображення є метод балансування завантаження. При цьому програми призначають процесорам таким чином, щоб обчислювальне навантаження останніх було максимально близьким до кожного із них. Розглянемо формалізацію задачі оптимального відображення структури ІСУ на архітектуру БОМ у вигляді задачі глобального балансування завантаження. Підхід, оснований на математичному програмуванні, дозволяє звести задачу балансування до задачі бульового лінійного програмування. Основною метою роботи є дослідження ефективності методу рішення задачі оптимального відображення структури ІСУ на архітектуру БОМ, в якому вказана задача бульового лінійного програмування обчислюється наближеним релаксаційним методом. Цілеспрямованість такого підходу заснована на тому, що задача бульового лінійного програмування є NP-складною, а задача нецілочисельного лінійного програмування – P-складною.

Нехай $\{P_i, i \in [1, n]\}$ - множина підсистем ІСУ, P_i – обчислена складність (кількість арифметичних операцій) програми, що реалізує підсистему P_i ; $C = \{C_{i,j}, C_{i,i} = 0, i, j \in [1, N]\}$ - комунікаційна матриця ІСУ, де $C_{i,j}$ – кількість інформації, в байтах, яку підсистема P_i передає підсистемі P_j .

Нехай $\{Q_v, v \in [1, N]\}$ - множина процесорів БОМ; q_v - продуктивність процесора Q_v ; $D = \{d_{v,\mu}, d_{v,v} = 0, v, \mu \in [1, N]\}$ - комунікаційна матриця БОМ, де $d_{v,\mu}$ - мінімальний час передачі байта даних від процесора Q_v до процесора Q_μ .

Відображення підсистем ІСУ на процесори БОМ задамо відображеною $(N \times n)$ -матрицею $X = \{x_{v,i}, v \in [1, N], i \in [1, n]\} \in X$, де

$$X_{v,i} = \begin{cases} 1, & \text{якщо підсистема } P_i \text{ виконується на процесорі } Q_v, \\ 0, & \text{у зворотньому випадку} \end{cases},$$

X – множина допустимих відображень;

Маємо обмеження виду:

$$x_{v,1} + x_{v,2} + \dots + x_{v,n} \leq n, \quad x_{1,i} + x_{2,i} + \dots + x_{N,i} = 1. \quad (7.18)$$

Критерій ефективності побудуємо на основі обчислювального і комунікаційного навантаження процесорів. Обчислювальне навантаження WL (Work Load) процесора $\{Q_v, v \in [1, N]\}$ визначається сумарним часом обчислення призначених йому програм

$$WL_v = q_v \sum_{i=1}^n x_{v,i} P_i. \quad (7.19)$$

Комунікаційне навантаження CL (Communication Load) процесора Q_v - це сумарний час обміну, які повинні виконувати програми, що призначені цьому процесору:

$$CL_v(X) = \sum_{\mu=1}^N \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{\mu,j} x_{v,i} d_{v,\mu} c_{i,j}. \quad (7.20)$$

В якості критерію ефективності відображення використаємо максимальну із сумарних навантажень процесорів БОМ

$$E(x) = \max_{v \in [1, N]} E_v(x) = \max_{v \in [1, N]} (WL_v(x) + CL_v(x)). \quad (7.21)$$

Є задача пошуку відображення матриці $X = X^*$ і є критерій оцінки ефективності (1.21.).

$$E^* = E(x^*) = \min_{X \in X} E(x). \quad (7.22.)$$

Відмітимо, що моделі (7.18.)-(7.22.) не враховують комунікаційне навантаження процесорів БОМ, що обумовлено транзитними обмінами; можливі затримки обмінів за рахунок перевантаження каналів обміну; додатковий час на організацію обмінів.

Останню складову, яка в трансп'ютерних мережах, наприклад, може бути дуже суттєвою, легко врахувати, якщо ввести залежність

$$d_{v,\mu} c_{i,j} = l_{v,\mu} t_{si} + c_{i,j} t_{com}, \quad (7.23.)$$

де $l_{v,\mu}$ - “відстань” між процесорами Q_v, Q_μ і t_{st} - стартовий час; t_{com} - час передачі байта даних між сусідніми процесорами БОМ.

Складові (7.22), що входять до співвідношення (7.19) лінійні, а складова (7.20) нелінійна відносно компонентів матриці X відображення. Введемо додаткову відображену $N^2 \times n^2$ -матрицю \bar{X} , компоненти якої представляють собою добуток компонентів матриці X . З використанням матриці \bar{X} вираз (7.20) запишемо у вигляді

$$CL_v(X) = \sum_{\mu=1}^N \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{X}_{v,\mu,ij} d_{v,ij} c_{i,j}, \quad (7.24.)$$

де $\bar{X}_{v,\mu,ij}$ - елемент матриці \bar{X} , що знаходиться в строчці, яка відповідає v, μ і стовпцю, відповідного i, j .

Обчислювальне завантаження (7.19.) виражається через матрицю X у вигляді

$$WL_v(\tilde{X}) = q_v \sum_{i,j=1}^{n^2} \tilde{x}_{v,\mu,ij} \tilde{P}_{ij}, \quad (7.25.)$$

де $\tilde{P} = (P_1 \ 0 \dots 0 \mid 0 \ P_2 \ 0 \dots 0 \mid \dots \mid 0 \ 0, \dots, P_n)^T$ - $(n^2 \times 1)$ - вектор.

Таким чином, критерій ефективності узгодження $E_v(\tilde{X})$ буде лінійним відносно матриці \tilde{X} .

Стандартним прийомом за допомогою допоміжних змінних $\sigma, Y = \{y_0, y_1, \dots, y_N\}$, задачу пошуку відображення матриці $X = \tilde{X}^*$, зведемо до задачі змішаного бульово-лінійного програмування, у випадку мінімуму критерію ефективності $E(X)$ і врахування залежностей (7.21), (7.22).

$$\min_{X, \sigma} \sigma(\tilde{X}) = \sigma^* \quad (7.26.)$$

з обмеженнями

$$\sigma + y_0 = 0, \quad E_v(\tilde{X}) - \sigma + y_v = 0, \quad \sum_{i,j=1}^{n^2} \tilde{X}_{v,\mu,ij} = 1$$

і обмеженнями

$$\sigma \leq 0, \quad \tilde{X}_{v,\mu,ij} = 0, 1; \quad v, \mu \in [1, N^2], \quad i, j \in [1, n^2].$$

Отже, можемо створити визначення: задача оптимального відображення структури ІСУ на архітектуру БОМ є NP-складною.

Справедливість визначення слідує із того факту, що задача бульова лінійного програмування (7.26) є NP-складною.

Точне рішення задачі відображення реалізовано у послідовному фортрановському GOMORY-відображенні, що використовує програму HO2BAF рішення задачі цілочисельного лінійного програмування (7.26) відомим методом Гоморі із бібліотеки чисельного аналізу NAG (National Algorithmic Group).

Ефективність GOMORY-відображення може бути значно підвищення за рахунок використання паралельних алгоритмів методу Гоморі [2]. Перейдемо до дослідження наближених методів рішення задачі на основі методу релаксації. Позначимо алгоритм рішення задачі лінійного програмування (7.26) з допомогою симплекс-методу SIMPLEX, а відповідне значення матриці відображення (нецілочисельної) і критерієм ефективності X_s , E_s . Введемо алгоритм ROUND, UNIFORM₁, UNIFORM₂, COMB1.

Алгоритм ROUND замінює величину $(X_s)_{v,i}$ її цілочисельним значенням $(X_r)_{v,i}$ по формулі

$$(X_r)_{v,i} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v = v_0 \\ 0, & \text{у протилежному випадку} \end{cases}, \quad (7.27)$$

де v_0 визначається із умови

$$\max_v (X_s)_{v,i} = (X_s)_{v_0,i}, \quad v \in [1, N], \quad i \in [1, N]. \quad (7.28)$$

При цьому виконання обмежень (7.18) забезпечується автоматично.

Алгоритм UNIFORM₁ кожному процесору (крім Q_1 або Q_2) назначає $n_1 = \lfloor n/N \rfloor$ програм незалежно від їх обчислювальної складності.

Тут $\lfloor n/N \rfloor$ – найближче ціле / менше n/N .

Алгоритм UNIFORM₂ кожному процесору призначає таку кількість програм зі суміжними номерами, щоб обчислювальне завантаження цього процесора було не більше середнього:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n p_i / N. \quad (7.29)$$

Алгоритм COMB1 є комбінацією алгоритмів ROUND UNIFORM₁ і UNIFORM₂. вибираємо кращий із них за допомогою критерію (7.22).

Ефективність наближених алгоритмів рішення задач і відображення дослідження за допомогою статистичного моделювання [2]. Зробимо деякі висновки:

При наближеному рішенню задач відображення алгоритм релаксації ROUND потрібно комбінувати з простими алгоритмами рівномірного розподілення UNIFORM₁, UNIFORM₂, тобто використовувати комбіновані алгоритми COMBI. При цьому середня ефективність відображення підвищується на 5-10% (у залежності від співвідношення середньої обчислювальної складності програм і вартості комунікацій).

При деяких наборах вихідних даних стандартні програми, що використовують симплекс-метод, можуть не давати рішення (за рахунок обчислювання і представлення даних). Алгоритм COMBI забезпечує рішення задачі у всіх випадках.

Алгоритм COMBI забезпечує середню ефективність відображення лише на 5% гіршу, ніж точний алгоритм цілочисельного лінійного програмування GOMORY.

Перейдемо тепер до оцінки базових інваріантних програмно-інформаційних засобів інтелектуальних систем керування. В якості базової програмної платформи при проектуванні інтелектуальних систем керування виробництво хліба використана динамічна продукційна керована система реального часу.

Інваріантність системи підтримується наступним:

- дає можливість змінювати склад, структуру і стан об'єктів;
- дозволяє розширити правила, закони, алгоритми управління, контролю, моніторингу для заданого комплексу дискретних розподілених систем;
- дозволяє доповнювати, розвинути і модифікувати прикладні функції управління, контролю, моніторингу в процесі їх експлуатації без перепрограмування.

Внутрішня організація системи і технологія створення у її середовищі конкретних прикладних систем основана на використанні методології і моделей штучного інтелекту.

Базовою моделлю є продукційна система з прямим виводом, яка була розвинута, розширена і перероблена для опису і реалізації процесів управління комплексами дискретних розподілених об'єктів збагачувального виробництва у реальному часі.

База продукційної системи реального часу призначена для зберігання даних про динаміку зміни стану об'єктів і має прямий асинхронний інформаційний вхід від зовнішніх об'єктів і підсистем. Алгоритм прийняття рішень і управління описується на мові правил-продукцій високого рівня, який допускає квантифікацію по об'єктам. Результатом продукційного логічного виводу є висновок про стан і хід контролюючого процесу або керуючих впливів (команд) і повідомлень, що видаються системою об'єктам по відповідним каналам зв'язку. Методи і внутрішні формальні моделі, що покладені в основу

реалізації продукційної управлінської системи реального часу, демонструють наступні ключові характеристики і особливості.

Наявність динамічної інформаційної бази зі збереженням передісторії стану об'єктів (з прив'язкою у часі) на задану користувачем глибину.

Робота з правилами, які використовують складну квантифіковану предикатну логіку часу в умовах використаних продукцій і розширеного операційного базису дій. Мова дозволяє описати міркування про підмножини об'єктів, а також про час як у термінах точкових, так і інтервальних подій з фіксацією їх часткового порядку і відносного положення на шкалі часу.

Функціонування інтерпретатора продукцій базується на розширеному тлумаченні логічних виразів. Значеннями у використаній логіці є не лише “неправда” і “істина”, а також підмножина об'єктів бази і моментів часу (або інтервали), для яких твердження істинне. Ці дані використовуються в процесі роботи інтерпретатора і передаються в операційну частину продукцій для виконання дій з об'єктами бази і вироблення рішень.

Механізм розширення конфліктів носить множинний характер і залишає на кожному кроці роботи системи в списку використаних декілька неконфліктних продукцій, підтримуючих процес взаємодії з різними зовнішніми об'єктами.

У результаті цього забезпечується псевдопаралельна робота з розподіленими об'єктами і реалізація паралельних ланцюгів логічних виводів щодо різних аспектів процесу спостереження.

Система упорядковує засоби динамічного фокусування і переключення уваги при зміні зовнішніх обставин і виникнення особливих ситуацій. Ця функція підтримується механізмами активації продукцій і екстреного виклику. Нагальним може бути об'явлено кожне правило і тоді при задоволенні його умов переривається процес інтерпретації і логічного виводу. Ці дії можуть активізувати інші правила і визвати тим самим лавиноутворений процес концентрації уваги системи на визначеному фрагменті проблемної області. Декілька екстрених продукцій записаних підряд і активізуючих один одного, забезпечує найшвидше реагування і логічний висновок по особливо важливим подіям. Такі мережі правил забезпечують переривання усіх процесів, що виконуються інтерпретування системою у поточний момент.

У подальшому таку оболонку CONST будемо використовувати в системі АСУТП підприємств харчової галузі з робототехнічними системами керування виробництвом харчів.

Новими елементами продукційної мови опису процесів реального часу, що підтримується конструктором і системою в цілому, є ієрархічна система правил і макровизначення, оператори динамічної підкачки / вивантаження додаткових джерел знань у систему, а також фокусування операторів на визначених

фрагментах бази правил у процесі роботи. Мова макровизначень дозволяє спроектувати ієрархічні бази правил з використанням модульного принципу, що суттєво спрощує процес їх синтезу з використанням раціональної структуризації прикладних продукційних систем. Правила мови макровизначень мають вид:

М: якщо U, то Q,

де M – назва функції даного макроправила;

U – умова, яка пред'являється до стану процесу, при якій діє дане макроправило;

Q – послідовність операцій або функцій, які виконуються після стану U.

Тут U задає перехід до визначеного режиму управління і прийняття рішень або до визначеної функціонально замкнутої сукупності операцій Q.

Ці операції можуть бути або умовними, або безумовними. Умовні операції деталізуються у вигляді макроправил наступного більш низького рівня або у вигляді традиційних продукцій. У результаті макроправила утворюють ієрархічний опис продукційного алгоритму по методиці “зверху вниз”, де на самому низькому рівні розташовані звичайні продукції. В мову продукцій і макросів введені оператори *extend* і *extend Return* динамічної підкачки і вивантаження додаткових джерел знань, а також оператор *focus*. Оператор *extend*{ P_i, \dots, P_j } може бути включеним в операційну частину будь-якого правила. Він забезпечує завантаження в систему підмножини правил $\{P_i, \dots, P_j\}$, які підключаються до аналізу бази на наступному кроці інтерпретації, разом з використаними раніше правилами.

У результаті до управління логіко-обчислювальним процесом будуть залучені додаткові знання, що представлені в $\{P_i, \dots, P_j\}$, тобто система як би розширює своє розуміння. Оператор *extend return* забезпечує повернення до використання початкового набору правил.

Оператор *focus* $\{P_k, \dots, P_m\}$ зосереджує систему на фрагменті моделі знань, що описується правилами $Q = \{P_k, \dots, P_m\}$. Якщо такий оператор зустрічається в операційній частині будь-якої використаної продукції із множини правил R, то процес інтерпретації правил R і функціонування продукції P_i перерветься і проходить рекурсивне звернення до під процесу інтерпретації правил Q, вказаних у операторі *focus*.

Система починає функціонувати лише від керуванням правил $\{P_k, \dots, P_m\} \in Q$, тобто концентрує увагу на якостях і ситуаціях предметної області, що описані у цих правилах. Оператор *focus return* забезпечує рекурсивне повернення до перерваного раніше процесу інтерпретації правил із підмножини R. При цьому невиконані операції продукції $P_j \in R$, що вказані після оператора *focus* $\{P_k, \dots, P_m\}$ виконуються додатково. Підвищити ефективність системи керування

можливо шляхом розпаралелювання процесу оброблення інформації декількома процесорами, які об'єднані в єдину обчислювальну структуру. Така мультипроцесорна система може бути побудована на основі трансп'ютерів – спеціальних програмованих СБІС, призначених як для автономного використання, так і в якості елемента мультипроцесорної системи [1,2].

Реально допустимими є додаткові плати до IBM PC, які мають 1, 2 або 4 трансп'ютера. При цьому процесор самої IBM PC також включається до складу системи і використовується для підготовки програмного забезпечення для трансп'ютерів, завантаження кодів програм і даних, для зв'язку з мережею трансп'ютерів через спеціальну програму AFSERVER. Для програмування трансп'ютерів використовуються мови OCCAM, Parallel C і ін. Для реалізації ядра системи, що ми розглядаємо пропонується програма, яка складається із задач двох типів – PRO і TASK. Структура програми представлена на рис.7.8.

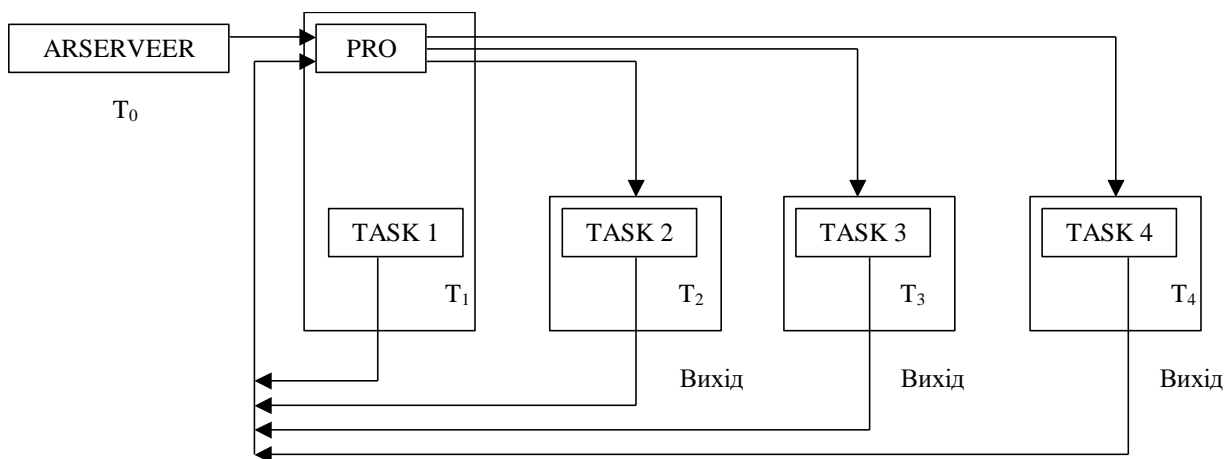


Рисунок 7.8. Структура програми реалізації ядра

Задача PRO завантажується у кореневий трансп'ютер і підтримується зв'язок із завантажуючим процесором для виконання введення-виведення даних (клавіатура, екран, файли, технологічне обладнання). Ця задача використовується для передачі даних іншим трансп'ютерам і задач, а також для узагальнення результатів роботи задач другого типу. Задачі TASK завантажується у всі трансп'ютери і паралельно виконуються необхідні дії по оновленню бази, активації продукцій і їх застосувань.

Програми PRO і TASK, враховуючи наявність у трансп'ютера локальної пам'яті, виконують зв'язок один з одним через кореневий трансп'ютер.

Для розпаралелювання процесів оброблення інформації в інтелектуальній продукційній системі керування використовують два основних способи: розділення на окремі фрагменти списку продукцій (правил) і розподіл на фрагменти бази (тобто бази фактів).

Перший спосіб. Список продукцій розділяється на 4 фрагменти, які завантажують в пам'ять трансп'ютера T_1 - T_4 . при цьому в трансп'ютери завантажуються лише необхідні для роботи продукцій підмножини бази фактів. Ініціювати оновлення бази і дублювання її у трансп'ютері на кожному циклі роботи системи можливо із програми диспетчера PRO.

Структура програм PRТут штриховими лініями показані моменти синхронізації програм і обміну даних. Етап оновлення бази на початку кожного циклу роботи системи проводиться під керівництвом програми PRO і полягає у розсиланні по кожному каналу зв'язку параметрів бази, які змінюються. В подальшому кожний трансп'ютер працює автономно як невелика продукційна система. Необхідність у синхронізації і узагальнені результатів виникає лише при наявності конфліктів продукцій, що зберігаються в різних трансп'ютерах.

При відсутності конфліктів між групами правил, розташованих на різних трансп'ютерах, кожний із трансп'ютерів продовжує автономно виконувати роботу аж до етапу зміни вмісту бази.

Цей етап контролюється програмою PRO, яка визначає наявність змін у базі після виконання продукцій і дублює ці зміни в інших трансп'ютерах.

Другий спосіб розпаралелювання роботи системи керування передбачає розподіл бази на 4 неперетинаючих підмножин і завантаження їх в трансп'ютер разом з повним списком продукцій.

Тема 8. Технології роботизації підприємств харчової промисловості

8.1. Роботизовані комплекси в системах управління підприємством та технологічними процесами (АСУ-АСУТП) виробництва смарт-продуктів харчування

Сучасні високого рівня прєктні рішення АСУ- АСУТП- людино-машинні системи, які забезпечують автоматизоване збирання, обробку інформаціїта управління технологічними об'єктами у відповідності з визначеними критеріями.Корпоративні підприємства харчової промисловості України оснащенні високопродуктивним обладнанням, використовують передові багатоступеневі технології, тому впроваджені у виробництво системи управління ними можуть відрізнитись за типом об'єкту управління, характером і об'ємом обчислювальних задач, критеріями управління підприємством.Системи керування технологічним процесом бувають двох видів: автоматизовані і автоматичні. Автоматизована система керування

пропонує участь людини (оператора - технолога) в якості складової частини структури управління підприємством, а автоматична (мехатронна) система може функціонувати без участі людини (за виключенням проведення профілактичного контролю, ремонту обладнання тощо).

Системи мехатронного керування (СМК) – це сукупність пристроїв, алгоритмів, бази даних, бази прецедентів, бази знань, математичних моделей, які забезпечують керування об'єктом без посередньої участі людини.

СМК виконує наступні функції керування: автоматичне регулювання; каскадне і програмне регулювання; багатозв'язане автоматичне регулювання; логічне керування (блокування); оптимальне керування перехідними процесами та режимами виробництва продукції; оптимальне керування з адаптацією та зміною структури алгоритмів й параметрів системи.

Критеріями управління АСУТП є техніко-економічні показники (наприклад, собівартість готового продукту, продуктивність технологічного об'єкту керування (ТОК) при стандартному показнику якості продукції). АСУТП - одне із найбільш специфічних використань обчислювальної техніки. ЕОМ та пристрої, які входять до складу АСУТП, керують ТОК та функціонують в реальному часі, які реалізують технологічний процес виробництва смарт-продуктів харчування. При цьому обчислювальна техніка забезпечує: виконання задач запуску та зупинки робототехнологічного обладнання, контролю його стану і захисту від перевантаження, підтримання заданого режиму роботи обладнання та стабілізації окремих технологічних параметрів, оптимізації якісних і кількісних показників роботи окремих агрегатів і технологічних ділянок підприємств у цілому, цифрового керування технологічним процесом і т.п. Щодо призначення АСУТП на підприємствах харчової промисловості слід розуміти цілеспрямоване проведення технологічних процесів для одержання в достатній кількості харчових продуктів здорового харчування з найменшими затратами і забезпечення суміжних та галузевих АСУ необхідною інформацією. Ієрархія автоматизованих систем управління підприємствами харчової промисловості представлена на рис. 8.1. Особливістю таких АСУ підприємств є використання хмарних технологій за допомогою хмарних ресурсів і хмарних обчислень.

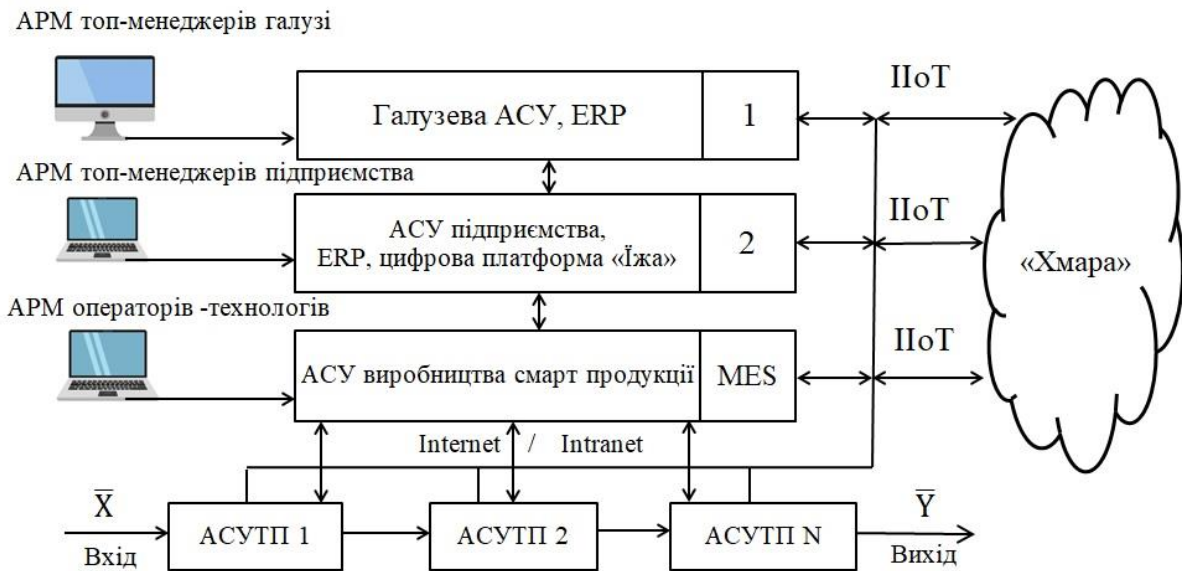


Рисунок 8.1. Ієрархія АСУ на підприємствах харчової промисловості

1 - адміністративний рівень, 2 - рівень топ -менеджерів підприємства
Хмарні ресурси- будь-які технічні та програмні засоби або інші компоненти інформаційної (автоматизованої) системи, які доступні за допомогою технології хмарних обчислень, такі як процесорний час (обчислювальна потужність), місце бази даних і комп'ютерні програми. Галузева АСУ з Центром обробки даних- спеціалізований інформаційний майданчик, що складається з інженерної (системи безперебійного електроживлення, вентиляції, охолодження та регулювання вологості, пожежної безпеки, фізичної охорони), інформаційної, електронної, комутаційної та програмно-апаратної інфраструктури, засоби якого забезпечують або реалізують надання послуг, зберігання та обробки даних. Технологія хмарних обчислень - технологія забезпечення дистанційного доступу на вимогу до хмарної інфраструктури через електронні комунікаційні мережі (Інтернет-ІоТ).

Очевидно, що АСУТП підприємств в цій ієрархії є нижнім рівнем керування виробництвом смарт-продукції та забезпечує високотехнологічне виробництво, і стандартну якість продукції харчування. Завданням розробників АСУТП на даному етапі розвитку харчової промисловості України є впровадження цифрових систем, робототехнологічних комплексів, які будуть зменшувати матеріальні та енергетичні затрати, створювати екологічну стійкість і надійність виробничих структур, а головне гарантують функціонування системи в заданих значеннях оптимізації технологічних параметрів.

Основними завданнями оптимізації технологічних процесів є:

- пошук та підтримання оптимального режиму, який характеризується вектором вхідних параметрів стану об'єкту керування X та відповідного вектору вихідних чинників Y ;
- переведення технологічного обладнання з одного режиму роботи в інший з метою гнучкого виробництва продукції здорового харчування за допомогою цифрових систем керування;
- оперативне керування групою технологічних ліній (робототехнологічних комплексів) за рахунок алгоритмів координації та узгодженого управління виробництвом продукції;
- структурне управління групою підприємств-постачальників галузі, щодо виробництва смарт-продукції, енергозабезпечення, викидів CO_2 з платформами машинного навчання (ML), виведення в ремонт обладнання (смарт-ремонт), вмикання резерву, діагностування стану обладнання з метою мінімізації впливу на навколишнє середовище;
- оптимальне планування виробничих програм та потоків грошей за допомогою ERP-систем з використанням хмарних технологій і ПЗ з метою фінансового моделювання бізнес-процесів та проектів розробки смарт-продуктів.

Таким чином, оптимізація процесів виробництва продукції здорового харчування для регіонів з техногенним забрудненням буде подана у вигляді наступної моделі виду:

$$J = F(X, U, Y, Z, t) dt, \quad (8.1)$$

де X, U, Y, Z – вектор параметрів стану відповідно об'єкта управління, сигналів керування, вихідних змінних, збурень;

F – функціонал. Значення критерію J за інтервал часу $[0, t]$ має досягти екстремуму -min або max залежно від змісту задачі, наприклад максимальна продуктивність або мінімальні витрати продукту. Для досягнення мети введемо поняття оптимального управління підприємством:

$$U(t) = \text{argextr} J, \quad (8.2)$$

яке в системі має здійснюватись так, щоб критерій оптимальності J сягав екстремуму за час роботи об'єкта.

Для автоматизованих виробництв важливим є наявність обмежень, тому що вхідні-вихідні параметри мають завжди обмеження або допустимий діапазон змін:

$$X_{min} \leq X_i \leq X_{max} \quad (8.3)$$

Концепція використання ERP систем в АСУ-галузі та в АСУ підприємств тісно пов'язана з комп'ютеризованими інтегрованими виробництвами продуктів харчування (СІМ), в яких ERP-верхнього рівня призначені для управління фінансами та господарською діяльністю.

До загальних задач використання ERP необхідно віднести управління матеріальними і фінансовими ресурсами, збутом, замовленнями споживачів і постачання, управління кадрами, основними фондами, бізнес-планування і облік, бухгалтерія, розрахунки з організаціями-постачальниками, банками тощо. За допомогою ERP-систем на рівні галузі та підприємств України виконуються механізми управління з підприємствами країн ЄС, Азії, Африки, включаючи підтримку декількох часових поясів, мов, валют, систем бухгалтерського обліку і звітності.

Сучасні програмні продукти дозволяють побудувати платформу «ІЖА», яка на основі комунікаційно-інформаційних технологій, IoT і хмарних технологій, забезпечує виробництво смарт-продуктів, що відповідають європейським стандартам.

При цьому верхній рівень підприємств галузі в реальному масштабі часу виконує оцінку економічного прибутку:

$$EP = NOPLAT - (IC * WACC), \quad (8.4)$$

де EP - економічний прибуток підприємства,

NOPLAT- чистий операційний прибуток підприємства з врахуванням скорегованих податків,

IC- об'єм капіталу інвестованого в операції виробництва смарт-продукції харчування,

WACC- середньозважені затрати на капітал підприємства або міра ризику невиконання портфеля замовлень країн ЄС, Азії, Африки та внутрішнього ринку.

В АСУ галузі та АСУ підприємств інформаційно-управлінські системи узгоджені між собою, що дозволяє топ-менеджерам галузі на основі нейромережових систем прогнозувати виробничі показники, щодо продуктивності смарт-продукції та своєчасне виконання портфеля замовлень.

Такий підхід дає змогу розробити інтелектуальну систему управління мережею галузевих підприємств харчової промисловості, об'єднаних інтернет мережею ІоТ, ПЗ, ERP, MES-систем і з АСУТП на нижньому рівні. Розвиток стандартів ERP, MES-цифрового управління повинно бути узгодженим зі стандартами якості.

Два ці напрямки (організація і управління виробництвом та управління якістю) зв'язані між собою та є інструментами підвищення потенціалу підприємства (під потенціалом будемо розуміти сенс одержання економічного прибутку в майбутньому).

Архітектура інформаційно-управлінської системи підприємств галузі буде ефективною, якщо в реальному масштабі часу народ України буде одержувати продукти здорового харчування в достатньому об'ємі та в широкому асортименті продуктів високої якості.

Під якістю харчового продукту будемо розуміти сукупність біологічних, харчових і технологічних властивостей та ознак, які визначають його придатність до споживання. Відповідно до державних і міжнародних стандартів під якістю продукції розуміють сукупність властивостей, які складають якість, а також здатність продукції задовольняти потреби у відповідності з її призначенням. Показником якості продукції є - кількісна характеристика однієї або декількох властивостей продукції, складових якості. Рішення проблеми підвищення якості продукції харчування вимагає постійного удосконалення та забезпечення достовірності одержаної інформації засобами вимірювання, системами контролю і управління параметрами технологічних процесів виробництва. При цьому основною задачею систем керування якістю в АСУ підприємств є мінімізація браку в процесі формування якості продукції. Для цього необхідно об'єктивно та достовірно в реальному масштабі часу оцінювати якість продукції здорового харчування в процесі виробництва та збереження. Це можливо в умовах впровадження інтелектуальних підсистем управління якістю (ІПУК) на основі збирання, оброблення, аналізу і збереження інформації про стан контрольованого об'єкту (продукту) при якісному метрологічному забезпеченню. Основним засобом одержання інформації про стан контрольованого об'єкту є вимірювання, якість яких залежить від точності використання засобів вимірювання та рівня їх метрологічного забезпечення (МЗ). Індикатором ефективності контролю та управління якістю продукції харчування є достовірність вимірюваної інформації та якості МЗ. Структура і функції вимірюваних засобів однозначно узгоджені, але функція вимірювання є визначальною. Якість вимірюваної інформації визначається її основними властивостями: оперативністю, повнотою, точністю, достовірністю і

співставленістю. Метрологічне забезпечення вимірювань – комплекс нормативно-технічних документів, які встановлюють правила та положення, що відносяться до забезпечення точності вимірювання.

Під *метрологічним забезпеченням АСУТП* харчової промисловості регіону з техногенними територіями в посібнику будемо вважати «систему наукової, технічної, правової та організаційної діяльності направленої на забезпечення, шляхом інтелектуального керування, відповідності характеристик якості харчових продуктів встановленим нормам (сертифікату НАССР) на основі досягнення єдності процесів перетворення інформації (інформаційних процесів) в АСУТП».[3,10]

Кожна із АСУТП має свою вимірювально-інформаційну систему (ВІС), пов'язану з керуючими системами нижнього, середнього і верхнього рівнів управління. Сформована вимірювально-інформаційна система виконує функції контролю, діагностики, випробовування, розпізнавання, визначення аварійних ситуацій і т.п. Ця система стимулює розвиток комп'ютерних технологій, засобів вимірювання (ЗВ), керуючої і виконавчої підсистем в складі АСУ-АСУТП підприємства і галузі. При цьому під ЗВ будемо розуміти комплекс приладів, інтелектуальних датчиків, за допомогою яких експерти автоматизованого керування будують БД, БЗ інформаційних систем. Засоби вимірювання можуть функціонувати незалежно один від іншого, а також в складних структурах вимірювання та організації взаємодіючих процедур з інтелектуальними системами візуалізації та опосередкованого контролю параметрів. Таким чином, ЗВ необхідно розглядати як складовий елемент вимірювально - інформаційної і керованої системи управління підприємством. Вимірювально - інформаційна система – визначається як «інформаційна система, яка має в якості підсистем (елементів) вимірювальні перетворювачі, прилади або вимірювальні системи». Серед функцій автоматизованих систем керування виокремлено: вимірювальні, обчислювальні та керувальні. Таким чином, визначилось спрямування до розуміння системи як сукупності всіх підсистем та функцій., в якій важливу роль відіграє обчислювальна функція як частина вимірювальної (ДСТУ-26.203-81).

Відповідно принципам метрологічного забезпечення, ВІС та АСУТП відзеркалюють специфіку цих систем, яка полягає в агрегатному способі побудови, комплектовані в багатьох випадках безпосередньо на об'єкті, нерозривного зв'язку з об'єктом, розподіленості в просторі, багатоканальності, багатофункціональності, гнучкості структури і наявності у своєму складі ЕОМ. Включення до складу ВІС та АСУТП сучасних засобів комп'ютерних систем має два важливі наслідки, які змінили погляд на систему керування. По-перше, розширились функції систем, що пов'язано з

обробленням результатів вимірювання. По-друге, змінилось співвідношення між числом задач перетворення сигналів, які виконуються за допомогою апаратних і програмних засобів, на користь останніх.

Тому за рахунок програмних засобів інтелектуальних вимірювальних системах використовуються комп'ютерні засоби оброблення інформації, які підвищують точність цих систем.

Визначальним для ВІС є рівень ефективності досягнення тих цілей, за ради яких вона спроектована, тобто для контролю, випробувань, діагностики, обслуговування, розпізнавання і т.п., але для АСУТП – для керування.

Відомо, що якість функціонування ВІС та АСУТП можливо характеризувати точністю, тому потрібно використати методи метрологічного забезпечення (МЗ) для ВІС і АСУТП і розповсюдити їх націльові, не вимірювальні функції. Ці положення складають основу концепції цілісності МЗ вимірювально- інформаційних та керувальних систем [1,2].

Сутність концепції полягає в тому, що в якості об'єкта МЗ розглядаються системи в цілому, включаючи не вимірювальні підсистеми і функції. Методологічною основою концепції слугують два функціональних положення. Перше полягає в тому, функції контролю, випробувань, діагностики, виявлення та розпізнавання, а також вимірювальна функція складають сутність функції класифікації (рис.8.2).

Технічний контроль виконують на основі вимірювання деякої сукупності параметрів об'єкта (наприклад, технологічного процесу).

Мова в цьому випадку іде про класифікацію станів системи на два класи: норма і не норма.

Технічна діагностика представляє собою двоетапну класифікаційну процедуру: спочатку об'єкт відносять до одного із класів – працездатний або непрацездатний, а потім – до одного із підкласів, який визначає запас працездатності або характерне працездатності відповідно.

Розпізнавання образів також відноситься до задач класифікації, тому що необхідно визначити ознаки об'єктів, які визначають образи, розділення простору ознак на області, які характеризують класи станів об'єктів, і визначення конкретних об'єктів, на основі вимірювання їх ознак віднесення їх до відповідних класів.



Рисунок 8.2 - Структура перетворення інформації в системі управління підприємством: ВС – вимірювальна система; ВІС – вимірювальна інформаційна система; БД – база даних; БП – база прецедентів; КІ – класифікаційна інформація; УІ – управлінська інформація; ВМ – виконавчі механізми

Якщо класи розділяють простір на дві області, то розпізнавання стає двоальтернативним, тобто зводиться до виявлення об'єкту. Термін «процес перетворення інформації» слід розуміти у широкому сенсі слова. Він об'єднує: процеси визначення інформації; процеси сприйняття інформації від вторинних її джерел, коли інформаційні засоби безпосередньо взаємодіють з об'єктом, який є носієм уже визначеної інформації; процеси перетворення інформації із одної форми в іншу; процеси передачі, збереження та оброблення інформації; процеси перетворення управлінської інформації в фізичні впливи (становище), наприклад у виконавчій підсистемі (перетворення інформації в реально існуюче різноманіття).

Головним при формуванні інформації для ВІС та АСУТП є процедура вимірювання. В її основі лежить порівняння вимірюваної величини з однорідною величиною, яка прийнята за одиницю, або зі шкалою. Основним завданням

АСУТП є підтримання заданого режиму роботи технологічного об'єкту керування (ТОК), шляхом розпізнавання та мінімізації відхилень відоптимальних значень технологічного процесу. Ця задача виконується за допомогою традиційних функцій контролю, регулювання і керування з використанням різних способів вимірювання, ідентифікації, оптимізації та адаптації.[3]

Оперативний персонал розглядає систему робототехнологічного керування як додатковий засіб, який полегшує йому виконання основного завдання: введення технологічного процесу у відповідності зі заданим регламентом. В обов'язок персоналу входить: нагляд за технологічним процесом, розпізнавання проблемних ситуацій; втручання при відхиленнях від заданого режиму, у тому числі в аварійних ситуаціях, шляхом зміни самостійно деяких параметрів сировини, інгредієнтів тощо, параметрів регуляторів (уставок); переключення структурних зв'язків і т.п.; аналіз причин порушення, прийняття рішень щодо їх усунення. Сукупність цих дій зв'язана з функцією оперативного керування. Щодо її реалізації велике значення надається наявності процедур, в яких система веде оператора, підказуючи йому рішення в аварійних ситуаціях. Організація керування в АСУТП вимагає одержання інформації про хід технологічного процесу та визначення оптимального режиму роботи об'єкта керування з реалізацією визначених оптимальних керувань впливів на ТОК. Складність керування ТОК визначається великим розмахом вектора інформації, методами її оброблення і різними формами використання результатів.

Будь-яка АСУТП є багатофункціональною системою, тобто має зовнішні та внутрішні функції. Зовнішніми є функції, які визначають призначення системи; внутрішні - службові функції, які забезпечують якісне виконання основних, зовнішніх функцій. Зовнішні функції АСУТП розділяють на інформаційні та управлінські. До інформаційних відносять функції системи, результатом виконання яких є надання оператору ТП або зовнішнім споживачам інформації про станкеруваного процесу.

Інформаційними функціями АСУТП є: контроль поточних значень основних параметрів процесу (X_{max} , Y_{max}); перевірка відповідності параметрів процесу заданим оптимальним значенням (X_{opt} , Y_{opt}) та інформування персоналу про виникнення невідповідальності; вимірювання і реєстрація параметрів або комплексних показників, які не можливо контролювати (вимірювати) безпосередньо (якість харчового продукту); розрахунок техніко-економічних показників (ТЕП) роботи ТОК тощо. Управлінські функції АСУТП включають заходи щодо формування і реалізації управлінських впливів на ТОК. До них віднесені наступні функції: стабілізація оптимально

заданих параметрів ТП щодо значень, які визначені технологічним регламентом ($Y = \text{const}$); програмне керування за заданими програмами, у тому числі пуск і зупинка окремих машин та апаратів, логічне керування в типових ситуаціях, визначення «вузьких місць» і узгодження навантажень послідовно працюючих апаратів; формування та реалізація керуючих впливів, забезпечення досягнення режиму роботи апарата, оптимального за технологічним або техніко-економічним критерієм. Допоміжні функції АСУТП забезпечують власне їх функціонування, тобто задають алгоритми функціонування системи, слугують для діагностики стану комплексу технічних засобів (КТЗ), формування бази даних, бази прецедентів і введення інформаційної бази. Таким чином, функціонування АСУТП виконується за рахунок взаємодії її складових частин: інформаційного забезпечення, програмного забезпечення, технічного забезпечення, організаційного забезпечення і дії оперативного персоналу. Інформаційне забезпечення (ІО) – це сукупність систем кодування і класифікації технологічної та техніко-економічної інформації, сигналів, які характеризують стан ВТК, довідкової та оперативної інформації. До складу інформативного забезпечення входить математичне забезпечення, яке складається з математичних методів і алгоритмів рішення задач. методів оброблення інформації та формування команд керування для впливу на технологічні процеси.

Програмне забезпечення (ПЗ) – це сукупність програм для засобів обчислювальної техніки, які забезпечують реалізацію інформаційної функції АСУТП. Воно складається із загального (системного) ПЗ і інших засобів обчислювальної техніки, інструментального ПЗ, за допомогою якого виконується розробка прикладного ПЗ, забезпечуючого рішення конкретних задач функціонування ТОК відповідно заданим алгоритмам керування.

Технічне забезпечення (ТЗ) – це комплекс технічних засобів, які забезпечують формування інформації про стан ТОК; одержання і передачу інформації; її оброблення і формування керуючих впливів; уявлення інформації оперативному персоналу; керування виконавчими механізмами для впливів на технологічний процес; передачу інформації в суміжні або в рівень АСУ.

Організаційне забезпечення (ОЗ) – включає опис функціональної, технічної та організаційної структур, регламенти і інструкції для оперативного персоналу. Оперативний персонал (ОП) – це технологи-оператори ВТК, які виконують керування ТОК, і експлуатаційний персонал, який забезпечує функціонування системи в цілому. Ступінь участі операторів в керуванні ТОК залежать від рівня автоматизації, Сучасний рівень автоматизації ТОК дозволяє поступово виводити оператора із контура керування і передає його функції технічним засобам. При цьому оператор повинен контролювати роботу КТЗ і приймає

рішення у аварійних ситуаціях. По способу реалізації інформаційних та управлінських функцій і по структурі АСУТП підрозділяють на:

1. АСУТП, функціонуючі без програмно-технічного комплексу, який забезпечує керування окремими апаратами, агрегатами за допомогою локальних систем (дистанційне керування, автоматичне регулювання, сигналізація, вимірювання за програмою та інші функції). Обмін інформацією виконується людиною (оператором-технологом) завдяки реєстрації поточної інформації в журналах у вигляді таблиць, графіків і т.п.

2. АСУТП, функціонуючі з ВТК, виконують інформаційні функції централізованого контролю, обробка інформації і реєстрації ТЕР. Вибір керування впливів, режимів роботи виконує оператор-технолог.

3. АСУТП, функціонуючі з ВТК в режимі «порадника», коли ВТК виконує інформаційні. На основі аналізу вхідної інформації «порадник» генерує рекомендації щодо керування виробничим процесом і виконує пошук оптимальних рішень, які приймаються і реалізуються оперативним персоналом.

4. АСУТП, функціонуюча в автоматичному режимі, при якому ВТК реалізує керувальні функції, з метою автоматичного формування і виконання керування впливів на ТОК. При цьому реалізується супервізорне керування, коли засоби управлінського обчислювального комплексу (УОК) автоматично змінює уставки І (АБО) параметри налагодження локальних систем адаптивного керування (ЛСАК) регулюючими пристроями.

5. АСУТП, реалізує автоматичний режим прямого цифрового керування (ПЦК), в якому ВТК реалізує керувальні функції. Структура АСУТП, діюча в режимі ПЦК, може бути реалізована, наприклад при випіканні хлібобулочних виробів та в інших стадіях виробництва продуктів здорового харчування. З кожним роком цифровізація в Україні набуває значних темпів і відповідно комп'ютеризація технологічних процесів в АСУ-АСУТП харчової промисловості. Проблема комплексної автоматизації та роботизації стає актуальною для кожного із підприємств харчової промисловості.

Це обумовлено наступними причинами:

– підвищенням ролі Індустрії-4.0 щодо стратегічного розвитку галузі до 2035 р. та впровадження безлюдних технологій у виробництво;

– появи на ринку закордонних і вітчизняних систем роботизації на основі мікропроцесорних апаратно-програмних засобів, досвіду їх впровадження і використання в складі АСУТП, промислового інтернет-речей, сучасних комунікаційних засобів, інтелектуальних систем керування ТП;

– розробка та проектування АСУТП на базі SCADA-систем.

В SCADA-системах використовується принцип модульного проектування систем керування, реалізованого в двох основних варіантах:

– у першому варіанті для системи, яка забезпечує повний набір функцій, створюються додаткові пакети-опції, які реалізують не обов'язкові щодо використання функції контролю і керування, наприклад SPS, BatchControl;

– в другому варіанті система створюється із функціональних модулів, які реалізують окремі функції контролю і керування. Модулі, як правило, незалежні та можуть використовуватися на окремих функціональних станціях. Таким чином, створюються станції нагляду, станцій – концентраторів даних, станцій з вільно формованим набором функцій.

Важливим аспектом в структурній побудові мережевих СК є визначення структури БДРЧ в мережевій системі: централізована або децентралізована. Кожна із цих основних структур в SCADA- системах реалізується по різному; від способу реалізації ефективність БД, її надійність, можливість модифікації і т. п.

SCADA-системи (виробників комп'ютерної продукції) забезпечують розширення в ієрархії рівня керування виробництвом продукції харчування «по вертикалі» - у напрямку безпосереднього керування (автоматичне регулювання і програмно-логічне керування), а також в напрямку цифрового керування виробництвом смарт-продукції.

Сучасні програмні системи представляють собою потужні програмні комплекси, які забезпечують інтелектуальне управління підприємством та його виробничими структурами в цілому. Використання в системах різних рівнів єдиного стилю оформлення, термінології, інструментарію, службових засобів значно полегшує проєктантам розробку роботизованих «смарт-підприємств» (АСУ підприємств)- їх впровадження та експлуатацію.

Розглянемо деякі функції цифрового керування верхнім рівнем АСУ

Функції цифрового керування реалізуються в пакетах прикладних програм для мікропроцесорів нижнього рівня керування, персональних комп'ютерів середнього та ЕОМ верхнього рівнів.

На середньому операційному рівні управління підприємством (рівень MES (Manufacturing Executing System)) - систем експерти рекомендують використовувати – системи SCADA/HMI для АСУТП. На цьому рівні виконуються операції: збирання, відображення, архівування даних а також протоколювання процесу виробництва.

На верхньому рівні АСУ, спроектованих на базі 64-розрядних ЕОМ, MES, ERP-систем важливу роль відіграють інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, а саме: інтелектуальні системи підтримки прийняття стратегічних рішень (ІСППСР); інтелектуальні системи підтримки прийняття колективних рішень (ІСППКР); інтелектуальні системи підтримки прийняття

оперативних рішень (ІСППОР). Ці системи детально розглянуто в підручнику та монографіях[1,2,11,17]

8.2. Методологія інтегрованого інтелектуального управління корпоративними підприємствами виробниками харчів

Управління технологічними та економічними системами на корпоративних підприємствах пов'язане з розробками альтернативних сценарних методів їх розвитку до 2035 року [1]. При цьому цілі управління змінюються як в процесі робототехнологічного переозброєння підприємств, так і в процесі переробки сировини зі складними характеристиками. При цьому топ-менеджери, як особи, що приймають рішення (ОПР), аналізуючи стан виконання замовлень, наприклад виробництва хлібобулочних виробів на хлібозаводах шляхом оцінки виробничих і економічних ситуацій, а також використовують інформацію, яка надходить із SAP ERP-2005. Управління підприємством – хлібозаводом в цьому випадку віднесено до розгалужених людино-машинних систем [9,18]. Останні на основі інформаційних систем прийняття рішень (людино-машинні комплекси) підтримують і підсилюють інтелектуальні можливості менеджера (оператора, інженера-технолога) і створюють інженерію та інжиніринг знань виробництва хліба в умовах невизначеності. Інженерія знань виробництва хліба спонукає до створення мехатронних комплексів-управління хлібозаводами. Ці системи відносяться до знання-орієнтованих систем (ЗОС). Мехатронні системи, що орієнтовані на знаннях, і які базуються на квантуванні багаторівневих знань і алгоритмічних структур даних, в яких розвинутий підхід до моделювання людських причинно-наслідкових суджень у процесах прийняття рішень за допомогою навчальних логічних мереж нечітких або ймовірних роздумів [2]. Як відомо, навчання нейромереж полягає в реалізації ітераційних процедур знаходження ваги семантичних зв'язків нейронів при фіксованій топології мережі, що визначається кількістю нейронів, числом їх шарів і характером зв'язків. Принципово новою є процедура навчання π -квантової мережі виводу (π КМВР) і ν -квантової мережі виводу (ν КМВР). Навчання тут виконується на послідовності відомих сценарних прикладів навчальних знань, що дає змогу в умовах невизначеності приймати рішення щодо управління складним технологічним процесом виробництва хліба. Розвиток методів інтелектуального управління, що засновані на притягненні різного роду моделей, які ідентифікують складні технологічні процеси виробництва хліба наведені в роботах [1,2,12,22]. Об'єкти дослідження в інтелектуальних системах управління хлібо заводами – складні технологічні і економічні системи, які характеризуються наступними чинниками:

- багатомірністю;
- багаторівневістю ієрархічної організації;
- великою кількістю форм взаємодії підсистем між собою, неоднорідністю інформації.

На рис.8.3 представлена узагальнена модель дослідження динамічних систем управління. В цій моделі позначено: X – внутрішній стан об'єкту керування, Y – вихідні параметри, W_s, W_o – збурені впливи системи керування і об'єкту, G – цільові впливи, U – управлінські впливи по каналах, U_1 – виробничий процес, U_2 – чистий потік грошей (ЧПГ), J - показники якості, T – можливий облік часу.

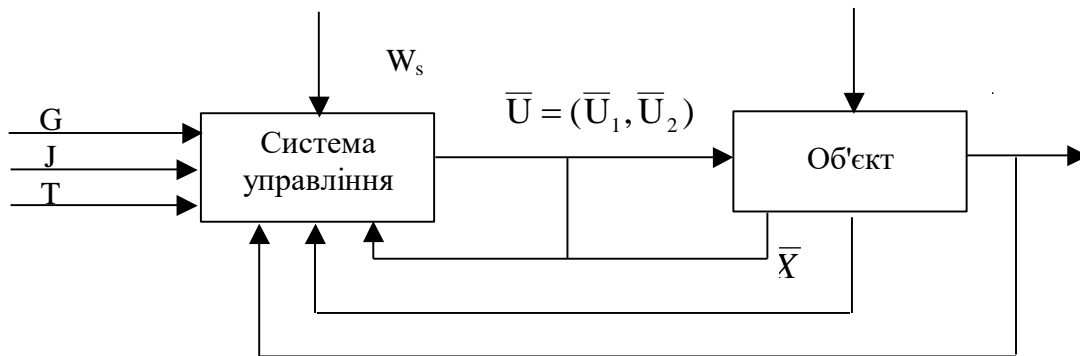


Рисунок 8.3. Узагальнена модель управління виробництва продуктів харчування

Задача аналізу полягає в ідентифікації

$$\begin{aligned} \text{ОУ: } U \times W_o \times X &\rightarrow X, \\ U \times X &\rightarrow Y. \end{aligned} \quad (8.5)$$

Задача синтезу ІСУ полягає у формуванні відображення виду:

$$\text{ІСУ: } G \times J \times W_s \times X \times T \rightarrow \bar{U}. \quad (8.6)$$

На етапі проектування інтелектуальних систем управління виробництвом хліба потрібно дати точне семантичне визначення понять (компонентів множин $\bar{X}, \bar{Y}, W_s, W_o, G, J, T$) і побудувати моделі, що задовольняли б моделі ІСУ. Такі моделі будемо називати динамічними. [2,4]. Такі моделі характеризуються нечіткістю знань про технологічні і економічні ситуації управління виробництвом хліба (8.5, 8.6). Переваги використання нечітких множин у моделювання складних систем полягають в їх простоті і узагальнені.

Нечітка система не складніша детермінованої [40,41], але у даному випадку досліджувана система (8.5, 8.6) розглядається нами, як правило, рішення, а не як простий опис процесів та переходів із одного стану в інший. За допомогою нечіткого зображення нескладно описати переходи у квантовому просторі станів у випадку, коли технолог–оператор працює в умовах зміни технологічних характеристик борошна, стану обладнання тощо.

Нечіткі моделі є мостом між двома підходами до моделювання складних технологічних процесів виробництва хліба – кількісних і якісних. Моделі, що

базуються на нечіткій логіці, можуть використовуватися для значного кола інформаційних процесів, включаючи в собі статистичні системи управління, адаптивні системи управління, моделювання процесів, оцінювання сигналів, розпізнавання образів, виробниче планування, управління ЧПП підприємства в умовах невизначеності [1,2,14,37].

За допомогою нечітких логічних систем можлива імітація уявних властивостей людини про опис процесів виробництва хліба, використовуючи незначну кількість правил або квантів знань.

Типовим прикладом є задача завантаження технологічної лінії з виробництва хлібобулочних виробів, що надходить в бункери для борошна і відділення приготування опари для тіста. При значних транспортних запізненнях, виробництва опари та тіста, оператор контролює процес приготування тіста шляхом оцінки його щільності. Величина і частота коливань завантаження технологічної лінії залежить від параметрів борошна і характеризуються динамічними параметрами обладнання технологічних апаратів. В цій ситуації оператор-технолог на основі інтуїції вибирає середні показники завантаження тістомісильних апаратів і така система є найбільш простою в умовах постійності вихідних характеристик борошна, що надходить на переробку. В умовах жорсткого контролю і вимог до дисперсії якості вихідних характеристик хліба, такі системи не забезпечують цілі управління хлібо заводу [1,2,37, 40]. В цих випадках вчені [1,2,14] рекомендують проєктувати ІСУ, які мають властивості “інтелектуальності у малому”. Це означає, що в управлінських системах потрібно використовувати для зменшення невизначеності вхідну інформацію, моделі, поведінку оператора в тих чи інших виробничих ситуаціях у вигляді правил або квантів знань. Найбільш відомий напрямок розробок у даному класі ІСУ – нечіткі регулятори, нейронні мережі і генетичні алгоритми.

На рис.8.4 представлена узагальнена схема інтелектуального нечіткого регулятора. В цій системі використані: ТЛП – таблиці лінгвістичних правил, експертні системи, база квантів знань, блоки дефаззифікації та агрегації, наведені об'єкти управління, якісний стан об'єкту управління $\bar{X}(k)$, бажаний стан завдання $X(k)$. Задача управління завантаженням технологічної лінії хлібо-заводу в цьому випадку зведена до обґрунтування вибору таблиць лінгвістичних правил для забезпечення заданої якості управління;

- обґрунтування вибору логічної схеми, яка забезпечує нечіткий логічний вивід;
- обґрунтування вибору методів інтерфейсу інтелектуального нечіткого регулятора із зовнішнім світом за рахунок фазифікації- дефазифікації;
- постійної оцінки якості управління – вихідних показників дисперсії якості у хлібо продуктах і заданих характеристик “портфеля” замовлень.

8.3. Загальні принципи побудови робототизованих SMART-підприємств харчової промисловості

На рис. 8.5 наведено схему смарт-підприємства харчової промисловості з «розумною» фабрикою виробництва продуктів здорового харчування для гірників, металургів, хіміків, дітей, воїнів ЗСУ і населення, що проживає на території регіонів з техногенним навантаженням.

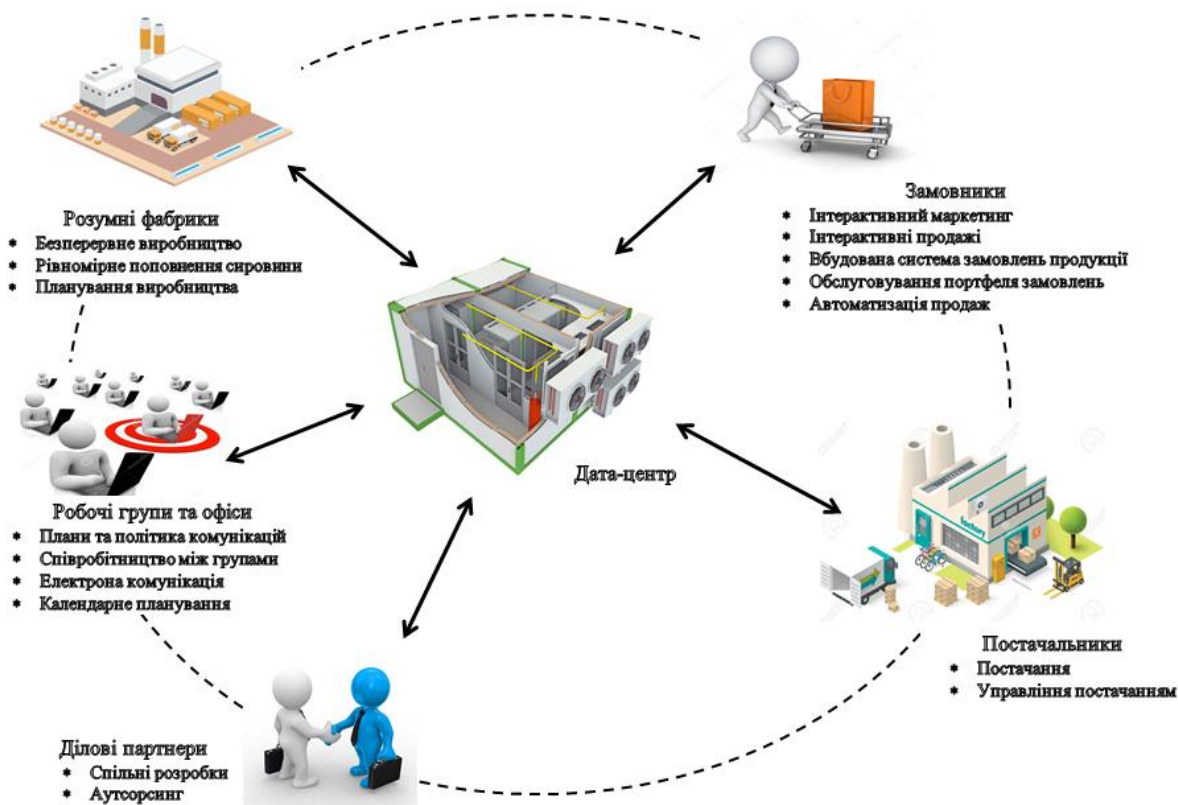


Рисунок 8.5. – Смарт-підприємство харчової промисловості 2035 року

Таким чином, ряд методів керування об'єктами виробництва смарт-продуктів харчування, зв'язаних з використанням знань у процесі управління виробництвом інноваційної продукції, виокремимо в окрему групу, яку будемо називати інтелектуальним мехатронним управлінням комплексами виробництва продукції.

До такого мехатронного управління комплексами необхідно віднести наступні технології:

- на основі експертних систем;
- які використовують математику нечітких множин (фазі-регулятори);
- які використовують нейромережеві структури;
- які використовують асоціативну пам'ять;
- які використовують сполучення наведених вище технологій, наприклад, нейромережевих фазі-регуляторів та безпошукових адаптивних регуляторів.

В системах інтелектуального управління смарт-підприємствами, РТК побудованих з використанням штучних нейронних мереж (ШНМ) важливу роль відіграють нейрокомп'ютери та експертні системи.

Штучні нейронні мережі є деяким аналогом біологічних нейромереж, але в управлінні використовують мережі з іншими властивостями, а саме:

- масовий спосіб паралельного оброблення інформації;
- розподілене уявлення інформації;
- властивість до навчання та узагальнення;
- адаптивність;
- властивість контекстуальної обробки інформації;
- толерантність до помилок;
- низький рівень енергоспоживання.

Завдання штучних нейронних мереж

1. Апроксимація функцій.
2. Моделювання процесів і станів.
3. Ідентифікація об'єктів.
4. Прогнозування подій.
5. Управління об'єктами.
6. Розпізнавання образів.
7. Аналіз даних (наприклад, обробка відео зображень, обробка акустичних сигналів, оцінка достовірності).
8. Стиснення даних.
9. Робота з асоціативною пам'яттю.
10. Категоризація (кластеризація) об'єктів.
11. Оптимізація.

12. Штучний інтелект в широкому розумінні проектних рішень, щодо розробки систем управління виробництвом смарт-продуктів харчування.

Отже, в матеріалах теми розроблено основи теорії проектування смарт-продуктів харчування в умовах автоматизованого виробничого процесу на заводах з виробництва хлібомакаронних виробів.

Запропоновано цифрову платформу «ІЖА» з інформаційною системою траєкторного керування виробництвом смарт-продуктів та алгоритми їх проектування. У розробленій цифровій платформі «ІЖА» важливими моделями є показники ступеня збалансованості макро- мікроелементного та вітамінного складу полі компонентних продуктів харчування гірника, школяра та воїна ЗСУ. Знання про еталонний продукт харчування формуються в базах прецедентів, базах знань і фреймах, що дозволяє управляти життєвим циклом хлібобулочних

та макаронних виробів за допомогоюGALS- технологій та PDM-систем. У матеріалах підручника [2] здобувачі вищої освіти зможуть додатково знайти інформацію про методи проектування ієрархічних автоматизованих систем управління підприємствами харчової промисловості з хмарними технологіями та інтелектуальними системами підтримки прийняття рішень.

В наступних темах навчального посібника будуть детально досліджені роботизовані системи керування технологічними апаратами підприємств харчової галузі і доведена роль інформаційних технологій ІТ та ІСУ при проектуванні роботизованих систем управління підприємством.

Тема 9. Роботизовані системи керування виробництвом продуктів харчування з молока

9.1. Загальні проблеми роботизації виробництва молочної продукції

Загально відомо, що на якість молочної продукції істотно впливає вологість вихідної сировини - молока. Навіть незначне зниження цього показника помітно нейтралізує негативний вплив навколишнього середовища і життєдіяльності мікроорганізмів на технологічні процеси в молочно-консервній промисловості і, як наслідок - підвищує терміни зберігання готової продукції.

Проте видалення вологи з молочних продуктів пов'язане з великими енерговитратами. Наприклад, в технологічному процесі випарювання молока при низькому тиску, який в молочній промисловості вважається найбільш поширеним і складним, кількість витраченої енергії нелінійно зростає, приблизно, подвоюючись на кожні (5-10%) випарюваної вологи.

У багатовіковій боротьбі за економію енергії при виробництві молочних продуктів високої якості, найбільш ефективним, але разом з тим і трудомістким виявилось ручне управління, коли людина, що добре володіє процесом, безпосередньо введена в контур регулювання значеннями технологічних параметрів. Спроби використовувати для цих цілей ПІ і ПІД-регулятори через нестабільність параметрів сировини, нелінійності, багатовимірності і невизначеності біохімічних явищ, що протікають в технологічних апаратах з переробки молока, не забезпечують необхідної якості регулювання. Крім того, ряд технологічних процесів в молочно-консервній промисловості досі не має точних математичних моделей, що ускладнює використання найбільш рентабельних і широко поширених класичних систем регулювання. Така ж тенденція проявляється і по відношенню до технологій теплової обробки молока, які, як правило, мають нелінійні математичні моделі високого порядку. Але саме вони найчастіше є найбільш енерговитратними і визначають рівень розвитку галузі в цілому і тому найбільш актуальні для автоматизації. Цілком очевидно, що в подібних випадках доцільно використовувати нечітке регулювання.

Огляд засобів і способів керування технологічними процесами в харчовій промисловості показує, що нечіткі алгоритми застосовуються, в основному, для підтримки на певному рівні значення технологічних параметрів і практично не використовуються для економії енерговитрат. Хоча в інших галузях (енергетика, машинобудування, хімічна промисловість, підприємства будматеріалів та ін.) нечітке регулювання для вирішення подібних завдань застосовується з 70-х років 20 століття. Це підтверджується роботами таких

авторів як Л. А. Заде, Е. А. Мамдані, Цукамото, та ін. Незважаючи на велику кількість публікацій про нечіткі регулятори, специфіка нечіткого управління технологічними процесами в молочно-консервній галузі, і особливо в частині енергозбереження, не знайшла належного висвітлення.

Таким чином, завдання оперативного управління зниженням витрат енергії на базі нечітких алгоритмів, що враховує особливості технологічних процесів і виробництва в молочно-консервній промисловості є актуальною науковою задачею, рішення якої сприяє зниженню собівартості молочних продуктів без залучення додаткових великомасштабних інвестицій.

Метою теми посібника є зниження витрат енергії технологічного процесу випарювання молочних продуктів за рахунок розробки системи автоматизованого керування на основі нечітких алгоритмів з автоматичною модифікацією системи продукційних правил. Перейдемо до вивчення більш детальноше параметрів технологічного процесу як об'єкту керування.

9.2. Аналіз технологічного процесу випарювання молочних продуктів, як об'єкта робототехнологічного керування

Для систем автоматизованого регулювання витрати пару існує необхідність формування, в режимі реального часу, відповідних засобів мехатроніки, що забезпечують не лише зниження витрат енергії, а головне забезпечать виробництво смарт - продукції харчування.

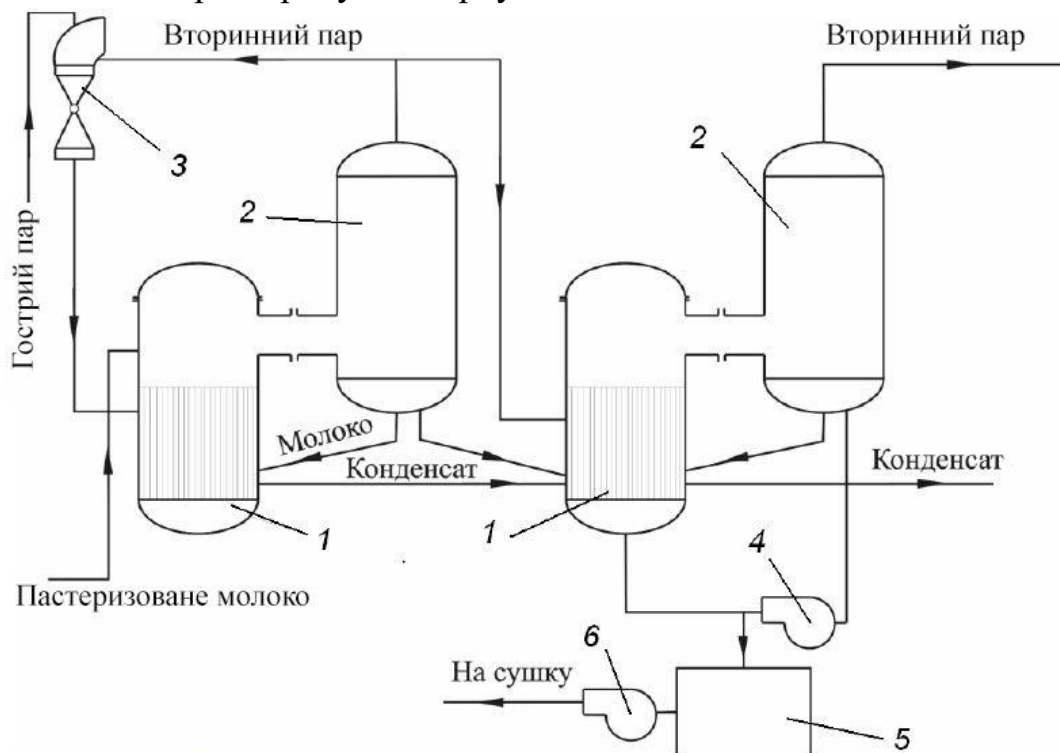


Рисунок 9.1. - Схема двухкорпусной вакуум-випарной установки

Установка циркуляційного типу безперервної дії складається із наступних елементів:

1 - калоризатор; 2 - паровідділювач; 3 - термокомпресор; 4 – продуктивний циркуляційний насос; 5 - проміжний бак з мішалкою; 6 - насос для подачі згущеного молока на сушку

В якості об'єкту керування був обраний процес випарювання згущеного молока в калоризаторі, оскільки в харчовій промисловості він є одним з основних споживачів енергії. Схема двухкорпусної вакуум-випарної установки циркуляційного типу безперервної дії для згущення цільного і знежиреного молока, а також для випарювання сироватки представлена на рис. 9.1.

Аналіз технологічного процесу показує, що підтримувати постійну температуру молока в корпусі вакуум-випарної установки в режимі реального часу є важливим для реалізації завданням. Це пов'язано з тим, що молоко є «живою» сировиною, хімічний склад якої змінюється від сезону до сезону. У процесі отримання, зберігання, транспортування і переробки молоко також може змінювати свої властивості під впливом цілої низки чинників: температури навколишнього середовища, життєдіяльності організмів та ін. Врахувати всі ці нечіткі фактори при виробництві молочних продуктів в умовах невизначеності не можливо. Тому що в даний час в молочно-консервній промисловості застосовуються САР з типовими ПП, ППД-регуляторами. Останні не забезпечують належної якості керування процесом випарювання молочних продуктів за критерієм енергоефективності.. Слід зазначити, що застосовуються вони в основному для підтримки на заданому рівні таких параметрів як температура, тиск і витрати сировини.

В ході аналізу існуючих систем керування процесами випарювання молочних продуктів встановлено, що найкращим способом зниження витрат енергії є пряме регулювання витрати пару, при якому, до того ж, досягається стабільно висока продуктивність установки і необхідна якість готового продукту. Завданням систем автоматизованого регулювання, в цьому випадку, є формування відповідних засобів, що забезпечують зменшення витрати пару без втрати інтенсивності протікання процесу і зниження якості кінцевого продукту.

Проведений огляд методів реалізації нечітких регуляторів в молочно-консервній промисловості показує, що, в порівнянні з типовими ППД-регуляторами, вони дозволяють забезпечити більш високу якість управління, відрізняються простим алгоритмом синтезу і можуть успішно використовуватися в процесах теплової обробки молочних продуктів.

Аналіз засобів керування показав, що для досягнення найкращого результату при синтезі нечіткої системи управління в молочно-консервній

промисловості доцільно використовувати нечіткий регулятор з автоматичною модифікацією системи продукційних правил, що моделює дії людини-оператора (експерта).

Спочатку необхідно розробити нечіткий алгоритм і на його основі нечіткий регулятор з лінгвістичним зворотним зв'язком, система продукційних правил якого модифікується в режимі реального часу.

Для цього дослідним шляхом визначимо умови, за яких калоризатор працює найбільш інтенсивно. Експертами встановлено, що рівень, до якого в апараті з вертикальними трубками рідина, що не кипить, заповнює трубки, має великий вплив на інтенсивність процесу, яка характеризується величиною коефіцієнта теплопередачі. На основі експертних досліджень можливо побудувати графіки залежності коефіцієнта теплопередачі від ступеня заповнення вакуум-апарату.

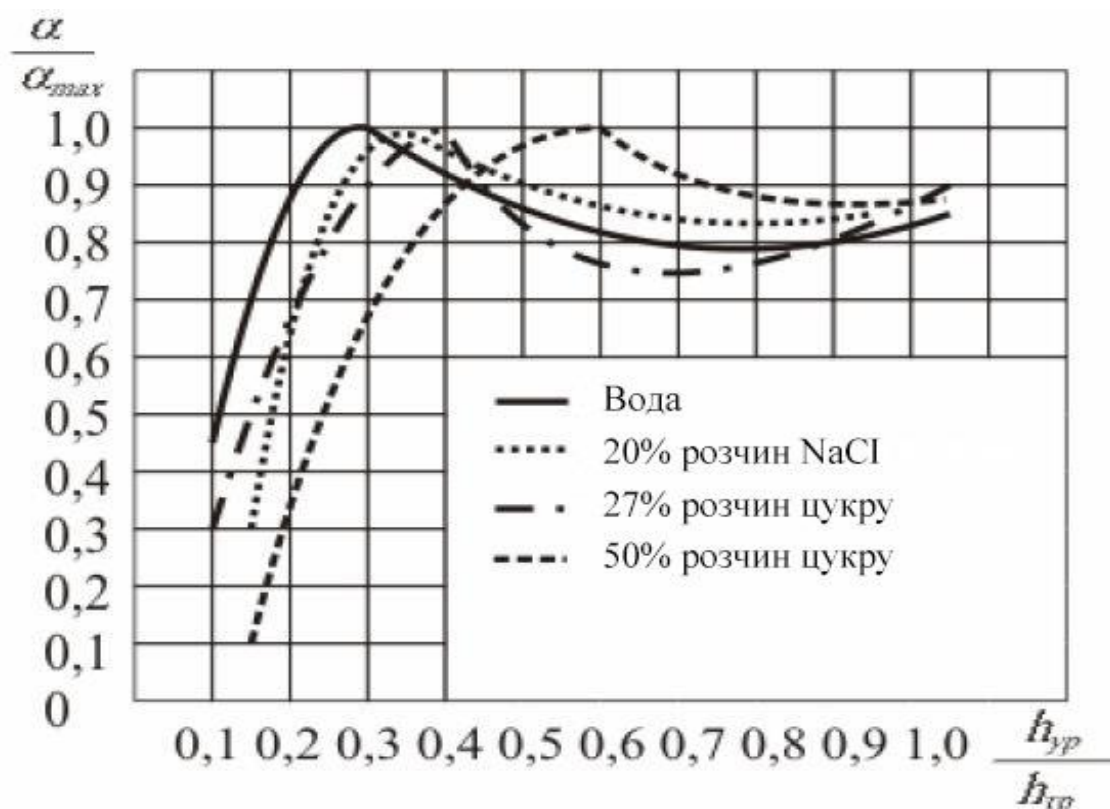


Рисунок 9.2- Графік залежності коефіцієнта теплопередачі від ступеня заповнення вакуум-апарату

α - коефіцієнт теплопередачі, α_{max} - максимальний коефіцієнт теплопередачі,

$h_{ур}$ - висота заповнення трубки, $h_{тр}$ - висота трубки.

На рисунку 9.2 приведені графіки, що ілюструють інтенсивність теплопередачі в залежності від наповнення і концентрації рідини в вакуум-апараті, з яких випливає, що найбільший коефіцієнт тепловіддачі досягається при заповненні від 0,3 до 0,6 висоти H вертикальних трубок. Численні експериментальні дослідження підтверджують, що калоризатори працюють найефективніше при наповненні трубок приблизно від $1/3$ до $1/2 H$. При цьому оптимальне заповнення трубок $h_0 = H/3$.

Величина коефіцієнта теплопередачі в вакуум-апараті грає вирішальну роль для досягнення високої інтенсивності процесу випарювання і зниження витрат енергії. Оскільки межа розділу рідкої і газоподібної фази продукту є нечіткою, то технічно неможливо безпосередньо виміряти або регулювати висоту заповнення трубок в процесі роботи вакуум-випарювального апарату. Також неможливо, в режимі реального часу, вимірювати коефіцієнт теплопередачі апарата. Тому домогтися високого коефіцієнта теплопередачі можливо за рахунок оперативного регулювання відношення витрат пару до витрат сировини, так як саме це відношення впливає на ступінь заповнення трубок апарату. За умови підтримки постійної витрати сировини, головним параметром залишається витрати пару. Таким чином, єдиним способом досягнення максимуму коефіцієнта теплопередачі α , крім вдосконалення конструкції апарату, є пряме регулювання витрат теплоносія $F_{пар}$.

У процесі виробництва молочних продуктів, поряд зі зниженням енерговитрат, необхідний автоматичний контроль за якістю готової продукції. Основним параметром якості при випарюванні є вологість λ . Для зв'язку витрачання енергії з вологістю введений коефіцієнт ефективності енерговитрат $K_{ен}$:

$$K_{ен} = \frac{F_{пар}}{(\lambda_1 - \lambda)} \quad (9.1)$$

де λ - вологість готового продукту, λ_1 - вологість сировини, $F_{пар}$ - витрата пару.

Вологість готового продукту визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{\rho_c [1 + \beta_c (T_0 - T)] F_{сировини}}{\rho_n [1 + \beta_n (T_0 - T)] F_{прод}} \lambda_1 \quad (9.2)$$

де ρ_c і ρ_n - відповідно щільність сировини і готової продукції при температурі T_0 ; β_c і β_n - температурний коефіцієнт об'ємного розширення сировини і готової продукції.

Вираз (9.1) з урахуванням (9.2) набуває вигляду:

$$K_{ен} = \frac{F_{пар} \rho_n [1 + \beta_n (T_0 - T)] F_{прод}}{\lambda_1 (\rho_n [1 + \beta_n (T_0 - T)] F_{прод} - \rho_c [1 + \beta_c (T_0 - T)] F_{сировини}} \quad (9.3)$$

Коефіцієнт ефективності енерговитрат визначає кількість енергії, витраченої на випарювання одиниці вологості. Чим нижче $K_{ен}$, тим вище ефективність використання енергії. Відповідно для зниження витрат енергії необхідно прагнути до зменшення даного коефіцієнта.

Через складність фізичних процесів в калоризаторі до сих пір не вдається розробити раціональну математичну модель для мінімізації витрат енергії при випаровуванні молочних продуктів. Для вирішення цієї вельми важливої для молочно-консервної промисловості завдання експертами були проведені експериментальні дослідження, на основі яких побудована функція залежності температури випарювання від витрат пару, що гріє і витрат продукту, яка представлена на рис. 9.3.

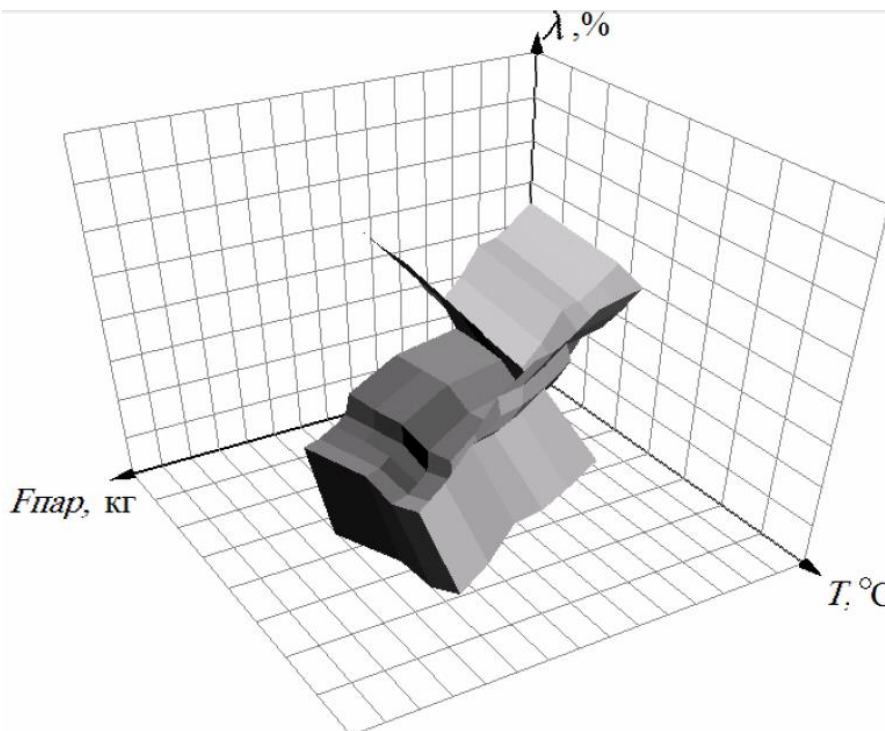


Рисунок 9.3 - Залежність вологості (λ) від температури (T) і витрати пара ($F_{пар}$) в калоризаторі

На підставі цих досліджень встановлено залежність коефіцієнта ефективності енерговитрат $K_{ен}$ від витрати пару при різних значеннях температури випарювання. На рис.9.4 представлена залежність $K_{ен}$ від витрати пари при оптимальній температурі випарювання (50 °C).

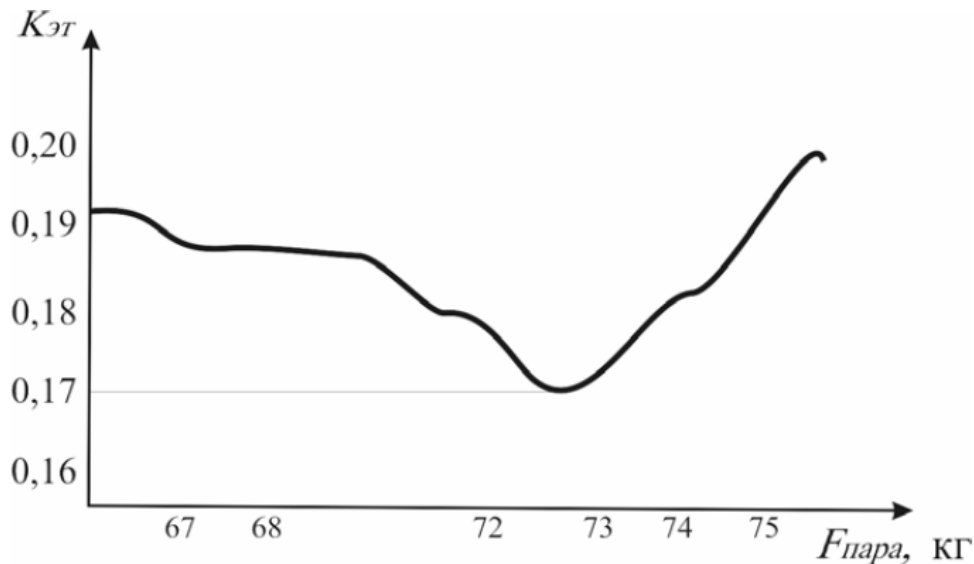


Рисунок 9.4 - Залежність $K_{\varepsilon\tau}$ від витрати пари при $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

З нього випливає, що існує режим роботи вакуум-випарювального апарату, при якому коефіцієнт ефективності енерговитрат, а, значить, і витрати енергії мають мінімальне значення. Для управління вакуум-випарювальним апаратом з мінімальним значенням $K_{\varepsilon\tau}$ запропоновано ввести три лінгвістичні змінні: «Температура», «Витрати пару» і «Вологість». З цією метою крива на малюнку 5 розбита на 9 зон, межі яких визначаються точками перетину залежності температури T від витрати пари в калоризаторі.

В наших проектних рішеннях запропонований метод автоматичної модифікації продукційних правил, заснований на алгоритмі виділення зон в режимі реального часу за графіком на рис. 9.5 і наступних змінах відповідно до кількості виділених зон функцій належності термів лінгвістичних змінних.

З цією метою в процесі роботи випарної установки керуюча програма виділяє точки перегину функції зміни температури в залежності від зміни витрати пару, які в подальшому стають межами нових зон. Потім в кожній зоні визначаються відповідні терми лінгвістичних змінних «Температура», «Витрати пару» і «Вологість». Будуються функції належності згаданих лінгвістичних змінних

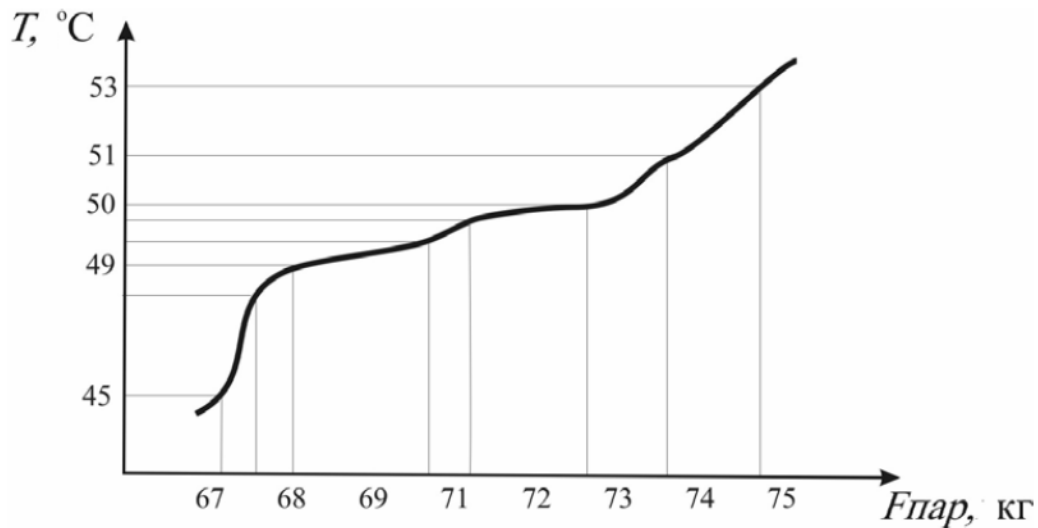


Рисунок 9.5 - Залежність "Температура-витрати пару" в калоризаторі при $K_{ен} = 0,1$

Так як залежність "температура-витрати пару" носить нелінійний характер, то область значень кожної змінної розбивається на наступні нерівні інтервали, які наведені нижче.

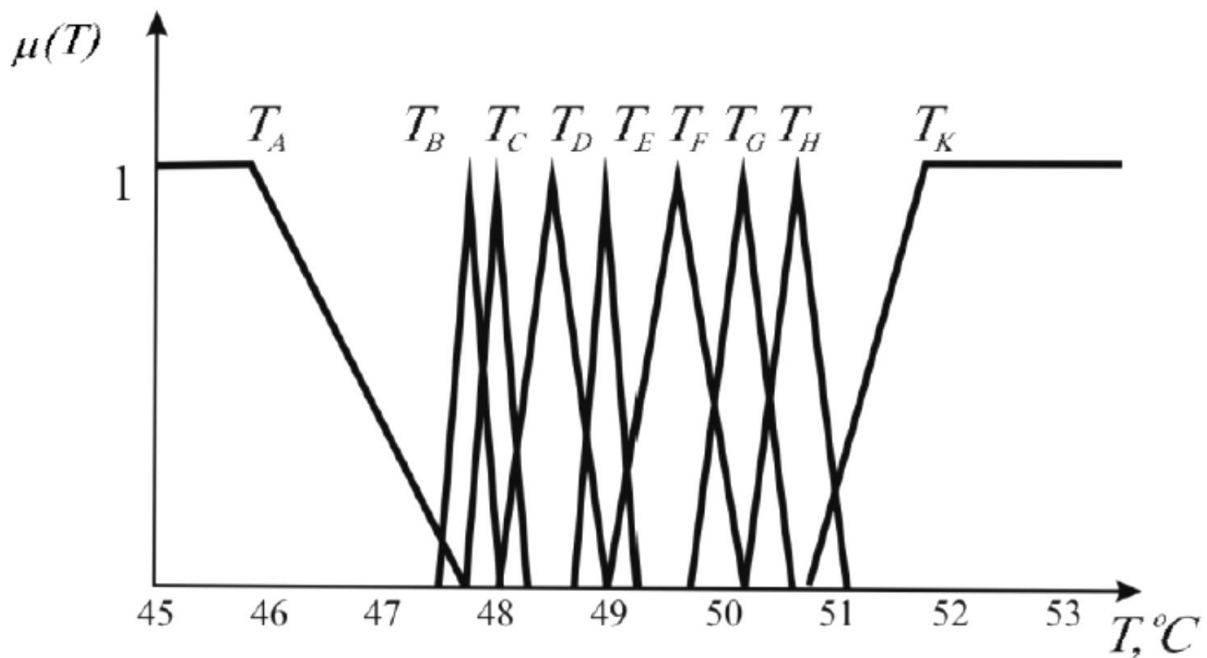


Рисунок 9.6 Функції належності термів лінгвістичної змінної «Температура».

$$\mu(t) = \begin{cases} 1 - |t - 46| / 2 & \text{для } t \in [45; 47,7] ; \\ 1 - |t - 47,75| / 0,25 & \text{для } t \in [47,5; 48] ; \\ 1 - |t - 48| / 0,25 & \text{для } t \in [47,75; 48,25] ; \\ 1 - |t - 48,5| / 0,5 & \text{для } t \in [48; 49] ; \\ 1 - |t - 49| / 0,25 & \text{для } t \in [48,75; 49,25] ; \\ 1 - |t - 49,5| / 0,5 & \text{для } t \in [49; 50] ; \\ 1 - |t - 50| / 0,4 & \text{для } t \in [49,6; 50,4] ; \\ 1 - |t - 50,5| / 0,5 & \text{для } t \in [50; 51] ; \\ 1 - |t - 52| / 2 & \text{для } t \in [50,5; 52,5] . \end{cases}$$

Крива на рис.9.5. розбита на зони, в межах яких вона має постійний кут нахилу до осі «Витрати пару». Центр кожної зони по осі температур на рисунку 9.6 є центром термів функції належності лінгвістичної змінної «Температура». Аналогічним чином будуються функції належності термів для лінгвістичних змінних «Витрати пар» і «Вологість»

Центр кожної зони по осі температур на рисунку 9.6 є центром термів функції приналежності лінгвістичної змінної «Температура». Аналогічним чином будуються функції належності термів для лінгвістичних змінних «Витрати пар» і «Вологість».

Управління вакуум-випарювальним апаратом здійснюється за наступною системою продукційних правил:

- 1) Якщо T це T_A і $K_{ен}$ – це $K_{вис}$, то $F_{пар}$ – це F_A ;
- 2) Якщо T це T_B і $K_{ен}$ – це $K_{вис}$, то $F_{пар}$ – це F_B ;
- 3) Якщо T це T_C і $K_{ен}$ – це $K_{вис}$, то $F_{пар}$ – це F_C ;
- 4) Якщо T це T_A і $K_{ен}$ – це $K_{сер}$, то $F_{пар}$ – це F_B ;
-
- 20) Якщо T це T_A і $K_{ен}$ – це $K_{низ}$, то $F_{пар}$ – це F_A ;
-
- 36) Якщо T це T_K і $K_{ен}$ – це $K_{он}$, то $F_{пар}$ – це F_K .

Кількість правил дорівнює добутку кількості термів по витратам пару на кількість термів за коефіцієнтом ефективності. Таким чином, загальна кількість правил дорівнює 36. Лінгвістична змінна «Вологість» використовується в другій системі продукційних правил:

- 1) Якщо λ – це λ_A , то $F_{\text{пар}}$ – це F_A ;
- 2) Якщо λ – це λ_B , то $F_{\text{пар}}$ – це F_B ;
- 3) Якщо λ – це λ_C , то $F_{\text{пар}}$ – це F_C ;
- 4) Якщо λ – це λ_D , то $F_{\text{пар}}$ – це F_D ;
- 5) Якщо λ – це λ_E , то $F_{\text{пар}}$ – це F_E ;
- 6) Якщо λ – це λ_F , то $F_{\text{пар}}$ – це F_F ;
- 7) Якщо λ – це λ_G , то $F_{\text{пар}}$ – це F_G ;
- 8) Якщо λ – це λ_H , то $F_{\text{пар}}$ – це F_H ;
- 9) Якщо λ – це λ_K , то $F_{\text{пар}}$ – це F_K .

Обидві системи продукційних правил складено таким чином, що в кожен момент часу спрацьовує тільки одне правило в кожній з систем. Значення температури отримано за механізмом нечіткого виведення Е. А. Мамдані, детально розглянутого в посібнику(розділ 4).

9.3. Синтез нечіткого регулятора з лінгвістичним зворотним зв'язком і динамічною модифікацією системи продукційних правил

На рис. 9. 7 представлено блок-схему нечіткого регулятора. Проведемо оцінку швидкодії такого типу керування. Його особливістю є відсутність чіткого порівнювального пристрою, який для нечіткого регулятора є функціонально надлишковим, оскільки призначений для порівняння безперервних величин, тоді як в нечітких регуляторах використовуються терми лінгвістичних змінних, тобто кінцеве, а не нескінченне число фіксованих значень цих величин.

Регульована величина T за допомогою фаззифікатора (ФЗ) перетворюється в лінгвістичну змінну «Температура» з термами $T_A, T_B, T_C, T_D, T_E, T_F, T_G, T_H, T_K$, які подаються на вхід нечіткого регулятора (СП). Аналогічним перетворенням піддається параметр λ . Слід зазначити, що абсциси вершин рівнобедрених трикутників рівні чітким фіксованим значенням регульованої величини, що подається у вигляді відповідних уставок на вхід фаззифікатора. На регульований клапан подачі пари (ІС) надходить чітке значення керуючого

впливу В, відповідно до обчислених дефазифікатором (ДФ) витрат пару, який подається на об'єкт керування (ОК).

Логічна схема алгоритму функціонування запропонованого нечіткого регулятора, включаючи процедуру порівняння в нечіткому форматі поточного значення T з її фіксованими значеннями, представлена на рис. 9.8. Фактична тривалість циклу сканування запропонованого нечіткого регулятора залежить від двох обставин: на скільки часто в процесі роботи нечіткого регулятора умови, що містяться в операторах умовного переходу, бувають істинними (частота спрацювання оператора умовного переходу) і в якій послідовності розміщені символи дії цих операторів. Звідси неважко виявити стратегію розміщення операторів умовного переходу в структурі логічної схеми алгоритму на рис. 9.8 з метою отримання найбільш швидкої дії нечіткого регулятора з лінгвістичним зворотним зв'язком. Швидкодія нечіткого регулятора буде найбільшою (час відгуку найменший), якщо оператори умовного переходу в його логічній схемі алгоритму функціонування будуть розміщені зліва направо в порядку зменшення частоти їх спрацювання.

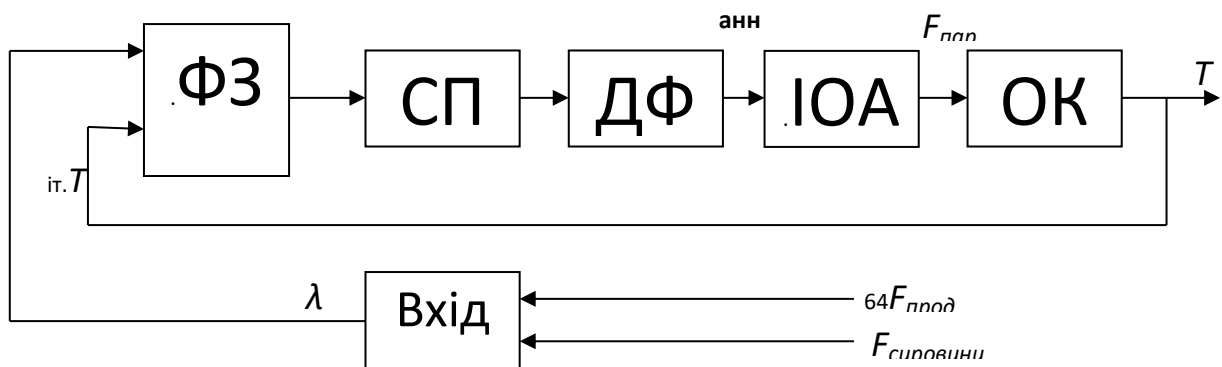


Рисунок 9.7 - Структурна схема регулятора температури

у випарювальному апараті з лінгвістичним зворотним зв'язком.

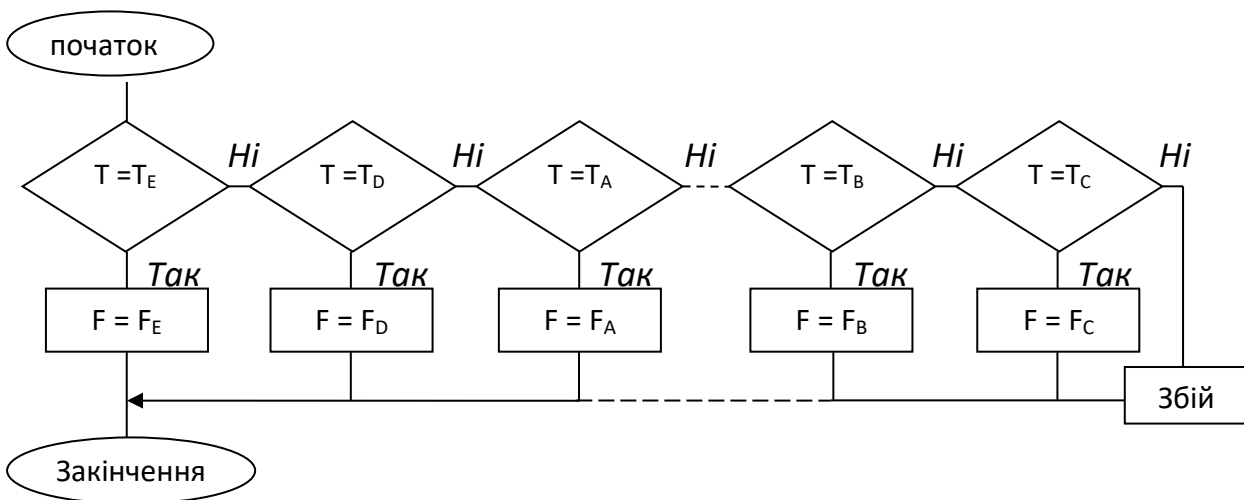


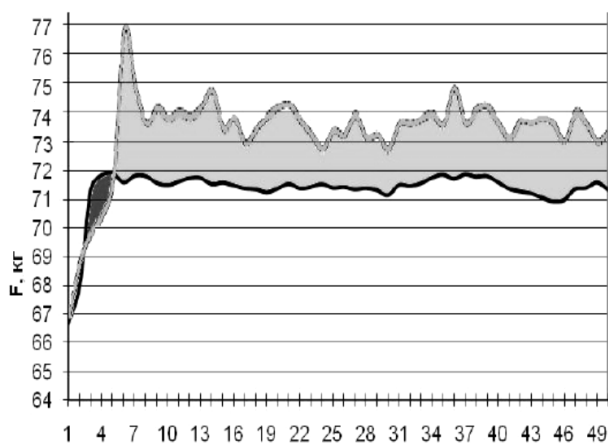
Рисунок 9.8 - Схема алгоритму функціонування нечіткого регулятора

Стосовно до логічної схемою алгоритму це означає, що оператор з першою умовою повинен володіти найбільшою, а оператор з другою за послідовністю умовою - найменшою частотою спрацьовування. Кількість умов відповідає кількості продукційних правил і дорівнює 36.

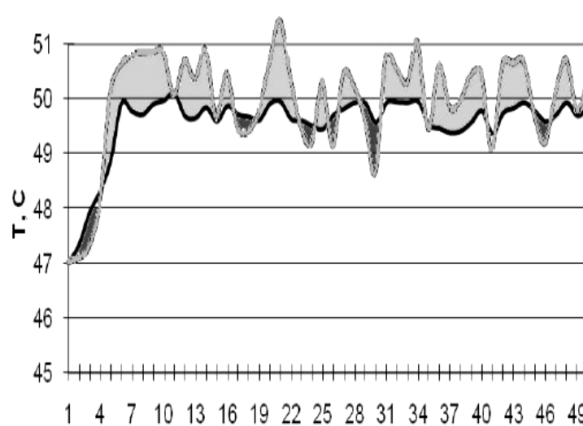
На реальних технологічних установках вельми складно з прийнятною похибкою налаштувати базу правил нечіткого регулятора з лінгвістичним зворотним зв'язком. Звідси виникла необхідність в розробці імітаційної моделі нечіткого управління процесом випарювання з метою швидкого і точного визначення частоти спрацьовування правил і коректності складання системи нечітких продукційних правил для конкретної технологічної установки. Під коректністю в даному випадку розуміється система нечітких правил, в якій в будь-який момент часу тільки одне правило має справжню умовну частину.

За результатами роботи імітаційної моделі в режимі реального часу визначається порядок розташування продукційних правил, що забезпечує найбільшу швидкодію нечіткого регулятора. Ці дані використовувалися для реалізації системи регулювання в пакеті програм SIMATIC Manager V5.4. Пакет включає в себе кілька підпрограм для роботи з контролерами фірми Siemens.

Виконано порівняльний аналіз перехідних процесів регулювання витрати пари (рисунок 9.9, а) і температури (рисунок 9.9, б) для вакуум-



а) t_{XB}



б) t_{XB}

Рисунок 9.9. - Перехідний процес витрати пари (а) і температури (б) в калоризатора (верхні криві для ПІД-, а нижні - для нечітких регуляторів) випарювального апарату з ПІД - і нечітким регуляторами

Експертні дослідження проводились на автоматизованому робочому місці (АРМ) технолога – оператора, реалізованого на компактній моделі МР227- 10 Touch.

Аналіз отриманих результатів показує, що нечіткий регулятор забезпечує (нижня синя крива) більш плавне регулювання, ніж ПД-регулятор (верхня червона крива). У наслідок великої амплітуди коливання температури у випарювальному апараті параметрів протікання технологічного процесу знижується, через що в середньому на 10-12% в порівнянні з нечітким регулятором (рис. 9. 10) підвищуються витрати пару за підтримки однієї і тієї ж температури. При використанні ПД-регулятора дисперсія вихідних параметрів протікання технологічного процесу знижується, через що в середньому на 10-12% в порівнянні з нечітким регулятором (рис. 9. 10) підвищуються витрати пару за підтримки однієї і тієї ж температури.

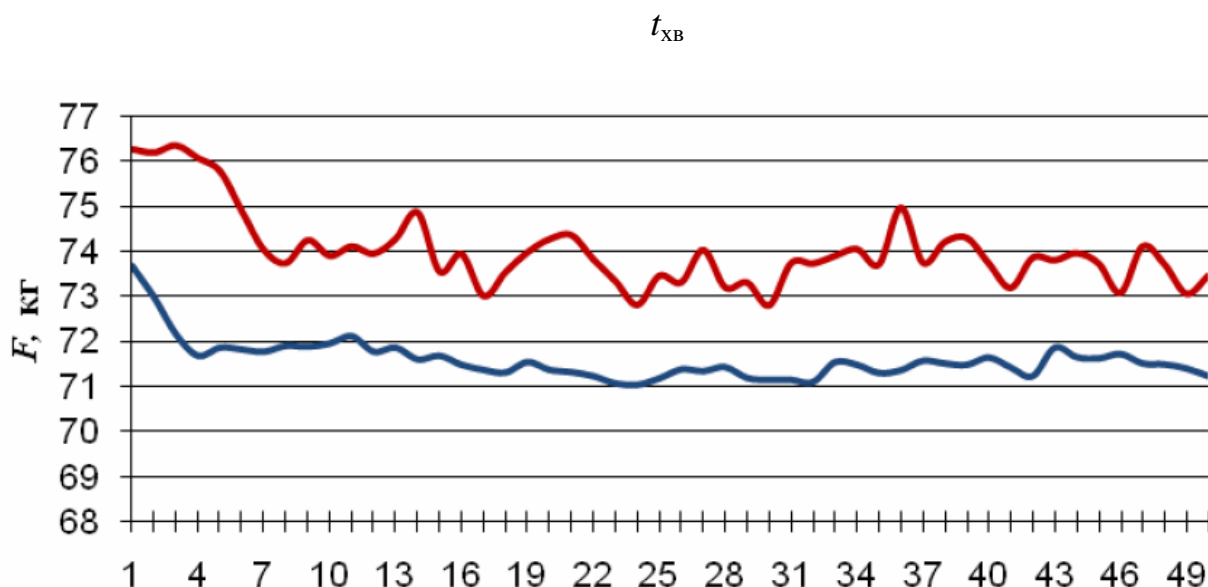


Рисунок 9.10. - Графік залежності витрати пару F установки з випарювання молока з ПД- (верхній графік) і нечітким (нижній графік) регуляторами

9.4. Розробка інтелектуальної системи керування процесом випарювання молочних продуктів

Це питання розпочнемо з аналізу прикладних аспектів реалізації програмного забезпечення для роботизованого керування технологічним процесом випарювання молочних продуктів. З цією метою на базі контролера Siemens S313C з використанням пакета SIMATIC Manager потрібно виконати розробку програмного забезпечення для керування технологічним процесом виробництва молочних продуктів.

Далі необхідно виконати:

1. Вибір комп'ютерної техніки і програмного забезпечення максимально відповідного поставленій меті - зниження витрат енергії за рахунок розробки інтелектуальної системи управління на базі нечіткого регулятора.

2. На прикладі технологічного процесу випарювання молочних продуктів за допомогою мехатронних апаратів процес побудови інформаційного та програмного забезпечення буде зведено до одержання в темпі з процесом інформації про питомі витрати енергоносіїв, витрати пару та якості продукції.

3. Побудувати алгоритм керування процесом випарювання

4. Побудувати інтерфейс АРМ-оператора.

5. Навчити персонал працювати з інтелектуальною системою керування процесом випарювання молочних продуктів.

На рис. 9.11 представлений алгоритм керування процесом випарювання молочних продуктів. Його особливістю є наявність блоків автоматичної модифікації і корекції бази продукційних правил. Ці блоки працюють спільно з основною програмою і порядок розташування правил в них коригується в режимі реального часу. Алгоритм дозволяє роботизованому комплексу керувати процесом випарювання молока, чітко контролювати оптимальні параметри випарювального апарату та перейти до виконання проєктних рішень щодо вибору інтерфейсу АРМ у складі АСУТП підприємства. Серед функцій інтерфейсу оператора виокремимо: а) відображення стану основних вузлів системи (стан давачів, розподільників, автоматів захисту двигуна, зміна параметрів роботи системи через цифрову панель, світлова та звукова сигналізація аварій та аварійних ситуацій); б) доступ до інтерфейсу оператора через мережу Інтернет; в) візуалізація стану системи у вигляді тестової інформації і графіків, протокол подій. Крім цього за рахунок вбудованої SCADA-системи проєктанти запропонували контроль стану обладнання, захист двигунів насосів і електроприводів обладнання від коротких замикань, обриву фаз, при пропаданні електроживлення. SCADA-система забезпечує:

- моніторинг стану технологічного процесу, вибір режиму процесу в залежності від параметрів молока, зміни часу роботи технологічного обладнання.

Отже, спроектований інтерфейс АРМ технолога-оператора, який максимально задовольняє вимогам персоналу до систем автоматизованого контролю та інтелектуального керування в харчовій промисловості дозволяє оператору за допомогою АРМ ефективно керувати технологічним процесом випарювання молока. Головну мнемосхему системи інтелектуального керування процесом випарювання з графічним інтерфейсом наведено на рисунку 9.12 Як відомо графічний інтерфейс АРМа ґрунтується на наступних підходах: Графічна підсистема АРМа оператора повинна мати багато віконний інтерфейс з можливістю відображення у вікнах сторінок процесу, трендів, тривог та іншої службової інформації. Сторінки, які призначені для відображення технологічного процесу виробництва згущеного молока будемо називати мнемосхемою: 1 - сторінка(мнемосхема) процесу; 2 - панель(меню) доступу до інших сторінок та команд; 3 - вікно відображення активних тривог та подій. Спрощений вигляд технологічної лінії виробництва згущеного молока з відображенням значень технологічних у реальному масштабі часу надає оператору інформацію про стан процесу. Для уточнення інформації чи тимчасового головних параметрів ТП оператор може використати – спливаючі вікна. Вони відкриваються поверх основного вікна і не заважають перегляду його змісту. У нашому випадку оператор працює з головною мнемосхемою, де відображена загальна інформація про процес випарювання молока. Технологічні параметри, що потребують постійного контролю оператором відображаються підсистемою тривог(наприклад, вихід змінної вологи молока за недопустимі межі). Графічна підсистема повинна бути спроектована таким чином, щоб тривоги, які з'явилися, відразу привертати увагу оператора у вікні тривоги-3. У нашому випадку графічний людино-машинний інтерфейс буде реалізовано через: а) елементи відображення, які надають оператору інформацію про стан змінних процесу; б) елементи введення команд та впливу на ТП шляхом зміни параметрів значень змінних, які контролює оператор технологічної лінії виробництва продукції. Наведемо приклад проектування підсистеми тривог за допомогою системи SCADA/HMI. В ній контроль тривог виконується шляхом оцінки значення того чи іншого фактора(змінної) за нормовані межі. Підсистема контролю тривог(Alarms Management) працює наступним чином. Як тільки значення хоча б однієї зі змінних переходить у аварійний(ненормований) стан, то підсистема тривог сповіщає оператора про відхилення ТП від заданих параметрів. Факт появи тривоги може сигналізуватись зміною кольору елемента(яскраво-червоним) миготінням,

звуковим сигналом, спливаючим вікном, які привертають увагу оператора. Тобто перша функція підсистеми тривоги – виявити тривожну подію та оповістити про неї оператора. Сама нештатна подія називається тривоною (Alarm). Тренд – це зміна значень описової характеристики об'єкта керування в часі. Тренди реального часу відображають будь-які зміни встановлених параметрів (тиску, температури, витрат тощо) Історичні тренди відображають інформацію про зміну параметрів реальних трендів за значно більшим проміжком. Інформація записується у внутрішню базу даних.

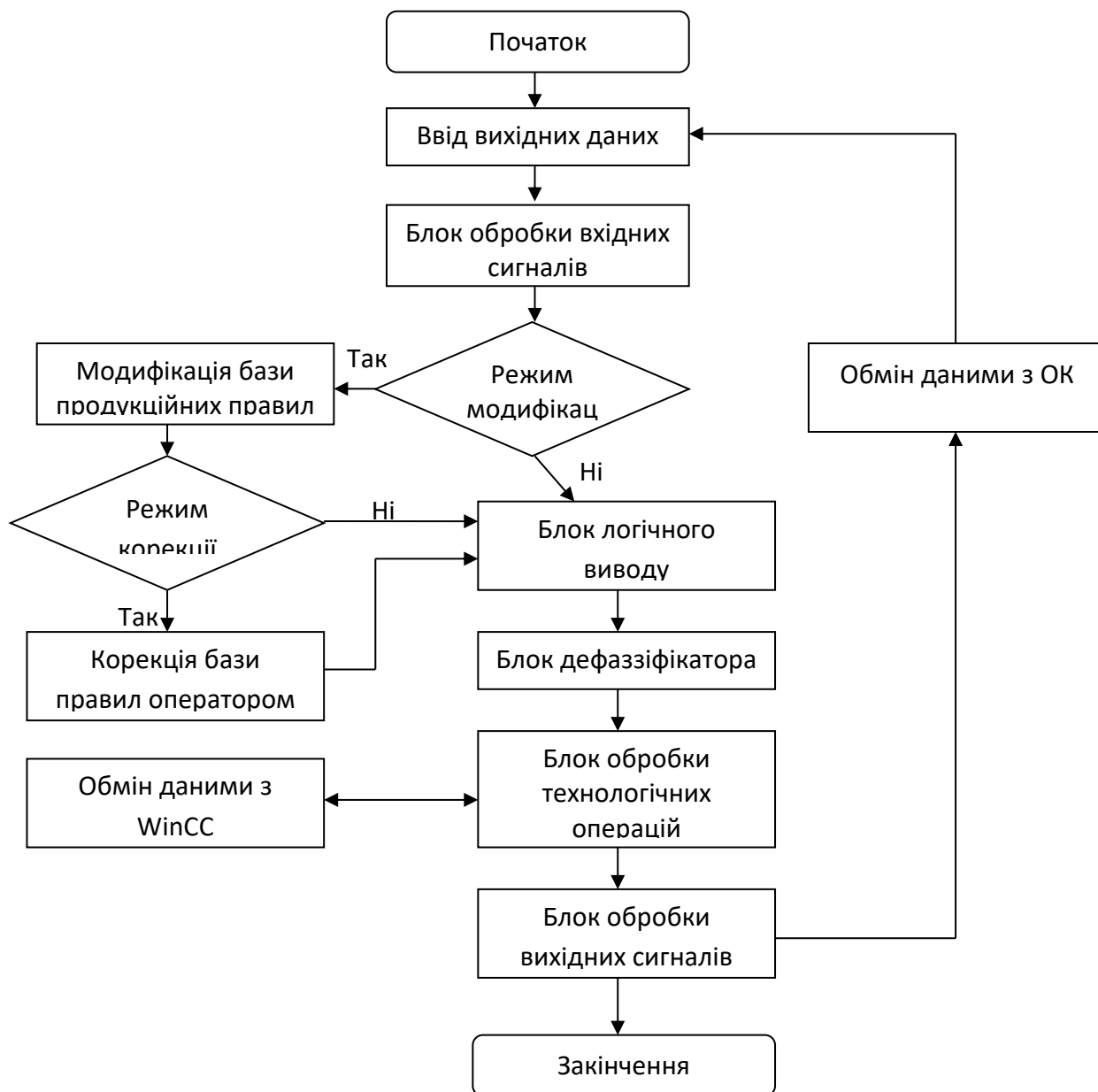


Рисунок 9.11. - Алгоритм керування процесом випарювання

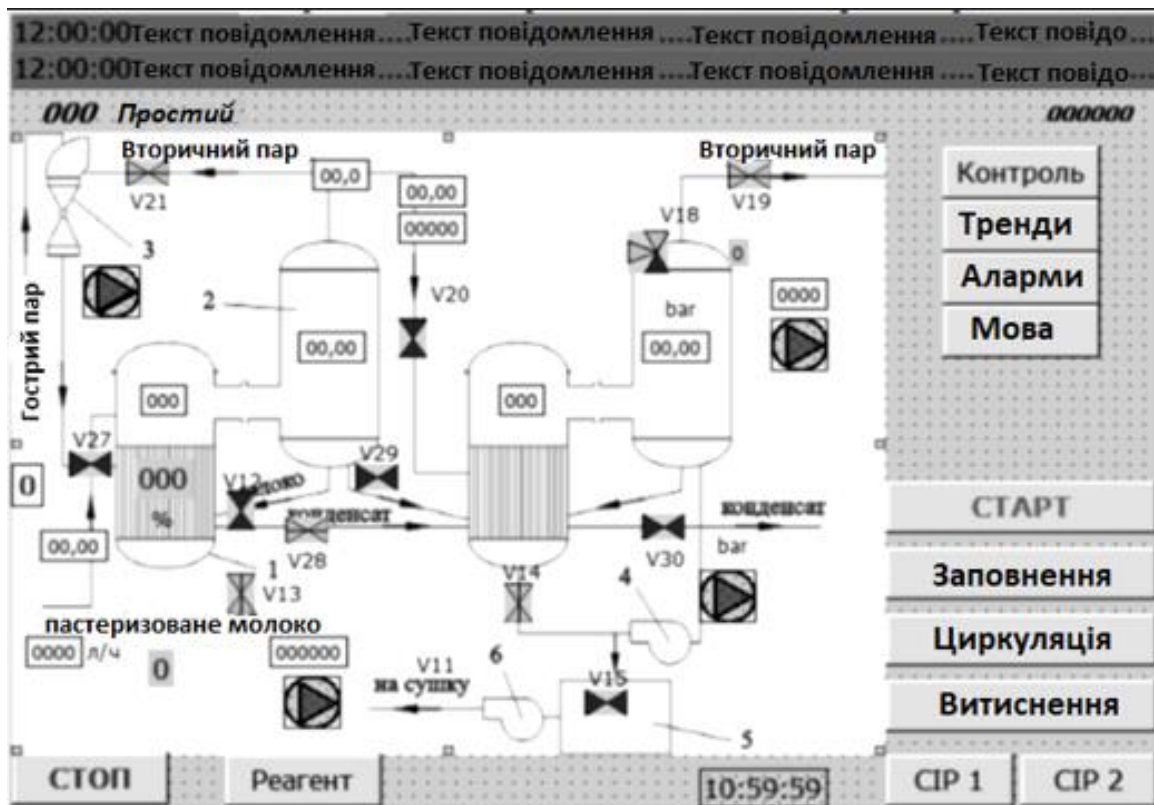


Рисунок 9.12. Головна мнемосхема системи інтелектуального керування процесом випарювання

Універсальна структура АСУ ТП з інтелектуальною системою керування процесом випарювання молочних продуктів дозволила скоротити витрату енергії і знизити вологість в молочних продуктах.

Спільна реалізація в єдиній оболонці SCADA-системи, що включає програми керування процесом випарювання молочних продуктів і зниження витрат енергії, а також функції автоматичного налаштування системи продукційних правил, дозволяє реалізувати універсальну інтелектуальну систему керування процесом випарювання молока зі зниженням витрат енергії на 10-12% від існуючих систем керування з ПІД- регуляторами.

9.5. Роботизована система керування виробництвом елітних сортів сиру

Метою вивчення теми є одержання нових компетенцій щодо підвищення ефективності інтелектуального управління технологічною лінією виробництва елітних сортів сиру за рахунок використання робототехнологічних установок з ультразвуковими кавітаційними технологіями та системи автоматичного інформаційного забезпечення виробництвом продукції.

Технологічне середовище молочної сировини представляє собою гетерогенну систему, яка включає молочні продукти, газові бульбашки та частинки бактеріальних заквасок. Кожна із перелічених систем

характеризується складним функціональним складом, від якого залежить якість продукції та продуктивність технологічних ліній з виробництва сиру [2].

Виробництво сиру починається з пастеризації свіжого молока, яка проводиться 60 хвилин при температурі до 60 °С або 30 хвилин при температурі 70-80 °С, щоб знищити шкідливу мікрофлору.

Пастеризоване молоко зливають в чан, в якому відбувається перетворення молока в сир. Для цього потрібні додаткові інгредієнти - бактерії, зокрема це може бути мікробіальний ренін (сичужний фермент), або інші культивовані бактерії, які починають процес згортання молока в сир.

У чані молоко також підігрівається і постійно змішується автоматичними мішалками. В результаті повинні утворитися два компоненти – невеликі грудочки майбутнього сиру та сироватка, які потрібно розділити один від одного. Отримані згустки називають кальє. Далі кальє засолують і збирають в спеціальні, найчастіше овальні форми, які кладуть під прес для повного видалення сироватки.

В кінці сир піддається витримці, деякі сорти сиру витримують рік, при цьому знімаючи з них цвіль і періодично автоматично перевертаючи, щоб волога не накопичувалася тільки в одній частині сиру. Відомі нам дірки в багатьох сортах сиру, з'являються вже в процесі його витримки через виділення вуглекислого газу бактеріями.

З метою інтенсифікації процесу виробництва сиру і розробки АСУТП виробництва сиру з адаптивними системами управління та контролю, робототехнологічними інтенсифікаторами, які ставлять метою підвищення якості продукції, нами було проведено дослідження впливу ультразвукових коливань широкого діапазону частот на молочне середовище.

При розповсюдженні ультразвукових коливань через молочні продукти та тверді частинки бактеріальних заквасок, величина яких близька або більша за довжину їх хвиль, виникає можливість контролю процесу утворення сичужності та драгледопідібної маси [2].

Поглинання ультразвукових коливань в гетерогенному середовищі молока будемо оцінювати за такою формулою:

$$\alpha_x = \frac{\omega^2}{2\rho c^2} \left[\frac{4}{3}\eta + x \left(\frac{1}{c_v} - \frac{1}{c_p} \right) \right], \quad (9.4)$$

де ω – кругова частота;

ρ – густина гетерогенного середовища;

c – швидкість звуку в гетерогенному середовищі;

η – зсувна в'язкість;

x – коефіцієнт теплопровідності;

c_v, c_p – теплоємності при постійному об'ємі і тиску відповідно.

Розповсюдження ультразвукових коливань в технологічному середовищі апаратів з виробництва твердих сирів, в якому є газові бульбашки, має суттєві особливості. Так, наприклад, бульбашки, розміри яких близькі до резонансних, для виділеної частоти ультразвукових коливань, викликають значні затухання пружних коливань і, тим самим, створюють умови для контролю параметрів: густини, втрат та ін. [2].

Таким чином, в процесі аналізу та ідентифікації одержаних результатів доведено, що утворення сичужності сиру можливо контролювати за допомогою систем візуалізації та ультразвукового контролю параметрів молочних продуктів (низькочастотні від 20 до 60 КГц та високочастотні коливання до 1 МГц); контролювати час та інтенсивність процесу утворення кальє можливо за допомогою адаптивних систем управління з робототехнологічними інтенсифікаторами кавітаційного типу. В таких робототехнологічних інтенсифікаторах оптимальною частотою впливу ультразвукових коливань на молочне середовище прийнято 22 КГц.

Як типову мехатронну систему виробництва сиру пропонуємо інтегровану інформаційно-інтелектуальну систему управління, спроектовану на базі SCADA-систем, рис. 9.13 [2,8].

У мехатронній системі управління підприємством з виробництва сиру використані такі елементи: ERP – управління ресурсами підприємства; MES – система управління виробничими завданнями; БД, БП, БЗ – відповідно, база даних, база правил, база знань; ЕС – експертна система; СІ – система інтерфейсів; MTU, CS, RTU – система зв'язків з об'єктом; АRM – автоматизоване робоче місце; EOM – електронна обчислювальна машина; ІСППР – інтелектуальна система підтримки прийняття рішень; ІШ – інформаційна шина; КМ – корпоративний монітор.

Розроблена мехатронна система виробництва сиру включає **такі робототехнічні системи:**

- управління і контролю постачанням молокопродуктів;
- управління завантаженням обладнання;
- моніторингу якості продукції – сиру та окремих стадій його виробництва.

Як відомо термін «SCADA» охоплює процеси збирання інформації в режимі реального часу з об'єктів управління (бункери, живники, фільтри, сепаратори, мішалки тощо), її аналіз й управління цими об'єктами.

Практично всі сучасні мехатронні системи, побудовані на базі SCADA-систем, включають основні структурні компоненти: RTU, MTU, CS, АRM, систему підтримки прийняття рішень (ІСППР), MES- та ERP-системи.

Типову мехатронну систему підприємства з виробництва сиру можливо представити у вигляді трирівневої системи (рис.9.13): нижній рівень – рівень локальних адаптивних систем управління включає: САУП-систему адаптивного

управління процесом пастеризації; Д1-систему датчиків контролю процесу пастеризації молока; П-операцію пастеризації;

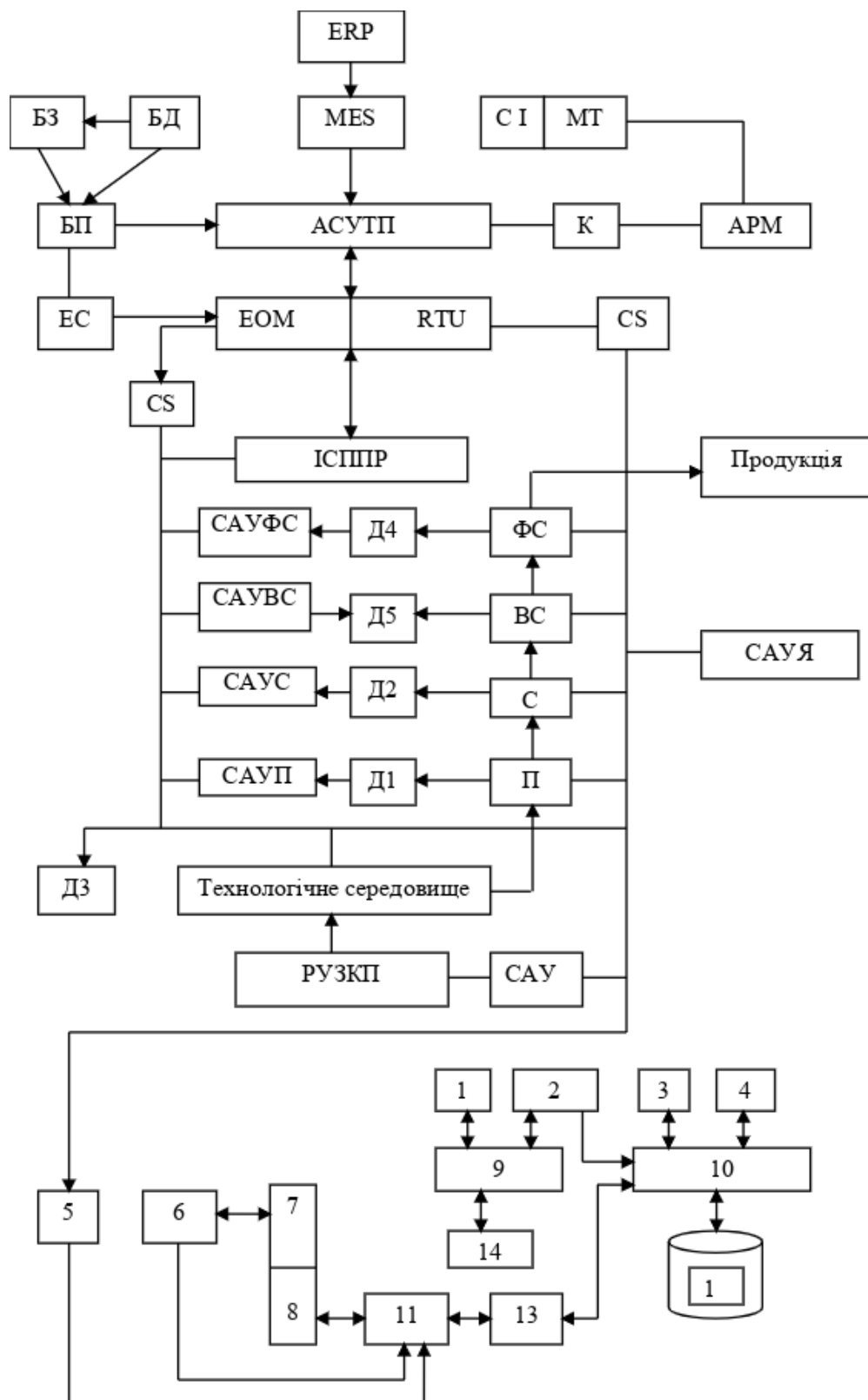


Рисунок 9.13. – Інтегрована інформаційно-інтелектуальна система управління підприємством з виробництва сиру

САУС – систему адаптивного управління процесом сепарації (С); Д2 – систему датчиків контролю процесу сепарації; САУВС – систему адаптивного управління виробництвом сирної маси (ВСМ); Д3 – систему датчиків контролю стану сирної маси; САУФС – систему адаптивного управління процесом формування сиру (ФС); Д4 – система датчиків процесу формування сиру; контрольно-вимірювальні прилади і прилади автоматики, вбудовані в технологічний процес, робототехнологічні інтенсифікатори РУЗКП, пульти сигналізації, виконавчі системи управління;

- на другому (середньому) рівні для зв'язку з технологічними об'єктами (насосними живниками, фільтрами, сепараторами тощо) управління передбачено програмні логічні контролери (ПЛК). Вони забезпечують: збір інформації з технологічного обладнання, яке входить до складу технологічної лінії з виробництва сиру; оброблення й передачу інформації про стан об'єктів на верхній рівень системи Д5 – системи датчиків контролю і візуалізації технологічного середовища; автоматичне регулювання й управління технологічним обладнанням та контроль його роботи; прийом інформації з верхнього рівня управління та формування управлінських впливів на електроприводи виконавчих механізмів (ВМ);
- третій (верхній) рівень включає в себе: автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів з КМ – корпоративним монітором. На базі персональних комп'ютерів зі SCADA-системою розроблено оперативне диспетчерське управління з MES- і ERP-системами; сервер баз даних (БД) і баз правил (БП) – для прийняття управлінських рішень, щодо виконання внутрішнього (зовнішнього) портфеля замовлення продукції на рівні підприємства.

У наш час, коли в значній кількості підприємств харчової промисловості України впроваджені системи ERP від АСУТП і його АРМ, від диспетчерів вимагаються не лише професійні знання технологічного процесу, інжинірингу бізнес-процесів, здатність прийняття рішень в умовах невизначеності, але і вміння роботи з сучасними інформаційними системами. При цьому диспетчеру-оператору необхідно навчитись працювати в діалоговому режимі з ЕОМ при зміні характеристик молока та інших інгредієнтів; працювати в умовах обмеженості потужності енергосистеми у випадку аварійних ситуацій та з інших причин.

Таким чином, диспетчер з АРМ стає головною діючою особою в управлінні технологічним процесом виробництва різних видів сирів, а вимоги підвищення надійності систем диспетчерського управління сьогодні є однією із ключових парадигм підвищення якості продукції і продуктивності підприємств, які діють на базі сучасних інформаційних систем.

Проблема побудови інформаційних систем для підприємств харчової промисловості з моделюванням стану робочого місця у відповідності до певного бізнес-процесу (у нашому випадку сировиробника) дуже актуальна.

Сучасний мехатронний технологічний процес виробництва сиру представляє собою складну систему взаємозв'язаних засобів: багаторівневого управління, контролю, виконавчих механізмів енергоефективності, фінансових потоків підприємства, вартості технологічного процесу та інтеграції адаптивних систем нижнього й середнього рівнів з вбудованими в технологічний процес робототехнологічними інтенсифікаторами управління процесами сичужності РУЗКП – робото технологічний інтенсифікатор ультразвукових кавітаційних процесів з системою автоматизованого управління (САК) та якості продукції (САУЯ).

На рис. 9. 13 також наведено сучасні базові структури інтегрованої інформаційно-інтелектуальної системи управління АСУ-АСУТП підприємством до яких включені такі компоненти:

1. Служба зовнішніх даних. Працює в межах підприємства (блок 9 і 14). Призначена для одержання різних даних про планові показники портфеля замовлень та інжинірингових бізнес-проектів.

2. Служба дистанційної підтримки. Призначена для управління інформацією та ресурсами ремонтних підприємств, постачальників матеріалів, електрики, молока, тепла та свіжої води. Фактично це служба сервісного обслуговування обладнання, яке є на підприємстві харчової промисловості.

3. Служба часу. Є компонентом інтегрованої системи імітаційного моделювання і призначена для підключення або відключення режимів моделювання і диференціювання видів часу (жорсткого, м'якого, реального або модельного) під час процесу моделювання виробничих ситуацій, систем і різних видів взаємодії з партнерами, ресурсами, потенціалом.

4. Система споживання електрики, води та тепла, призначена для споживання підприємством і його цехами та підрозділами електрики, води і тепла. Вона вирішує задачі перетворення, первинного і вторинного розподілу електроенергії, захисту мереж, комунікацій й управління.

5. Автоматизована система управління (АСУ), призначена для управління, комунікацій, інтенсифікації та авторизації процесів вибору і прийняття рішень щодо оптимізації процесів виробництва сиру та реалізації портфеля замовлень.

6. Комплекс контрольної апаратури: оцінки якості молока, продуктивності, параметрів витрат, густини стадії сичужності, витрат інгредієнтів, якості сиру, витрат електроенергії.

7. Елементи електропостачання, постачання води й тепла. Призначені для первинного оброблення інформації про витрати електрики, води й тепла в цехах підприємства.

8. Інтерфейсний блок інтелектуального диспетчера підприємства та АРМ представляє собою набір інтерфейсів, які зв'язані за визначеним алгоритмом з системами АСУТП, MES, та ERP., що забезпечує їх коректну комунікацію та системну інтеграцію в АСУ підприємства.

9. Блок зв'язку зі службою зовнішньоекономічної діяльності підприємства та з іншими підприємствами харчової промисловості (постачальниками сировини).

10-12. Блоки організації інтелектуального середовища:

10. Блок перетворення інформації, використовується для організації інтелектуального середовища АСУ підприємства (АСУТП зі інтелектуальним SCADA-системами, MES- та ERP-системами середнього та верхнього рівня) шляхом введення в систему експертної системи (ЕС) та бази знань (БЗ). При цьому створюється «хмароподібний» інформаційний простір з уніфікованим інтерфейсом для швидкого і ефективного аналізу даних та інформаційного обміну між цехами підприємства та його Правлінням і Наглядною радою.

Під терміном «хмара» будемо розуміти сукупність корпоративних інформаційних ресурсів ємність, розмір і потужність яких динамічно змінюються в залежності від об'єму задач, які вирішує ОПР у конкретний момент часу. На експертну систему крім традиційних задач пропонуємо покласти деякі додаткові функції, серед яких:

- попередження, нівелювання і зменшення впливу конфліктів, які виникають за рахунок різної структури даних, що надходять від різних рівнів управління;
- встановлення стійких кореляцій та структурування даних в об'єднаному інформаційному середовищі;
- морфологічна селекція й агрегування даних при їх русі вгору по системі (під агрегацією будемо розуміти процес узагальнення та виокремлення даних із первинних множин з метою формування групових концентрованих характеристик, які віддзеркалюють суттєві ознаки його поведінки та стану);
- виділення, актуалізація і координація часу автоматичного прийняття рішень системи різних рівнів управління підприємством. Відомо, що час прийняття рішень (період прийняття рішень ОПР) зростає при підвищенні рівня і ієрархії системи. З одного боку це визначається значенням цілі підсистеми верхнього рівня, але з іншого боку воно (прийняте рішення) може бути непотрібним (команда «так тримати») в даний момент часу або в нормальній виробничій ситуації.

Слід відзначити, що блоки 10, 12 і 13 складають «хмарний» простір перетворення інформації в інтелектуальному середовищі, а блоки 8 і 11 – «хмарний» простір інтелектуального оброблення виробничої, економічної, управлінської інформації. У свою чергу, ці два простори об'єднуються в загальну «хмару», простір якої доступний усім зацікавленим системам (ОПР). Це і є різницею між класичними інформаційними системами і представленням інформації в інтелектуальних АСУТП.

Результативність використання «хмарної» структури нерозривно пов'язана з рухом її базових елементів: інтерфейс «людина-машина»; інтегроване інформаційне середовище, а також з впровадженням даної ідеології при проектуванні інформаційних датчиків нового покоління – інтелектуальних інформаційних датчиків на базі УЗ коливань [10].

11. Блок інтелектуального опрацювання виробничої, енергетичної та іншої інформації. Дозволяє працювати з інформацією від напрацьованих і аналогових рішень шляхом використання датчиків Д1-Д5, серед яких датчики положення, датчики густини, рівня рН, тиску, потужності, продуктивності, а також використання інтелектуальних цифрових датчиків якості продукції. Вони є вираженою частиною «хмарної» структури побудови системи і, в свою чергу, є носіями функціональних елементів формування «хмар» (спеціальне програмне забезпечення, система вбудованої власної діагностики, операції інтерфейсу «людина-машина»). Спеціальне програмне забезпечення, призначене для збору, обробки та видачі інформації.

12. «Хмара» включає в себе блок 12 – інтегроване інформаційне середовище баз даних і знань. Воно уявляє собою спеціальним чином утворене сховище даних і знань, через яке виконується інформаційна взаємодія з іншими блоками нижнього і середнього рівнів АСУТП підприємства. Особливістю його є те, що воно уявляє собою сукупність розподілених баз знань, в яких діють єдині правила збереження, оновлення, пошуку і передачі даних та знань.

В інтегрованому інформаційному середовищі:

1) забезпечується актуальність і цілісність даних та мінімізація кількості помилок шляхом виключення дублювання та необхідності перекодування даних в процесі обміну інформацією;

2) виконується сепарація прикладних програмних засобів структури даних і знань;

3) стандартизація (уніфікація) інтерфейсів доступу до контенту створює можливість утворювати типи даних і знань, які доступні усім елементам «хмарного» середовища на основі уже існуючих видів і типів даних і знань.

Інтегроване інформаційне середовище дозволяє інтенсифікувати обмін даними, проводити перевірку структурної цілісності та конфліктів даних і

знань, а головне, проводити синтез (збір) компонентів різного рівня складності, а також проводити моделювання процесів виробництва сирів з характеристиками для харчування певних контингентів населення (людей, що мешкають на територіях з техногенним тиском; дітей; робітників з важкими умовами праці; військових, тощо) [8,9,14].

13. «Хмара» включає в собі і 13 блок – блок інтерфейсу «людина-машина». Він представляє собою сукупність різних рішень, які направлені на досягнення максимальних показників таких параметрів, як: доступність і узгодженість управлінських впливів; наочність індикаторів та пристроїв, які оцінюють точність управління технологічними стадіями зі значними транспортними запізненнями. Такий підхід до побудови інформаційної системи дозволяє ОПР та диспетчеру-оператору в максимально короткий термін забезпечити коректну і чітку роботу усіх технологічних стадій обробки молока та процесів виробництва сиру (логістика ® дозрівання ® нормалізація ® пастеризація ® зворотання ® оброблення сичужного згустку ® формування ® пресування ® соління ® дозрівання сиру), а також робототехнологічних інтенсифікаторів утворення сичужного згустку.

Таким чином, принципи побудови «хмарної» структури забезпечують інтелектуалізацію інтегрованої багатофункціональної управлінської системи підприємства, утворюючи єдиний інформаційний простір.

Розроблений підхід до проектування сучасних АСУ-АСУТП з ERP- і MES-структурами управління підприємством дає можливість працювати в системі дружнього інтерфейсу з постачальниками молока, виробниками сиру та споживачами продукції.

Процес виробництва сиру відноситься до динамічних процесів з високим рівнем невизначеності, який об'єднує в собі безліч фізичних і хімічних процесів.

Отже, у даній темі розглянуто способи, які спроможні зробити ці процеси більш керованими, швидкодіючими, безпечними та економічно ефективними за рахунок вивчення та ідентифікації процесу ультразвукової молочної коагуляції.

Доведено, що під впливом ультразвукової кавітації відбувається процес молочної коагуляції, тобто перетворення молока в драглеподібну масу, з якої, після відкачування сироватки, виходять часточки майбутнього кисломолочного, плавленого або твердого сиру.

Лабораторні дослідження за допомогою експериментальної установки довели те, що ультразвукова коагуляція є перспективним напрямком у виробництві сирів, оскільки викликає інтенсивні коливання часточок молока (так звану кавітацію) за рахунок чого знищує певну мікрофлору та перетворює молоко на гель, підвищуючи його в'язкість. Як джерело ультразвуку нами був

використаний п'єзокерамічний елемент, який здатний створювати ультразвукові коливання з частотою від 20 до 60 кГц.

Розроблено мехатронну систему виробництва сиру з високим рівнем автоматизації та управління. В системі використано: підсистему контролю з автоматизованими робочими місцями операторів на базі персональних комп'ютерів зі SCADA-системою оперативного управління; інтелектуальну систему прийняття рішень та управління робототехнологічними інтенсифікаторами кавітаційного типу; систему інтелектуального оброблення виробничої, енергетичної та іншої інформації, що дозволяє працювати як з інформацією від напрацьованих, так і з інформацією аналогових рішень, отриманою від датчиків положення, густини, рівня рН, тиску, потужності, продуктивності, а також інтелектуальних цифрових датчиків, які є вираженою частиною «хмарної» структури запропонованої мехатронної системи підприємства з виробництва елітних сортів сиру.

Тема 10. Розробка робототехнологічного обладнання і технологій виробництва заморожуваних продуктів харчування

10.1. Технології заморожуваних продуктів харчування і обґрунтування вибору обладнання для їх виробництва

Принцип дії процесу заморожування оснований на використанні різних фізичних ефектів [19,20.21,22,26]. Серед них:

- ефект зниження температури при зниженні тиску газу і пару;
- зворотного термоелектричного ефекту (ефект Пельтьє);
- вихрового ефекту охолодження (ефект Ранка Хільша);
- магнітокалоричного ефекту(одержання температури, близької до абсолютного нуля, $T=0K$);(температура абсолютного нуля- $273C$).
- процес сорбції-десорбції газів($T=4K$), тощо.

Заморожування – це зниження температури продукту нижче його криоскопічної температури. Для кожного продукту температура заморожування та характер процесу заморожування специфічні, тому продукт вважається замороженим, якщо температура в глибині продукту досягла $-8^{\circ}C$ ».

На етапі виробництва продукції стадія заморожування є основним засобом консервування харчових продуктів, що швидко псуються. Харчові продукти заморожуються з метою підготовки їх до тривалого зберігання. Заморожування здійснюється в повітрі та рідких середовищах. Під час заморожування харчових продуктів значна частини вологи, яка міститься в продукті, перетворюється в лід. При цьому знижуються органолептичні показники продукту, але при

правильній організації процесу заморожування, зниження якості продукту може бути зведено до мінімуму».

Замороженим вважається м'ясо, середня температура якого на 10°C нижче кріоскопічної. Кріоскопічна температура свіжого м'яса від $0,8$ до $1,2^{\circ}\text{C}$, крові - $0,55^{\circ}\text{C}$.

При використанні штучних способів заморожування теплота переноситься від тіла з меншою температурою до тіла з більшою температурою за рахунок витрат енергії від зовнішнього джерела. Теоретичну основу штучних способів охолодження складає другий закон термодинаміки. У промислових умовах знаходять використання енергозатрат ні штучні способи заморожування.

В залежності від виду використання енергії холодильне обладнання розділяють на три основні групи: компресорні, тепловикористовуючі, термоелектричні.

Компресорні машини використовують енергію у вигляді механічної роботи в одному з основних елементів- компресорі, в якому відбувається стиснення пару- та газоподібних робочих речовин холодильної машини. В залежності від типу та потужності компресора його привід може бути від електричного двигуна, двигуна внутрішнього згорання, парової чи газової турбіни. Парокомпресорні машини виробляють переважну кількість штучного холоду у світі (до 90%). Теплококористовуючі холодильні машини в якості джерела енергії використовують теплоту відносно низького потенціалу-теплу воду, відхідні димові гази, відпрацьовану пару турбін, що мають температуру вищу температури навколишнього середовища.

У термоелектричних машинах використовується безпосередньо електрична енергія. Для їхньої роботи немає потреби в робочих речовинах. Холодильні машини використовують в різних сферах господарювання: в харчовій промисловості; в технології зберігання харчових продуктів; для комфортного і технологічного кондиціонування повітря; в медицині для зберігання ліків тощо. У харчовій промисловості переважно використовуються пара компресорні холодильні машини в холодильних технологіях для заморожування та охолодження продуктів здорового харчування. У процесі виробництва холоду виникає питання його транспортування споживачу і охолодження робочого тіла. Виробництво, транспорт і споживання холоду складають холодильну ланку. Транспорт холоду може також виконуватись за допомогою охолодженого в холодильній машині робочого тіла. При використанні проміжного холодоносія робоче тіло заморожує його в теплообмінному апараті. Транспорт холоду виконується системою холодопостачання, передача його охолоджуваному тілу у споживача - за допомогою приладів охолодження та заморожування м'ясних продуктів..

Отже, роботизації, як об'єкту дослідження підлягають: системи холодильних машин, апаратів, приладів і споруд, призначених для виробництва, холодозабезпечення і споживання холоду.

На рис.10.1 наведено технологічну схему ланцюга холодильної ланки, як об'єкта роботизованого керування.

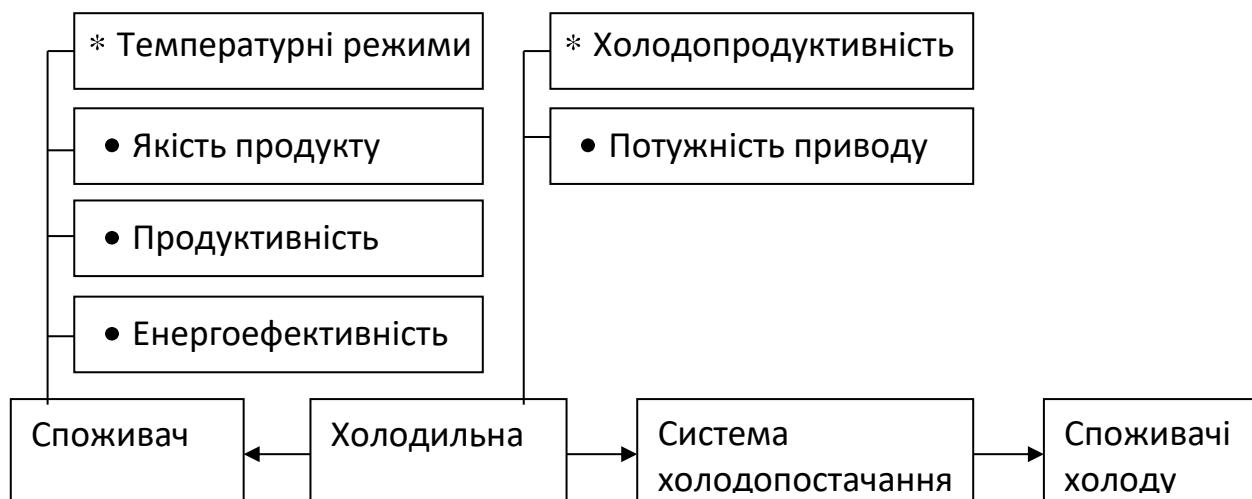


Рисунок 10.1. Ланцюг холодильної ланки

10.2. Принципи побудови роботизованих систем керування установками заморожування

Роботизовані холодильні установки і обслуговувані ними- об'єкти холодопостачання знаходяться в умовах безпосереднього впливу зовнішніх і внутрішніх збурень. Останні фактори характеризуються змінними значеннями в часі, а в деяких випадках і статистичним характером рівня збурень часом їх виникнення. Аналіз наслідків впливу того чи іншого фактора на елементи системи холодопостачання є достатньо складною задачею. Холодильна машина, як об'єкт роботизованого керування відноситься до складних об'єктів з високим рівнем невизначеності.

Сучасні холодильні машини і установки мають високий рівень автоматизації та сучасний рівень інтелектуалізації процесів управління.

Основна задача роботизації холодильних установок- забезпечення оптимальних чи заданих параметрів функціонування без участі людини в умовах впливу на об'єкт регулювання змінних зовнішніх і внутрішніх факторів.

Мета роботизації визначається конкретними умовами використання того чи іншого джерела холоду. Наприклад, якщо розглянути автоматизацію приміщень збереження продуктів харчування, то метою проектування роботизації системи холодопостачання є мінімізація зниження товарної

якості продуктів здорового харчування і матеріальних втрат у процесі збереження шляхом підтримання на заданому рівні температури в приміщенні, де знаходяться продукти харчування. На рис.10.2 наведено систему роботизації системи холодозабезпечення холодильних камер.

Метою роботизації є також – скорочення експлуатаційних затрат, підвищення терміну служби і підвищення надійності холодильного обладнання, протидія виникненню аварійних і межових режимів роботи. Якщо внаслідок діючих зовнішніх і внутрішніх факторів в охолоджуваному приміщенні (контейнері), яке будемо вважати об'єктом регулювання, надійшла додаткова кількість теплоти Q , то температура повітря в ньому підвищиться. Зміну температури t (збурення для системи автоматичного регулювання) в часі буде зафіксоване датчиком Дм.

Сигнал датчика надходить на суматор C_m , який порівнює значення температури в приміщенні зі заданим значенням. У випадку підвищення температури в приміщенні від заданого значення різниця сигналу від давальника і датчика буде, наприклад позитивною, при зниженні – від'ємною. У випадку неузгодження сигнал надходить на регулятор P , який формує регулювальний вплив. Регулювальний вплив $U(0)$ прикладається до холодовиробничого комплексу, який збільшує чи зменшує подачу холодоагенту (або холодоносіїв) в прилади охолодження. В результаті цього із приміщення при збільшенні t виноситься надлишкове тепло, а температура повітряного середовища буде зменшуватись. Зміна температури в контрольованому приміщенні знову вимірюється датчиком, сигнал про нове відхилення(неузгодженість) або у ситуації відсутності знову надходить в контур робототехнологічного регулювання.

Система робототехнологічного регулювання характеризується безперервним одно напрямленим переміщенням сигналу в контурі та корекції прийнятого рішення щодо результатів впливу на ОР керованого впливу. Повернення інформації в САР щодо прийняття ранішнього рішення по величині і за напрямком дії регулюючого впливу називається зворотним зв'язком (2,3). Зворотний зв'язок в САР холодопостачання значно підвищує точність керування холодопродуктивністю.

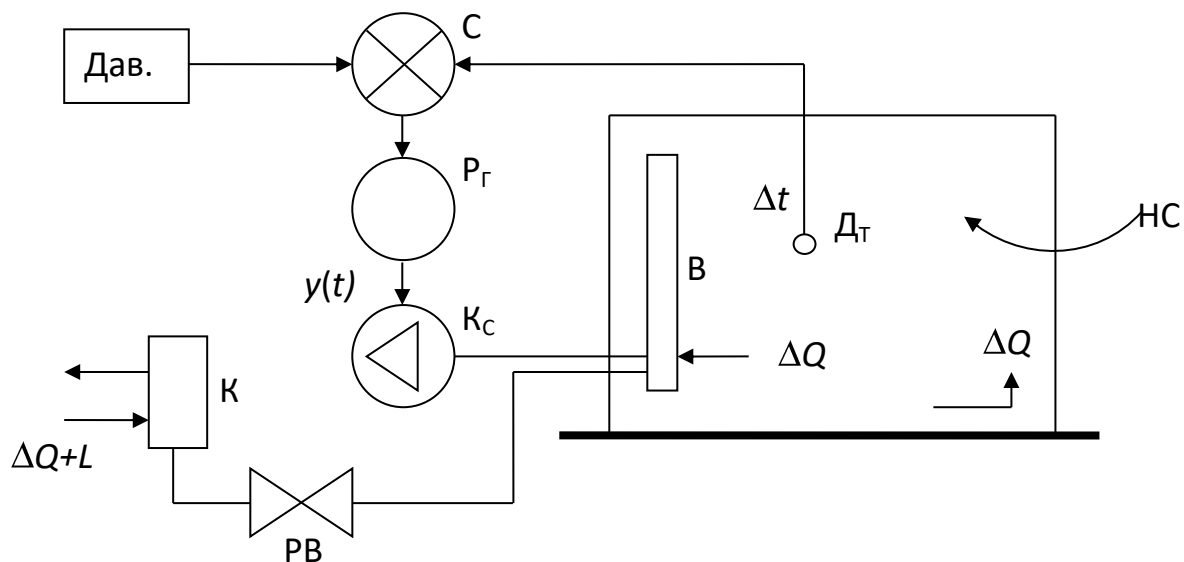


Рисунок 10.2. Принцип роботизації процесу холодозабезпечення холодильної камери

В залежності від характеристик і продуктивності холодильних машин регулюючий вплив може прикладатись до одного або декількох функціональних блоків, Може змінюватись і характер регулювання впливу. Наприклад, при наявності ресивера в контурі холодильної машини нерівномірність споживання холоду буде скомпенсоване нерівномірністю відбору холодоагента із ресивера. В цьому випадку холодильна машина може працювати в режимі постійної холодопродуктивності. Зміна кількості виробленого холоду виконується в цьому випадку шляхом чергування пуску і зупинки компресора. Включення холодильної мащини буде виконуватись при зниженні рівня рідкого холодоагента в ресивері, зупинка- при перевищенні верхньої межі рівня. В холодильних установках без ресивера зміна холодопродуктивності виконується шляхом зміни витрат холодоагенту. Це можна виконати шляхом зміни продуктивності. У нашому випадку сигнал буде рухатись по наступному замкненому контуру: охолоджуване приміщення, система автоматичного регулювання (САР), компресор, конденсатор, регулюючий вентиль, випарник, приміщення. У випадку високої теплової ємкості охолоджуваних об'єктів зміна температури в них при внесені надлишкової теплоти проходить дуже повільно.

У цьому випадку регулювання температурного режиму в них можна виконати за допомогою імпульсної подачі холодоагента (холодоносія) або чергування пуску-зупинки холодильної машини.

Характер регульованого впливу визначається множиною факторів, який визначається характеристиками холодильної установки і заморожуваного об'єкту.

Замороженим вважається м'ясо, середня температура якого на 10°C нижче кріоскопічної. Кріоскопічна температура свіжого м'яса від $0,8$ до $1,2^{\circ}\text{C}$, крові - $0,55^{\circ}\text{C}$.

У процесі заморожування приблизно 85% вологи перетворюється на лід. Льодоутворення умовно вважається закінченим, коли в центрі продукту досягається температура - $4-5^{\circ}\text{C}$, що відповідає середній температурі м'яса - 10 , - 15°C .

Зниження температури продукту від 0 до 5°C становить власне процес заморожування. Зниження температури до 0°C прийнято називати охолодженням, а від -5°C і нижче - доморожуванні.

Якщо початкова температура продукту вище 0°C , тривалість заморожування збільшується приблизно на 1: на кожен градус. При доведенні температури в центрі стегна напівтуші до 10°C тривалість заморожування зростає в порівнянні з часом, необхідним для заморожування до 5°C , приблизно на 18%, до -12°C - на 22%, до -14°C - на 27%, до 16°C - на 33% і до 18°C - на 40%.

М'ясо заморожують після попереднього охолодження (двофазний спосіб) і в парному вигляді (однофазний спосіб).

Тривалість заморожування м'ясної напівтуші залежить від температурного перепаду між м'ясом і охолоджуючим повітрям і швидкістю руху повітря у стегна.

Інтенсифікація заморожування м'яса, отже, і збільшення продуктивності камер можуть бути досягнуті зниженням температури повітря або збільшенням швидкості його руху.

Зниження температури повітря в морозильній камері з природним рухом повітря з -15°C до 25°C скорочує час заморожування приблизно в 2 рази, а при зниженні температури до -35°C - в 3 рази.

Середня температура повітря в морозильній камері за цикл її обороту повинна наближатися до паспортної. Завантаження парних напівтуш в холодильну камеру за допомогою робототехнічних систем виконуються безперервно - потоком синхронно з роботою його головного конвеєра або циклічно невеликими партіями до 10-15 напівтуш.

На шляху робототехнологічного комплексу розміщують напівтуші приблизно однакових вагових категорій.

Системи охолодження холодильних камер з системами робототехніки завантаження повинні працювати на повну потужність безперервно як в процесі заморожування, так і при завантаженні-вивантаженні холодильних камер.

Заморожування м'яса вважається закінченим, коли температура в товщі м'язів стегна досягає -8°C , а на поверхні буде близькою до температури повітря в холодильній камері.

10.3. Холодильне робототизоване обладнання в системі виробництва заморожуваних продуктів здорового харчування.

Робототизоване обладнання призначене для заморожування харчових продуктів, яке проєктують у вигляді холодильних камер та морозильних апаратів з мехатронними системами – маніпуляторами для завантаження та розвантаження продукції.

На харчових переробних підприємствах, як правило, в холодильних камерах заморожують м'ясо, яке розташовують на підвісних коліях. В якості охолоджуючого середовища використовують повітря, яке охолоджують за допомогою парокомпресійних та повітряних холодильних машин.

Холодильне обладнання камер заморожування складається з камерних охолоджуючих пристроїв: батарей та повітроохолоджувачів. В залежності від організації руху повітря камери заморожування виконують з примусовим та природним рухом повітря..

В залежності від організації технологічного процесу камери заморожування можуть бути камерами одно- та двофазного заморожування.

В камерах однофазного заморожування заморожують теплі (парні) напівтуші м'яса, а двофазного - напівтуші попередньо охолодженого м'яса. При однаковому конструктивному рішенні камер одно- та двофазного заморожування м'яса в камерах однофазного заморожування слід передбачати більшу площу поверхні охолоджуючих приладів.

Повітряні морозильні апарати (див.рис 10.3) на сьогодні являються найбільш поширеними. Заморожування продуктів в повітрі дозволяє зберегти їх високі смакові та поживні властивості, а також гарний товарний вигляд.

Повітря – природне і досить інертне середовище. Його можна використовувати для холодильної обробки будь-яких продуктів у широкому інтервалі значень температур, швидкості руху та типу. Ці позитивні якості повітря зумовлюють універсальність його застосування і простоту конструкції повітряних морозильних апаратів. Недоліками повітря є низька здатність до акумулювання теплоти та схильність до поглинання вологи..

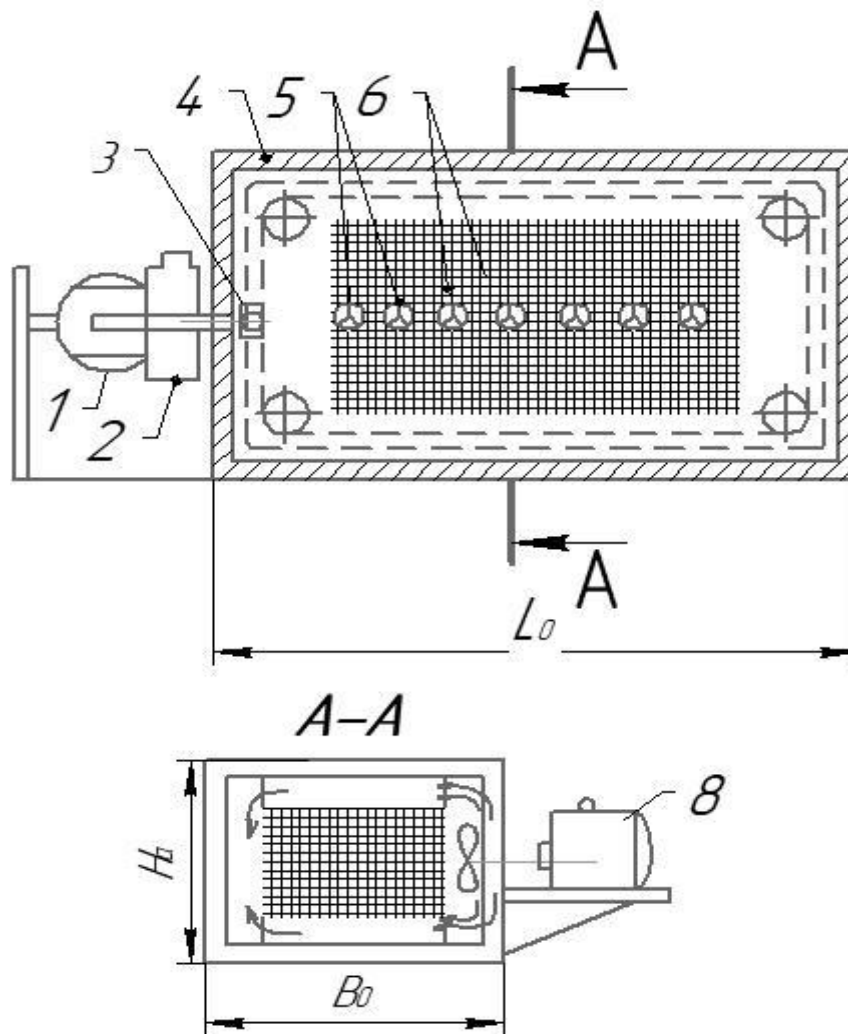


Рисунок 10.3. Принципова схема повітряного конвєсрного морозильного апарата

- 1 – вузол завантаження й розвантаження; 2 – паровий ящик (скриня);
 3 – блок – форма; 4 – ізолюваний контур апарата; 5 – осьові вентилятори;
 6 – оребрені секції повітроохолоджувача; 7 – вантажний конвеєр;
 8 – електродвигун.

Повітряні морозильні апарати складаються з вантажного відсіку та відсіку повітроохолоджувачів. У вантажному відсіку застосовують тунельну систему розподілу повітря. У вантажному відсіку знаходиться продукт, що заморожується, який пересувається різноманітними транспортними засобами, в відсіках повітроохолоджувачів розташовують секції, які призначені для охолодження повітря, системи подачі повітря (вентиляторна установка) та піддон для збору талої води, який обігрівается.

Вид системи транспортування залежить передусім від цільового призначення апарата (асортимент харчових продуктів, які

заморожуються) тайого продуктивності. Використовуються візки (етажерки), конвеєри безперервної або періодичної дії, потік повітря (флюїдизаційний шар) або комбінації цих засобів транспортування. На рис.10.4. наведена схема «Флюїдизаційний морозильний апарат великої продуктивності із зрошувальним повітроохолодником».

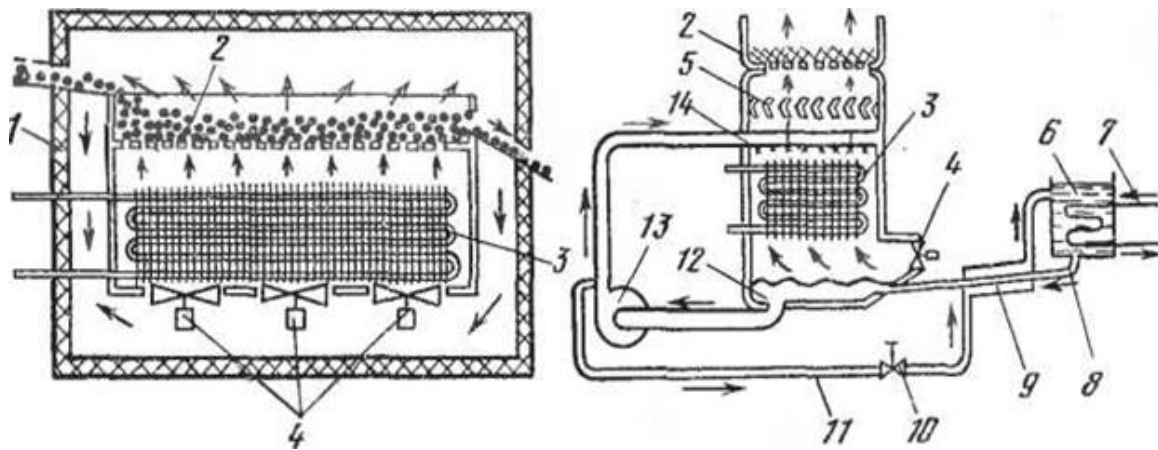


Рисунок 10.4. Флюїдизаційний морозильний апарат великої продуктивності із зрошувальним повітроохолодником:

- 1 - ізолюваний контур; 2 - піддон із перфорованим дном; 3 - повітроохолодники;
- 4 - вентилятор; 5 - краплевіддільник; 6 - конденсатор етиленгліколю;
- 7 - паровий змійовик для випаровування води з етиленгліколю;
- 8 - трубопровід для повернення етиленгліколю в піддон; 9 – теплообмінник;
- 10 - вентиль; 11 - трубопровід для подачі етиленгліколю в конденсатор;
- 12 - піддон з розчином етиленгліколю; 13 - циркуляційний насос; 14 - зрошувальна гребінка

Секції повітроохолоджувачів виконують з гладких або ребристотрубних елементів зі змінним кроком ребрення, який зменшується по ходу руху повітря. Це пов'язано з тим, що волога, яка виділяється з продукту під час холодильної обробки осаджується у вигляді інею на поверхні повітроохолоджувача, причому він випадає нерівномірно, передусім наперших по ходу руху рядів труб, що зменшує площу живого перерізу повітроохолоджувачів. Змінний крок ребрення має забезпечити збереження номінальної площі живого перерізу повітроохолоджувачів по довжині».

Система надходження повітря включає вентилятори (осьові, відцентрові) та розподільники повітря (канали, відбивачі). Будова системи залежить від аеродинамічного опору руху повітря та взаємного розташування повітроохолоджувача й продукту. Повітря може циркулювати як уздовж, так і поперек об'єму, який займає продукт і система транспортування.»

Візкові апарати бувають з подовжнім або з поперечним рухом повітря, а також з ручним і механізованим переміщенням візків або етажерок. Крім того, вони можуть бути періодичної і безперервної дії.

В апаратах періодичної дії візка з продуктом завантажуються і вивантажуються періодично, а в апаратах безперервної дії – безперервно. Схема пристрою апарату з подовжнім рухом повітря показана на рисунку 10.5. У вантажному відсіку знаходяться візки, на полицях яких розміщені продукти, які піддаються заморожуванню. Направлений рух повітря в апараті створюється хибною стелею, яка є одночасно і піддоном повітроохолоджувача.

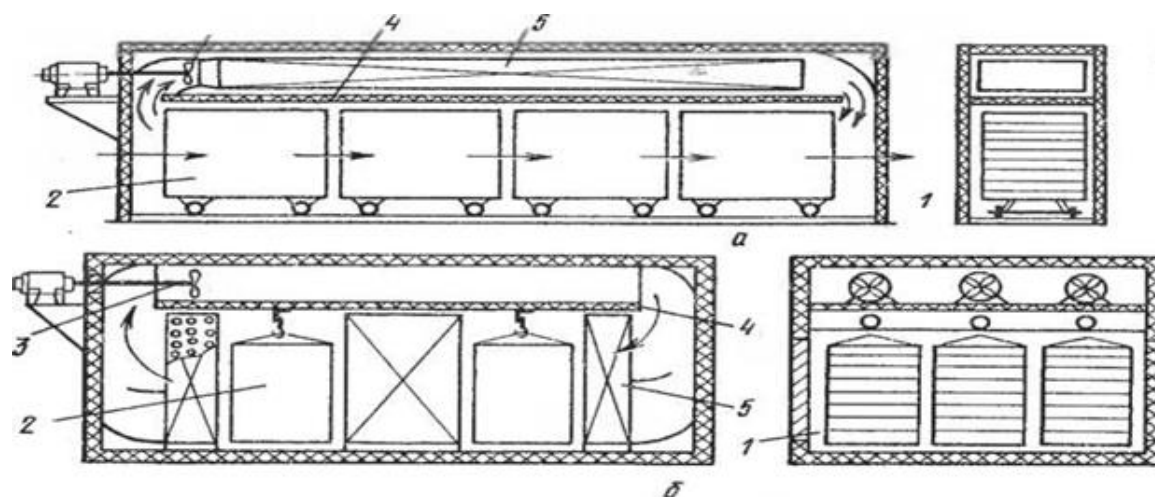


Рисунок 10.5. Візковий морозильний апарат

а – з подовжнім рухом повітря; б – із поперечним рухом повітря

1 – вантажний відсік, 2 – етажерки або візки, 3 - вентилятор, 4 – хибна стеля;

5 - повітроохолоджувач.

Апарат складається з одного або декількох вантажних відсіків, в яких знаходяться підвісні етажерки (або візки) з продуктами. Повітря, що подається вентиляторами, рухається в напрямку, перпендикулярному подовжній осі тунелю. В таких апаратах секції повітроохолоджувача утворюють вантажні відсіки.

У візкових апаратах швидкість руху повітря рівна 8–10 м/с. При однаковій швидкості руху повітря в апаратах з подовжнім рухом повітря воно нагріватиметься більше, ніж в апаратах з поперечним рухом. При великій довжині вантажного відсіку і малій кількості повітря, що підводиться, нагрів його у вантажному відсіку може збільшуватися до 6–8°C, що викликає нерівномірність заморожування продуктів в апараті.

В апаратах контактного заморожування харчових продуктів (контактні апарати) відбувається безпосереднє інтенсивне відведення тепла від заморожуваного продукту до середовища, яке відводить тепло (рідкий азот і повітря, кріогенні рідини, вуглекислота, фреон-12, що пройшов спеціальне хімічне очищення, а також холодоносії – водний розчин хлористого натрію). При безпосередньому контакті харчового продукту з середовищем, що

відводить тепло, воно повинне не викликати небажаного погіршення якості замороженого продукту.

В роботозованому апараті для заморожування розфасованих харчових продуктів із зануренням їх у ванну з рідким азотом система захоплення продукту складається з вантажного конвеєра, ванни з рідким азотом, витяжних трубопроводів, завантажувального і розвантажувального столів, ізолюваного контуру, виконаного з неіржавіючої сталі і матеріалу теплоізоляції. Продукт після фасувального автомата за допомогою системи візуалізації та системи розпізнавання надходить на завантажувальний стіл, який передає його на вантажний конвеєр.

В якості технологічного апарата для упакування замороженого продукту теж використано робот-маніпулятор з системою розпізнавання виду готової продукції.

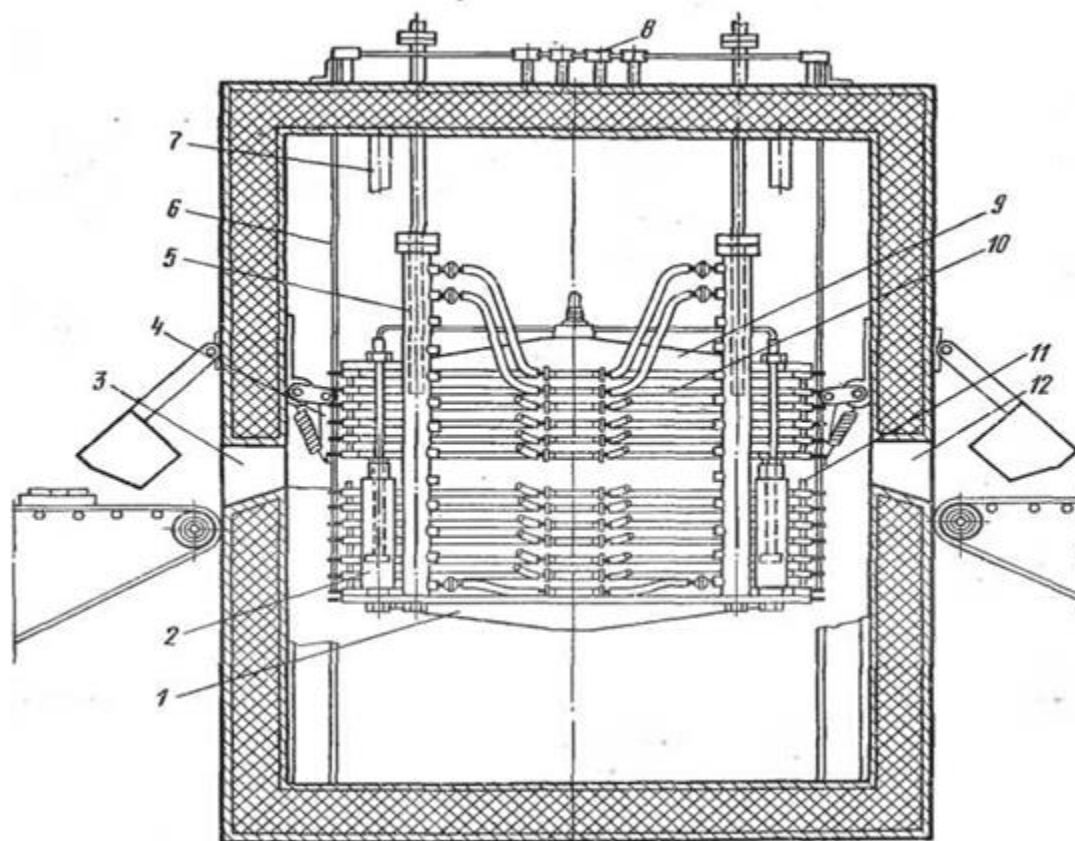


Рисунок 10.6. Роботизований апарат для заморожування розфасованих харчових продуктів.

До апаратів з безконтактним заморожуванням відносять плиткові морозильні апарати та апарати для заморожування упакованих продуктів рідкими холодоносіями. Плиткові морозильні апарати призначені для заморожування різноманітних харчових продуктів в блоках: м'яса, субпродуктів, промислової риби, рибного філе та фаршу, творогу в блоках та брикетах дрібної розфасовки, овочевих та фруктових пюре. Продукти, які

заморожені в плиткових морозильних апаратах, мають правильну форму та легко упаковуються. При транспортуванні та подальшому зберіганні таких продуктів ефективно використовується вантажна місткість робототизованих транспортних засобів та камер зберігання стаціонарних холодильників. В плиткових морозильних апаратах упакований або не упакований продукт заморожується, знаходячись в контакті з рухомими морозильними плитами або з барабанами, які обертаються.

У випарну систему робототизованого холодильного апарату холодильний агент може подаватися циркуляційними насосами.

Перейдемо до визначення основних параметрів холодильного обладнання для заморожування продуктів здорового харчування

Розрахунки холодильного обладнання виконані з використанням наукових праць вчених ДонНУЕТ (16) та авторів монографій [19,20,21,28,29,31], а розроблені ними математичні моделі дозволяють побудувати базу знань при проектуванні робототехнологічного обладнання для систем завантаження холодильних камер м'ясними продуктами та їх розвантаження та керування робототизованим процесом виробництва заморожуваними продуктами з автоматизованого робочого місця (АРМ) технолога-диспетчера

10.4. Розробка робототизованих технологій та обладнання для виробництва м'ясопродуктів здорового харчування

М'ясна продукція традиційно користуються популярністю в українських покупців і споживається практично щодня великою кількістю населення країни [60].

При цьому складна загальна економічна ситуація в багатьох регіонах у період війни РФ з Україною, а саме введення обмежень на постачання окремих видів продовольства і сільськогосподарської продукції, значна вартість логістичних операцій, а також висока інфляція призвели до зниження купівельної спроможності споживача і загострення конкуренції між невеликими регіональними і великими м'ясопереробними підприємствами Дніпропетровської області..

Тому покращення якості м'ясної продукції в цей період досягається за рахунок виробництва безпечної продукції з технологіями заморожування та робототехніки, та є важливим стратегічним напрямком розвитку галузі[1,16]

З матеріалів роботи [1,16] відомо, що науковці ДонНУЕТ приділяють значну увагу розвитку ринку вітчизняних екологічно чистих харчових продуктів. При цьому значну увагу вони приділяють використанню технологій робототизованого заморожування продукції.

Висока частота споживання м'ясної продукції при зниженні вартості продовольчого кошика і підвищеному попиті на безпечні для здоров'я продукти

харчування визначає актуальність пропонованих авторами рецептур[16] і безлюдних технологій для розширення асортиментного ряду сучасних продуктів харчування.

На рис.10.7 наведена блок схема роботизованого комплексу з виробництва заморожуваних продуктів харчування за алгоритмами та рецептами, розробленими в ДонНУЕТ.

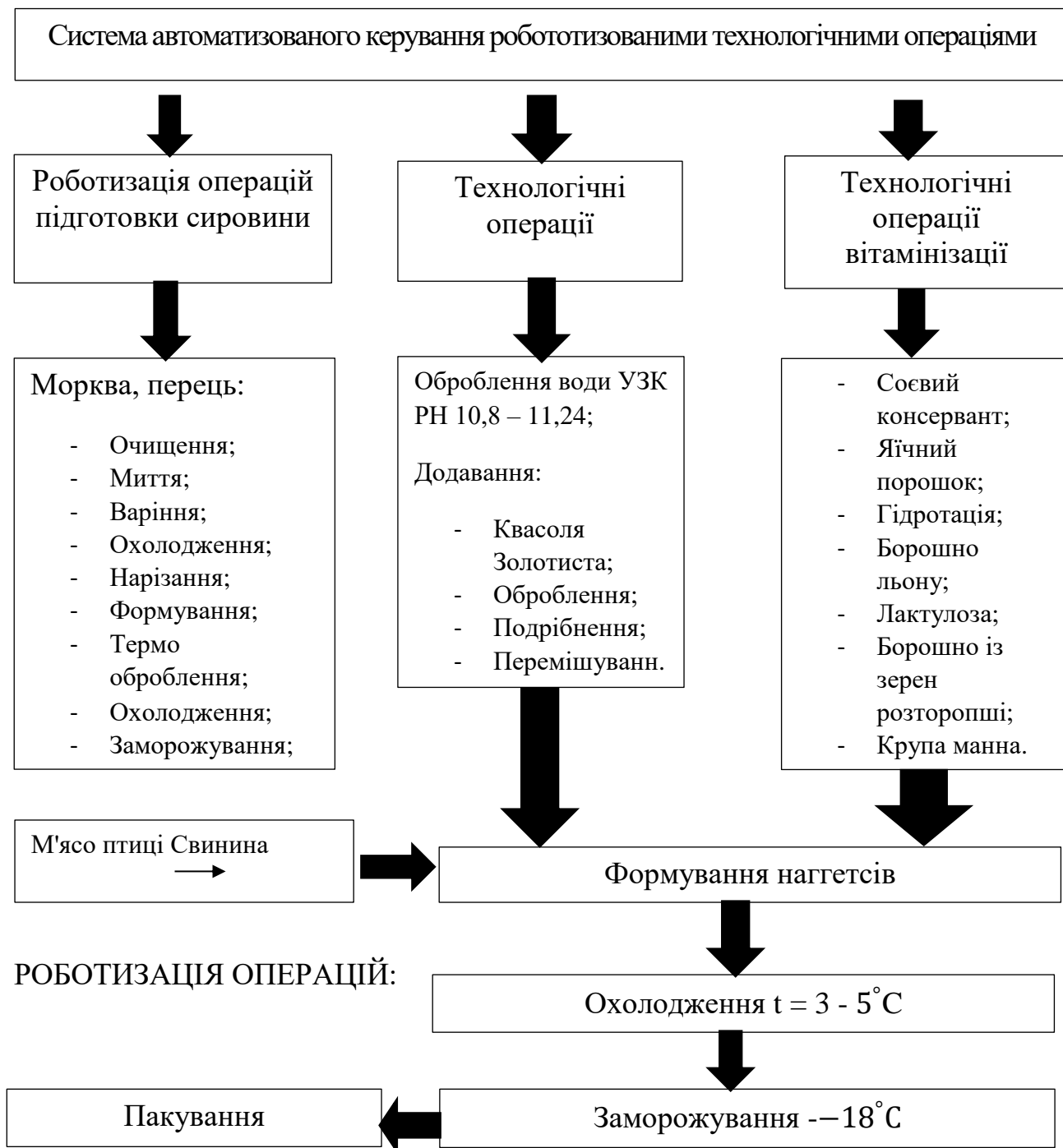


Рисунок 10.7. Робототехнологічна система виробництва продуктів харчування

Робототизований комплекс виробництва продукції здорового харчування виконує наступні технологічні операції:

1. Підготовка сировини(очищення, миття, варіння, охолодження. нарізання, формування, охолодження,заморожування);

2. Технологічні операції оброблення води та м'ясних продуктів УЗК з операціями подрібнення та перемішування;

3 Технологічні операції вітамінізації м'ясних продуктів.;

4. Роботизація операцій: охолодження до температури 3-5градусів С, заморожування до температури-18 градусів С.

5. Роботизація операцій пакування з інтелектуальною системою контролю якості котлет розпізнавання їх форми та завантаження їх в спеціальні контейнери.

На рис. 10.8. наведено типову схему робототехнологічного комплексу з виробництва продукції її заморожування та завантаження (розвантаження) контейнерів з готовою продукцією . Робототехнічна система крім цих операцій виконує операцію різання та контролю якості продукції. До структури такого робототехнологічного комплексу введені наступні системи:1. Вимірювально-інформаційні системи(сенсори);2.Система зв'язку та інтерфейсів; 3. Управлінська система з програмним забезпеченням та алгоритмами оптимізації; 4.Робоче середовище- людина,АРМ; 5. Виконавча система робототехнологічного комплексу.

В якості датчика якості м'ясної продукції використано технологію оцінки її запаху, що дозволяє значно підвищити як конкурентоспроможність продукції та терміни її збереження. В якості перспективних технологій підвищення якості заморожуваних продуктів харчування нами запропонована технологія ультразвукового оброблення м'яса в процесі виготовлення котлет та спеціальних продуктів харчування для воїнів ЗСУ.

Ця технологія дозволяє збільшити терміни зберігання продукції та покращити її якість.[2,13]

В якості контрольних зразків використовувалися: нагетси класичні, виготовлені на основі традиційної рецептури,розробленої вченими ДонНУЕТ.

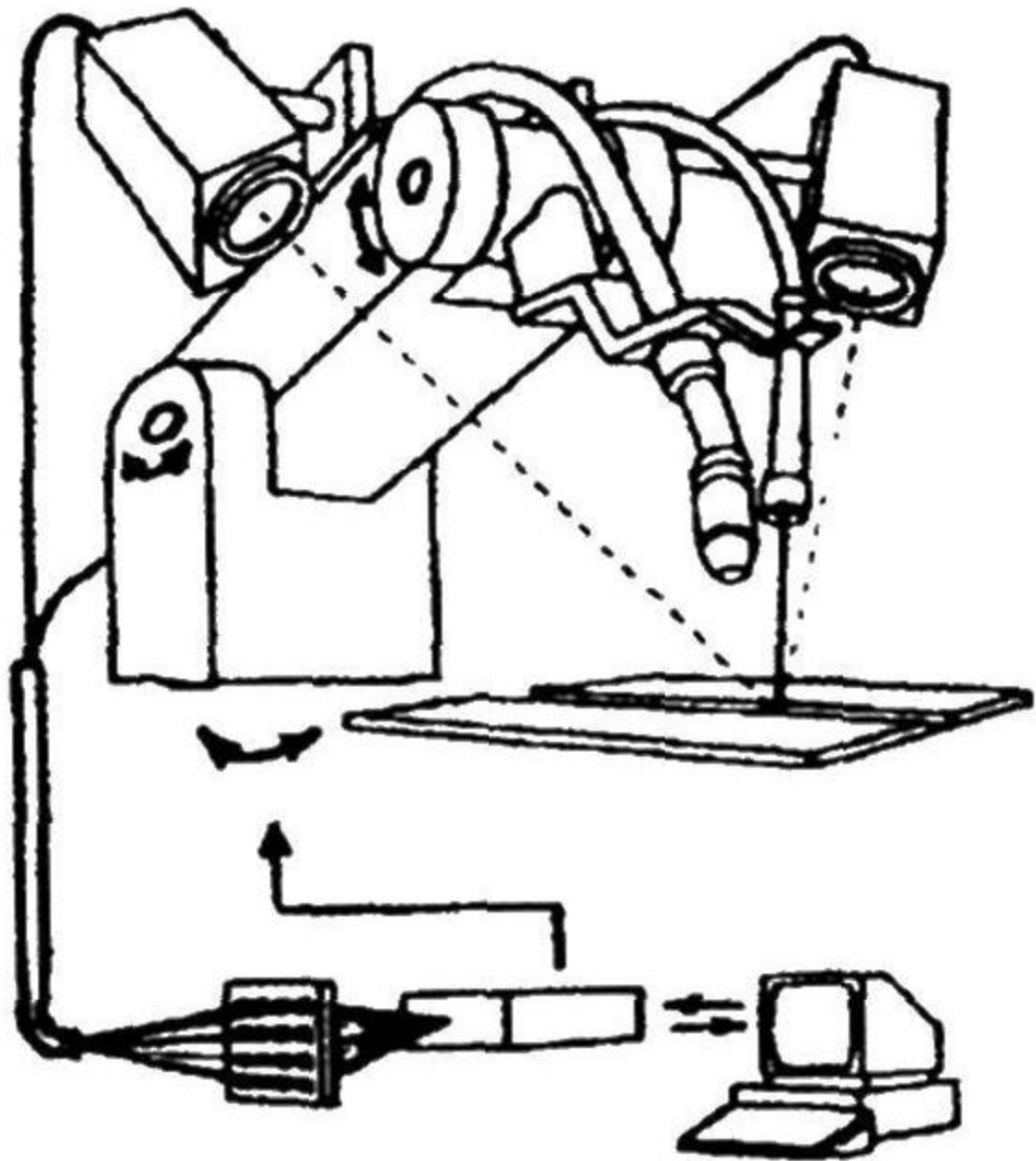


Рисунок 10.8. Типова робототехнологічна система різання м'яса

В цій темі з метою одержання синергетичного ефекту від роботизації технологічних процесів виробництва продуктів здорового харчування виокремлені якісні атрибути мехатронних пристроїв: завантажування/розвантажування- різання. Розглянемо їх детально:

1. Вільні рухи маніпуляторів та вантажопідйомність промислових роботів завантаження(розвантаження), похибку позиціонування повинні бути узгодженими з процесами заморожування та холодозабезпечення.

2. Керування технологічним процесом та обладнанням повино мати дві фази: робасну та інтелектуальну(принцип послідовного розподілу технологічних операцій). Наприклад, при наближенні робочого органу мехатронної системи до об'єкту керування, з яким необхідно виконати ту чи

іншу технологічну операцію, необхідно(програмно) виконати перехід від робастного до інтелектуального керування.

3. Принцип використання різних способів керування(робастного, адаптивного, інтелектуального з розпізнаванням параметрів якості сировини та готового продукту харчування).

4. Принцип ієрархічного керування робототизованим виробництвом продуктів здорового харчування. Ці принципи утворюють синергетичний ефект, який в рази підвищує продуктивність праці, та відповідно зменшує затрати сировини та енергозатрати, а отже збільшує прибуток.

Роботизований процес виробництва продукції будемо оцінювати за величиною одержаного прибутку. Він має місце в результаті зниження собівартості продукції. Цей прибуток буде одержано за рахунок зниження витрат підприємства-виробника замороженої продукції, пов'язаної з використанням у процесі виробництва продукції сировини, матеріалів, палива, енергії та трудових ресурсів. При цьому розрахунок постійних витрат проведено для підприємства, який виробляє 150 тонн готової продукції на рік. В якості контрольних зразків використовувалися: нагетси класичні, виготовлені на основі розроблених в ДонНУЕТ алгоритмів мінімізації витрат

10.5. Технології безпечної експлуатації та обслуговування робототизованих холодильних установок

Розпочнемо вивчення цього важливого питання з оцінки несправності робототизованих холодильних установок і їх усунення У процесі написання цього параграфу авторами використані матеріали монографій та довідників [19, 20,21,22,26,27,28,31], що дозволило побудувати базу ситуацій, аварій та несправностей в процесі експлуатації холодильних апаратів.

У процесі побудови моделей причино-наслідкових зв'язків **встановлено наступне:**

1.Несправності в холодильній установці можуть виникнути внаслідок не вірного обслуговування, а також зношення її деталей, вузлів і приладів.

2.Несправності розділяють на механічні (частіше в компресорі), по режиму роботи в циркуляційній системі і приладів автоматики. Характерні несправності холодильних установок (за режимом роботи),причини і способи їхнього усунення наступні:

Надмірно високий тиск нагнітання може бути викликано: недостатнім охолодженням конденсатора внаслідок забруднення його тепло передаючої поверхні; недостатньою подачею вентилятора конденсатора; надлишком холодоагенту в системі; наявністю повітря в системі.

3. У випадку наявності повітря в системі холодоагент проходить через ТРВ із переривчастими свистячими звуками, відбувається сильне тремтіння стрілки манометра високого тиску. Підвищений тиск усмоктування може бути з наступних основних причин: надмірно відкрита ТРВ або система переповнена холодоагентом; нещільно прилягають усмоктувальні клапани компресора, поршневі кільця; наявність повітря в системі.

Низький тиск усмоктування може бути викликано сильним забрудненням масляних фільтрів для очищення повітря; недостатньою кількістю холодоагенту в чи системі недостатнім відкриттям ТРВ; замерзанням вологи в ТРВ; засміченням чи осушувачів фільтра ТРВ. При засміченні фільтрів покривається інеем або запотіває рідинний трубопровід до місця засмічення.

Знижений тиск оліви в системі змазування можливо через недолік оліви в картері, засмічення масляних фільтрів, неправильної зборки масляного насоса, значного зносу його деталей, підвищених зазорів у рознімних підшипниках шатунів.

Вологий хід компресора характеризується тим, що температура усмоктування (по термометру) дорівнює температурі кипіння (по манометру). Робота компресора «вологим» ходом приводить до гідравлічних ударів у циліндрі, що можуть викликати аварію. Основною причиною «вологого» ходу є надмірне відкриття регулюючого вентиля подачі холодоагенту у випарник.

Для усунення перерахованих вище несправностей необхідно відповідно очистити (промити) конденсатор; злити надлишок хладона із системи; видалити повітря із системи; відрегулювати ТРВ, зменшивши подачу холодоагенту у випарник; замінити пластини всмоктувальних клапанів, поршневі кільця; замінити повітряні масляні фільтри системи вентиляції; додати хладон у систему; відрегулювати ТРВ, збільшивши подачу холодоагенту у випарник; зняти «снігову шубу» ТРВ теплою водою і замінити фільтри-осушувачі; розібрати і промити чи фільтр установити (новий; додати олію в картер компресора; зняти і промити фільтри масляного насоса, перевірити збірку насоса, замінити його зношені деталі; зменшити зазори в рознімних підшипниках шатунів, відрегулювати ТРВ, зменшати подачу хладона у випарник. [26,27,28,29,31]

У процесі виконання проєкту розробки роботизованого обладнання для заморожування м'ясних продуктів здорового харчування в кожному цеху розробляються вимоги техніки безпеки і виробничої санітарії до оснащення системами контролю за роботою компресорного обладнання, засобів захисту від враження аміаком та системами контролю положення людини відносно виконавчих механізмів робототехніки. У холодильних камерах для заморожування продуктів харчування з температурою нижче 20 градусів С.

передбачена автоматизована система візуалізації на моніторі АРМ-диспетчера «Людина в камері». Вона також встановлюється біля дверей кожної камери і виведена на пульт керування цехом.

Центральний пульт ситуаційного керування на базі АРМ-керівника оснащено: -системами контролю холодопродуктивності компресорних установок, контролю якості замороженої продукції, положення виконавчих механізмів роботів завантаження продукції в холодильну камеру;

- системами контролю температурних режимів холодильної камери, вологи, температури випарника, швидкості потоків повітря ;

- системи контролю положення виконавчих механізмів роботів-розвантаження замороженої продукції з холодильної камери.

Автоматизоване робоче місце-холодильщика цеху встановлено безпосередньо в компресорному відділенні підприємства та доповнено системою візуалізації за роботою холодильного обладнання. АРМ-холодильщика за допомогою відеокамер контролює показники контрольно-вимірювальних систем контролю, засобів локальної автоматики та сигналізації. На робочому столі АРМ-холодильщика в МП знаходяться: добові та ремонтні журнали; інструкції по безпеці експлуатації робототехніки та компресорного обладнання.

Системи інформаційного забезпечення стану повітря та втрати аміаку(холодона) надає АРМ-холодильщика інформацію про безпечну роботу персоналу в приміщеннях цеху заморожування продукції.

У машиному відділенні також обладнані: 1 - аптечка загального призначення; 2 - протиаміачна аптечка; 3 - протихолодонова аптечка; 4 - засоби індивідуального захисту персоналу від аміаку - протигази тощо.

Персонал цеху повинен мати спеціальну одягу і взуття та засоби індивідуального захисту від враження струмом.

Вентиляція машиного та апаратного відділень холодильного цеху з компресорними аміачними (холодоновими) установками повина бути виконана на основі стандартів країн ЄС, постачальників холодильного обладнання в Україну.

Техніка безпеки у робототехніці. У проблемі безпеки праці при використанні роботів можливо виділити наступні два аспекта:

- використання роботів як засобів підвищення безпечності виробництва.
- забезпечення безпеки при експлуатації власне роботів.

Перший аспект: відповідає одному головних призначень робота – визволення людей від травмонебезпечної, важкої, небезпечної фізичної праці. У процесі планування упровадження мехатронних систем у виробництво заморожуваних продуктів харчування подібні операції повинні одержувати

пріоритет і, як показала практика вони впроваджуються успішно. В харчовій промисловості до таких операцій віднесимо обслуговування компресорних установок, завантажувально-розвантажувальні роботи, а також транспортно-складські операції.

Другий аспект: мехатронні системи, з точки зору безпеки праці – це забезпечення безпечної роботи власне роботів, які при визначених умовах можуть представляти джерело підвищеної небезпеки для людини. а також для працюючого з нею обладнання. Досвід свідчить про можливі аварійні ситуації в системі МС-людина –компресорне обладнання-холодильні камери. Небезпечні виробничі ситуації виникають за рахунок наступних причин:

- несправності в робототехнологічній системі за рахунок його механічної системи або відмови в системі керування.

- помилки програмування і налагодження внаслідок чого в період експлуатації можливі некеровані рухи виконавчих механізмів з виходом із обмеженої зони або механічні пошкодження робота;

- втрата об'єкта маніпулювання та інші аварійні ситуації за рахунок перевищення динамічних навантажень і перевантажень;

- не виконання персоналом умов експлуатації МС (входження в робочу зону, особливо при відключених засобах безпеки, відсутність особистих засобів безпеки робітників, перевищення параметрів вантажопідйомності, інші порушення технічних умов експлуатації мехатронних комплексів).

- нечітке функціонування засобів безпеки мехатронних комплексів та його робочої зони(пристрої блокування, сигналізації, захисні огороження і т.п.) Статистика показує, що значна частина нещасливих випадків з обслуговуючим персоналом пов'язана з перебуванням в робочій зоні під час програмування, налагодження і виконання ремонтів. Загальні вимоги щодо безпеки при проектуванні та експлуатації робототехнічних комплексів стандартизовані. В цих вимогах є наступні позиції:

- якщо при програмуванні та налагодженні робототехнічного комплексу необхідне перебування персоналу в його робочій зоні, то в цих умовах необхідно знизити швидкість виконавчих механізмів до 0,3м/с. Пульти керування РТК повинен видавати персоналу інформацію про режими його роботи, спрацювання блокуючи пристроїв, якими повинні бути наділені робототехнологічні комплекси. Регламентовані також вимоги до захисних систем автоматики, якими наділені роботи.

Щодо мехатронних комплексів то регламентованими є:

- системи автоматики основних та допоміжних операцій із допустимим збереженням функцій за оператором лише деяких із них;

- планування комплексу з врахуванням розмірів робочих зон;

- вимоги до організації автоматизованих робочих місць АРМ-холодильщика, до ПК і систем аварійного відключення. Оператор-диспетчер з АРМ виконує перевірку обладнання компресорних установок та блокування пристроїв.,щодо узгодженого керування роботами завантаження холодильних камер та роботів розвантаження продукції

Отже,усі працівники, що зв'язані з експлуатацією чи обслуговуванням роботизованих холодильних установок, повинні бути добре знайомі з мехатронними пристроями, устаткуванням автоматики, інструкціями з його експлуатації .

Спеціальне навчання персоналу правилам техніки безпеки при експлуатації роботів –маніпуляторів у взаємодії з холодильними апаратами забезпечує працездатність технологічного обладнання та при цьому зменшується кількість можливих аварій. Про цьому кожна робото технологічна система заморожування продуктів харчування додатково включає не лише системи автоматизованого керування режимами заморожування, але і системи розпізнавання аварійних режимів, які виникають в процесі несправності холодильних машин та випарників.[24,25, 26].

У нашому випадку запропоновано включити в АСУТП робототехнологічного комплексу заморожування продукції інтелектуальні системи розпізнавання аварійних ситуацій та захисту обладнання від збурень та зниження параметрів якості продукції за допомогою розроблених вченими ДонНУЕТ комп'ютерних систем.[2, 24, 27,35]

Тема 11. Роботизовані мехатронні комплекси в системах керування холодозабезпеченням промислових холодильників

11.1. Інтелектуальні системи управління промисловими холодильними підприємствами

Четверта промислова революція, яку називають «Індустрія 4.0» тісно пов'язана зі створенням цифрових виробництв, які забезпечують кардинальне підвищення продуктивності та якості харчової продукції. Цифрові технології проєкту «Індустрії 4.0» використовують Промисловий Інтернет речей (ІІоТ), технології великих даних й хмарних обчислень, методи штучного інтелекту.

Методи штучного інтелекту [17,40] знаходять використання в системах управління мехатронними апаратами: охолодження, заморожування продукції та її зберігання.

Основними завданнями таких систем є збереження корисних властивостей продуктів, збільшення термінів їх зберігання та мінімізація енергетичних витрат. Збереження продуктів харчування в холодильних камерах промислових холодильників є одним із важливих етапів технологічного процесу забезпечення населення продуктами здорового харчування. Тому автоматизація цих процесів є актуальною проблемою цифрового інтелектуального управління промисловими холодильниками.

Активні дослідження щодо використання інтелектуальних систем керування холодильними установками проведені вченими зарубіжних країн, якими спроектовані сучасні системи автоматизованого управління процесами холодопостачання за критерієм мінімізації енергоспоживання холодильними машинами [35].

Утім методи штучного інтелекту досі не використовувались в системах холодозабезпечення промислових холодильників з N видами продукції із-за складності рішення задачі та вимагають проведення додаткових досліджень в наведеній сфері.

Метою теми є розробка багаторівневих автоматизованих систем керування процесами холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника шляхом використання інтелектуальних технологій.

У процесі вивчення теми здобувачі вищої освіти ознайомляться з методами інтелектуалізації складних технологічних процесів зберігання продукції, опис яких практично відсутній у відомих бібліографічних джерелах. Такі методи базуються на робототизації управлінських функцій оператора-холодильщика і дозволяють забезпечити технології заморожування продуктів харчування з мінімізацією втрат їх якості.

Ідея використання інтелектуалізації в системі управління процесами холодопостачання, керування процесами охолодження та заморожування продуктів харчування полягає у створенні об'єднаної інформаційним процесом сукупності технічних засобів, програмного забезпечення, автоматизованих робочих місць операторів-технологів, алгоритмів керування, баз даних, правил і знань та управлінні траєкторією виробництва холоду в реальному масштабі часу за допомогою ЕОМ.

Такі системи не лише оптимізують режими роботи холодильних машин та режимів холодопостачання, але і за рахунок використання мікропроцесорних систем керування (нижній рівень), АРМ АСУТП холодильної ланки (середній рівень), ситуаційних центрів інтелектуального управління (ЦІУ) (верхній рівень) та програмного забезпечення (ПЗ), БЗ, БП, БОД, алгоритмів нечіткого керування з нечіткими регуляторами з інтелектуальними пристроями вимірювання та інтелектуальними виконавчими механізмами, відпрацьовують

операції пуску-зупинки холодильних машин (ХМ), контролю, сигналізації, розпізнавання технологічних ситуацій, аварій та аварійних ситуацій, а, отже, мінімізують затрати енергії та вплив на навколишнє середовище у виробництві холоду. Інтелектуальна система управління промисловим холодильником наведена на рис. 11.1.

Якщо для виробництва холоду проєктанти використовують парокомпресійні холодильні машини, то інженерне обладнання повинно включати наступні локальні системи керування:

- системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора або групи компресорів;
- систему автоматичного керування роботою випарника і конденсатора;
- система пуску компресора (компресорів);
- захист від перегріву і перевантаження компресора і обладнання ХМ;
- захист від низького тиску в системі;
- комплект апаратури для вимірювання параметрів: комплект манометрів, термометрів для візуального контролю тиску і температури в компресорі та апаратах холодильної машини; вимірювальні вікна для візуального контролю рівня холодильного агента у випарнику та конденсаторі;
- систему перевірки напрямку обертання ротора компресора;
- систему контролю і регулювання параметрів змащування компресора;
- систему контролю і керування режимом роботи вентиляторів повітряного або водяного насосів конденсаторів;
- захист від швидкого повторного включення компресора при циклічному режимі його роботи;
- систему підігріву картера компресора в зимовий період;
- систему захисту випарника від заморожування і прогрівання його при замерзанні;
- мікропроцесорні системи автоматизації і контролю роботи компресора та обладнання ХМ, у тому числі регулювання за допомогою терморегулюючого вентиля ступеня перегріву холодоагенту після випарника;
- систему контролю стану і ступеня очищення холодоагенту;
- сучасні системи сигналізації про відключення та включення компресора (компресорів), про виникнення високого або низького тиску, про роботу вентиляторів (насосів) конденсатора, випадкової затримки включення компресора, стан контурів тощо;
- дисплей для візуалізації режимів роботи компресорів холодильних машин, ПЗ для графічного забезпечення інформацією ОПР та АРМ технолога-оператора;

- систему контролю параметрів гідромодуля, забезпечення циркуляцією води або холодоносія через випарник і подачі їх споживачу холоду;
- засоби контролю параметрів і регулювання температури холодоносія на виході із випарника;
- реле контролю величини потоку холодоносія через випарник (з метою запобігання його замерзанню);
- система автоматизації лінії упорскування рідкого холодоагенту для охолодження гвинтового компресора мокрого стиснення і т.п.

Кожний із перерахованих вище елементів інтелектуальної системи керування нижнього рівня має свої динамічні та статичні робочі характеристики, які потрібно враховувати при проєктуванні адаптивних нечітких регуляторів [2], задіяних на нижньому рівні керування холодильними машинами (компресорами, конденсаторами, випарниками).

Робототехнічна мехатронна система регулювання холодопродуктивності холодильної машини характеризується безперервним односпрямованим переміщенням сигналу в контурі та корекцією прийнятого рішення щодо результатів впливу холоду на параметри заморожування продукту.

У процесі проєктування розподілених нечітких АСУТП виробництва холоду необхідно за допомогою ситуаційного центру інтелектуального управління забезпечити холодопостачання на різних рівнях виробничих ситуацій, а саме:

ситуація 1 рівня характеризується керуванням лише одним компресором, при цьому забезпечуються функції керування, контролю за безпекою, регулювання холодопродуктивності і втручання ДП-холодильщика у випадку аварійної ситуації (аварії);

ситуація 2 рівня полягає у керуванні двома компресорами, при цьому до попередніх функцій додається керування узгодженою роботою компресорів;

ситуація 3 рівня полягає у керуванні машинною залогою, до набору функцій ситуації 2 додаються ще керування та нагляд за роботою насосів для холодильного агента, регулювання сепараторів рідини та теплообмінників;

ситуація 4 рівня представляє собою управління всією ХМ, включаючи контури охолодження, що створює додаткові функції (розморожування випарників, контроль за температурою, тиском і т.п., а також захист ХМ від аварійних ситуацій).

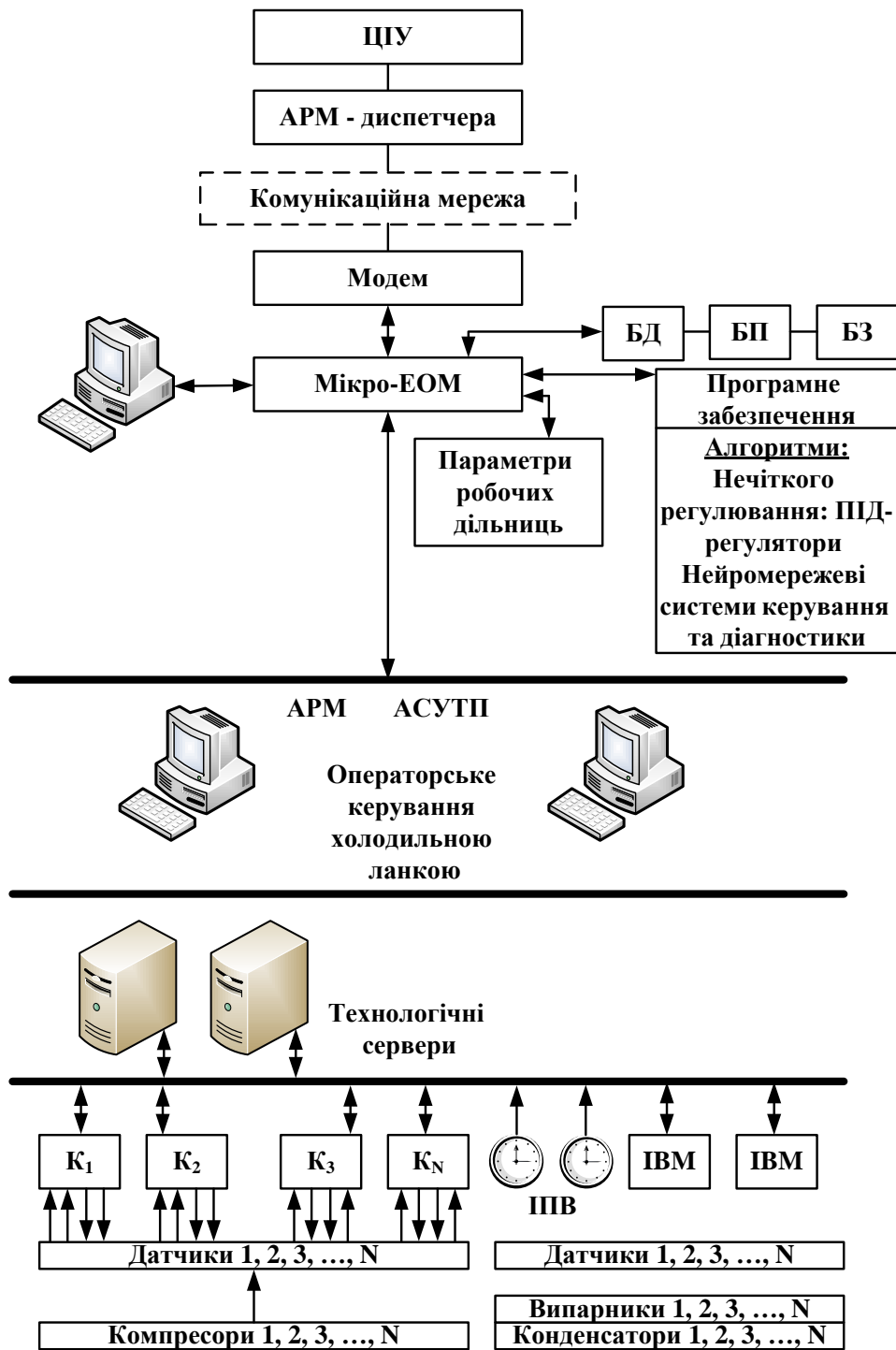


Рисунок 11.1. – Загальна функціональна схема роботизації сучасного промислового холодильника (холодильної ланки):

ЦІУ – центр інтелектуального управління;

ІВМ – інтелектуальні виконавчі механізми;

ІПВ – інтелектуальні пристрої вимірювання

В умовах інтелектуального керування виробничими ситуаціями 1-4 рівнів ОПР підприємства-холодильника приймає рішення щодо оптимізації режимів холодопостачання охолоджуваних камер для зберігання харчових продуктів підприємства. У цьому випадку в роботу включається центр інтелектуального управління (ЦУ) підприємства-холодильника (рис. 11.1).

Основними функціями ЦУ є наступне:

- керування обладнанням у відповідності з денним графіком з цифровим доступом і оперативним програмним забезпеченням (ОПЗ);
- управління енергією;
- захист обладнання, інформації й персоналу за допомогою спеціального обладнання від кібератак, контроль доступу до інформації;
- діалог людина/машина на зрозумілій мові з візуалізацією й запитом, що забезпечує виведення на друкувальний пристрій або монітор параметрів, значень, показників вимірювальних датчиків, сигналів про негаразди, час роботи, положення ВМ регулювання або керування, схем, значень перевищення граничних рівнів;
- можливість впливу на ВМ за допомогою центрального пульту (ЦП), а також різних погодинних, спеціалізованих, автоматичних, математичних або реагуючих на збурення програм;
- збереження інформації для оброблення або архівування;
- оброблення в інформаційному режимі будь-яких значень, які можуть бути представлені у формі графіків або іншої інформації, а також функцій керування та розрахунку стосовно цих величин.

Завдяки ЦУ та інформаційного забезпечення технічного персоналу відомостями про аномалії в роботі систем холодопостачання, визначення місць їх виникнення, в ОПР є можливість своєчасного прийняття рішень. Крім цього ЦУ, що працює в режимі авторегулювання і автопідлаштування дозволяє у сполученні з раціональним централізованим керуванням компресорними установками ХМ значною мірою економити енергію в результаті підвищення ефективності, оптимізації часу роботи ХМ. Все це забезпечує більш тривалий термін експлуатації обладнання та більш швидко окупність ХМ.

Відзначимо, що завдяки ЦУ топ-менеджери холодильного підприємства одержують інформацію в режимі реального часу, що дозволяє організувати роботу ХМ в оптимальному режимі за рахунок адаптивних нечітких систем керування компресорами, конденсаторами та випарниками. Тобто забезпечити траєкторією виробництва холоду за рахунок роботи автоматизованих пристроїв та забезпечити всі експлуатаційні якості ХМ. Завдяки ЦУ ОПР одержують інформацію про кількісні параметри споживаної енергії, про обладнання, що потребує обслуговування, і, головним чином, про необхідність його

модернізації. Звідси слідує, що ситуаційний центр інтелектуального управління дозволяє за рахунок систем MES, ERP керувати оперативним і стратегічним плануванням підприємства-холодильника [35].

Звернемося знову до рисунку 11.1. Уявимо собі холодильну камеру ХМ, в якій є випарник. Якщо терморегулюючий клапан встановлений вірно, то температура в камері досягає номінального значення. Але із-за впливу навколишнього середовища, наприклад, після багаторазового або тривалого відкривання дверей камери, температура внутрішнього повітря змінюється і встановити її номінальне значення можливо лише за допомогою терморегулюючого клапана. Значна кількість збурень (відкривання дверей, надходження продуктів з більш високою температурою, ніж в контейнері (складському приміщенні), збільшення притоку свіжого повітря і т.п.) призводить до змін заданої температури.

Вище перелічені збурення можуть бути скомпенсовані за допомогою адаптивних нечітких систем керування ХМ і АРМ оператора-холодильщика, пов'язаного з системами моніторингу стану обладнання та навколишнього середовища.

В якості АРМ-оператора найчастіше використовуються промислові персональні комп'ютери, які мають підвищені показники захисту обладнання від шкідливих впливів навколишнього середовища-вологи, пилу і температури. У нашому випадку – SIMATIC Panel PC [44]. Даний комп'ютер SIMATIC S7 слугує для позиціонування підрахунку подій, масштабування і керування ІВМ холодильних машин та систем холодопостачання.

Рішення задач диспетчерського керування промисловими холодильниками можливо за допомогою програмних продуктів PI System компанії OSIsoft, лінійки програмного забезпечення GE Digital, програмного продукту HIDRA компанії MPDV.

АРМ АСУТП промислового холодильника одержує інформацію від підсистеми моніторингу стану обладнання робочих дільниць. Підсистема призначена для забезпечення візуалізації і контролю стану технологічного обладнання в режимі 24/7 (24 години на добу, 7 днів на тиждень), тобто цілодобово і безперервно. Система дає можливість реалізувати презентацію з різним ступенем деталізації: від відображення на єдиній схемі групи дільниць з розподіленням обладнання (холодильних камер і систем холодопостачання) до візуалізації з точністю до окремого елемента або конкретної дільниці (компресорні станції). АРМ-диспетчера промислового холодильника обладнане відео-стіною. Вона розміщується в приміщенні диспетчерського пункту промислового холодильника. Відео-стіна представляє собою набір

встановлених рідино-кристалічних (РК) панелей, кожна із яких має діагональ 40 дюймів і роздільною здатністю не гірше 1366 на 766 пікселів.

Управлінська Мікро-ЕОМ побудована на базі персонального комп'ютера промислового виконання, який підключено до сервера-джерела бази даних системи технічного моніторингу і керування холодильним обладнанням промислового холодильника великої потужності [2].

11.2. Методи моніторингу оптимальної траєкторії процесу охолодження та заморожування харчових продуктів промислових холодильників

З метою побудови оптимальної траєкторії процесу охолодження та заморожування харчових продуктів в умовах обмеженості параметрів енергосистеми розробимо алгоритм та систему моніторингу компресорних холодильних машин.

Об'єкт моніторингу представляє собою сукупність N багатоступеневих компресорних холодильних машин (діагностичний вузол), холодоносіїв, каналів холодопостачання, холодильних камер промислового холодильника. Типова система моніторингу складається із каналів розповсюдження, системи моніторингу, системи датчиків, блоків узгодження, трактів керування, трактів розпізнавання, аналізаторів, блоків формування діагностичних ознак, блоку прийняття рішень, блоків оповіщення, відображення і реєстрації, блоків мережеских інтерфейсів (Internet/Intranet), інформаційної бази даних і знань, блока керування і синхронізації.

У той же час пропонуємо проєкт системи моніторингу промислового холодильника з блоком прийняття рішень ОПР на основі вхідного масиву діагностичних ознак і експлуатаційних даних, які зберігаються в інформаційній системі, БЗ, БД і які визначають технічний стан об'єкту моніторингу.

Отже, рекомендуємо на кожному промисловому холодильнику впроваджувати сучасні системи моніторингу стану холодильного обладнання. Основу такої системи моніторингу і диспетчеризації холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників складуть контроль параметрів вібрацій, температури ХМ, температури в холодильних камерах і якості продукції відповідно до стандартів країн ЄС.

Температура і частота вібрацій можуть вказати ОПР на ознаки виходу із ладу обладнання ХМ-холодопостачання-холодильних камер промислового холодильника. Тому в АСУТП промислового холодильника необхідно проєктувати системи діагностики холодильного обладнання на базі існуючих

систем інтелектуального керування, IoT та системи обладнання датчиків і станцій LoRaWAN [2,41].

Контроль вібрації підшипників компресорів ХМ та якості мастила для них дозволяють зменшити кількість аварійних ситуацій. Якщо підшипники недостатньо змащені, через тертя компресор нагрівається і починає більше вібрувати, що призводить до аварійних ситуацій та непланових ремонтів обладнання. Промислові системи контролю LoRaWAN з датчиками температури, вібрацій, тиску дозволяють контролювати:

- температурні режими роботи ХМ, тиск і температуру робочої речовини, яка направляється в конденсатор КД, де конденсується за рахунок відведення теплоти в навколишнє середовище;
- температурні режими і тиск робочої речовини у випарнику та питому масову холодопродуктивність;
- температурні режими роботи електроприводу компресорних машин та насосів (температуру нагріву обмоток електродвигунів та їх підшипників);
- якість заморожування продукції та її температуру.

Відзначимо, що LoRaWAN – це протокол передачі даних, використання якого є раціональним в умовах вимірювання вібрацій, температури, тиску робочої речовини холодильного обладнання з розумними датчиками одержання інформації про стан навколишнього середовища, яка не займає великий об'єм даних. В якості датчика температури та вібрацій пропонуємо використовувати Netvox R718E.

Якщо отримувати інформацію про оптимальні та критичні значення температури а саме: частоту вібрації, тиску й холодопродуктивності холодильного обладнання з використанням IoT, то можливо спроектувати бездротову систему діагностики холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника. Серцем будь-якого проєкту Інтернету-речей (IoT) є його софтверна складова. Для проєкту системи моніторингу обладнання холодильних машин – це LoRaWAN Network Server, яка забезпечує спілкування між собою датчиків, актуаторів і базових станцій.

LNS також передає інформацію до ChirpStack LoRaWAN application-server (LAS), який відповідає за бізнес-логіку. Зв'язка LNS-LAS, як правило працює за MQTT протоколом, забезпечуючи таким чином універсальність обміну інформації з датчиками й системами контролю та ОПР.

Для передачі інформації з LAS Things Board PE далі в SCADA з підтримкою OPC UA (наприклад, Siemens Win CC Schneider Electric EcoStruxure або Open SCADA) використовується механізм інтеграції, який забезпечує різноспрямований обмін інформації OPC UA Server- LAS в мережі IoT холодозабезпечення промислового холодильника. LoRaWAN-мережа дозволяє

також підключати датчики руху, контролю відчинення дверей тамбурів і холодильних камер, а головне, контролювати за допомогою датчиків струму витрати електрики на кожній стадії виробництва холоду та холодопостачання. Використання в системі моніторингу технологій ІоТ дозволяє ОПР постійно отримувати інформацію про стан компресорного обладнання і холодозабезпечення холодильних камер, збільшити горизонт прогнозування відмов обладнання.

В системі діагностики ХМ передбачено використання штучного інтелекту з метою обробки масиву даних і розпізнавання та прогнозування АРМ-холодильщика аварійних ситуацій, аварій тощо. Економічний принцип роботи датчиків дозволяє експлуатувати систему збору даних без технічного обслуговування впродовж тривалого часу, оптимізуючи параметри холодопостачання та забезпечуючи високу надійність обладнання, а, отже, якість продукції охолодження-заморожування.

11.3. Управління холодозабезпеченням холодильних камер смарт-промислових холодильників

Розробка технологічного обладнання виробництва смарт-продуктів харчування для населення, яке мешкає на територіях з техногенним тиском, пов'язана зі створенням і використанням холодильних машин, технологій холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників.

Відомо широке використання штучного холоду в системах збереження харчової продукції (м'яса, риби, птиці тощо), яку заморожують, доморожують, розморожують на різних стадіях виробництва, транспортування і зберігання [2,19,20,21,22,28,51,52]. Холод використовують у технологіях виготовлення, охолодження і збереження ковбас, консервів, кондитерських виробів. Заморожують також фрукти, овочі, ягоди в спеціальних холодильних камерах промислових холодильників (ПРХ). Найбільше розповсюдження в процесах виробництва холоду одержали компресорні парові холодильні установки, в основі принципу дії яких лежить теоретичний цикл Карно [2]. Технологічні процеси виробництва холоду за допомогою холодильних машин характеризуються значною енергоємністю, потенційно небезпечні, на їх роботу впливають збурення, які можна віднести до квазінелінійних технологічних процесів (з енергетичними втратами в магістралях і в обладнанні установок, змінним складом і властивостями холодильних агентів, забрудненням і корозією теплопередавальних поверхонь) [19]. Складність технологічних процесів заморожування (охолодження) продуктів харчування за критерієм

збереження їх якості і основного технологічного обладнання (холодильних установок, конденсаторів, випарників) промислових холодильників, чисельність і взаємозв'язок параметрів, необхідних для оперативного контролю і управління технологічними процесами холодозабезпечення в темпі з процесом, вимагають від науковців розробки автоматизованих систем керування з високим рівнем інформаційного забезпечення оперативного персоналу інформацією про стан заморожуваного (охолоджуваного) продукту та стан обладнання холодильних машин. Тому розробка теоретичних основ оцінки керування холодопродуктивністю холодильного обладнання та розробка систем контролю параметрів холодильних камер з мінімізацією втрат якості продукції за рахунок помилок оперативного персоналу є важливим і актуальним завданням в плані впровадження цифрових систем керування складними процесами виробництва холоду.

Активні дослідження ведуться у сфері інтелектуального цифрового керування холодильники компресорними машинами відносно розробки й удосконалення принципово нових рішень автоматизованих систем управління промисловими холодильниками [2, 20, 31].

У більшості наукових праць [5, 6] автори підкреслюють складність поставлених задач і недостатність даних щодо автоматизованого керування технологічними процесами заморожування продуктів у холодильних камерах великої продуктивності (більше 1,5...2 тон) з різними температурами заморожування і зберігання.

У наукових працях [20, 21,22] доведено, що об'єкти холодозабезпечення віднесені авторами до багато параметричних, з достатньою великою кількістю лінійних зв'язків, а тому оптимізація якості зберігання продуктів харчування, тобто стабілізація температурних режимів і мікроклімату в холодильних камерах, вимагає використання спеціальних і достатньою складних алгоритмів керування. Класичні системи регулювання в даній задачі керування технологічними процесами заморожування (охолодження) продуктів харчування без втрати їх якості в умовах, наприклад, ситуації з обмеженням потужності енергосистеми, не враховують багатозв'язаність параметрів і нелінійність цих зв'язків. У той же час підтримання параметрів холодозабезпечення в N холодильних камерах у заданих межах також в повній мірі не вирішує задачу керування, оскільки найбільш важливим є підтримання оптимальних процесів теплообміну між повітрям і продуктом, що призводить до уповільнення охолодження і заморожування, в зв'язку з чим відзначаються великі втрати маси продукту, а, отже, потрібна велика виробнича площа для камер холодної обробки [27, 28, 29, 35].

У зв'язку з цим представляється перспективним використання інтелектуальних технологій керування процесами заморожування (охолодження) в харчовій промисловості з максимальним врахуванням рекомендацій виробничого персоналу і результатів досліджень різних процесів заморожування в умовах багаторівневого управління промисловим холодильником.

Отже, підвищення якості керування технологічним процесом холодозабезпечення холодильних камер будемо виконувати за рахунок розробки нейромережових регуляторів, інтелектуальних систем підтримки прийняття оперативних рішень та АСУТП промислових холодильників.

Технологічні процеси виробництва холоду за допомогою компресорних холодильних машин характеризуються великою кількістю циклічних, розділених і з'єднаних технологічних потоків, множиною регулюємих і контролюємих параметрів. Вони залежать від:

- некерованих стрибкоподібних змін навантаження,
- енергетичних втрат в магістралях холодопостачання і в обладнанні холодильних установок;
- зміни властивостей і складу холодильного агента і теплопередаючих поверхонь.

Крім цього, технологічні процеси виробництва холоду є енергоємними в силу фізичних закономірностей виробництва холоду і відносяться до числа потенційно небезпечних, що обумовлено агресивними, ядовитими, вибухонебезпечними властивостями холодильних агентів [21, 22].

Загальна задача стратегічного оперативного управління промисловими холодильниками з сучасними компресорними холодильними машинами полягає в регулюванні холодопродуктивності ХМ при зміні теплового навантаження на об'єкт охолодження і стабілізації режимів роботи обладнання (компресора, конденсатора, випарника) за допомогою регуляторів, датчиків температури, вологи, тиску, мікропроцесорів та АСУТП [24, 25, 27, 35] холодозабезпечення мікроклімату холодильних камер.

На рис. 11.3. наведено загальну структуру взаємозв'язків, оцінених експертним шляхом, параметрів холодильної машини, холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника.

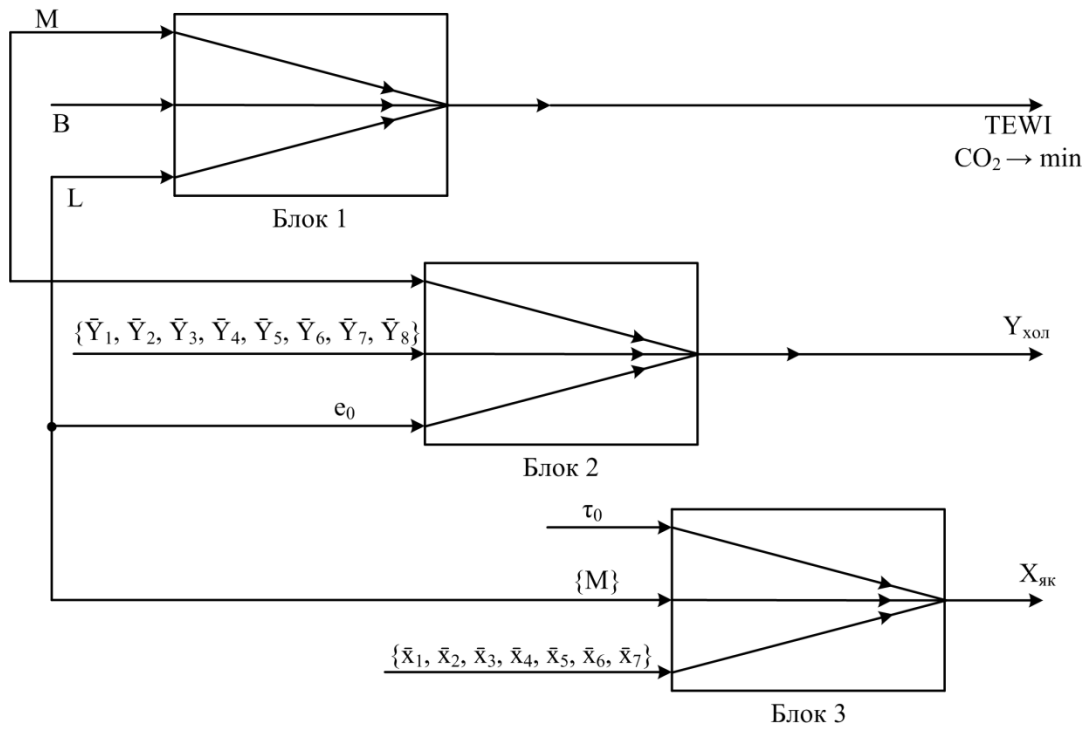


Рисунок. 11.3. Загальна структура взаємозв'язків вхідних і вихідних параметрів холодильної машини (XM) холодозабезпечення холодильної камери (XK) промислового холодильника

Забезпечення номінальних параметрів мікроклімату холодильної камери призведе, в свою чергу, до збереження корисних властивостей продукту заморожування (охолодження) і збільшить термін його придатності. У той же час, проєктанти повинні забезпечити оптимізацію витрат електроенергії (в період підтримування ефективної роботи холодильних машин), а за рахунок використання сучасних систем контролю викидів в атмосферу двоокису вуглецю забезпечити не лише мінімізацію викидів CO₂ в атмосферу, а, головне, вибрати найбільш небезпечні холодоагенти [1, 2]. У світовій практиці для аналізу впливу холодильних агентів на зовнішнє середовище використовують параметр TEWI (Total Equivalent Warning Impact). Він носить назву сумарної еквівалентної теплової дії [24].

$$TEWI = GWP \cdot M + \alpha BL \quad (11.1)$$

де GWP – потенціал глобального потепління;
 M – маса емісії холодильного агента в атмосферу;
 α – коефіцієнт, що характеризує емісію двоокису вуглецю в атмосферу під час вироблення 1кг CO₂/1кВт·год електроенергії;

B – кількість електроенергії, спожитої за період роботи холодильної установки, кВт·год;

L – час роботи холодильної установки, год.

Звернемося до рис. 11.3, на якому наведена загальна структура взаємозв'язків вхідних і вихідних параметрів:

- зовнішнього середовища (блок 1) з мінімізацією викидів $\text{CO}_2 \rightarrow \min$ в атмосферу;
- холодильної машини з мінімізацією питомих витрат енергії e_0 і чинників $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \bar{Y}_4, \bar{Y}_5, \bar{Y}_6, \bar{Y}_7, \bar{Y}_8, \bar{Y}_9\}$, які характеризують холодозабезпечення $\bar{Y}_{\text{хол}}$ та, відповідно, холодопродуктивність холодильних компресорних машин (блок 2);
- залежність втрат якості продукту заморожування $X_{\text{як}}$, тривалості заморожування τ_0 продукту і чинників $\{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \bar{x}_5, \bar{x}_6, \bar{x}_7\}$, які визначають параметри якості заморожування продуктів та параметри мікроклімату $\{M_{\text{х.к.}}\}$ холодильної камери (блок 3) промислового холодильника.

Параметри мікроклімату $\{M_{\text{х.к.}}\}$ холодильної камери тісно пов'язані з параметрами $X_{\text{як}}$, $\bar{Y}_{\text{хол}}$, TEWI, τ_0 , e_0 і на них впливають різні управлінські та збурюючі фактори [19, 20]. Отже, холодильна камера промислового холодильника, як об'єкт керування є багатопараметричною системою з великою кількістю нечітких нелінійних зв'язків. Для покращення якості керування складним технологічним процесом заморожування харчових продуктів необхідно розробити інтелектуальну систему керування процесом холодозабезпечення із заданими параметрами мікроклімату $\{M_{\text{х.к.}}\}$, в основі якої буде покладено технології нечіткого оцінювання параметрів $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \dots, \bar{Y}_9\}$ і $\{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_7\}$ та технологій прийняття оптимальних рішень [16]. Суттєвою перевагою такого підходу з використанням інтелектуальних технологій є:

- відмова від високоточних систем контролю параметрів мікроклімату $\{M_{\text{х.к.}}\}$;
- скорочення часу (зменшення часу) вимірювання параметрів їх реєстрації та обробки;
- підвищення об'єктивності досліджень;
- можливість прогнозування параметрів TEWI, $X_{\text{як}}$, $\bar{Y}_{\text{хол}}$, в режимі реального часу.

Для побудови АСУТП холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника необхідно:

- визначити параметри, що їх необхідно контролювати, та управлінські впливи на регульовані параметри холодопродуктивності ХМ;
- розробити інтелектуальну систему підтримки прийняття операційних рішень (ІСППОР).

Для цього необхідно розробити критерії холодозабезпечення та якості заморожуваного продукту харчування.

У процесі визначення експертних знань [2] та побудови бази даних і бази знань із джерел [19, 20, 21, 22, 51, 52, 56, 57, 58,] використано ряд змінних, які визначають параметри холодозабезпечення, мікроклімат холодильних камер та параметри CO_2 .

Експертним шляхом доведено, що критерій холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника $Y_{хол}$ залежить від наступних чинників:

Y_1 – холодопродуктивності холодильних машин; Y_2 – витрати холодильного агента (кг/с) через компресор; Y_3 – температури кипіння холодоагенту; Y_4 – потужності, що споживається електродвигуном компресора холодильної машини; Y_5 – параметра TEWI (сумарної еквівалентної теплової дії) з мінімізацією емісії двоокису вуглецю; Y_6 – теплового балансу холодильної камери (приміщення охолодження); Y_7 – тиску холодоагенту у випарнику; Y_8 – швидкості заморожування продукту харчування; Y_9 – геометрії заповнення холодильної камери продуктом заморожування.

За експертними даними побудовано модель виду:

$$Y_{хол} = b_1Y_1 + b_2Y_2 + b_3Y_3 + b_4Y_4 + b_5Y_5 + b_6Y_6 + b_7Y_7 + b_8Y_8 + b_9Y_9. \quad (11.2)$$

З коефіцієнтом множинної кореляції $R_M = 0,989$ модель можна використати в АСУТП для прогнозування параметрів $Y_{хол}$ та спроектувати нейромережевий регулятор для керування холодопродуктивністю холодильних машин промислового холодильника. На рис. 11.4 наведено структуру трьох-канального нейромережевого регулятора керування: 1 – холодопродуктивністю двохступеневої компресорної машини; 2 – холодопродуктивністю конденсаторів; 3 – продуктивністю випарників.

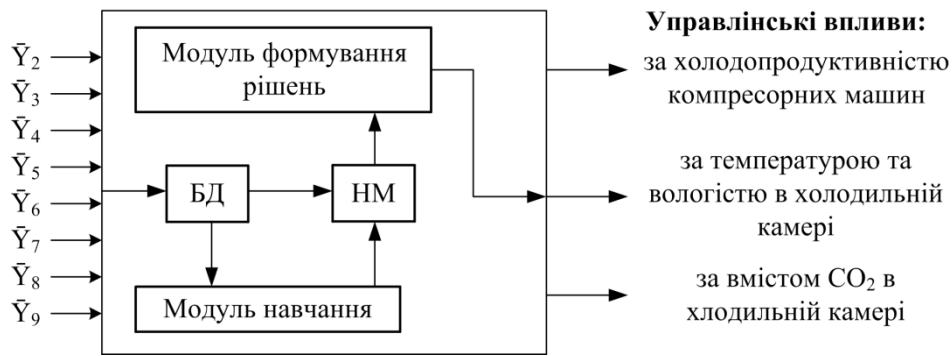


Рисунок 11.4. Структура нейромережевого регулятора холодильної машини

Нейромережевий регулятор складається із чотирьох блоків. Від підсистеми збору даних SCADA-системи інформація про параметри $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_9$ надходить до бази даних, яка передає параметри в модуль навчання, у якому нейромережа навчається. Разом із вхідними параметрами $\{\bar{Y}\}$ база даних передає в нейромережу також попередні дані про параметри $\{\bar{X}\}$ мікроклімату в холодильній камері, значення управлінських впливів та інформацію про вхідні параметри якості заморожуваного продукту.

Після цього навчена нейромережа за допомогою модуля формування рішень видає інформацію: 1 – на АРМ особи, яка приймає рішення; 2 – на виконавчі інтелектуальні механізми компресорів, конденсаторів-випарників, забезпечуючи холодопостачання холодильних камер для заморожування м'ясних продуктів промислового холодильника [19,20, 56,57,58].

Відповідно, на виході нейромережевого регулятора на дисплей АРМ диспетчера подаються рекомендації щодо підтримування значень фізичних величин – управлінських впливів щодо температурних режимів, вологи та мікроклімату в холодильній камері.

У процесі вивчення оптимальних параметрів мікроклімату холодильних камер промислового холодильника експертним шляхом оцінюються такі нечіткі параметри:

x_1 – відносна вологість повітря в камері; x_2 – температура в камері $t_{x,k}$;

x_3 – температура замороженого продукту; x_4 – витрати електроенергії поршневими компресорами, конденсаторами для досягнення заданих параметрів мікроклімату холодильних камер; x_5 – час роботи холодильної камери (годин) з номінальними параметрами заморожування продукту;

x_6 – витрати холодоагенту; x_7 – параметри CO_2 в атмосфері.

На підставі цього одержимо такий критерій якості:

$$X_{як} = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7. \quad (11.3)$$

де $X_{як}$ – параметр, що характеризує якість заморожуваного (охолодженого) продукту.

Ми уже відзначали, що параметри $X_{як}$ продукту залежать від багатьох зовнішніх факторів і від параметрів мікроклімату всередині холодильної камери, для яких можливо побудувати нечітке дерево рішень за методикою [2]. Адаптивне дерево рішень для $X_{як}$ (якості заморожування продукту харчування) наведено на рис. 11.5.

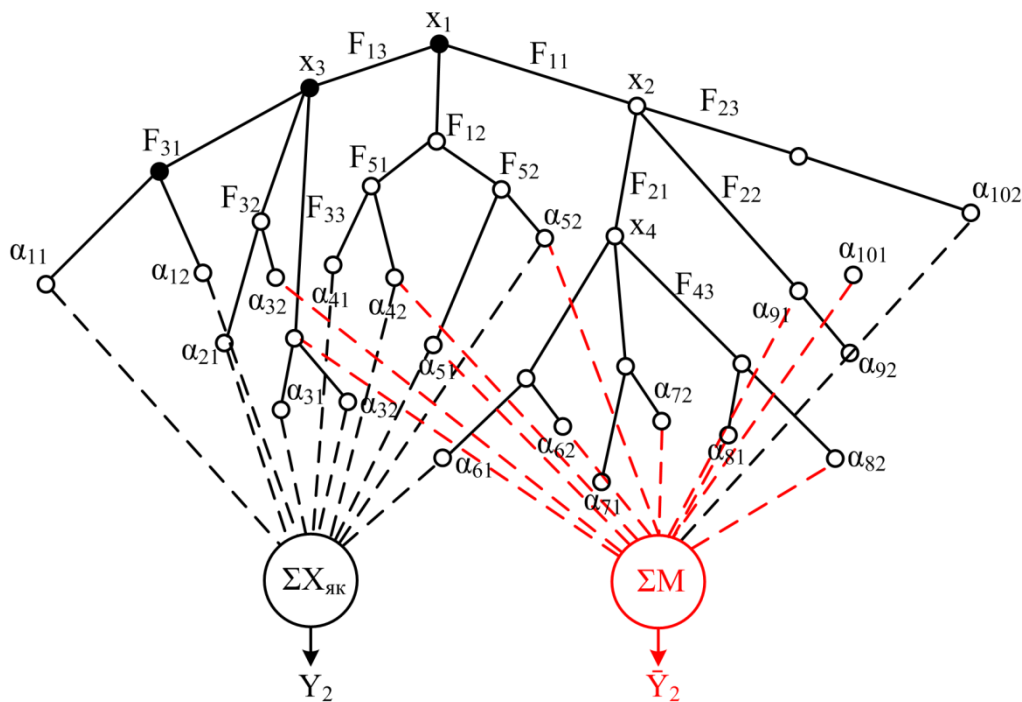


Рисунок 11.5. Дерево нечітких рішень

Дерево прийняття рішень – це дерево, в листі якого побудовані значення цільової функції, а в інших вузлах – умови переходу (наприклад, «Холод» ∈ «Процес заморожування»), які визначають, за яким із ребер необхідно пройти. Якщо для даного спостереження умова «дійсна», то має місце перехід по лівому ребру, якщо умова є «неправдою» – перехід здійснюється правим ребром. Зазвичай, кожний вузол включає перевірку однієї незалежної змінної. Якщо змінна, яка перетворюється у вузлі, приймає категоріальні значення, то кожному можливому значенню відповідає гілка, що виходить із цього вузла дерева. Якщо значенням змінної є число, то перевіряється, більше або менше це значення деякої константи. Для підвищення точності класифікації будемо використовувати нейрон-нечітке дерево рішень, яке має властивість адаптації параметрів за допомогою нейромережевого навчання [14,30, 37].

На рис. 11.5. наведено лише частину основного дерева рішень з двома інтегрованими вихідними вузлами. Ці вузли додані до дерева рішень, щоб сформулювати виведення діагностуючих правил рішень: щодо забезпечення параметрів холоду, а, отже, і продуктивності ХМ, та транспортування холоду до холодильної камери ($\Sigma Q \rightarrow Y_1$);

- мікроклімату в холодильній камері ($\Sigma M \rightarrow Y_2$) та відповідно до ситуації, коли y_1 не відповідає заданим параметрам холодозабезпечення $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \dots, \bar{Y}_8\}$, холодопродуктивності Y_1 і параметрам $\bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \dots$, наведеним в моделі (11.2).

Тоді необхідно спрогнозувати також Y_2 – параметри мікроклімату холодильної камери $\{M\}$, які не забезпечують оптимальний режим заморожування $\{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_7\}$, тобто $\bar{y}_{\text{як.пот.}} \notin \bar{y}_{\text{як.зад.}}$.

Отже, будемо класифікувати два стани холодозабезпечення холодильних камер: $\bar{Y}_1 \in 1$; $\bar{Y}_1 \in 0$ та два стани мікроклімату: $\bar{Y}_2 \in 1$; $\bar{Y}_2 \in 0$.

При цьому будемо використовувати нейромережевий принцип навчання, який інтерпретує цикл зворотного зв'язку по ієрархічному нечіткому дереву рішень [12]. Адаптація параметрів Y_1 і \bar{Y}_1 , Y_2 і \bar{Y}_2 значно покращує точність класифікації дерева рішень без втрати інформації про якість заморожуваного продукту харчування, витрат енергії та діагностики параметрів холодопродуктивності та працездатності компресорів ХМ.

З метою обчислення, наприклад, Y_1 , з усіх листів вузла, які відповідають класу 1 («так») знайдені значення ваги α_{m1} підсумовуються. У даному випадку α_{m1} ($0 \leq \alpha_{m1} \leq 1$) можливо інтерпретувати як ступінь належності, що m -й шлях може класифікувати клас 1. Утім відзначимо, що у всіх листових вузлів, що відповідають класу 0 «ні» знайдені значення ваги α_{m2} підсумовуються, щоб знайти \bar{Y}_1 . З метою довільного набору даних вагу класу l на m -листовому вузлі визначимо наступним чином:

$$\mu^i_{path_m} \times \alpha_{ml}, \quad (11.4)$$

де $\mu^i_{path_m}$ – ступінь належності $path_m$, яку обчислюють за формулою:

$$\mu^i_{path_m} = \prod_{j=1, \dots, 7} F_{jm}(S_j^t), \quad (11.5)$$

де F_{jm} – функція належності j -ї змінної, яку визначено на m -шляху.

Кожний m -й шлях ($m = 1, \dots, 7$) визначається на просторі вхідних шляхів у перетині від кореневого вузла до m -го листового вузла. Наприклад, $path_6$ на рис. 9.3. можна класифікувати як клас 1 («так») зі ступенем належності α_{62} [2].

Ступінь належності всіх листових вузлів, що відповідають класу l , підсумовуються щодо розрахунку прогнозних значень належності:

$Y_l^i (l = 1, 2)$ i -го набору при проходженні через дерево рішень;

$$Y_l^i = \sum_{m=1}^7 \mu_{path_m}^i \times \alpha_{ml}, \quad (11.6)$$

де $0 \leq Y_l^i \leq 1$.

Після завершення процесу класифікації формуються класи від найбільшого ступеня належності l_0

$$l_0 = \arg \max \{Y_l^i\}. \quad (11.7)$$

$i = 1, 2$

У випадку оцінки параметрів мікроклімату холодильної камери $\{M\}$ за параметрами $X_{як} = f(x_1, x_2, \dots, x_7)$ оцінка «так» відповідає класу оптимального заморожування, проте оцінка «ні» відповідає класу неоптимального заморожування продукту харчування.

На основі побудованого нейро-нечіткого дерева рішень (рис. 9.3), що приймає рішення ОПР (диспетчер-оператор, технолог), розробимо інтелектуальну систему підтримки прийняття оперативних рішень (ІСППОР). Для цього запишемо основні нечіткі правила класифікації:

- оптимального мікроклімату холодильної камери $\{M\}(x_{k_1}, x_{k_2}, \dots, x_{k_N})$ та якості заморожуваного продукту;
- ефективності параметрів холодозабезпечення (енергоефективності) холодильних камер промислового холодильника.

Для оцінки мікроклімату $\{M\}$ холодильної камери запишемо наступні правила:

IF(x_1 is F_{11} ^ x_2 is F_{21}) THEN $x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{11})$ and $x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{11})$
 IF(x_1 is F_{11} ^ x_3 is F_{31}) THEN $x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{21})$ and $x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{22})$
 IF(x_2 is F_{11} ^ x_4 is F_{41}) THEN $x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{31})$ and $x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{32})$
 IF(x_1 is F_{12} ^ x_5 is F_{51}) THEN $x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{41})$ and $x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{42})$
 IF(x_1 is F_{12} ^ x_5 is F_{52}) THEN $x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{51})$ and $x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{52})$
 IF(x_1 is F_{13} ^ x_2 is F_{21} ^ x_3 is F_{31}) THEN $x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{61})$ and $x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{62})$
 IF(x_1 is F_{13} ^ x_2 is F_{21} ^ x_4 is F_{41}) THEN $x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{71})$ and $x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{72})$
 IF(x_1 is F_{13} ^ x_2 is F_{21} ^ x_5 is F_{51}) THEN $x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{81})$ and $x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{82})$
 IF(x_1 is F_{13} ^ x_6 is F_{61} ^ x_7 is F_{71}) THEN $x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{91})$ and $x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{92})$
 IF(x_1 is F_{13} ^ x_4 is F_{41} ^ x_6 is F_{61} ^ x_7 is F_{71}) THEN $x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{101})$ and $x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{102})$

Для холодозабезпечення холодильних камер запишемо наступні нечіткі правила роботи компресорних машин і холодильних апаратів промислового холодильника:

$IF(Y_1 \text{ is } K_{11} \wedge Y_2 \text{ is } K_{21}) \text{ THEN } Y_{\text{хол}} = \text{YES}(\alpha_{11}) \text{ and } Y_{\text{хол}} = \text{NO}(\alpha_{11})$
 $IF(Y_1 \text{ is } K_{11} \wedge Y_3 \text{ is } K_{31}) \text{ THEN } Y_{\text{хол}} = \text{YES}(\alpha_{21}) \text{ and } Y_{\text{хол}} = \text{NO}(\alpha_{22})$
 $IF(Y_1 \text{ is } K_{12} \wedge Y_3 \wedge Y_4 \text{ is } K_{43}) \text{ THEN } Y_{\text{хол}} = \text{YES}(\alpha_{43}) \text{ and } Y_{\text{хол}} = \text{NO}(\alpha_{43})$

 $IF(Y_5 \text{ is } K_{51} \wedge Y_6 \wedge Y_7 \wedge Y_8 \wedge Y_9 \text{ is } K_{89}) \text{ THEN } Y_{\text{хол}} = \text{YES}(\alpha_{89}) \text{ and } Y_{\text{хол}} = \text{NO}(\alpha_{90})$

На основі розроблених нечітких правил, нечіткого регулятора і АСУТП промислового холодильника [56,57,58] запропонуємо інтелектуальну систему керування. На рис. 11.6. наведено схему такої системи у вигляді функціональних блоків: АРМ-диспетчера; АРМ-оператора (технолога); ІВМ – інтелектуальних виконавчих механізмів; МКП – монітору корпоративної продуктивності; ПЗ – програмного забезпечення; серверів, MES, ERP, Промислового Інтернету-речей (ІоТ), цифрової платформи «Іжа». А також з системами керування параметрами мікроклімату холодильної камери ПРХ, виконаними в SCADA-системі Trace Mode [2] і системи цифрових датчиків температури, вібрацій, продуктивності, потужності, геометрії продукту заморожування, вологи тощо [37, 57]. Система забезпечує завдяки МКП коректну візуалізацію технологічного процесу, передачу даних про хід технологічного процесу в режимі реального часу (SCADA-система Trace Mode, інтеграція контролерів виконана за допомогою системи OS-9 і мови програмування стандартів ІЕС 1131.3).

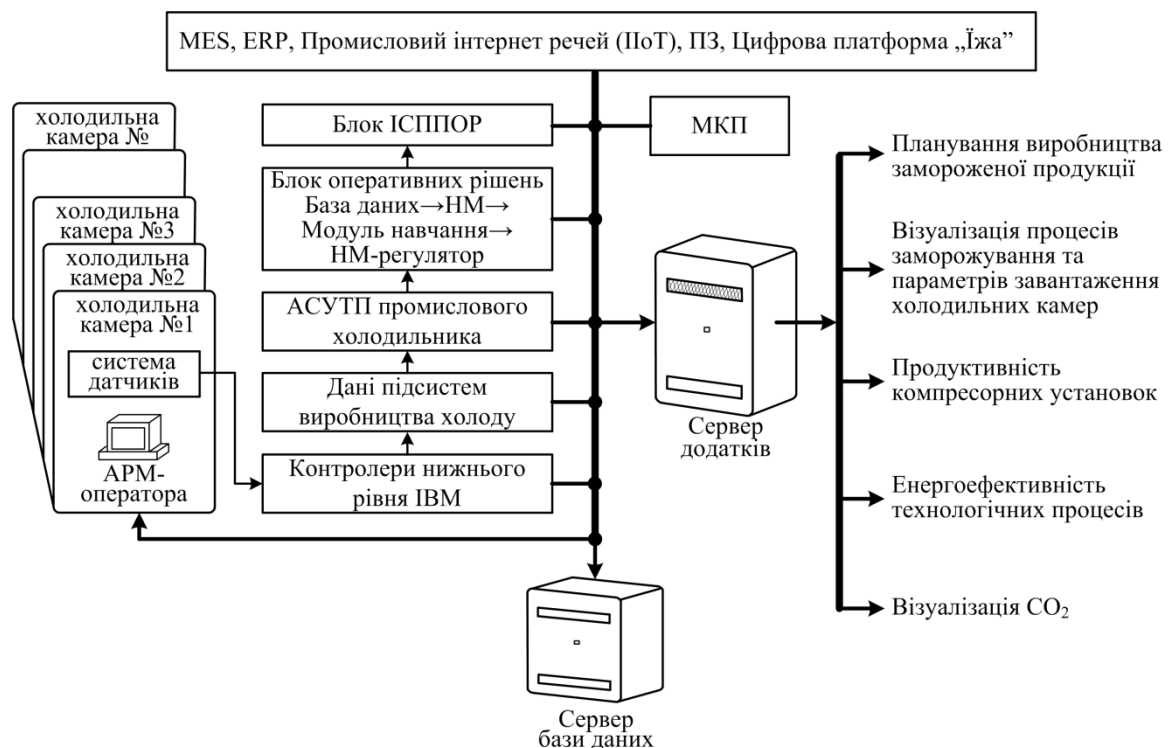


Рисунок 11.6. Функціональні блоки системи керування промисловим холодильником

Параметри візуалізації, що наведені на рис. 11.6., дозволяють технологу (АРМ-оператора) контролювати за допомогою МКП як якісні показники – параметри заморожуваного продукту, так і параметри мікроклімату холодильної камери, управлінські параметри, параметри збурень, енергетичні параметри компресорних машин.

Результати імітаційних досліджень на спеціальному лабораторному стенді холодильної камери показали, що розроблена система:

- забезпечує вимоги до якості цифрового керування холодопродуктивністю компресорних машин (перерегулювання цифрової системи складає 5%, що забезпечує показники якості заморожування продукції);
- є адаптивною по відношенню до умов виконання технологічного процесу щодо заморожування продуктів харчування зі змінними структурами продукту;
- забезпечує мінімізацію викидів CO₂ та запобігає втраті смакових властивостей заморожуваного продукту.

Таким чином, розроблено технічні рішення щодо реалізації системи інтелектуального керування процесами заморожування продуктів харчування зі змінними характеристиками якості. За умови нечіткої інформації розроблено моделі холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника й побудовано дерево нечітких рішень. Спроектовано нейронечіткий регулятор з інтелектуальними виконавчими механізмами керування холодопродуктивністю компресорів, конденсаторів-випарників в АСУТП смарт-холодильника, забезпечуючи задані параметри мікроклімату холодильних камер із заданими параметрами якості продукції та мінімізацією викидів CO₂.

Імітаційне моделювання системи інтелектуального керування технологічним процесом заморожування продуктів харчування в умовах лабораторного полігонного стенду підтвердило: показники якості цифрового керування процесом; система забезпечує коректну візуалізацію технологічного процесу та запобігає втрачання смакових властивостей заморожуваного продукту.

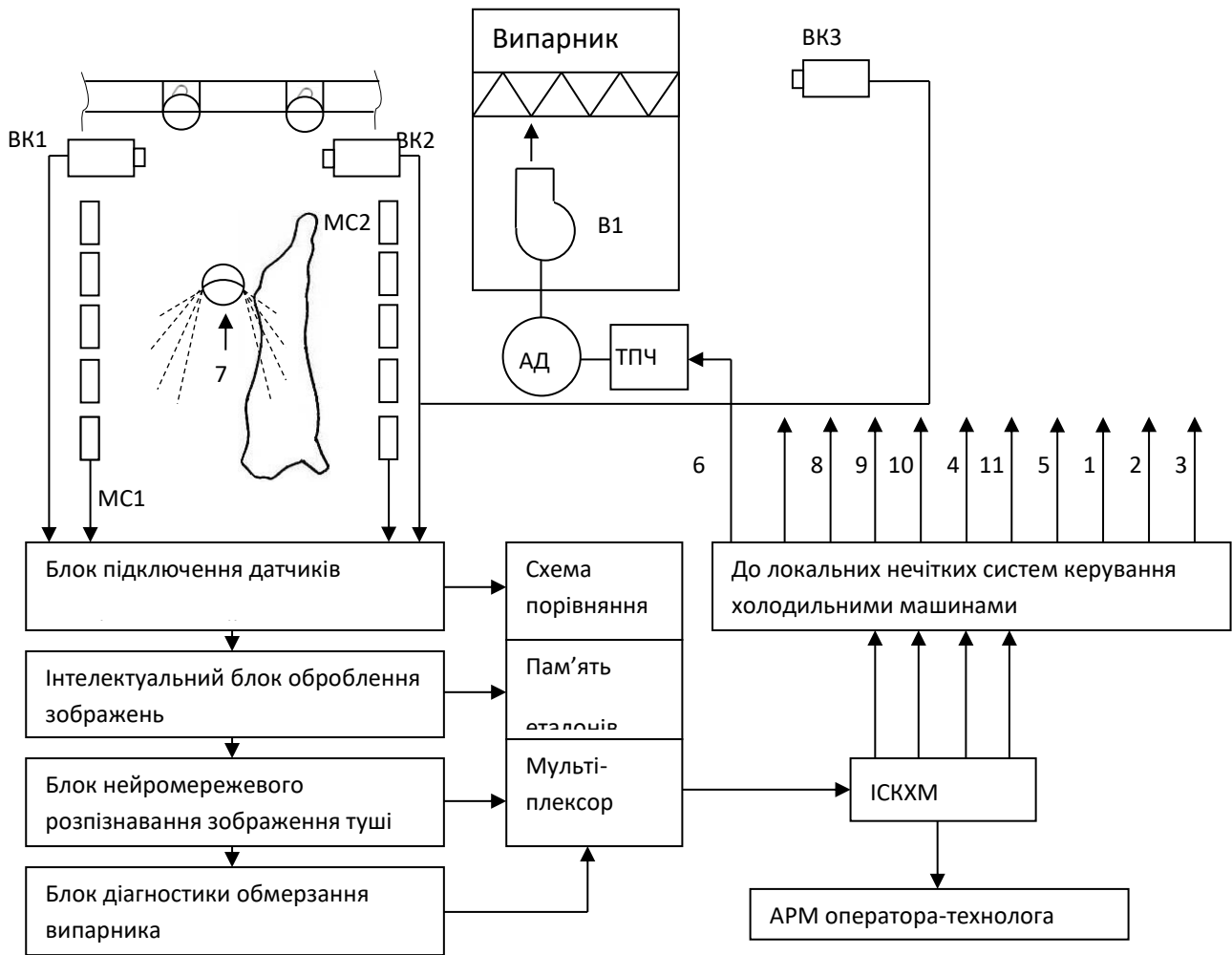
11.4. Удосконалення систем контролю та мехатронного керування процесом заморожування продукції в холодильних камерах промислових холодильників

Для рішення цих інноваційних завдань будемо використовувати інтегровані методи нечіткої оцінки геометрії туші, її кольору з використанням як матричних сенсорів з ультразвуковими чутливими елементами, так і системи з відеокамерами комп'ютерного зору [2, 10,11]. Такий підхід формування інтегрального зображення туші ВРХ за допомогою нейромережових технологій дозволяє:

- одержати інтегральні інформаційні параметри зображень туші ВРХ при формуванні сигналів з ультразвукових чутливих елементів та
- система дозволяє визначити геометрію, топологію і колір туші ВРХ для порівняльних сигналів зображення і зміни положення туші, її кольору тощо.
- система визначає геометричні параметри локальних та інтегральних ділянок туші у вигляді параметрів площини, радіусів, довжини, ширини, кількості точок перетину контурів, геометричного центру і елемента зображень, ділянок холодильної камер, що постійно аналізуються. При цьому перехід до типу зображення виконується на основі обчислення адаптивного коефіцієнту (експертного навченого зображення) і того дійсного зображення туші ВРХ, яка є в холодильній камері;
- система може розпізнавати ділянку території за допомогою нейромережових технологій, що дозволяє оператору-технологу (холодильщику) аналізувати кількість туш ВРХ та можливість додаткового дозавантаження холодильної камери.

На рис. 11.7. наведена схема інтелектуальної системи керування холодозабезпеченням холодильної камери. В холодильній камері для заморожування м'яса у вигляді туші, представленої на рис. 9.7, наведено схему положення туші ВРХ з системою одноканального розподілення повітря та систему датчиків розпізнавання геометричних розмірів (ВК1, ВК2, МС1, МС2), а також відеокамера ВК3 в системі розпізнавання стану випарника.

Розпочнемо синтез цієї системи (рис. 11.7) з вивчення принципу дії інтегрованих датчиків контролю геометрії тіла ВРХ. У системі, як уже вказано, використано також матричний сенсор з ультразвуковим чутливим елементом



**Рисунок 11.7. Інтелектуальна система керування
холодозабезпеченням холодильної камери**

На рис. 11.7 ІСКХМ – інтелектуальна система керування холодильною машиною. Відеокамери В1, В2, В3 призначені для відображення розмірів туші та стану обмерзання випарника. Інтелектуальний блок оброблення відеозображень перетворює зображення туші від відеокамери в бінарну матрицю. Блок діагностики обмерзання випарника – система візуалізації оцінки стану намерзання льоду на поверхню випарника. Блок нейронного розпізнавання зображень туші окремими вхідними пристроями приєднаний до деяких виходів інтелектуального блоку оброблення зображення туші, схеми порівняння, пам'яті еталонів. Блоки підключення відеокамер ВК1, ВК2, ВК3 та МС1, МС2 зображень виконані у вигляді багатоканального мультиплексора. Визначення геометрії туші в статті виконано за рахунок оцінки зображень різних розмірностей і кольору та обчислення оцінки:

$$\bar{v} = arc\ extr\xi[F_1(\lambda), R_1(\lambda, v)], \quad (11.8)$$

де ξ – міра наближення поточного зображення (відеосигнали з ВК1, ВК2, МС1, МС2) і еталонного зображення з параметрами R (R – еталонний розмір туші ВРХ);

$F_1(\lambda), R_1(\lambda, \nu)$ – функції, які описують геометричні розміри (геометрію) дійсної туші і еталонної відповідно.

Як правило матричний сенсор утворює з'єднання двопозиційних, або пропорційних датчиків, які розташовані на прямокутній решітці(див.рис.11.8,11.9).

Положення кожного датчика визначається його адресою, тобто номерами строчки і стовбців, на пересіченні яких знаходиться.

Сукупність адресів з діючих датчиків (які мають стан «1») несуть інформацію про форму, положення і орієнтацію об'єкту, з яким контактує датчик. Якщо в якості об'єкту досліджень обрати форму і геометрію великої рогатої худоби (ВРХ), тоді в якості сенсорів ми можемо використати матричні сенсори, дія яких основана на п'єзоєфекті [24, 25]. В цих датчиках в основному використовуються гнучкі полімерні п'єзоплівки. Схема матричного датчика на основі п'єзоелектричної плівки (полівінілфториду) представлена на рис. 11.9. Мініатюризація електричних елементів і нові технології їх виготовлення дозволили створити багат шарові інтегровані структури, які об'єднуються в одному модулі. Чутливий елемент і електронні пристрої повинні виконувати первинне оброблення сигналів.

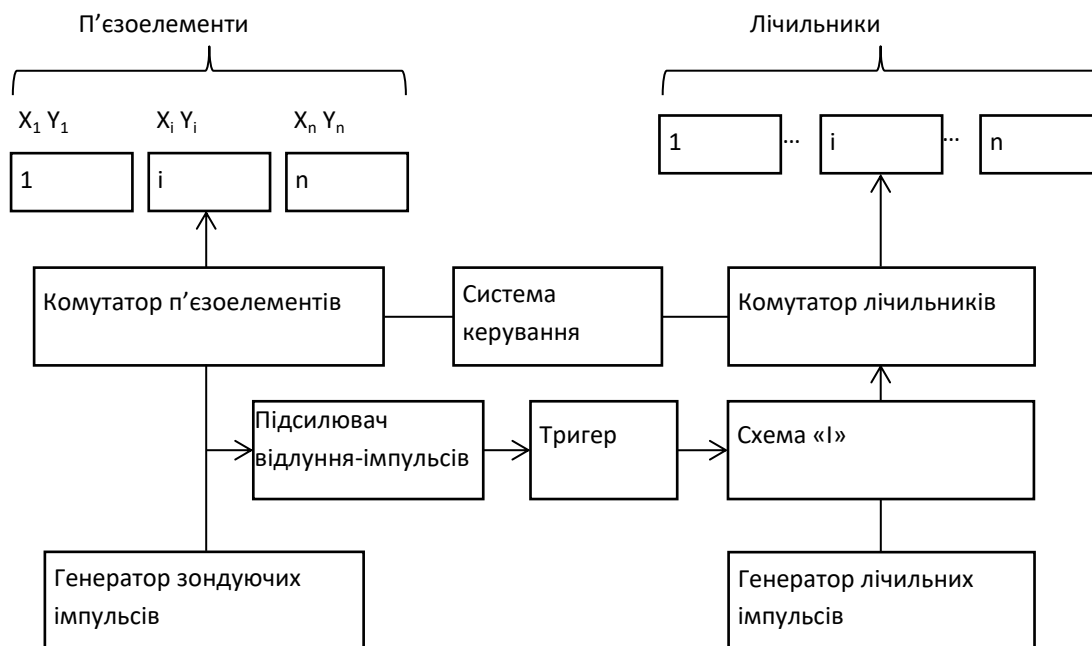


Рисунок. 11.8. Блок схема системи керування матричним сенсором

Типовим прикладом є багатошарова матриця з п'єзотричним ефектом, яка представлена на рис. 11.9. Коли в процесі прикладення високочастотної змінної напруги п'єзокристал починає генерувати ультразвукові коливання, то в результаті обчислень можливо отримати інформацію про розміри об'єкта досліджень. Отже одним із варіантів датчика геометрії буде пристрій, який реалізує відлуння-імпульсний метод ультразвукової локації-геометрії тушки ВРХ. Ультразвукові перетворювачі утворюють інформаційну поверхню, на яку може реагувати система керування холодозабезпечення ХК промислового холодильника. Об'єкт ВРХ може перекривати деяке число перетворювачів. Знаючи адресу перекритих перетворювачів, можливо одержати інформацію про площину і геометрію ВРХ (об'єкта). Сенсор дозволяє також визначати і третю координату – висоту об'єкту в точці по заданому адресу. Для цього на ультразвукові перетворювачі послідовно надходять зондуючі імпульси – короткі імпульси (<1 мкс) великої амплітуди (100-150 В). Збуджені цими імпульсами перетворювачі надсилають ультразвукову хвилю. Хвиля розповсюджується через повітря в тіло ВРХ і, досягнувши перелому у вигляді межі між двох середовищ (наприклад, поверхня об'єкту), відіб'ється від нього.

Відбиті ультразвукові коливання будуть прийняті тим же перетворювачем, що приводить до появи відлуння-імпульсів на його виході. При відомій швидкості розповсюдження ультразвукових коливань в матеріалі об'єкта, його висота (Z) в даній точці визначаються співвідношенням $Z = tv/2$, де t – інтервал часу між подачею зондуючого імпульсу і появи відлуння-імпульсу. Зондуючі імпульси від генератора надходять послідовно на п'єзодатчики через комутатор. Одночасно зондуючий імпульс надходить на тригер, формуючи на виході сигнал підвищеного рівня відлуння-сигнал після підсилення також надходить на тригер, скидаючи цей сигнал. Таким чином, довгота вихідного сигналу тригера пропорційна висоті Z об'єкта в точці за адресою X, Y , що визначається комутатором [24]. Для перетворення цієї довготи в цифровий код, імпульс тригера відкриває ключ, через який на вхід відповідного лічильника надходить сигнал, який підключає комутатор. Від високочастотного генератора надходять лічильні імпульси, накопичене число яких до появи відлуння-імпульсів пропорційно висоті об'єкту.

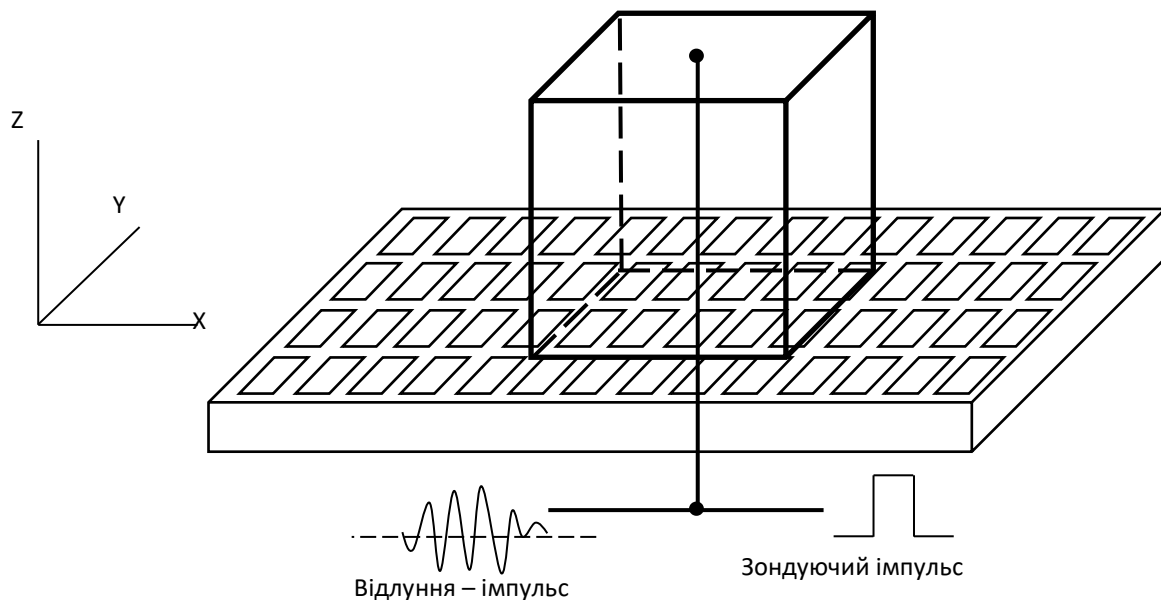


Рисунок 11.9. Матричний сенсор

Перетворювачі та лічильники підключаються на період, який визначає максимально допустиму висоту об'єкта. У відсутності відлуння-імпульсу (об'єкта в даній точці не має) лічильники переповнюються. Сигнал переповнення використовується для скиду лічильника і для комутації наступних сигналів датчика і лічильника. Із блока 4×4 ультразвукових елементів створено матричний датчик, який має 1024 елементів, утворюючих чутливу поверхню 160×160 мм². Сенсор дозволяє функціонувати на високих частотах зондуєчих імпульсів ($10^6 \dots 10^9$ Гц), що визначає його швидкодію.

На рис. 11.10 наведено систему комп'ютерного зору холодильної камери великої потужності для заморожування м'яса ВРХ. В системі використано банки експертного зображення ВРХ, та експертну систему і алгоритм розпізнавання обмерзання випарника холодильної камери промислового холодильника.

У системі комп'ютерного зору геометрії туші ВРХ також використано: відеокамери ВК1, ВК2 та систему сенсорів МС, регістри вхідних даних (РВД), цифро-аналогові перетворювачі ЦАП-АПЦ, мультипроцесор паралельно-конвеєрного обчислювального середовища, алгоритм розпізнавання еталонних і реальних (поточних) моделей зображення туші ВРХ.

Система нейроуправління холодозабезпеченням дозволяє оператору-технологу автоматично керувати інтелектуальними виконавчими механізмами 1, 2, 3, 4, 5. А саме: 1 – холодопродуктивності поршневого компресора із синхронним двигуном першого каскаду; 2 – холодопродуктивності гвинтового компресора із електроприводом АД-ТПЧ; 3 – керування процесом конденсації в

системі холодопостачання; 4 – керування витратами холодоагенту; 5 – керування параметрами енергозабезпечення холодильних машин.

Система дозволяє також розпізнавати на основі нечітких моделей процес обмерзання випарника холодильної камери промислового холодильника та надавати команди інтелектуальним виконавчим механізмам 6, 7, 8, 9, 10, 11.

Серед них: 6 – сигнал-команда щодо зміни продуктивності АД-ТПЧ вентилятора В1; 7 – сигнал щодо зміни параметрів вентилятора В2; 8 – зміни режимів роботи тиску холодоагенту у випарнику; 9 – управління параметрами мікроклімату в холодильній камері; 10 – керування тривалістю заморожування м'яса туші ВРХ; 11 – керування процесом диспергування (обмерзання).

Перейдемо до технології контролю геометрії заморожуваного продукту в холодильній камері з відеокамерами ВК1, ВК2 і системами цифро-аналогового перетворення сигналів (ЦАП) і виведення інформації на монітор оператору-технологу.

У системі керування процесами заморожування та оцінки геометрії тіла ВРХ використано метод нейроуправління з еталонною моделлю (*Model Reference Adaptive Control, Neural Adaptive Control*) [2, 14, 49, 50]. Запропонований підхід до побудови системи керування та контролю параметрів геометрії туші ВРХ дозволяє підвищити якість перехідного процесу часу заморожування, а також мінімізувати втрати якості продукту. Створено банк експертних зображень, який має еталон зображення багатьох ВРХ, і за допомогою алгоритму розпізнавання в системі повинен бути ідентифікований образ геометрії ВРХ у вигляді експертного розміру R [55]. Так як цифрове зображення представляє собою матрицю чорно-білого зображення туші ВРХ шкала градації сірого кольору має довжину від 0 (чорний колір) до 255 (білий колір). Таким чином, на вхід НМ можна подати значення кожного пікселя цифрового зображення ВРХ у вигляді інформаційної матриці векторів. Допустимо, що система навчена розпізнавати 10 зображень ВРХ. Отже, вихідний шар нейронної мережі повинен мати 10 нейронів, кожний з яких «навчений розпізнавати» відповідне тіло ВРХ. Якщо на виході будь-якого нейрона сигнал є максимальним по відношенню до іншого, то тоді цей нейрон є «головним» у системі розпізнавання. Оскільки він зв'язаний з образом визначеного тіла ВРХ із цієї десятки, то ідентифікаційною буде та форма ВРХ, якій відповідає даний нейрон. Відмітимо, що у випадку використання комбінації сигналів з відеокамер ВК1, ВК2, і матричних сенсорів з ультразвуковими чутливими елементами, покращено рівень ідентифікації трьохвимірного простору туші ВРХ за рахунок мультипроцесора та алгоритмів паралельно-конвеєрного обчислювального середовища [55]. Оптимізація параметрів холодозабезпечення холодильних камер ПРХ для виконання

операції заморожування м'яса в системі, забезпечено також за допомогою нечітких систем розпізнавання образів [2, 14, 54,55]. Нечіткі системи успішно зарекомендували себе для рішення подібних задач керування складними технологічними процесами заморожування хліба, інших продуктів харчування для людей, що мешкають на територіях, що працюють на підприємствах з техногенним забрудненнями [17].

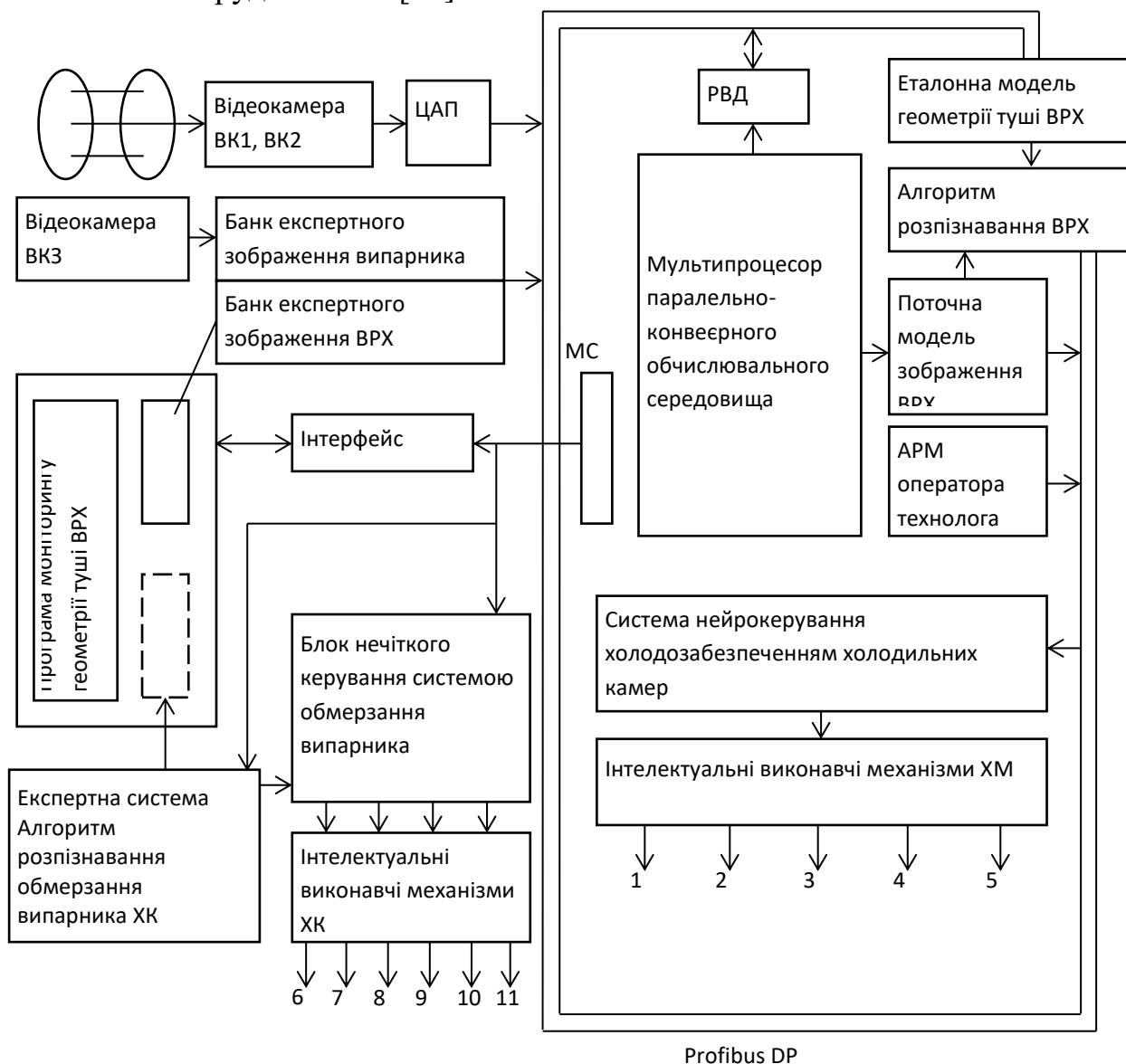


Рисунок. 11.10. Система комп'ютерного зору зображення геометрії тіла ВРХ та зображення стану випарника з системами нейрокерування РВД – реєстр вхідних даних з еталонними моделями

Побудуємо нечітку систему, яка спроектована на правилах з лінгвістичними змінними, схема якої представлена на рис. 11.10, на вхід системи подається m -мірний вектор \vec{X} . Для кожної компоненти вектора \vec{X} , $i = 1, \dots, m$ в блоці «Ф-фаззифікатор» побудований синглітон – однокрапкова нечітка множина.

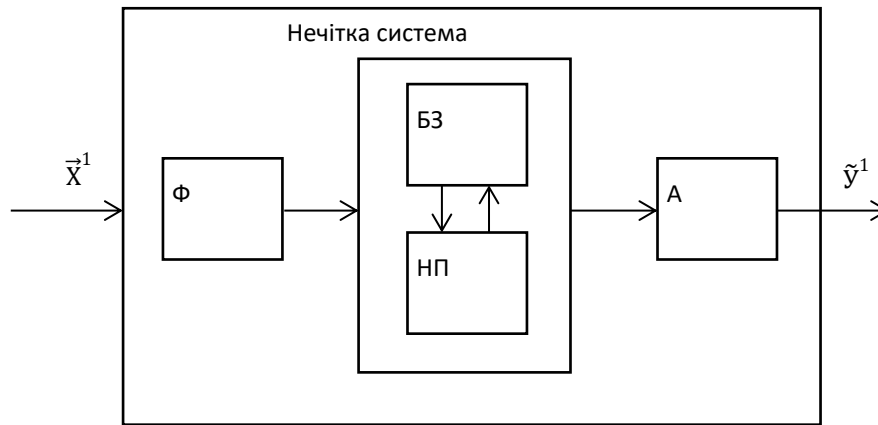


Рисунок 11.11. Схема нечіткої системи розпізнавання з нечітким виведенням сигналів-команд
Ф – фаззифікатор, БЗ – база знань, НП – нечіткий процесор, А - аналізатор

На другому етапі виконується оброблення даних за допомогою механізму нечіткого виведення, який складається із бази знань (БЗ) і нечіткого процесора (НП). База знань будується за допомогою нечітких портретів, одержаних на етапі аналізу вибірки прецедентів [2]. Слід відмітити, що стандартний для системи даного типу блок «дефаззифікації» відсутній і замінено «аналізатором – А», в якому побудована модифікована нечітка множина Y . Розглянемо спосіб формування бази знань. Кожне її правило відповідає нечіткому портрету, наприклад «обмерз випарник» або портрету «обмерзання випарника». Наприклад, нехай ситуація S_1 – портрет «обмерзання випарника», тоді запишемо:

ПРАВИЛО " S_1 ":

ЯКЩО " $L_1 \in v_1$ " I, ..., I " $L_i \in v_1$ " I, ..., I " $L_m \in v_1$ ", ТО " $\tilde{v}_1 \in V_1$ "

.....

ЯКЩО " $L_1 \in v_j$ " I, ..., I " $L_i \in v_j$ " I, ..., I " $L_m \in v_j$ ", ТО " $\tilde{v}_1 \in V_j$ "

.....

ПРАВИЛО " S_k ":

ЯКЩО " $L_1 \in v_k$ " I, ..., I " $L_i \in v_k$ " I, ..., I " $L_m \in v_k$ ", ТО " $\tilde{v}_1 \in V_k$ "

У нечіткому предикаті " $L_1 \in v_j$ " лінгвістична змінна, яка відповідає побудованій на етапі експертного аналізу вибірки прецедентів, а v_j – імена класів образів, які відповідають значенням лінгвістичної змінної. Кількість нечітких предикатів у полі «ЯКЩО» правила відповідає m інформативним

правилам. У полі «ТО» нечітка множина V_j є монотонною функцією, що використовується в алгоритмі нечіткого виведення Цукамото [2, 4, 6]. Прийняття рішень виконується на основі механізму нечіткого виведення. Слід відзначити, що в якості операції «I» на етапі агрегування використана m -місцева логарифмічна функція:

$$f(a_1, a_2, \dots, a_m) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } \exists a_i = 0 \\ \log_2((a_1 + 1), \dots, (a_m + 1)) / m \\ \text{якщо } a_i > 0, i = 1, \dots, m \end{cases} \quad (11.9)$$

$$a_1, m = 1$$

Результатом роботи алгоритму нечіткого виведення є сукупність синглетонів $v_j \sim, j = 1, \dots, k$.

Як було відзначено раніше, в системі використано блок «аналізатор – А», який працює по наступному принципу. На вхід «аналізатора» надходить нечітка дискретна множина $\{v_j | j = 1, \dots, k\}$, де кожний елемент несе інформацію про відповідний образ «обмерзання випарника». Таким чином алгоритм розпізнавання дозволяє на основі «Банку експертного зображення випарника» через інтерфейс надавати «оператору-технологу» інформацію про можливі ситуативні рішення щодо керування процесом відтавання випарника. Таким чином, використовуючи алгоритм розпізнавання стану випарника та пристрої контролю процесу обмерзання, що базується на використанні штучних нейронних мереж [2, 23, 33, 37, 48] одержали працездатну систему роботи випарника.

Автори посібника запропонували спосіб і систему автоматизованого керування процесом обмерзання випарника (див. рис. 11.10). В цьому способі керування важливу роль відіграє «Блок адаптивного керування системою обмерзання випарника» та інтелектуальні виконавчі механізми 6, 7, 8, 9, 10, 11. Останні керують вентиляторами випарника В1, В2, клапанами тиску всмоктування, та ультразвуковим диспергатором розморожування випарника (виконавчий механізм 11).

На рис. 11.12. наведено блок-схему узагальненого алгоритму функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильних камер ПРХ.

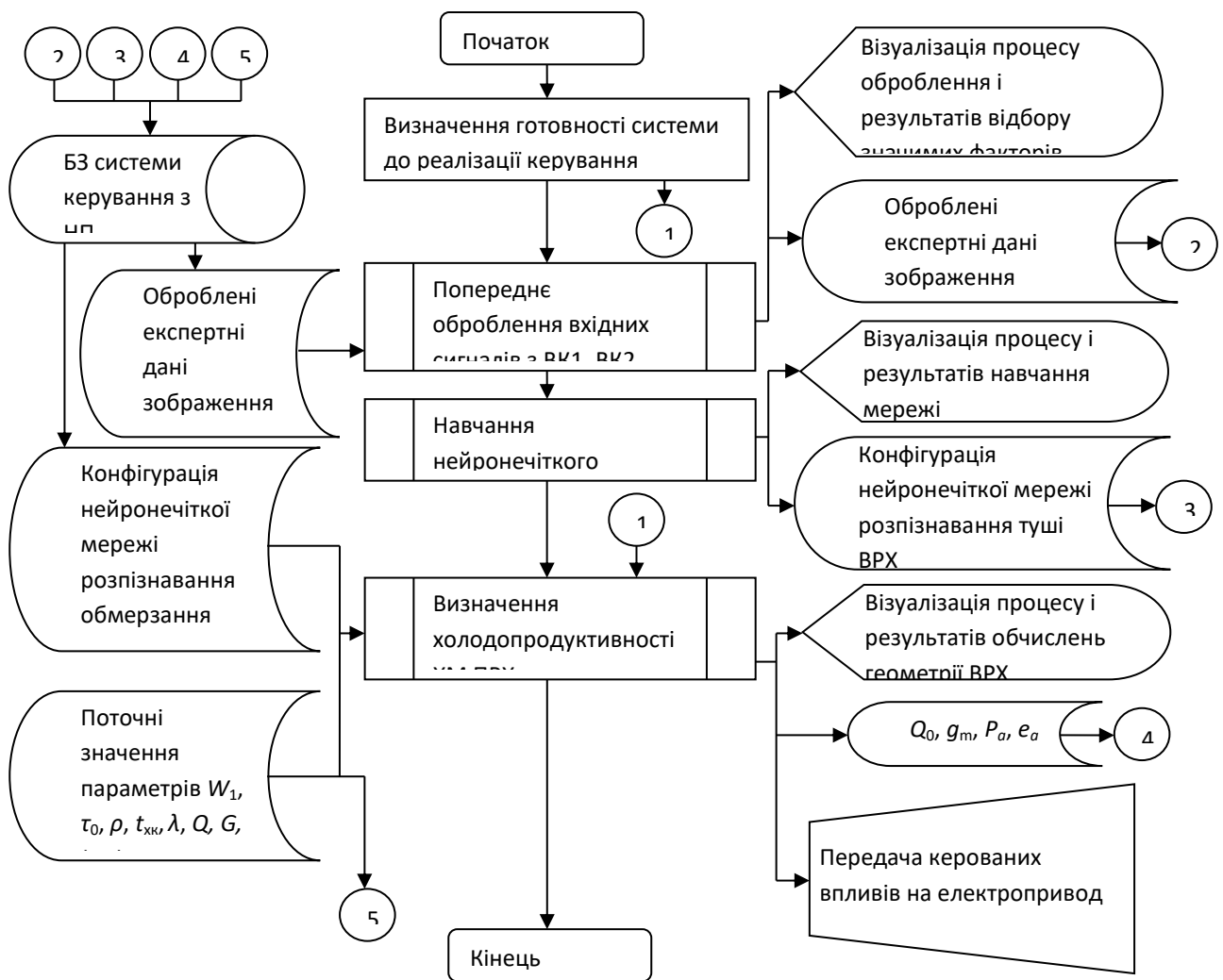


Рисунок 11.12. Блок-схема узагальненого алгоритму функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильної камери

На основі розроблених методів керування холодозабезпечення холодильних камер для заморожування м'яса в тушах ВРХ розробимо також алгоритмічне забезпечення системи керування. Воно включає наступні алгоритми: алгоритм попереднього оброблення цифрової інформації, алгоритми відбору значимих ознак, які визначають геометричні розміри туші ВРХ та ознаки обмерзання випарника холодильної камери; алгоритми розпізнавання стану випарника і розпізнавання зображення геометрії туші ВРХ, нейронечіткі моделі керування процесом заморожування, алгоритм розрахунку параметрів (τ_0 – тривалість заморожування, кількість теплоти, відведеної від туші ВРХ – Q_M); алгоритми розрахунку параметрів холодопродуктивності каскаду компресорів КП (компресор поршневий), КГ (компресор гвинтовий), конденсатора, вентиляторів В1, В2; алгоритми розрахунку енергетичної ефективності, алгоритм керування холодильною машиною ПРХ. Серед параметрів, які визначають базу знань технологічного процесу заморожування м'яса виокремимо наступні чинники: τ_0 – тривалість заморожування, с; R –

експертний розмір шматка м'яса (геометрія ВРХ), м; ρ – густина охолоджуваного продукту (кг/м^3); q – питома теплота кристалізації води, $q = 3,3 \times 10^3$ Дж/кг; W – вологовміст продукту (кг/кг), ω – частка вимороженої води; $t_{\text{кр}}$ – криоскопічна температура продукту, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{ос}}$ – температура охолодження середовища холодильної камери $^{\circ}\text{C}$; λ – коефіцієнт теплопровідності заморожуваного продукту, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $Q_{\text{М}}$ – кількість теплоти, відведеної від продукту під час заморожування, кДж; G – маса заморожуваного продукту, кг; $h_{\text{п}}$, $h_{\text{к}}$ – питомі ентальпії продукту відповідні у початковому та у замороженому стані, кДж/кг; а також інші параметри \bar{X} , \bar{Y} . Вони визначають: \bar{X}_1 , \bar{X}_2 , \bar{X}_3 – параметри якості заморожуваної продукції та мікроклімату холодильної камери, а \bar{Y}_1 , \bar{Y}_2 , \bar{Y}_3 – параметри, які визначають ефективність холодабезпечення холодильної камери та енергетичні характеристики компресорних установок [12]. Параметри, які нейромережевий процесор прогнозує оператору-технологу: Q_0 – холодопродуктивність, кДж/с або кВт; $g_{\text{м}}$ – масова витрата холодильного агента; q_0 – питома холодопродуктивність (кДж/кг); P_a – активна потужність холодильних машин; e_a – питомі витрати електроенергії, b – коефіцієнт робочого часу ХМ.

Система керування процесом заморожування м'яса туші ВРХ працює у відповідності з узагальненим алгоритмом, блок-схема якого представлена на рис. 11.12. Цей алгоритм є центральним і виконує запуск та зупинку інших алгоритмів. Після запуску системи проходить перевірка її підготовки до реалізації управління і відпрацювання послідовності дій. Оператор визначає необхідність синтезу і навчання нейронечітких алгоритмів розпізнавання в залежності від якості навчання Банку експертного зображення ВРХ та Банку зображення стану випарника або наявності конфігураційних файлів відповідних вагових коефіцієнтів [2,14]. Формування навчальних вибірок для двох моделей виконується на основі інформації – оброблення експертних даних зображення туші ВРХ і зображення стану випарника, а також на базі знань про параметри технологічного процесу заморожування м'яса туші (W_1 , τ_0 , ρ , $t_{\text{хк}}$, λ , Q , G , $h_{\text{п}}$, $h_{\text{к}}$) та оцінки якості продукту, енергетичних параметрів процесу холодозабезпечення тощо. У залежності від типу м'яса (яловичина, телятина, свинина) із бази знань нейронечіткого комп'ютера відбувається завантаження вхідних сигналів для навчання нейронечіткого модуля керування процесом заморожування.

Результати кожного етапу керування візуалізуються для ОПР (особа, що приймає рішення), та надходять в систему нейроуправління інтелектуальними виконавчими механізмами холодильних машин промислового холодильника.

Завдяки використанню мехатронних пристроїв в системі керування холодильними камерами ПРХ досягнуто задану точність управління процесом

заморожування м'яса ВРХ з розпізнаванням геометрії туші та розпізнавання стану замерзання випарника, що є достатніми атрибутами щодо забезпечення енергоефективної роботи холодильних машин і формування необхідних споживчих характеристик м'ясних продуктів.

Тема 12. Алгоритм проєктування робототехнологічних комплексів у харчовій промисловості

12.1. Алгоритм проєктування РТК

Алгоритм проєктування складається з наступних етапів:

1. Початок . Створення команди проєкту . Розробка місії та цілей проєкту

Місія: у процесі виконання проєктних робіт необхідно втілити всі передові технології виробництва продуктів здорового харчування для регіону з техногенним забрудненням.

Цілі: розробити робототехнологічний комплекс з виробництва продуктів харчування для регіону з техногенною забрудненою територією.

2. Аналіз даних технічного завдання (ТЗ) і попередніх проєктних рішень. У процесі вивчення існуючого робототехнологічного обладнання підприємств з виробництва продуктів здорового харчування спеціалісти команди проєкту звернули увагу на пріоритетність роботизації технологічних ліній з виробництва хлібобулочних і макаронних виробів.

У стадіях виробничого процесу, в яких технологи використовують заморожування хлібопродуктів та холодильне обладнання, яке повинно бути оснащене енергозберігаючими технологіями необхідно мінімізувати викиди CO₂ та вплив на озоновий прошарок Землі холодоагентів.

3. Корекція попередніх рішень. У процесі виконання проєктних рішень головним критерієм вибору робототехнічного обладнання з інтенсифікаторами очищення води, підготування борошна та виготовлення тіста і холодильного обладнання для заморожування продуктів харчування стала енергоефективність процесу та мінімізація викидів CO₂ в атмосферу підприємства . Для кожної групи продуктів харчування необхідно розробити в проєкті особливу конструкцію роботів, робототехнічних інтенсифікаторів, систем контролю якості. Утім попередні рішення повинні забезпечувати в першу чергу зручність і ефективність виготовлення продуктів здорового харчування, захист продукції від псування та оцінку якості продукції в реальному масштабі часу..

4. Синтез функціональної структури. Це важливе питання проєкту розпочнемо з вибору технологічного обладнання для виробництва

хлібобулочних виробів (макаронних виробів) з додатками м'яса (печінки) та холодильного обладнання для заморожування продукції.

Крім цього важливим питанням логістики замороженої продукції є її зберігання та реалізація в супермаркетах.

Зберігання такої продукції у супермаркету виконано за допомогою холодильних вітрин у дизайні DIAGONAL, які оснащені енергозберігаючими дверима Remis (Німеччина) і стабілізаторами повітряного потоку. Для заморожуваних хлібобулочних та макаронних виробів також встановлені комбіновані пристійні вітрини Nautilus Gombi- з двома автономними об'ємами для демонстрації продуктів. Важливим елементом РТК є японські роботи TX SCARA, технологічний пристрій СВЧ-піч для випікання заморожуваних хлібобулочних виробів та приготування макаронних виробів на обладнанні супермаркету.

У комплекс проектних рішень у процесі вибору холодильного обладнання супермаркету запропоновано включити енергоефективні холодильні камери і повітроохолоджувачі Guntner(Німеччина), мультикомпресорні установки на компресорах Bitzer(Німеччина), система утилізації тепла конденсації, повітряний конденсатор Guntner(Німеччина). Важливим елементом проекту є система комп'ютерного моніторингу технологічного обладнання хлібозаводу та супермаркету з підсистемами розпізнавання аварій та аварійних ситуацій.

Таким чином, для управління холодильним обладнанням підприємства з виробництва заморожених продуктів харчування і супермаркету проєктантами виокремлено АСУТП з трьохрівневим рівнем керування технологічним процесом.

Синтез таких багаторівневих систем зведено до оцінки роботи:

- верхнього рівня з сучасними інтелектуальними системами, промисловим Інтернет речей, SCADA ERP-системами з визначенням цілей управління та визначенням змінних, бази даних, бази знань, оцінки інформаційного і програмного забезпечення, методів проєктування ситуаційних кімнат;

- середнього операційного рівня MES – систем і проєктування робототехнологічних комплексів холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркету та роботи типу TX SCARA, які поповнюють товари на полицях і відстежують їх наявність ;

- нижнього рівня керування технологічними процесами з вибором конфігурації регуляторів адаптивних систем та виконавчих механізмів.

5. Вибір критеріїв якості АСУТП холодильного обладнання підприємства виробника продукції та її логістики, та реалізації в супермаркеті.

У процесі підготовки проекту команда аналізує наступні критерії якості функціонування АСУТП хлібозаводу та АСУХОС:

1. Величину приведених затрат

$$\Phi_1 = C + E_n K + m_n P \rightarrow \min,$$

де C - собівартість функціонування АСУТП підприємств з РТК ; E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності; K - капітальні затрати на створення АСУХОС; m_n - норматив ефективності трудових ресурсів; P - кількість персоналу АСУХОС.

Якщо C_1 і C_2 , K_1 і K_2 - собівартість і затрати різних варіантів щодо реалізації АСУТП, то

$$\Phi_1 = C_2 - C_1 + E_n(K_2 - K_1) + m_n(P_2 - P_1)$$

- річний економічний ефект.

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$\Phi_2 = \Pi / K \rightarrow \max,$$

Π - прибуток від упровадження АСУТП. Термін окупності капітальних вкладень:

$$\Phi_3 = K / \Pi \rightarrow \min$$

Критерії якості локальних функцій АСУТП:

1. $CO_2 \rightarrow \min$, при заданих значеннях надійності і довговічності холодильного устаткування та технологічного обладнання.

2. $E_{енрг.} \rightarrow \max$, при заданих значеннях енергоефективності холодильного устаткування та технологічного обладнання.

3. Як пот. \rightarrow Як опт.

6. Оцінка архітектури системи керування нижнього, середнього та верхнього рівнів. У процесі проектування архітектури АСУТП команда проекту проводить: 1.аналіз функціональної схеми апаратно - програмного комплексу АСУТП виробника продуктів здорового харчування; 2. Досліджує вплив збурення на систему виробничого процесу (ВП) та визначає технологічні параметри контролю, виконує оцінку параметрів керування холодопродуктивності холодильних машин, холодильного обладнання, визначає датчики та системи контролю якості замороженої та охолодженої продукції; 3. аналіз пристроїв спряження нижнього, середнього та верхнього рівнів керування, оцінює потужність MES- системи, мікропроцесорів верхнього, середнього і локальних систем нечіткого керування компресорними установками, конденсаторами тощо; 4. аналіз бази даних, бази знань, бази

моделей інтелектуальної системи керування ВП, визначають основні способи уявлення знань про процеси охолодження та заморожування продукції, оцінюють інформативність опису технологічних процесів щодо розпізнавання аварійних ситуацій та аварій; 5. синтез задач моніторингу параметрів якості продукції та параметрів CO₂; 6. аналіз моделі, яка описує задану цільову траєкторію управління холодильним обладнанням супермаркета в просторі станів; 7. вибір структурної схеми функціонування програмно-апаратного комплексу РТК виробництва продуктів здорового харчування. 8. вибір роботів TXSCARA, які розроблені японською компанією Telexistence, головним завданням яких є поповнення товарів і стеження за їх наявністю.

7. Розробка інформаційного забезпечення РТК. Інформаційне забезпечення РТК в основній його частині складається з:

1. інформаційної структури РТК, яку виконано у вигляді таблиць І/АБО графа; 2. організації бази даних (БД) і бази знань (БЗ) (структура і спосіб доступу до даних і знань); 3. відомостей сигналів і кодів щодо взаємодії з оператором РТК і зовнішніми системами; 4. відомостей форм документів І/АБО відеограм і макети форм, які виведені для персонала на пристрої друку або дисплей; 5. форматів даних і інструкції щодо режиму обміну для кожного зовнішнього інтерфейсу; 6. вимог до мов програмування і редагування програм різного призначення і, в першу чергу, до мов спілкування персоналу з пристроями цифрового управління

(ПФУ) РТК; 7. системи класифікації і кодування даних.

8. Постановка задач математичного забезпечення. Цей етап проектування пов'язаний з математичним описом фізичних процесів приготування тіста (макаронних виробів), виробництва хліба та його заморожування; транспортування заморожуваних продуктів харчування в холодильних апаратах різного призначення, моделювання процесів холодопостачання, оцінки параметрів холодопродуктивності технологічної ланки ХО супермаркету, математичний опис траєкторій руху матеріальних вхідних і вихідних потоків сировини, градієнтів, напівфабрикатів і готових продуктів хліба (макаронних виробів) щодо оцінки їх якості в масштабі реального часу.

9. Розробка алгоритмічного забезпечення РТК. Алгоритмічне забезпечення АСУТП підприємства включає: алгоритми керування процесами виробництва хліба(макаронних виробів), процесів його заморожування і холодопостачання холодильного обладнання, захисту технологічного обладнання від аварій ; аварійних режимів роботи холодильного обладнання, алгоритми оцінки якості

продукції, енергоефективності, мінімізації впливу параметрів CO₂ на навколишнє середовище тощо.

10. Вибір складу основних функціональних блоків РТК і схемо- технічний синтез АСУ технологічного обладнання підприємства.

До складу основних функціональних блоків АСУТП підприємства проектною командою віднесено: програмне забезпечення, алгоритми адаптивного та нечіткого керування, MES-системи оперативного керування, ERP- системи верхнього рівня управління, Промисловий Інтернет – речей, нейромережеві системи моніторингу CO₂, діагностики технологічного обладнання, ІПВ - інтелектуальні пристрої вимірювання якості продукції, АРМ-оператора.

Верхній рівень з Мікро-ЕОМ представлено ЦПУ- центром інтелектуального управління. В якості мікропроцесорів в РТК запропоновано – контролери SIMATIC S7 з інтелектуальними модулями введення/ виведення. Ці модулі забезпечені вбудованими мікропроцесорами і можуть автономно виконувати критичні до часу виконання завдання, підтримуючи зв'язок з процесором за допомогою власних вводів-виходів. Використання інтелектуальних модулів дозволяє суттєво розвантажити центральний процесор, використовуючи його обчислювальні можливості для рішення оптимізації параметрів продуктивності технологічного обладнання мінімізації викидів CO₂ в атмосферу тощо.

У процесі схемотехнічного аналізу автори проекту звернули увагу на необхідність розробки підсистем з особливими вимогами. У багаторівневій АСУТП підприємства з вбудованими РТК виробництва продукції здорового харчування проєктанти виокремили декілько підсистем з особливими вимогами щодо швидкодії і надійності. До таких підсистем віднесені: діагностика стану холодильного обладнання та ліній виробництва заморожуваної продукції ; реалізація задач і функцій оперативного планування і керування процесами заморожування, енергопостачання, водопостачання, реєстрації аварійних ситуацій тощо.

У процесі схемотехнічного синтезу АСУТП підприємства команда проекту прийшла до висновку щодо потужності центрального мікропроцесора SIMATIC S7, ERP, MES систем верхнього та оперативного рівнів та його інтерфейсу з іншими мікропроцесорами. Загальною умовою функціонування мікропроцесорів є виконання функцій оброблення, збереження, обміну і управління цими процесами над трьома видами інформації: даними, командами та адресами.

Оброблення інформації можливо представити рядом функцій: логічною, арифметичною, і спеціальною (підсилення, перетворення кодів, шифрування-

дешифрування і т. п.) Функція обміну виконує обмін інформацією як всередині процесора, так і зі зовнішніми пристроями. Функцію збереження можливо представити у вигляді сукупності функцій оперативного над оперативного збереження вхідної, проміжної та кінцевої інформації, а також функцією довго термінованого збереження з можливістю оновлення інформації.

11. Проектування інтерфейсів. Під інформаційними інтерфейсами будемо розуміти сукупність програмно-апаратних засобів, які забезпечують взаємодію процесорів з функціональними блоками пристроїв керування, іншими процесорами або зі зовнішніми пристроями. До інформаційних інтерфейсів відносять пристрої введення/ виведення, які забезпечують зв'язок з людиною оператором. З метою зменшення вартості проєкта АСУТП підприємства бажано максимально уніфікувати інтерфейси по усім видам забезпечення: інформаційному, програмному, апаратному. Будемо розділяти інтерфейси на аналогові та цифрові. Аналогові інтерфейси проєктують як електричні чотирьохполюсники. Цифрові інтерфейси поділяють на паралельні і послідовні. Уявлення цифрових даних, кожному біту яких виділена окрема лінії шини, називають паралельним двоїчним числовим кодом (ДЧК). Передачу цього коду виконують одночасно на усіх визначених лініях.

У підприємствах з метою використання промислового Internet- речей будемо використовувати послідовні інтерфейси, які вирішують як задачі зовнішні по відношенню до проєктуємого пристрою зв'язку (Ethernet).

У процесі обговорення цього важливого етапу проєктування команда проєкту визначалась з типом інтерфейсу, а саме обрала інтерфейс RS-485.

12. Моделювання РТК і корекція попередніх рішень. Процес моделювання РТК розпочинається з організації системних досліджень моделей технологічних процесів виробництва хлібобулочних виробів, макаронних виробів та заморожування і охолодження продуктів у холодильних камерах, холодильних вітринах, вітринах- прилавків тощо та оцінки інтелектуалізації технологічних процесів на собівартість продукції харчування. Виокремлюються інформаційні змінні, які визначають технологічний процес заморожування, холодопродуктивність, режими роботи холодильних машин. енергоефективність холодильного обладнання, будуються математичні моделі залежності заморожування від термодинамічних, теплофізичних, фізико-хімічних та фізіологічних властивостей холодоагентів.

Шляхом імітаційного моделювання корегують попередні рішення щодо вибору потужності обладнання хлібозаводів щодо продуктивності виробництва заморожених сортів хліба, роботів –інтенсифікаторів, роботів завантаження-

розвантаження, холодильних установок, їх режимів роботи, повітряних конденсаторів, випарників, трубопроводів та апаратури контролю та вимірювання параметрів CO₂.

13. Компанування апаратної частини АСУТП з РТК. В цьому розділі команда проекту звернула увагу на комплектацію технологічного обладнання хлібозаводу, обладнання холодильних машин та розробляла методи і алгоритми керування двигунами технологічного обладнання та конвеєрного холодильного обладнання. Управління асинхронними двигунами технологічного обладнання, давачів, компресорних установок - це ціленаправлена зміна його механічної потужності, а отже продуктивності технологічних апаратів за рахунок зміни електромагнітної енергії в його електричній частині.

14. Розробка програмного забезпечення АСУХОС. Основні задачі проектування програмного забезпечення (ПЗ) зведено до наступного: 1. Вибору або розробці операційної системи ; 2. Вибір мов програмування; 3. Структурування ПЗ у вигляді пакетів підпрограм; 4. Розробка і випуск робочої документації ПЗ. Звернемо увагу проектної команди на етап розробки операційної системи (ОС), яка повинна функціонувати: а) в масштабі реального часу (ОСРЧ) та з розділенням часу (ОСЧР). Операційна система реального – це ОС, яка забезпечує виконання задач в темпі з процесом холодопостачання холодильного обладнання підприємства, ОСРЧ- це система, яка повинна реагувати на події, які виникають в системі, а ОСЧР- повинна оптимально розподіляти ресурси комп'ютера між користувачами і задачами. ОСРЧ і ОСЧР – розпізнають по типу оброблення запитів, а саме: ОСРЧ – розпізнають по типу оброблених запитів тобто ОСРЧ – орієнтована на оброблення зовнішніх подій, а ОСЧР – на оброблення дій користувача. ОСРЧ – є інструментом щодо створення програмного комплексу задач реального часу, а ОСЧР – найчастіше розглядається спеціалістами проектної команди як набір готових до використання додатків.

У системі АСУТП з РТК проектна команда вирішила використовувати архітектуру ОСРЧ «клієнт-сервер», в якій ядро виконує функції диспетчера-повідомлень між клієнтськими користувальними програмами і серверами – системами сервісами, перевагами яких є підвищена надійність, більш легше відладження і пошук помилок, проста зміна конфігурації прикладного ПЗ, більш висока стійкість до відмов.

15. Розробка і випуск проєктної документації АСУТП підприємства з вбудованими РТК.

Виконаний проєкт автоматизованої системи управління технологічним обладнанням з РТК підприємства повинен задовольняти діючим у нашій країні міжнародним стандартам ISO-9000 та відповідати наступним показникам проєкта: 1. показникам ефективності проєкта; 2. показником значущення проєкту; 3. повернення інвестицій.

Експерти оцінили проєкт як пошукову роботу, яка відповідає вимогам стандарту ISO-9000.

12.2. Робототехнологічні комплекси в системі виробництва смарт-продуктів харчування для регіонів з техногенним забрудненням

Розглянемо робототехнологічні комплекси з виробництва хлібобулочних виробів та макаронних виробів з системою інтелектуалізації процесів заморожування готової продукції та напівфабрикату в АСУТП підприємства, в якій втілені основні положення проєкту.

Першим прикладом робототизованих комплексів з виробництва хлібобулочних виробів є вбудовані робототехнічні інтенсифікатори кавітаційного типу (РІК) для взаємодії з водою, тістом, мясом (печінкою), а також холодильне обладнання для заморожування продукції.

У таких системах суттєво важливими є, як динаміка фізичних взаємодій (системи контролю параметрів гетерогенного середовища), коли детерміновану роль відіграє енергія, так і взаємодія (спряжена взаємодія) інформаційних процесів, які в них виникають. Тоді виникає проблема дослідження сумісного впливу енергії, речовини та інформації в складних нелінійних системах в умовах їх термодинамічної нерівноваги та впливу біфуркацій. У таких умовах у системі може виникнути самоорганізація, коли процеси (енергетичні, теплові, динамічні та інформаційні) утворюють нерозривну систему, яка приводить до когерентної поведінки значного числа змінних нелінійної системи. Тому в подальшому при проєктуванні АСУТП виробництва смарт-продуктів харчування на базі теоретичних положень мехатроніки необхідно використати принципи синергетики щодо конструктивних особливостей РТК з врахуванням теоретичних положень і моделей гідродинаміки, масо-переносу, дифузії тощо, а також адаптивних систем керування апаратами приготування опари-замісу – тіста – випікання-заморожування і т.п.

Нижнім рівнем управління процесом виробництва харчів для робітників, школярів, воїнів ЗСУ є автоматизовані системи керування. Розглянемо детально два проекти побудови таких систем.

Перший проект автоматизованого виробництва хлібобулочних виробів з борошна пророщеної пшениці (джерела: вітаміни і мінерали, стимулятори процесів нормалізації роботи серцево-судинної системи) з додатками борошна із льону (джерела: поліненасичених жирних кислот й ліпотропиків, антиоксидантів, вітамінів та мікроелементів).

Другий проект – автоматизоване виробництво макарон з м'ясопродуктами (печінка, м'ясо птиці) і калорійністю до 5000ккал на кожні 1000 грам продукту, призначеного для «розумного» харчування гірників, школярів, воїнів ЗСУ.

Загальним атрибутом цих проектів є використання цифрової платформи «ІЖА», промислового інтернет-речей, SCADA і MES- систем та інтелектуальних датчиків рН-параметрів, запаху, температурних режимів роботи технологічних апаратів та робототехнічних інтенсифікаторів гетерогенного середовища [1,2]. Вони вбудовані в робототехнологічні комплекси в якості захоплювачів сировини, а отже важливим параметром оптимізації є побудова траєкторій руху матеріальних потоків РТК.

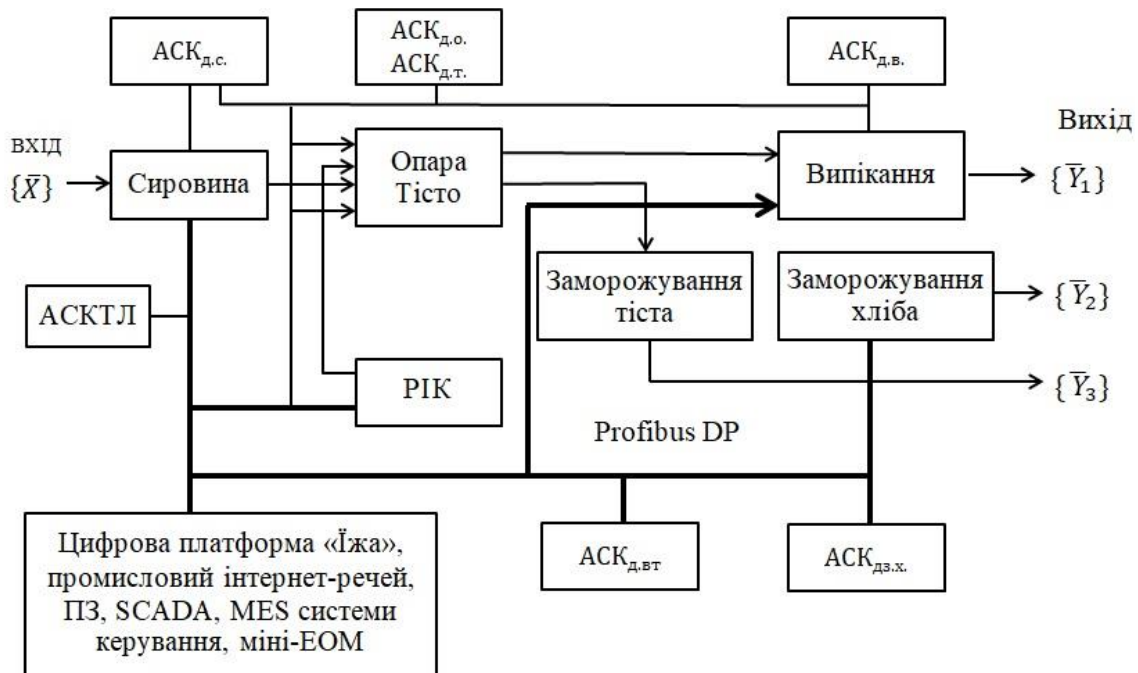


Рисунок12.1. Автоматизована система керування виробництвом хліба

Технологічна лінія з автоматизованою системою керування (АСКТЛ) (Рис.12.1)включає дільниці приготування сировини – опари – тіста, заморожування тіста стадії випікання і виробництва готової продукції {Y1}, замороженої готової продукції - {Y2}; замороженого напівфабрикату (НФ) {Y3}.

Система представлена адаптивними системами керування, а саме:

АСКд.с-дільниці сировина; АСКд.о – дільниці опара; АСКд.т - дільниці тісто; АСКд.в - дільниці випікання; АСКд.з.т – дільниці заморожування тіста; АСКд.з.х – дільниці заморожування хліба.

АСКТЛ через інформаційну шину Profibus DP зв'язана з цифровою платформою «Їжа» промисловим інтернет-речей, SCADA-системами та міні – ЕОМ з програмним забезпеченням(ПЗ). Робототехнічні інтенсифікатори (РІК) в системі приготування опари та тіста ультразвуковими випромінювачами (робоча частота 22 КГц, 30 КГц, 40 КГц) не лише прискорюють процес приготування опари за рахунок керованих кавітацій, але відіграють важливу роль в процесі збагачення тіста природними біокоригуючими інгредієнтами [1,3].

Контроль якості хлібобулочного продукту виконує БОЯП, а блок моделювання інноваційного продукту (БМІП) та інтелектуальна система підтримки прийняття рішень (ІСППР) надають ОПР рекомендації, щодо продуктивності (виробнича програма П), кількісних параметрів заморожуваних продуктів $\{\bar{Y}_2\}$, $\{\bar{Y}_3\}$ та продукту $\{\bar{Y}_1\}$.

Ці значення програми П висвічуються на корпоративному моніторі підприємства (КМП) у вигляді технологічної карти і завдань локальним адаптивним системам АСКд.с, АСКд.о, АСКд.т, АСКд.в, АСКд.з.т, АСКд.з.х.

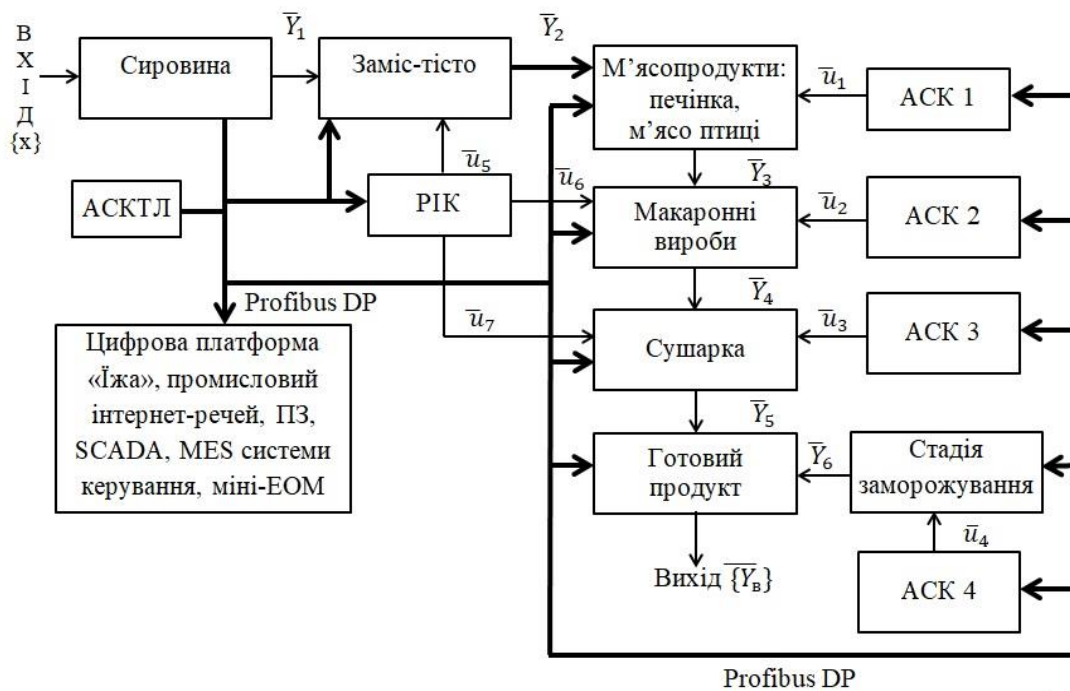


Рисунок 12.2. Автоматизована система керування виробництвом макаронних виробів

На рис. 12.2 наведено автоматизовану систему керування технологічним процесом виробництва макаронних виробів. В цій системі важливу роль відіграють адаптивні системи керування підготовки сировини –заміс-тіста з оптимізацією вихідних показників $\{\bar{Y}_1\}$, $\{\bar{Y}_2\}$ щодо параметрів рН: оптимізація якості м'ясних продуктів (печінки – яловичини або м'яса птиці) параметри $\{\bar{Y}_3\}$ виконує адаптивна система керування (АСК1) з вектором керованих впливів $\{\bar{u}_1\}$, а стабілізацію вихідних показників $\{\bar{Y}_4\}$ макаронних виробів виконує система АСК2. Система АСК3 виконує оптимізацію активності сушарки за допомогою вектору керованих впливів \bar{u}_3 та \bar{u}_7 та стабілізує вихідні дані параметри $\{\bar{Y}_5\}$ – міцності макаронних виробів. Важливим параметром контролю в цій технологічній дільниці є:

-час t_1 – початку сушіння макаронних виробів з м'ясними додатками, а також час процесу сушки; Параметри потужності ультразвуку РІК (керовані впливи \bar{u}_5 , \bar{u}_6), яку випромінює робототехнічний інтенсифікатор в гетерогенне середовище опара-тісто, а також параметри керованого впливу \bar{u}_7 . Останні корегуються ІСППР цифрової платформи «ІЖА», БМІП та MES- систем в залежності від параметрів виробничої програми П та кількісних параметрів $\{\bar{Y}_6\}$ - заморожуваних макаронних виробів й готового продукту $\{\bar{Y}_B\}$. Технологічний процес заморожування макаронних виробів $\{\bar{Y}_6\}$ протікає при температурі -8С (початковий етап) і -20 С (заклучний етап), а виробництво готової продукції $\{\bar{Y}_B\}$, виконано за допомогою адаптивної системи керування АСКА (вектор управлінських впливів \bar{u}_4).

Таким чином, на прикладі двох проєктів роботизованого виробництва продуктів здорового харчування з цифровою платформою «ІЖА», яка вбудована в інформаційну систему виробництва смарт-продукції запропоновано технологічні рішення щодо виробництва інноваційних продуктів здорового харчування для гірників, школярів та воїнів ЗСУ, збалансованих по нутрієнтному складу і збагачених комплексом мікро-, макроелементів і вітамінів. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень в комплексі з автоматизованою системою керування технологічною лінією виробництва інноваційних продуктів і програмним забезпеченням цифрової платформи «ІЖА» оптимізує режими роботи технологічних дільниць (операцій) та робототехнологічних інтенсифікаторів і за допомогою адаптивних систем керування, детально розглянутих в [1,2] своєчасно виконує задані показники виробничої програми публічного акціонерного товариства, задовольняючи потреби споживачів в умовах динамічних змін зовнішнього та внутрішнього середовищ. Реалізація продукції виконується через супермаркети.

У процесі ретроспективного аналізу досліджень наукових праць українських та закордонних вчених [1,2,3,11,13,14,15,16] автори посібника зробили висновок щодо необхідності роботизації та смартизації галузі, а саме:

-розробити не лише принципи побудови інформаційної системи керування підприємством з вбудованою цифровою платформою «ІЖА», призначеної для проектування, комп'ютерного моделювання «розумних» продуктів харчування гірників, школярів, воїнів ЗСУ;

-розробити збалансовані смарт-продукти щодо нутрієнтного складу харчових продуктів, оцінки їх якості та відповідності фізіологічним потребам людини, яка працює і проживає на території з техногенним забрудненням;

-головне одержати нові знання щодо оцінки життєвого циклу продукції та проектування роботизованих безлюдних технологій з високим рівнем автоматизації та інформаційного забезпечення.

В розроблених автоматизованих системах керування технологічними лініями виробництва смарт- продуктів харчування, які відрізняються від існуючих вбудованою цифровою платформою і робототехнологічними інтенсифікаторами продуктів збагачення тіста інгредієнтами (макарон з м'ясними продуктами); системами автоматичного охолодження і заморожування готової продукції та напівфабрикатів, виконаними на базі SCADA–систем і MES-систем диспетчерського керування, пов'язаних з ІСКВП (інтелектуальними системами керування виробничими процесами) та інтернет-речей з споживачами продукції і постачальниками сировини; система дозволяє в реальному масштабі часу виконувати оцінку технологічного процесу щодо параметрів води та сировини. викидів в атмосферу CO₂ (екологічність, безпечність, функціонально-технологічні властивості, хімічний склад, харчову і енергетичну цінність) та «розумного» продукту харчування (збалансованість, харчова і енергетична цінність, органолептичні властивості, зовнішні споживчі характеристики). Крім цього для техногенних територій особливу увагу потрібно звернути на характеристики води та способи її очищення, а головне смарт – продукти харчування повинні мати профілактично-лікувальні властивості та відповідати потребам споживачів.

12.3. Автоматизовані системи управління холодильним обладнанням супермаркету

Реалізацію смарт-продукції будемо виконувати за допомогою Інтернет ресурсів в спеціально спроектованих супермаркетах з РТК холодильного обладнання, інтелектуальних роботів та островних прилавків.

На рис. 12.3. презентовано розроблену систему інтелектуалізації процесів холодопостачання в АСУХОС, в якій втілені основні положення алгоритму проєктування наведеного в 12.1.

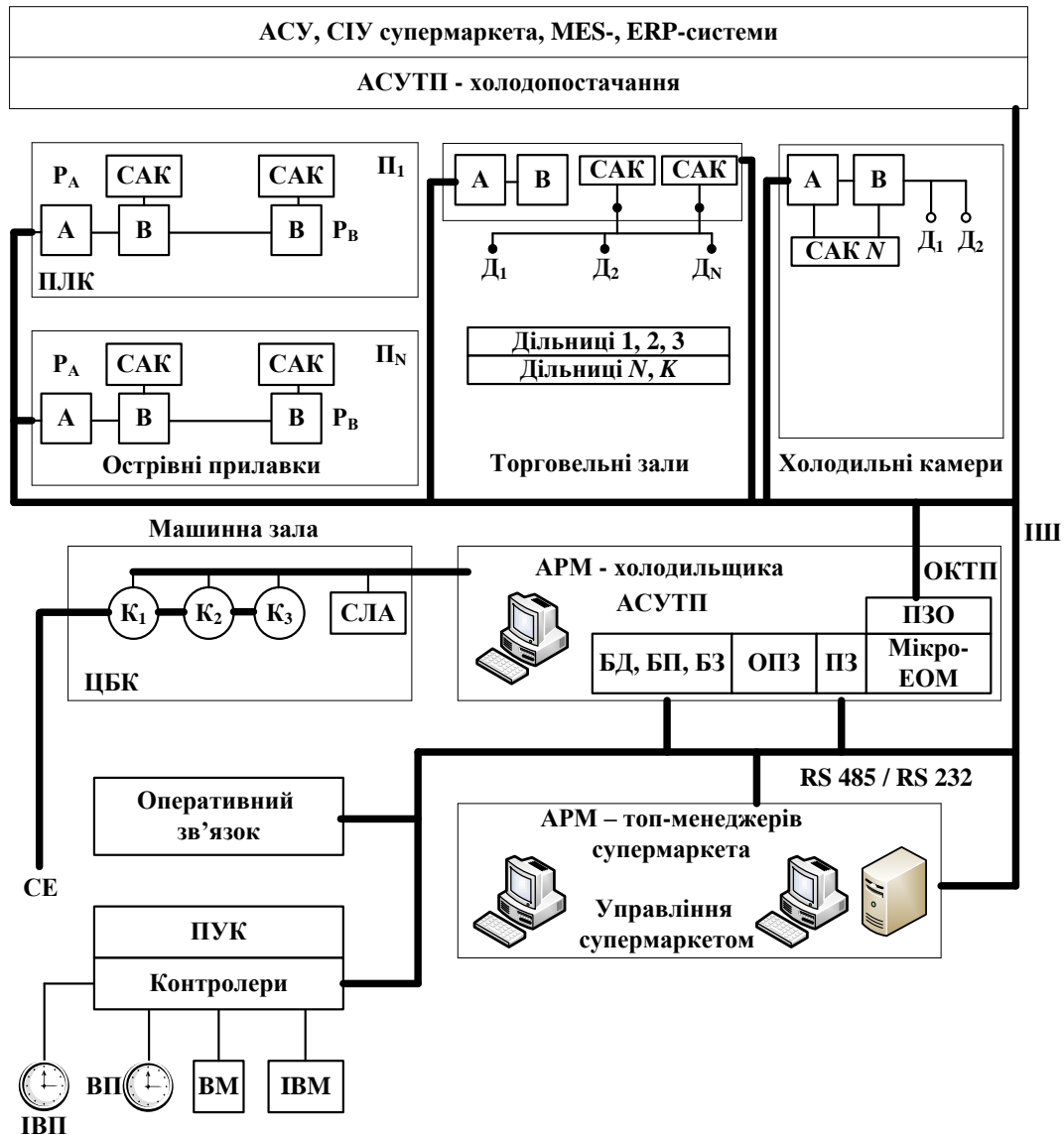


Рисунок 12.3. АСУХО супермаркета:

А, В – плати ПЛК; САК – система автоматичного контролю 1, 2, N;

ЦБК – центральний блок компресорів $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; СЛА – система локальної автоматизації з адаптивними нечіткими регуляторами; ПЗО – пристрій зв'язку з об'єктом;

СЕ – система електропостачання компресорів $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; ПУК – пульт керування компресорами $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; ОКТП – операторське керування технологічним процесом; ВП – вимірювальні прилади; ІВП – інтелектуальні вимірювальні прилади; ВМ – виконавчі механізми; ІВМ – інтелектуальні виконавчі механізми

Спочатку розглянемо автоматизацію процесів нечіткого керування острівними прилавками на основі холодильних вітрин. Усі супермаркети Придніпровського регіону мають вітрини-холодильники й холодильні камери, економічна робота яких може бути забезпечена лише за допомогою систем адаптивного нечіткого керування.

Розглянемо цей приклад проектування за допомогою нечітких автоматизованих систем управління виробництвом холоду і його холодопостачанням. У таких системах мікро-ЕОМ є «мозком» кожної холодильної вітрини, в якій розташовані системи контролю якості продукції високої точності.

Мікро-ЕОМ керує:

- регулюванням холодопродуктивності;
- сигналами щодо розморожування;
- негараздами в системі забезпечення холодопостачання.

ПЗ системи дозволяє створити інтерактивний діалог ОПР з ЕОМ. Всю інформацію одержує мікро-ЕОМ через ПЗО та спеціальні ПЛК (плати А, В) за допомогою ПШ від температурних датчиків D_1, D_2, \dots, D_N кожної вітрини.

Плата В з ПЛК керує також завданням температури та інформацією про негаразди, які із нею пов'язані. Ці ПЛК керують V – реле розморожування (плата В), які в свою чергу керують групою електромагнітних пристроїв (вимкн/вмк + контактор), що знаходяться в кожній вітрині з метою забезпечення електричного розморожування. Додатковими функціями системи є: регулювання добового теплового режиму за допомогою нічних шторок або заслінок; електричне регулювання за допомогою стрічкових нагрівачів; діагностичні функції, які виконуються за допомогою ПЛК і пульта АРМ; спеціальні види повідомлень про негаразди (засолення водяних трубопроводів і т.п.); електронне узгодження роботи регулюючого вентиля і регулятора швидкості.

Реле P_A на платі А сигналізує про негаразди в системі керування процесом заморожування з ПЛК (охоплює 10 видів негараздів на холодильній дільниці), сигналізує також про негаразди у машинній залі за допомогою мікро-ЕОМ та АРМ дисплея диспетчера на АРМ. АРМ диспетчерського пункту забезпечене ПЗ і довідниковою базою та оснащене друкувальними пристроями, що видають інформацію про негаразди в системі холодопостачання вітрин конкретним спеціалістам.

При розпізнаванні негараздів (що можуть бути зафіксовані та оброблені в РЧ) мікро-ЕОМ надсилає АРМ-технологу й холодильщику інформацію про обслуговування тієї чи іншої холодильної дільниці супермаркету. Диспетчер-

холодильщик може оцінити, виходячи із БД, можливі аварійні ситуації і відпрацювати команди дистанційного керування.

Функції дистанційного керування за негараздами та дистанційного консультування підтримуються за допомогою ІШ, яка зв'язує групу плат А з інтерфейсною платою, а негаразди у машинній залі обробляються мікро-ЕОМ, що одержує інформацію з плат А, В. Інтерфейсна плата може бути продубльована в іншому приміщенні супермаркету, вона дозволяє зібрати у диспетчера-холодильщика інформацію про температури і негаразди на холодильних дільницях і в машинній залі. До неї можуть бути приєднані друкувальні пристрої і модем.

Події на дільницях холодильних постів (обладнання з позитивною температурою, морозильне обладнання, холодильні камери з позитивними температурами, холодильні камери з температурами-20 град.С), так як і негаразди в машинній залі, передаються на АРМ диспетчера-холодильщика.

Крім цього мікро-ЕОМ та ОПР диспетчер-холодильщик одержує всі значення параметрів постів «холоду» (температури, розморожування, перелік негараздів (неполадок), параметри регулювання і т.п.), а при необхідності диспетчер-холодильщик може за допомогою ОПЗ впливати на режими роботи холодильного обладнання супермаркету. Конфігурація дистанційного керування в системі СІУ виконана на основі сучасних мікро-ЕОМ, ПЛК і інтерфейсів RS485/RS232 та АРМ диспетчера. В АСУХОС

використовористано бібліотеку кольорових графічних позначень для кожної холодильної вітрини (групи холодильних вітрин), а мікро-ЕОМ також керує холодопостачанням, водопостачанням та надає на дисплей АРМ диспетчеру-холодильщику в реальному масштабі часу зміни контрольованих параметрів у часі: роботи компресорів $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; параметри системи електропостачання (СЕ), тощо.

Ситуаційний інтелектуальний центр (СІЦ) супермаркету разом з АСУ, MES- та ERP-системами утворюють адміністративний рівень управління (систему верхнього рівня управління організації).

АРМ топ-менеджерів супермаркету керує бізнес-процесами, контролює в РЧ потоки грошей, виконує оперативне і стратегічне планування, а також одержує інформацію через промисловий Інтернет-речей (ІоТ) та постійно підтримує зв'язок зі споживачами та постачальниками продукції.

До переваг нечітких способів керування, що відносяться до категорії ІСУ холодопостачанням, можна віднести такі можливості:

- реалізувати будь-який необхідний для процесу нелінійний алгоритм керування;
- мати неповний, приблизний опис ОК, а для НМ відсутність опису:

– фаззі-логіка не потребує великих обчислювальних потужностей.

Таким чином, побудова НСК на базі нечіткої логіки є найбільш прогресивним варіантом реалізації адаптивних систем безпечної експлуатації компресорних установок. **Перейдемо до виконання проєктних рішень щодо методів моніторингу холодильного обладнання супермаркетингу.**

Об'єкт моніторингу представляє собою сукупність п – багатоступеневих компресорних холодильних машин (діагностичний вузол), холодоносіїв, каналів холодопостачання, холодильних вітрин та прилавків супермаркета. Типова система моніторингу складається із каналів розповсюдження, системи діагностики, системи датчиків, блоків узгодження, трактів керування, трактів розпізнавання, аналізаторів, блоків формування діагностичних ознак, блоку прийняття рішень, блоків оповіщення, відображення і реєстрації, блоків мережевих інтерфейсів (intranet|Internet), інформаційної бази даних і знань, блока керування і синхронізації.

У той же час пропонуємо в проєкті системи моніторингу холодильного обладнання супермаркету (вітрин, прилавків, положення дверей холодильника) використати також блок прийняття рішень ОПР на основі вхідного масиву діагностичних ознак і експлуатаційних даних. Останні повинні зберігатись в інформаційній системі, БЗ, БД і, які будуть визначати технічний стан об'єкту моніторингу.

Отже, рекомендуємо на кожній острівній ділянці вітрин та прилавків супермаркету впроваджувати сучасні системи моніторингу стану холодильного обладнання. ОПР супермаркету в процесі контролю параметрів вібрацій компресорних установок їх температуру, температуру в холодильних камерах і якість продукції та за допомогою АРМ моніторингу працездатності обладнання оптимізує параметри холодопостачання холодильних камер та вітрин і прилавків супермаркету.

Робочі характеристики компресорних установок їх частота вібрацій можуть вказати ОПР на ознаки виходу обладнання (системи холодопостачання-холодильних вітрин- прилавків, положення дверей холодильних вітрин) із ладу. Тому в АСУТПХОС необхідно проєктувати системи діагностики холодильного обладнання на базі існуючих інтелектуальних систем, Промислового Інтернет-речей та систем контролю компресорного обладнання супермаркету на базі комп'ютерних систем.

В робототехнологічних комплексах супермаркету, наприклад «Дніпро», використані японські роботи TX SCARA, які керуються за допомогою ШІ. Вони поповнюють товари на полицях і стежать за їх наявністю. З АРМ супермаркету до робіт можна підключитись дистанційно через гарнітуру віртуальної реальності. Роботи TXSCARA використовують хмарний сервіс

Microsoft та ШІ-платформу Nvidia Tetson. Як показали експертні дослідження японські роботи TX SCARA можуть замінити людину у 98% випадків. Роботи самостійно розвантажують контейнери зі заморожуваними смарт-продуктами та розкладають їх по полицям. Важливими операціями робота в супермаркету є: оцінка вартості кошика з покупками; перекласти товар в пакет.

У той же час важливим аргументом проєкту такого супермаркету є використання робототехнологічних комплексів в системах контролю і керування холодопостачанням холодильних камер, холодильних вітрин за допомогою компресорних установок холодильних машин високої продуктивності[12,14].

З метою аналізу синергетичних ефектів у проєктах розробки смарт-продуктів та систем інтелектуального керування за допомогою робототехнологічних комплексів розглянемо більш детально проєкти виробництва продукції в наступній навчальній темі.

Тема 13. Приклади використання робототехнологічних комплексів в системах виробництва смарт-продуктів харчування

13.1. Робототехнічні мехатронні комплекси з виробництва хлібобулочних виробів

У наш час науковцями та технологами харчової промисловості проводиться пошук способів підвищення якості, харчової та біологічної цінності хлібобулочної продукції, надання їй функціональних властивостей, що знаходить втілення у створенні інноваційної продукції, виробництво якої потребує особливих підходів.

Практичний досвід виробників хлібобулочної продукції показує, що характеристики основної вхідної сировини (борошна та води) можуть значно відрізнятись в залежності від партії продукції, умов та термінів зберігання, сезону, регіону походження та ступеня його екологічного забруднення.

Основною метою теми є розробка інтелектуальної системи виробництва інноваційних сортів хлібобулочних та борошняних виробів для територій з високим рівнем техногенного впливу.

Предметами дослідження є інгредієнти виробництва хліба, хлібобулочних та борошняних виробів (борошно, вода, дріжджі та ін.), опара, тісто, способи підведення енергії ультразвукових коливань, ультразвукові аналізатори та інтенсифікатори технологічних процесів виробництва хлібобулочної продукції, контрольовано-вимірювальна апаратура, робототехнологічні комплекси у виробництві хліба та борошняних виробів.

Для харчових виробництв, що працюють на територіях з техногенним тиском, необхідно регулярно проводити моніторинг екологічної складової, а саме вхідних характеристик води, борошна, інших інгредієнтів, та прогнозувати їх вплив на вихідні показники готової продукції. Такі довготермінові збудження повинні бути враховані при проектуванні фаззі систем автоматизованого контролю, які повинні адаптуватися за темпом з процесом надходження вхідних інгредієнтів на стадії виготовлення опари та різних видів тіста.

Оскільки в проєкті інтелектуального підприємства з виробництва хлібобулочних та борошняних виробів планується використовувати ультразвукові аналізатори та інтенсифікатори технологічних процесів, в першу чергу було проведено математичне моделювання процесу дифузії пасивної домішки в рідкому середовищі під впливом ультразвуку з використанням послідовного методу побудови фізико-математичної моделі [1,2,11,13]

Попередній аналіз даного процесу показав його виняткову складність, обумовлену, зокрема, наявністю акустичної кавітації, та пов'язаними з цим труднощами його математичного моделювання. Гіпотеза Буссінеска з теорії турбулентності дала можливість описати локальне перемішування, що виникає при акустичній кавітації, за допомогою коефіцієнта кавітаційної дифузії, що вказало на можливість застосування методів математичної фізики для моделювання процесу дифузії пасивної домішки в рідкому середовищі під впливом ультразвуку. На першому етапі моделювання було визначено доцільність побудови математичної моделі у вигляді диференціального рівняння в приватних похідних другого порядку параболічного типу:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) = D_0 \frac{\partial}{\partial x} \left(\exp(-kx) \frac{\partial c}{\partial x} \right), \quad (13.1)$$

де c – концентрація домішки у середовищі, кг/м³;

t – час, с;

x – координата, спрямована в бік поширення ультразвукової хвилі, м (початок координат розташовано на вході до середовища);

D – коефіцієнт кавітації дифузії, м²/с;

D_0 – коефіцієнт кавітації дифузії на вході в середу, м²/с;

k – коефіцієнт поглинання ультразвуку рідким середовищем, 1/м.

Для зручності рішення рівняння (13.1) його було приведено до безрозмірного вигляду на основі теорій подібності та розмірностей. З цією метою було введено безрозмірні змінні:

$$\xi = k \cdot x, \quad (13.2)$$

$$\tau = t \cdot D_0 \cdot k^2. \quad (13.3)$$

Змінна ξ визначає безрозмірну відстань, пов'язану з величиною коефіцієнта поглинання ультразвуку рідким середовищем k .

Змінна τ визначає безрозмірний час протікання поглинання ультразвуку рідким середовищем, пов'язаний як з початковим значенням коефіцієнта кавітаційної дифузії D_0 , так і з коефіцієнтом поглинання ультразвуку рідким середовищем k .

Шляхом подальших перетворень було винайдено величину стаціонарної концентрації домішки в рідкому середовищі:

$$\hat{c}_s = \frac{1}{\xi_0} \int_0^{\xi_0} \varphi_1(\xi) d\xi, \quad (13.4)$$

де $\xi_0 = k \cdot l$; (при постановці крайової задачі було прийнято, що ультразвукова хвиля проходить крізь шар рідкого середовища завтовшки l).

Для отримання конкретних результатів скористувалися початковим розподілом концентрації та отримали величину стаціонарної концентрації домішки в рідкому середовищі, яку шукали:

$$\hat{c}_s = \frac{\xi_0^4}{30}. \quad (13.5)$$

На рис. 13.1 наведено графіки початкової та стаціонарної концентрацій домішки в рідкому середовищі.

Аналітичне рішення сформульованої вище задачі представляє труднощі, пов'язані із залежністю коефіцієнта кавітаційної дифузії від просторової координати. Тому для оцінки проміжку часу встановлення стаціонарного режиму пропонується розглянути простішу задачу, в якій коефіцієнт кавітації дифузії не залежить від просторової координати. Ставлячи граничні величини коефіцієнта кавітаційної дифузії, можна оцінити мінімальну і максимальну величини часу встановлення стаціонарного режиму.

При вирішенні задачі моделювання процесу дифузії пасивної домішки в рідкому середовищі під впливом ультразвуку є необхідною реалізація подвійного підходу. З огляду на, що математична модель описується диференціальним рівнянням зі змінними коефіцієнтами, рішення якого аналітично викликає значні труднощі, було вирішено спростити рівняння для

отримання аналітичного рішення. Разом з тим, застосування чисельного методу, як другого підходу, дало можливість підібрати параметр в аналітичному рішенні так, щоб звести до мінімуму відмінності отриманих двома методами рішень.

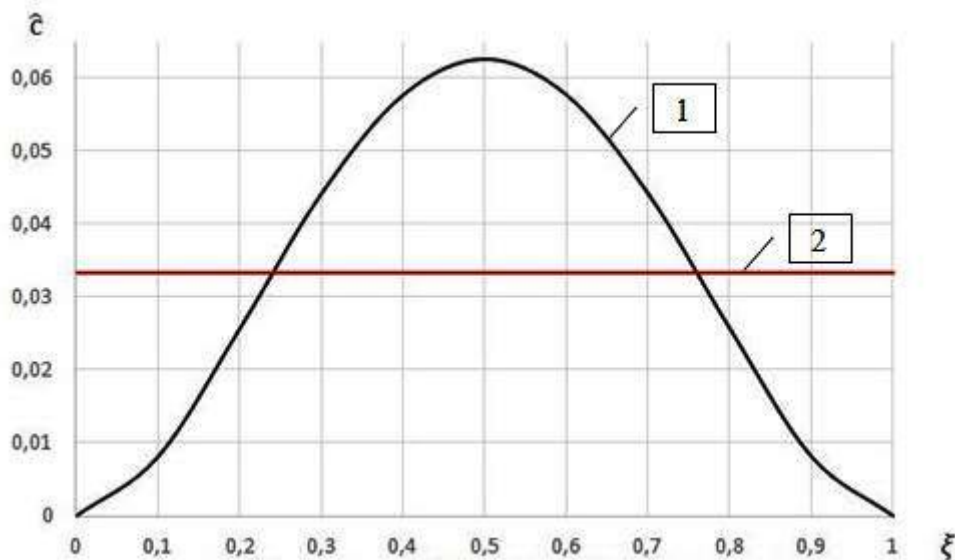


Рисунок 13.1 – Розподіл концентрації домішки в рідкому середовищі ($\xi_0 = 1$)

- (1 – початковий розподіл концентрації домішки в рідкому середовищі;
- 2 – стаціонарний розподіл концентрації домішки в рідкому середовищі)

При цьому концентрація домішки в рідкому середовищі може бути обчислена за формулою:

$$c(x, t) = \hat{c}(kx, tD_0k^2) \cdot m \cdot \int_0^l \varphi(x)dx. \quad (13.6)$$

Таким чином, для переходу до реальних величин необхідно знати величини $D_0, k, l, m, \varphi(x)$. Аналізуючи особливості параметрів, можна зробити висновок, що для визначення параметрів D_0 й k необхідна реалізація експериментів, що дозволяють досліджувати загасання ультразвуку в розглянутій рідкому середовищі. Параметр m визначається зважуванням маси домішки, що завантажується в рідке середовище. Функція $\varphi(x)$ визначає початковий розподіл домішки в середовищі при проведенні експерименту.

На рис. 13.2 показано графічне представлення результатів чисельного рішення задачі, згідно з даними табл.13.1.

Таблиця 13.1 – Результати розв’язання задачі кількісним методом

τ ξ	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0	0,018	0,024	0,028	0,031	0,033	0,034	0,035	0,036	0,036
0,1	0,008	0,018	0,024	0,028	0,031	0,033	0,034	0,035	0,036	0,036
0,2	0,026	0,026	0,029	0,031	0,033	0,034	0,035	0,036	0,036	0,036
0,3	0,044	0,040	0,038	0,038	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037
0,4	0,058	0,052	0,047	0,044	0,042	0,041	0,040	0,039	0,038	0,038
0,5	0,063	0,057	0,052	0,048	0,045	0,043	0,041	0,040	0,039	0,038
0,6	0,058	0,053	0,050	0,046	0,044	0,042	0,040	0,039	0,038	0,038
0,7	0,044	0,042	0,041	0,040	0,039	0,038	0,037	0,037	0,037	0,036
0,8	0,026	0,027	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034	0,034	0,034
0,9	0,008	0,014	0,019	0,023	0,026	0,028	0,030	0,031	0,032	0,033
1,0	0	0,014	0,019	0,023	0,026	0,028	0,030	0,031	0,032	0,033

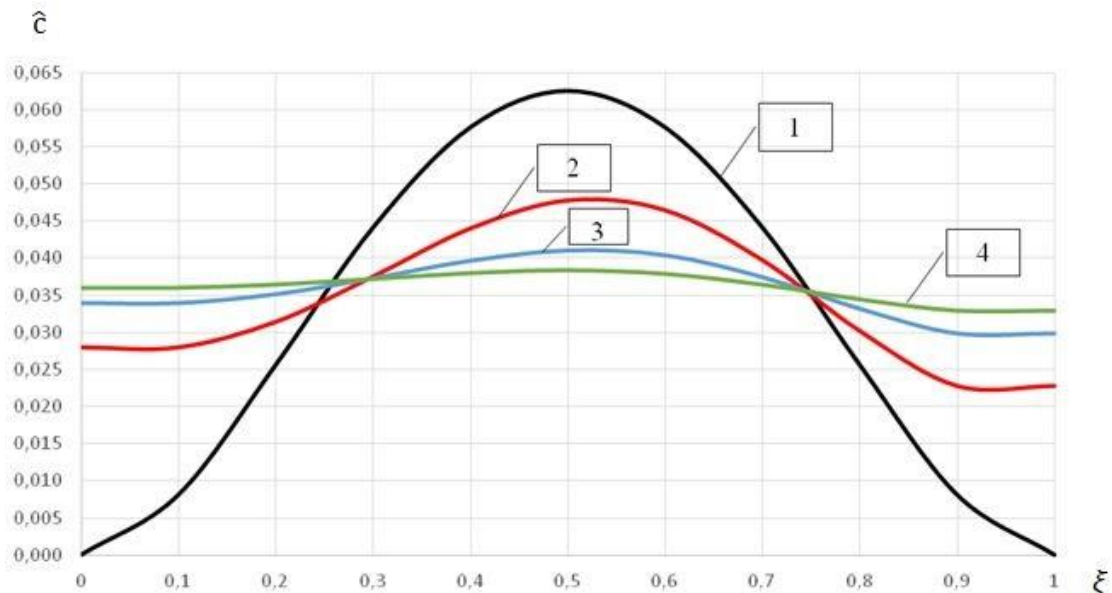


Рисунок 13.2 – Результати розрахунків залежності концентрації домішки в рідкому середовищі від відстані для різних моментів часу при чисельному рішенні задачі (1 - $\tau = 0$; 2 - $\tau = 0,03$; 3 - $\tau = 0,06$; 4 - $\tau = 0,09$)

Аналіз чисельного рішення задачі показує, що максимальна концентрація домішки в середовищі з плином часу зсувається вправо за горизонтальною віссю.

Застосування теорії подібності та розмірностей дозволило значно спростити як рішення поставленого завдання, так і подальше дослідження отриманого рішення, що пояснюється зменшенням числа змінних, об'єднаних в безрозмірні комплекси.

Далі нами було розглянуто математичну модель взаємодії ультразвукових коливань з харчовою сировиною, що представляє собою гетерогенне середовище. Припускаючи, що стан гетерогенного середовища описується математичною моделлю у вигляді диференціального рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами, був проведений спектральний аналіз цього середовища за допомогою ультразвуку.

Метою досліджень став пошук «передавальної функції» харчової сировини, за допомогою якої стало б можливим виявити структурні елементи харчової сировини – визначити її фізико-механічні властивості. Одержано формули, які дозволяють визначити параметри стану харчової сировини, за допомогою таких характеристик спектральної щільності як резонансна частота, величина резонансу та добротність коливальної системи:

$$k = \omega_0, \quad (13.7)$$

$$h = \omega_0 \frac{4Q+1}{2\sqrt{4Q^2-4Q-1}}, \quad (13.8)$$

де k , h – числові параметри, пов'язані з властивостями харчової сировини, 1/с;

Q – добротність коливальної системи;

ω_0 – резонансна частота, рад/с.

Добротність коливальної системи визначається за формулою:

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}, \quad (13.9)$$

де ω_0 – резонансна частота, рад/с;

$\Delta\omega$ – ширина смуги пропускання коливальної системи, рад/с.

Значення даних параметрів, отриманих за допомогою ультразвукових коливань, дозволяють проводити безперервний моніторинг стану харчової сировини з метою оцінки її якості. Підтримання якості стану харчової сировини на заданому рівні дозволить, завдяки оперативному її контролю, покращити кінцевий продукт. Для практичної реалізації результатів математичного моделювання на практиці необхідно проводити серії попередніх практичних експериментів з метою оцінки спектральних характеристик стану харчового продукту, що відповідає еталону необхідної якості, для кожного конкретного випадку та проведення налаштування системи моніторингу.

Під час налаштування робототехнологічних інтенсифікаторів технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів було встановлено, що обробка води ультразвуковими коливаннями на частоті 30 кГц потужністю 200 Вт (час взаємодії 3,1-3,2 хв) дозволяє досягти найбільш раціонального пливу на показники її якості: жорсткість води зменшується на 15-21 % від попереднього значення, рН знижується в середньому на 0,28-0,35 од., [1,11].

Також визначено ефективність використання ультразвукової кавітації для знезаражування води: вплив ультразвукових коливань на частоті 22 кГц, потужністю 200 Вт (час взаємодії 3,5 хв) призводить до зменшення ОМІ в 5 разів.

Розроблено спосіб диспергування м'ясних частинок в тісто за рахунок керованих кавітаційних процесів, що створюються ультразвуковими коливаннями низької частоти. Для цього визначено раціональні режими обробки ультразвуком тіста з м'ясними додатками на стадії його приготування: звуковий тиск 135-140 ДБ на частоті $22 \pm 1,50$ кГц збільшує продуктивність тістомісильної машини на 12-15% й забезпечує отримання інноваційних продуктів харчування (хлібобулочної продукції з вмістом додатків подрібнених м'ясних продуктів у кількості від 5 до 10% до загальної маси).

На рис. 13.3 наведено схему експериментальної установки з дослідження впливу ультразвукових коливань низької частоти від 20 до 40 кГц і високочастотних УЗК з частотами від 100 кГц до 1800 кГц.

Установка складається з двох частин: диспергаційно-кавітаційного та тістомісильного апаратів.

В експериментальних дослідженнях використовували випромінювачі В1, В2 з ІУЗК1, ІУЗК2 з частотою ультразвукових коливань $F = 20-22$ кГц. Вибір такого частотного діапазону пояснюється, по-перше, властивістю ультразвукових коливань рівномірно проникати у незначні пори та капіляри тіста за усім його обсягом, по-друге, можливістю дослідити процес диспергування за рахунок кавітаційних потоків рідини з частинками подрібнених м'ясних продуктів та їх здатність рівномірно розподілятися в об'ємі тіста, по-третє, виконувати за допомогою ультразвукових коливань кероване зціплення частинок борошна та м'ясних продуктів.

Побудована система відрізняється великою кількістю зв'язків для управління робототехнологічним комплексом та складається із таких локальних систем: САК1, САК2 – системи адаптивного управління інтенсифікаторами; ІУЗК1, ІУЗК2, САК3 – системи адаптивного керування продуктивністю тістомісильної машини;

САК4 – системи адаптивного керування багатоканальним інтенсифікатором УЗК з випромінювачами Б3, Б4, Б5.

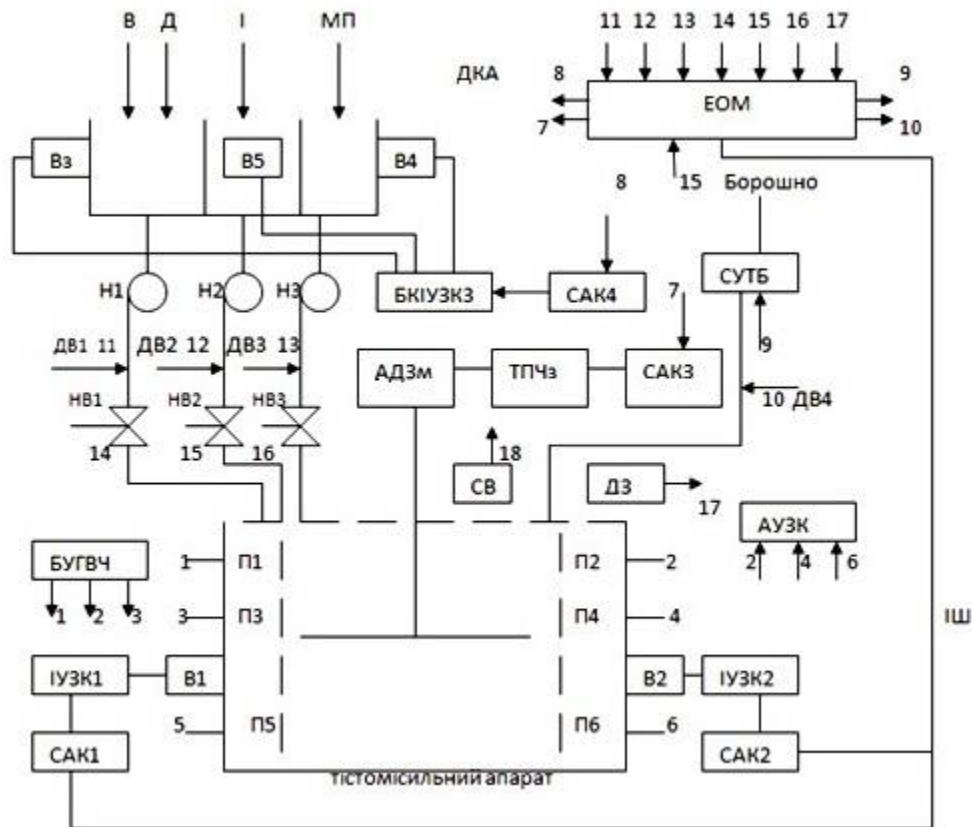


Рисунок 13. 3. – Схема експериментальної установки приготування тіста з ультразвуковими інтенсифікаторами:

В1, В2, В3, В4, В5 – ультразвукові випромінювачі; В – вода; Д – дріжджі; І – інгредієнти; МП – подрібнені м'ясопродукти; Н1, Н2, Н3 – насоси; ДВ1, ДВ2, ДВ3 – датчики витрат; ВК1, ВК2, ВК3 – клапани вентилів; АДЗМ – асинхронний двигун змішувача; ТПЧ – тристоронній перетворювач частоти двигуна змішувача; ДКА – диспергаційно-кавітаційний апарат; САК1, САК2, САК3 – системи адаптивного керування; СУТЬБ – система керування транспортування борошна; ІУЗК1, ІУЗК2 – інтенсифікатори ультразвукових коливань; БКІУЗК3 – багатоканальний інтенсифікатор ультразвукових коливань; БУГВЧ – блок ультразвукових генераторів високої частоти з датчиками-перетворювачами П1, П3, П5; Д3 – датчик запаху; СВ – система візуалізації; АУЗК – аналізатор ультразвукових коливань з датчиками-приймачами П2, П4, П6; ЕОМ – електронна обчислювальна машина; ІШ – інформаційна шина

У робототехнологічному комплексі очищену воду з диспергованими частинками дріжджів до тістомісильного апарату подають насосом Н1. В системі контролю продуктивності насоса Н1 передбачено визначення параметрів витрат ДВ1 і положення виконавчого механізму НВ1, сигнали 11 й 14 контролю й керування з яких надходять до ЕОМ. Подачу інгредієнтів (І) в тістомісильний апарат виконує насос (Н2) з датчиком витрат ДВ2 і регульованим вентилем НВ2, сигнали з яких 12, 15 надходять до ЕОМ. Подачу диспергованих частинок м'яса виконує насос (Н2), контроль витрат виконує

система контролю ДВЗ з виконавчим механізмом НВЗ, сигнали з яких 13, 16 надходять до ЕОМ. В системі управління транспортування борошна передбачено контроль витрат за допомогою системи ДВ4, сигнал 10 з якої надходить до ЕОМ.

В диспергаційно-кавітаційному апараті (ДКА) виконуються такі функції: кероване очищення води; приготування м'ясних додатків та інших функціональних інгредієнтів.

За допомогою УАЗК, розроблених програмних продуктів й розроблених способів управління ЕОМ керує процесом ультразвукової кавітації. При цьому робототехнологічні інтенсифікатори ІУЗК1 і ІУЗК2 з системами САК1, САК2 і датчиками контролю параметрів технологічного середовища П2, П4, П6, взаємодіючи з тістом, утворюють фазу розрідження хвилі УЗК. В результаті цього керованого явища в ядрі технологічного середовища тістомісильного апарату виникають розриви по слабких місцях (кавітаційні зародки). У даному випадку – це частинки борошна, дріжджів, повітряні бульбашки, м'ясні частинки, які дисперговані в тісто.

За допомогою АУЗК і перетворювачів П5, П6 ЕОМ визначається граничне значення інтенсивності ультразвуку. Отже, ІУЗК1 та ІУЗК2 за рахунок кавітаційно-диспергаційного процесу виконують диспергування частинок м'яса в тісто.

Зі зростанням інтенсивності УЗК від 100 дБ до 140 дБ на частоті 22 кГц швидкість процесу ультразвукового диспергування збільшується. При цьому, вона залежить від характеристик борошна і величини сил взаємодії між окремими частинками борошна і м'ясних частинок.

Продуктивність тістомісильного апарату регулюють за допомогою системи САК3, ТПЧЗ і АДЗ. Данні з системи візуалізації СВ, що передбачає використання інфрачервоних оптичних сенсорів, і датчиків запаху ДЗ, надходить в ЕОМ і, після обчислення за допомогою нейронних мереж, інформують оператора про готовність продукту. В системі готовності тіста з додатками важливу роль відіграють датчики контролю густини тіста П2 та його однорідності П4.

Таким чином, у навчальному посібнику розроблено способи контролю параметрів густини хлібного тіста, кавітаційних бульбашок, що виникають під впливом ультразвуку, середовища «тісто-м'ясні добавки» та інтелектуального керування процесами диспергування м'ясних додатків у тісто й продуктивністю тістомісильної машини шляхом адаптивного керування потужністю ультразвуку з великою кількістю зв'язків.

Доведено, що ультразвукові коливання, утворюючи кавітаційно-диспергуючий ефект, забезпечують рівномірний розподіл вологи між

частинками борошна, більш швидке зволоження частинок дисперсної фази, що викликає адгезійний та когезійний ефекти борошна з частинками добавок. У підсумку, перемішування диспергованих частинок борошна з частинками подрібнених функціональних добавок під дією ультразвукових коливань призводить до утворення однорідного гетерогенного середовища.

У процесі кавітаційного диспергування частинок борошна і м'ясних частинок в потужному полі ультразвукових хвиль з частотою 22 кГц волога з розчиненими білками, цукром, іншими інгредієнтами будуть утворювати на поверхні тонку плівку, що покращить не тільки зовнішній вигляд виробів, але й позитивно вплине на терміни зберігання хлібобулочної продукції.

Наступним етапом було розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом хлібобулочної продукції, в якій аналіз збурень сировини, води та обладнання виконано за допомогою системи моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання.

На рис. 13.4 наведено блок-схему робототехнологічного комплексу виробництва хліба. У технологічну лінію вбудовано: ультразвукові апарати очистки води, дезінтеграції, змішування та інтенсифікації мікробіологічних, біохімічних, колоїдних, хімічних, гідродинамічних процесів виробництва хліба.

У системі керування технологічним процесом підготовки сировини використані такі блоки з робототехнологічними ультразвуковими (УЗ) комплексами:

РУЗК1, РУЗК2 для очищення води та дезінтеграції дріжджів відповідно;

РУЗК3 – в камерах А, Б, В використані методи диспергування для приготування соляного розчину, цукрового розчину та дозування жирних продуктів з підсилюючими компонентами.

Робототехнологічний комплекс складається із ультразвукової системи (УЗКС), що взаємодіє з технологічним середовищем. До складу УЗКС входять електронний генератор (ЕГ), пристрій узгодження (ПУ), електроакустичний перетворювач (ЕАП), концентратор (К) та випромінювач (В).

За допомогою системи автоматизованого контролю (САК) виконано контроль параметрів, які характеризують технологічну операцію приготування опари-тіста. Для цього використано систему п'єзо-датчиків П₁-П₂, П₃-П₄, П₅-П₆, вбудованих в технологічне середовище апаратів. Аналізатор складається із трьох аналогічних каналів:

1-й канал (п'єзо-датчики П₁-П₂) – опосередковано контролює густину та інші параметри опари (стадія замісу опари);

2-й канал (п'єзо-датчики П₃-П₄) – опосередковано контролює стадію бродіння опари-тіста, оцінюючи їх однорідність, гідродинамічні параметри та інші властивості;

3-й канал (п'єзо-датчики П₅-П₆) – визначає концентрацію газових бульбашок в середовищі опари-тіста.

При проходженні ультразвукових коливань через опару або тісто внаслідок поглинання, обумовленого в'язкістю і теплопровідністю середовища, має місце ослаблення амплітуди сигналу у відповідності з виразом:

$$A_y = A_0 \cdot e^{-\alpha y}, \quad (13.10)$$

де A_0 – амплітуда коливань, яку випромінюють пристрої джерела ультразвукових коливань П₁, П₃, П₅;

A_y – амплітуда коливань, які прийняті датчиками-п'єзоелементами (П₂, П₄, П₆);

α – коефіцієнт затухання;

y – відстань між п'єзоелементами.

Третій канал системи контролю налагоджено на резонансну частоту кавітаційних бульбашок рідина-опари-тісто. Канал оцінює оптимальні параметри кавітаційних впливів ультразвукового поля на опару-тісто. Основним параметром, який характеризує ефективність кавітаційного впливу, є індекс кавітації (IK):

$$IK = \frac{V}{\Delta V}, \quad (13.11)$$

де V – об'єм рідини (опари, тіста);

ΔV – об'єм кавітаційних бульбашок.

Індекс кавітації будемо також використовувати для опосередкованої оцінки ефективності роботи робототехнологічного ультразвукового комплексу, приготування опари та тіста.

У процесі розробки інтелектуальної системи керування робототехнологічним комплексом побудовано: бази даних (БД), бази знань (БЗ), експертну систему, інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень. Ідентифікацію технологічного процесу виробництва опари-тіста виконано за допомогою системи датчиків П₂, П₄, П₆, Д₇-Д₉, а також використано знання спеціалістів-технологів з експертного оцінювання технологічних процесів виробництва хліба. При цьому експерти звертались до апріорно одержаних знань, правил, моделей, характеристик опари й тіста та моделей взаємодії ультразвуку з біологічними об'єктами.

У процесі експертних досліджень встановлено наступне:

– початкова температура бродіння опари (28 °С) є нижчою, ніж температура бродіння тіста (30 °С). Бродіння опари триває 3,5-4,5 годин, залежно від вмісту в ній борошна, його сорту, якості та кількості дріжджів. Вологість і

температура опари, газоутворююча здатність борошна та його кислотність, густина опари та підйомна сила, активна кислотність опари визначають реологічні властивості опари та тіста;

– процес приготування опари та тіста опосередковано можна контролювати за ароматичними властивостями, сприймаючи дифузію парів води з поверхні датчиком запаху TGS2620 (Tagushi Gas Sensor, США), та візуально, за допомогою системи СВ.

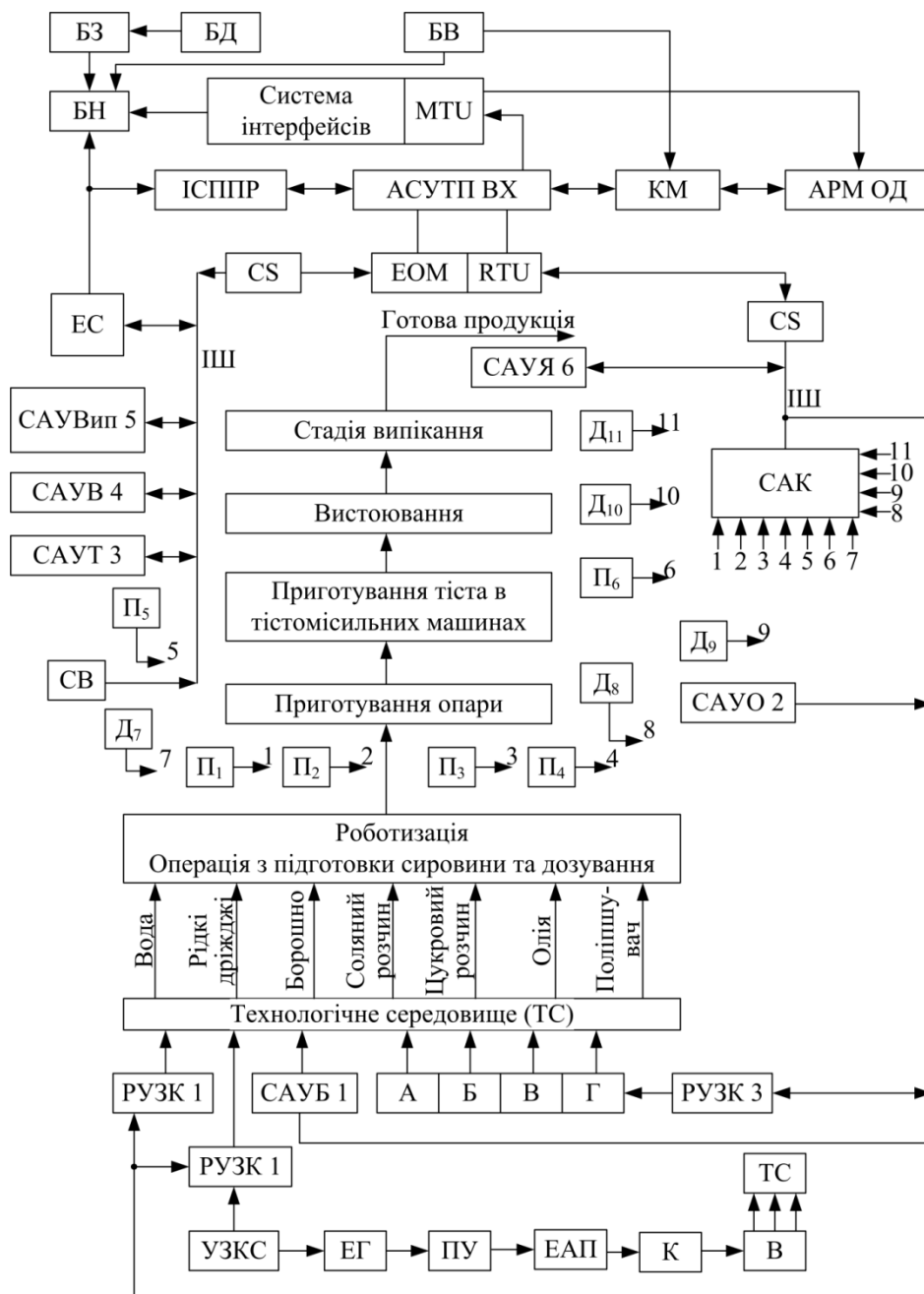


Рисунок 13. 4 – Блок-схема робототехнологічного комплексу з виробництва хліба:

БД – база даних; БЗ – база знань; БВ – блок виводу; БН – база навчання; MTU – Mater Terminal Unit; ІСППР – інтелектуальна система підтримки прийняття рішень; АСУТП ВХ – автоматизована система керування технологічним процесом виробництва хліба; КМ – корпоративний монітор; АРМ ОД – автоматизовані робочі місця операторів та диспетчера хлібозаводу; ЕС – експертна система; CS – Communication System; ЕОМ – електронно-

обчислювальна машина; RTU – Remote Terminal; ШІ – інформаційна шина; САУЯ 6 – система адаптивного керування якістю продукції; САУВип 5 – система адаптивного керування стадією випікання хліба; САУВ 4 – система адаптивного керування стадією вистоювання; САУТ 3 – система адаптивного керування приготуванням тіста; САУО 2 – система адаптивного керування процесом приготування опари; САУБ 1 – система адаптивного керування стадією підготовки борошна; САК – система автоматизованого контролю; П₁, П₂, П₃, П₄, П₅, П₆ – п'єзо-датчики; Д₇, Д₈, Д₉, Д₁₀, Д₁₁ – датчики; СВ – система візуалізації; РУЗК1, РУЗК2, РУЗК3 – робототехнічні ультразвукові інтенсифікатори; УЗКС – ультразвукова система; ЕГ – електронний генератор; ПУ – пристрій узгодження; ЕАП – електроакустичний перетворювач; К – концентратор; В – випромінювач

У подальшому експертна система (ЕС) стає навченою штучною нейромережою (ШНМ) та в комплексі з електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ) обробляє та оцінює інформацію, що надходить від датчиків:

- п'єзоелементів П₂, П₄, П₆;
- з системи датчиків Д₇-Д₁₁;
- датчиків, які контролюють параметри системи УЗКС Z_H , R_K , K_S , I_K .

В результаті ідентифікації ЕС:

– визначає оптимальний час роботи робототехнологічних комплексів РУЗК1, РУЗК2, РУЗК3 та потужності;

– виконує прогнозування параметрів: K_2 – гідродинамічні умови бродіння опари та замісу тіста; P_0 – підйомну силу опари; ρ_o , ρ_T – густину опари та тіста відповідно; λ_m – коефіцієнт масопровідності; a_m – коефіцієнт внутрішнього масопереносу, що залежить від температури і вологості та свідчить про інтенсивну властивість борошна до зовнішніх збурень води, розчинів та інших покращувачів.

Основне завдання експертної системи – вибрати оптимальні вставки пропорційно інтегральних диференціальних регуляторів (ПІД-регуляторів) САУБ1, САУО2, САУТ3, САУВ4, САУВип5.

В процесі експериментальних досліджень встановлено, що:

– на частоті УЗК $f_1=600$ кГц сигнали з датчика П₂ (A_{y2}) опосередковано ідентифікують чинники K_2 , P_0 , ρ_o ;

– на частотах УЗК $f_2=400$ кГц сигнали з датчика П₄ (A_{y1}) опосередковано ідентифікують чинники ρ_T , λ_m , a_m .

Архітектура інтелектуальної системи керування підприємством з виробництва хлібобулочної продукції з ІСППР включає:

– експертну систему (ЕС), блок навчання (БН), базу знань (БЗ), базу даних (БД), блок виводу (БВ), корпоративний монітор (КМ), автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів та диспетчера хлібозаводу та системи інтерфейсів (взаємодії з експертом, об'єктом та користувачем);

– АСУТП виробництва хліба (АСУТП ВХ) з ЕОМ на верхньому рівні та локальними системами нижнього (оперативного) рівня.

В АСУТП виробництва хліба, побудованої на базі SCADA-систем, включено три структурні компоненти:

1) RTU, MTU та CS. RTU (Remote Terminal Unit) – термінал, який обробляє інформацію з датчиків Π_1 – Π_6 , D_1 – D_{11} ;

2) систему візуалізації (машинного зору);

3) робототехнічні ультразвукові інтенсифікатори РУЗК 1, РУЗК 2, РУЗК 3. Системи RTU працюють в режимі жорсткого реального часу. В свою чергу MTU (Master Terminal Unit) представляє собою диспетчерський пункт керування з автоматизованими робочими місцями операторів та диспетчера. Основне завдання MTU – забезпечення інтерфейсу між оператором і системою керування хлібозаводом.

Система CS (Communication System) – це комунікаційна система (канали зв'язку, інформаційна шина (ІШ)).

Основне завдання системи CS – це передача сигналів керування на RTU. Робототехнологічний комплекс включає:

– системи адаптивного керування окремими технологічними процесами та стадіями САУБ 1, САУО 2, САУТ 3, САУВ 4, САУВип 5, САУЯ 6;

– систему автоматизованого контролю (САК), на вхід якої через порти 1–11 знаходять сигнали з датчиків Π_2 , Π_4 , Π_6 – п'єзоелементів, які опосередковано оцінюють: реологічні властивості опари та тіста, підйомну силу опари, активну кислотність опари, кислотність опари та запах (D_7 , D_8), формуючу здатність заготовки тіста (D_9), тривалість вистоювання тістових заготовок, температуру вистоювання, вологість в шафі вистоювання.

Масу тістової заготовки контролює система датчиків D_{10} . Пористість хліба, його кислотність, формостійкість, вологість, температуру в центрі м'якуша, тривалість випікання тістових заготовок контролює опосередковано система датчиків D_{11} , та система візуалізації (СВ).

В мехатронній системі використано апарат штучних нейронних мереж для реалізації пошуку рішень оптимальних режимів роботи стадій виробництва хліба. Це досягнуто розпізнаванням виробничих ситуацій та визначенням S_n – проблемних ситуацій в темпі s процесом виробництва хліба. Розпізнавання ситуацій S_b й S_n із множини n ситуацій будемо називати процесом класифікації. При такій інтерпретації в якості вихідного результату на виході блоку виводу (БВ) системи ІСППР одержуємо номер ситуації S_b або S_n . Для навчання багатосарової ШНМ використано метод зворотного розповсюдження помилки. У процесі навчання мережі експерт з навчання задає: швидкість навчання, число ситуацій S_b , S_n по кожній із технологічних стадій. Такий підхід дає можливість значно підвищити точність розпізнавання ситуацій та оцінку стану робочих характеристик технологічних процесів: бродіння опари, однорідності тіста та керування процесами випікання хліба.

В мехатронному технологічному комплексі виробництва хліба використано алгоритми інтелектуального керування процесами підготовки сировини, приготування опари, тіста, вистоювання та випікання з експертним оцінюванням якості сировини, напівфабрикатів і готової продукції з підсистемами підтримки прийняття рішень, детально розроблених авторами [1]. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень на основі інформації датчиків блоків БД, БЗ, БН, БВ, експертної системи ЕС та САУБ1, САУО2, САУТ3, САУВ4, САУВип5, САУ6 змінює режими роботи ультразвукових систем РУЗК1, РУЗК2, РУЗК3. Це здійснюється через виконуючі механізми шляхом відпрацювання оптимальних управлінських впливів на гетерогенне технологічне середовище. Параметри борошна оцінює експертна система (ЕС), а керування якістю продукції САУЯ 6. Рекомендації останньої через RTU, CS надходять до системи автоматизованого керування стадією підготовки й дозування борошна (САУБ1). ІСППР рекомендує в діалоговому режимі з використанням КМ спосіб покращення властивостей борошна, опари та тіста щодо вітамінізації властивостей хліба.

Надалі було розроблено мехатронні системи керування технологічним процесом виробництва хлібобулочної продукції за окремими його стадіями. Так, на рис.13. 5 представлено блок-схему мехатрони системи керування виробництвом опари, а на рис. 13.6 – мехатронну систему керування усім тістомісильним відділенням з додатковими можливостями відтворення технології низькотемпературного повільного бродіння тіста, а також вбудованою системою заморожування тістових напівфабрикатів.

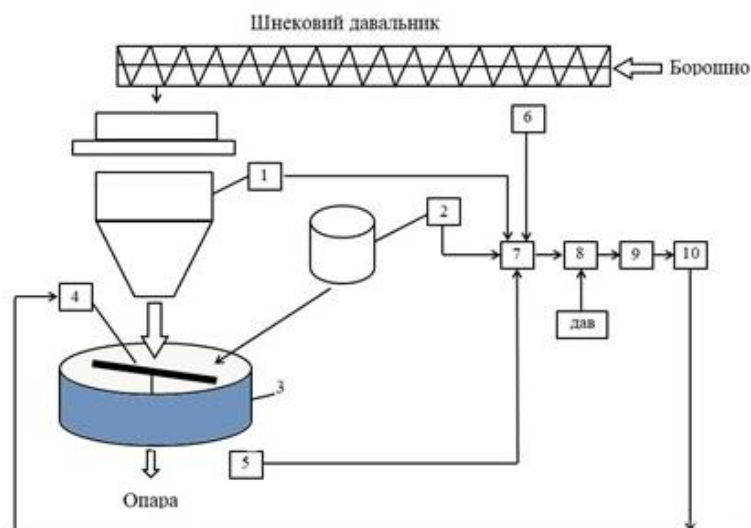


Рисунок 13.5. – Блок схема мехатронної системи керування процесом виробництва опари:

1 – автоборошномірний пристрій; 2 – автоматичний водомірний пристрій; 3 – тістомісильна машина; 4 – двигун мішалки; 5 – датчик якості опари; 6 – датчик якості борошна; 7 – МП; блоки 8, 9, 10 – система завантаження тістомісильної машини 3

Розроблені алгоритми, що їх втілено в адаптивних системах оптимального керування процесами виробництва хлібобулочних виробів, реалізовані за допомогою сучасних мікропроцесорних систем, які працюють ідентифікаторами і забезпечують автоматичне квазі-оптимальне налагодження систем керування технологічними стадіями виробництва продуктів харчування. Встановлено, що оптимальні за якістю значення параметрів технологічного процесу виробництва хліба можуть бути визначені та налаштовані за допомогою адаптивних цифрових регуляторів.

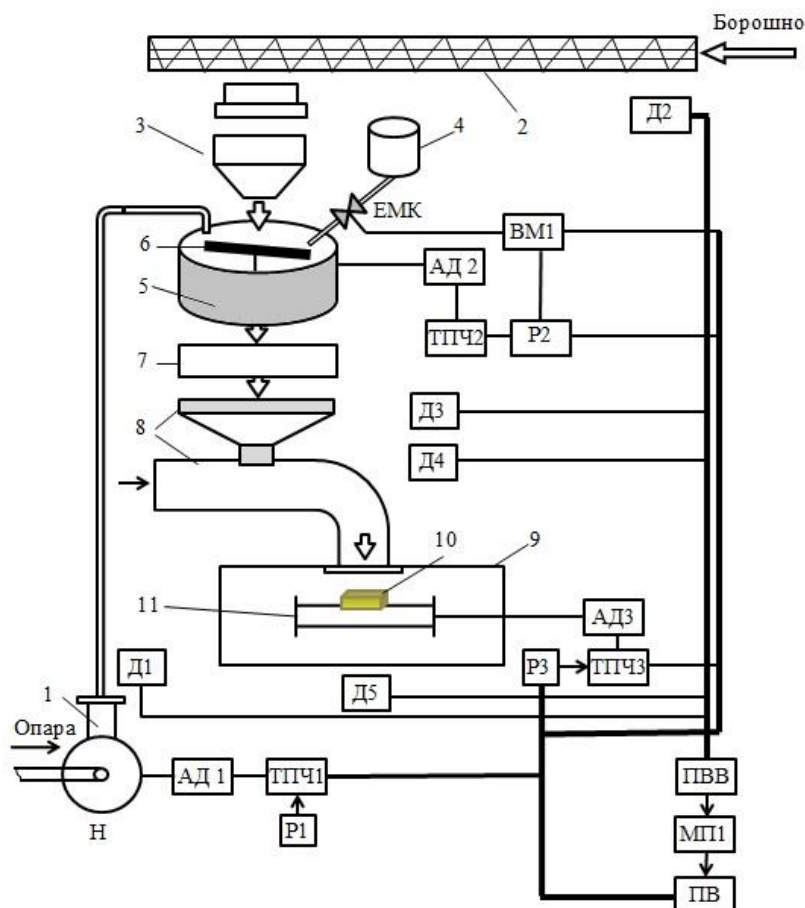


Рисунок 13. 6. – Мехатрона цифрова система керування тістомісильним відділенням:

1 – насос з електроприводом АД1–ТПЧ1; 2 – шнековий давач борошна; 3 – автоборошномірний пристрій; 4 – автоматичний водомірний бачок; 5 – тістомісильна машина; 6 – мішалка з електроприводом АД2 – ТПЧ2; 7 – п’ятисекційний бункер; 8 – робототехнологічний комплекс виробництва; 9 – холодильна камера; 10 – хліб; 11 – конвеєр з електроприводом АД3–ТПЧ3

Таким чином, комплексний вплив частоти, інтенсивності та швидкості ультразвукових коливань, створення ефектів кавітації, диспергування, дезінтеграції, коагуляції дозволяє оптимізувати операції приготування опари та тіста. Тобто за допомогою вбудованих у технологічний процес виробництва

хліба робототехнологічних комплексів можна досягнути більш високої якості хлібобулочних виробів.

Системи моніторингу робочих характеристик обладнання та якості води, сировини, опари, тіста виконано на основі агентських технологій, що дає можливість на базі нечітких регуляторів побудувати системи адаптивного керування комплексом приготування тіста та випіканням хліба.

Аналіз результатів функціонування алгоритму і структури системи мехатронного керування (СМК) з моніторингом робочих характеристик обладнання (моніторингу якості продукції) дозволяє зробити висновок про те, що метод побудови мехатронних СМК дозволяє синтезувати нечіткі регулятори для елементарних операцій технологічних процесів виробництва хліба з врахуванням нелінійності об'єкту керування.

Доведено, що відпрацювання еталонного завдання в умовах невизначеності зовнішніх і внутрішніх збурень, які не контролюються датчиками, може бути оцінено експертною системою формування законів керування технологічним процесом виробництва хліба. Врахування знань і навичок операційного персоналу в експертній системі керування з агентськими технологіями моніторингу робочих характеристик обладнання та якості сировини, в тому числі води, дозволяє побудувати робастні інтелектуальні системи керування промисловим виробництвом хліба з оптимізацією його параметрів продуктивності та мінімізацією питомих енерговитрат.

Розроблено багаторівневу інтелектуальну систему автоматизованого управління технологічним процесом виробництва хліба. В архітектурі цієї системи використано робототехнологічний комплекс з інтелектуальною системою підтримки прийняття рішень та блоками навчання, базами даних і знань, блоком виводу інформації на корпоративний монітор продуктивності, автоматизованим робочим місцем з системою інтерфейсів, штучною нейронною мережею розпізнавання аварійних, аномальних і нормальних ситуацій.

Слід відзначити, що використання у промисловому виробництві хлібобулочної продукції робототехнологічних комплексів з вбудованими системами моніторингу та ультразвуковими інтенсифікаторами, дозволяє вийти на новий рівень якості та безпеки відтворення технологічних процесів та кінцевого продукту, обумовлених безлюдними технологіями з адаптивними системами керування виробництвом в умовах невизначеності.

Отже, розробка систем багатоцільових мехатронних комплексів щодо керування технологічними процесами хлібопекарського виробництва на основі контролю якості продукції та інтелектуальних технологій сприятиме підвищенню продуктивності праці та зменшенню питомих втрат продовольчих, енергетичних та інших видів ресурсів.

13.2. Робототехнологічний комплекс для виробництва копченої риби

Модель технологічного процесу копчення риби представляє собою сукупність функціональних схем, рівнянь, логічних операторів, номограм, таблиць і т. п., за допомогою яких характеристики стану системи визначають в залежності від параметрів процесу, вхідних сигналів і часу. На рис. 13.7 наведена модель технологічного процесу копчення рибних продуктів, а на рис. 13.8 наведено розроблений авторами посібника роботизований комплекс виробництва копченої риби.

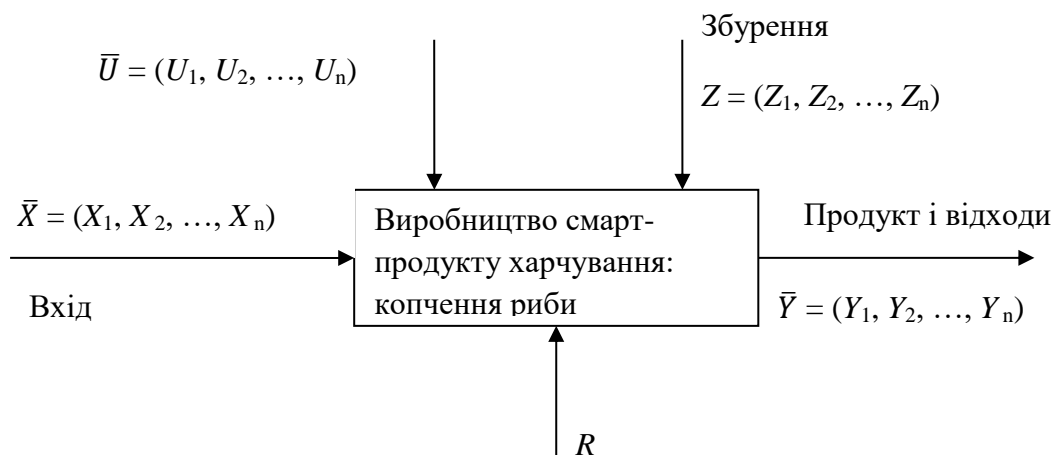


Рисунок 13.7. – Модель технологічного процесу копчення рибних продуктів

Вхідними параметрами $\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ моделі дискретної виробничої системи є риба, додаткові інгредієнти, вода, пара, електрика, тощо для виробництва смарт-продуктів харчування. Вихід цієї системи $\bar{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ представляють показники смарт-продукту харчування і відходи виробництва. Виробничий процес управляється за допомогою АСУТП, MES-, ERP- й SCADA-системами, оперативними і стратегічними планами $\bar{U} = (U_1, U_2, \dots, U_n)$, складеними на основі технологічних показників. Для реалізації цих показників потрібні ресурси (R) у вигляді персоналу і обладнання та технічних засобів (робототехнологічний комплекс з виробництва рибних продуктів). Як відомо [3], технологічні процеси харчових виробництв є достатньо складними багатопараметричними об'єктами з множиною нелінійних зв'язків. Стандартні засоби автоматизації уже не забезпечують належного рівня надійності і швидкодії. У сучасних умовах глобальної конкуренції на ринках країн ЄС необхідно використовувати нові, прогресивні способи контролю і керування якісними показниками копченої рибної продукції.

Найбільш перспективними є системи контролю вихідних параметрів $\{\bar{Y}\}$ на базі використання штучних нейронних систем [1, 2, 9, 11] та інтелектуальних технологій в системах керування робототехнологічними комплексами

(робототехнічні маніпулятори завантаження сировини з визначенням оптимальної траєкторії взаємодії імпульсного ультразвукового інтенсифікатора з продуктом, управління часом взаємодії). Використання інтелектуальних технологій у процесах виробництва копченої риби за критерієм мінімізації енергозатрат (газу, електрики, пари) і мінімізації викидів $\{\bar{Y}_3, \bar{Y}_4\}$, особливо підтримання концентрації CO_2 в заданих межах, що вимагає від науковців використання штучних нейронних мереж (ШНМ) для прогнозування якості вихідних показників [11].

Отже, для покращення якості керування складним технологічним процесом копчення риби (рис. 13.8) будемо використовувати: цифрову платформу «Їжа» з програмним забезпеченням (ПЗ) автоматизованого управління верхнім рівнем виробничої системи, MES-системи операційного виробництва, ERP-системи управління бізнес-процесами і стратегічного планування, інтелектуальні системи підтримки прийняття операційних рішень (ІСППОР), АСУТП з нейромережевими регуляторами (НМР), а також автоматизовані робочі місця операторів [1,2].

Із теорії автоматичного управління відомо, що сформувані ідеальне управління \bar{U} можливо, знаючи миттєве значення якобіана – матриці приватних похідних вектора стану копильного апарату (копильної камери) щодо змінних керованих впливів $\{\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3\}$. Метою цієї операції є переведення об'єкта управління (копильного апарату) із поточного стану в бажаний [22]. Одним із найбільших ефективних і зручних щодо реалізації на сучасних мікропроцесорах методів ідентифікації невідомих параметрів багатомірних систем є алгоритм Качмажа [1,2]. Він дозволяє інтерактивно визначити матрицю A невідомих параметрів лінійної дискретної системи виду:

$$X_K = A^m \bar{U}_K, \quad (13.12)$$

де X_K – параметри вхідних чинників стану сировини й об'єкту керування;
 \bar{U}_K – вектор управлінських впливів.

Нейромережева ідентифікація є альтернативою традиційним методам і найбільш підходить для оцінки якобіана при синтезі нелінійних об'єктів – виробництва копченої риби.

Для побудови адекватної динамічної моделі процесу копчення риби необхідно побудувати систему інформаційного забезпечення з датчиками D_1 - D_{20} технологічних змінних, а для оцінки якісних показників копченої риби $\{\bar{Y}\}$ необхідно розробити гібридну модель нейромережевого прогнозатора і регулятора НМР, якісних показників готового продукту, для яких раніш невідомі вхідні параметри і неможливо побудувати математичну модель, що б враховувала множинні нелінійні зв'язки [13]. У той же час в умовах мінімізації викидів вуглекислого газу CO_2 і керування складним процесом дифузії

ультразвукових коливань в рибні продукти в середовищі копильного диму структура розробленого нейромережевого регулятора (НМР) повинна включати: базу даних (БД), модуль навчання (МН), нейромереж (НМ) і модуль формування оперативного рішення. Від системи інформаційного забезпечення з датчиків D_1-D_{20} (виконаної на базі SCADA-системи) інформація надходить в базу даних. ЕОМ верхнього рівня передає параметри $\{\bar{X}\}$ в модуль навчання МН, де відбувається навчання нейромережі (НМ).

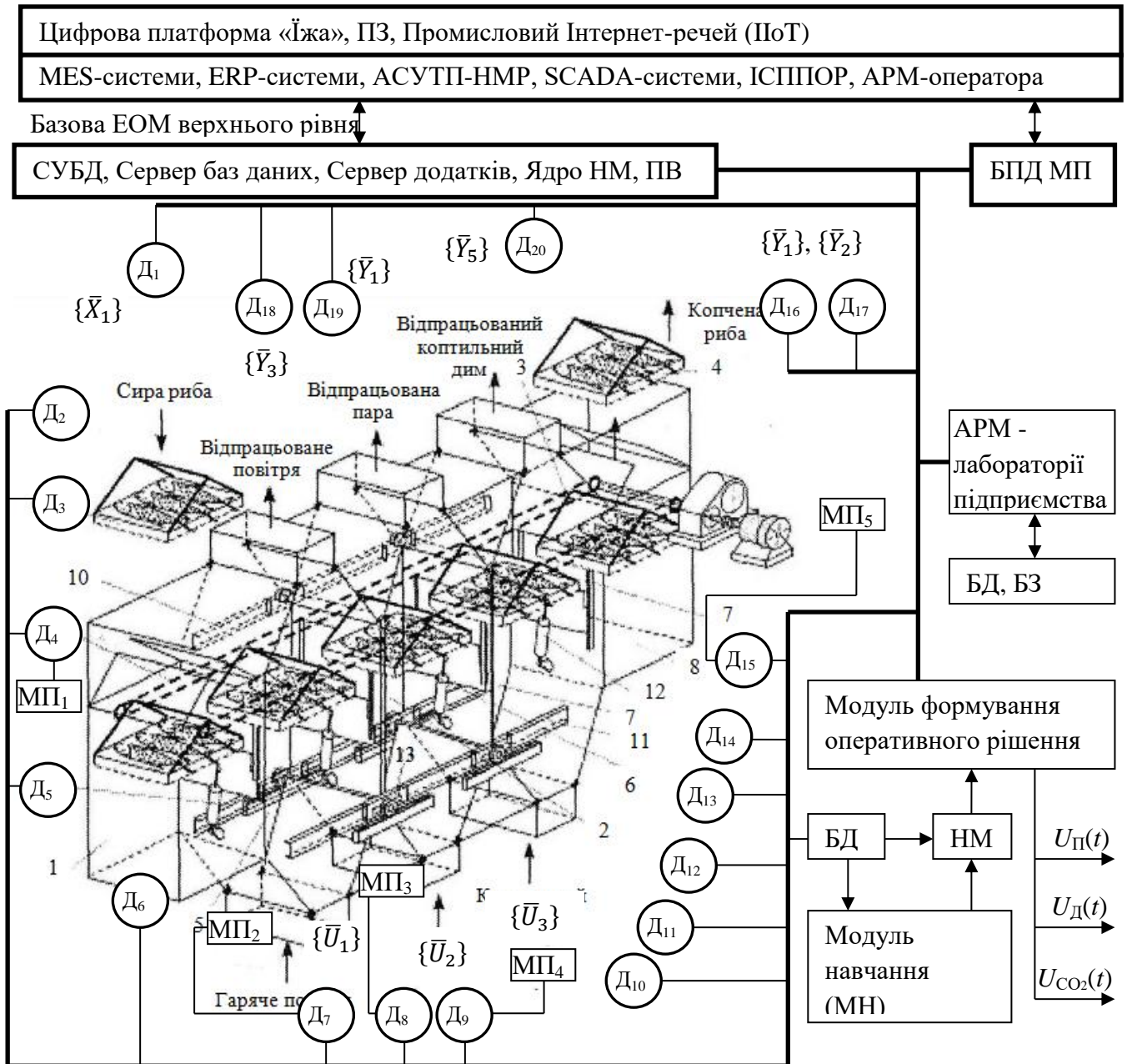


Рисунок 13.8. – Робототехнологічний комплекс копчення риби з автоматизованими системами керування технологічним процесом:

1 – робототехнологічний комплекс; 2 – робоча камера; 3 – транспортер з ультразвуковою системою імпульсного впливу на продукт; 4 – решітчасті піддони з системою контролю параметрів рибної продукції (D_2); 5 – секція підсушування з системою контролю температурних параметрів; 6 – секція проварювання з системою автоматизованого контролю і регулювання часу проварювання; 7 – секція коптіння з системою автоматизованого

контролю та керування процесу коптіння за параметрами температури копильного диму; 8 – робот камери розвантажування рибопродукту; 9 – вимірювання ваги; 10, 11 – направляючі; 12 – виконуючі механізми з АД-ТПЧ; 13 – трубний вал із системою контролю швидкості руху рибопродуктів у системі РТК (Д₅); Д₁-Д₂₀ – датчики параметрів технологічного процесу копчення риби; МФОР – модуль формування оперативних рішень з блоками БД – база даних, НМ – нейромережа, МН – модуль навчання; МП₁-МП₅ – мікропроцесори керування технологічними агрегатами і апаратами РТК; БПД – блок передачі даних в мікропроцесори (МП₁-МП₅); АРМ – автоматизовані робочі місця оператора та лабораторії підприємства

Разом з вхідними параметрами БД ЕОМ передає в нейромережу також попередні значення параметрів якості копченої риби, поточні значення CO₂ та значення керованих впливів $\{\bar{U}\}$.

Після цього навчена нейронна мережа за рахунок модуля формування рішення видає рекомендації оператору АРМ та безпосередньо впливає на виконавчі механізми РТК копчення риби, щодо мінімізації поточних параметрів енергоспоживання $E_{\text{пот}} \in E_{\text{min}}$ та виділення вуглекислого газу $\text{CO}_2_{\text{пот}} \in \text{CO}_2_{\text{min}}$. З цією метою локальні системи керування технологічними процесами завантаження, підсушування, проварювання, копчення, зважування, оцінки геометричних розмірів рибної сировини, виконані на базі мікропроцесорних контролерів SCADA-систем (МП₁-МП₅).

На рис. 13.9 наведено структуру нейромережі, яку використано для прогнозування оператору (АРМ) наступних параметрів: $T_{\text{к.д}}(t)$ – температури копильного диму в робочій камері копчення; $Q_{\text{к}}(t)$ – продуктивність секції копчення; $\tau_{\text{к}}(t)$ – тривалість (час, хв.) процесу копчення. Прогнозування цих важливих параметрів оператору виконується в інформаційній автоматичній системі вимірювання параметрів: X_{11} - X_{1n} – параметрів CO₂; X_{22} - X_{2n} – контроль процесу копчення; X_{33} - X_{3n} – копильного диму; X_{44} - X_{4n} – управлінські впливи (швидкість копильного диму); X_{55} - X_{5n} – якість сировини (рибного продукту) та її геометричні параметри.

Вхідні параметри:

Автоматичний контроль CO₂ за допомогою датчика концентрації CO 112 KIMO INSTRUMENTS, параметри $\{\bar{X}_{11} \dots \bar{X}_{1n}\}$;

Автоматичний контроль процесу копчення, емнісний датчик температури й відносної вологості диму A2G-70, параметри $\{\bar{X}_{22} \dots \bar{X}_{2n}\}$;

Значення параметрів копильного диму, параметри $\{\bar{X}_{33} \dots \bar{X}_{3n}\}$;

Значення управлінських впливів, параметри $\{\bar{X}_{44} \dots \bar{X}_{4n}\}$;

Параметри якості сировини, параметри $\{\bar{X}_{55} \dots \bar{X}_{5n}\}$.

Навчання мережі проводиться вчителем-експертом, після чого навчена мережа перевіряється на адекватність та якість функціонування. У процесі

оцінки працездатності нейронної мережі експертним шляхом встановлено, що помилка навчання складає близько двох відсотків.

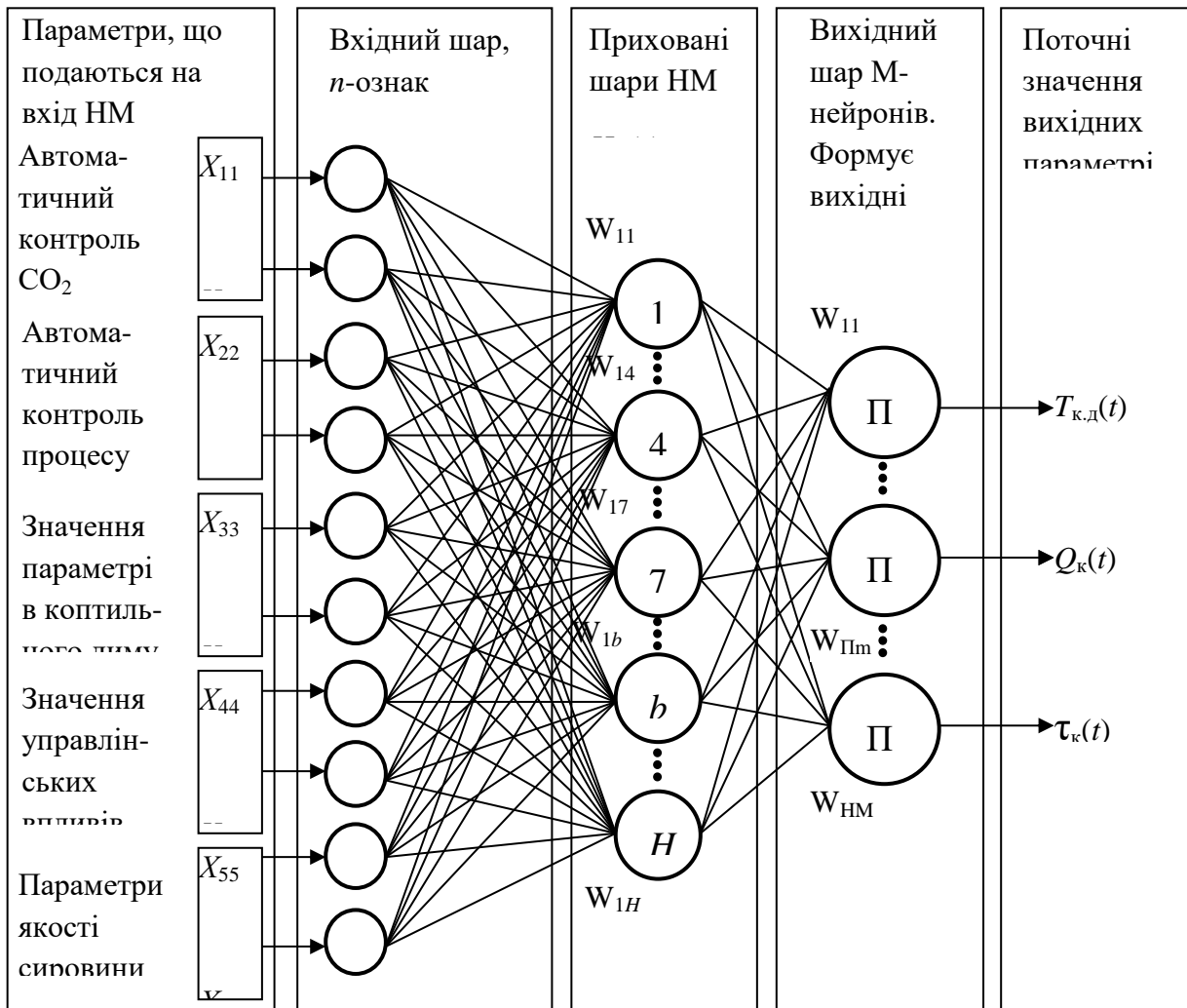


Рисунок 13.9. – Структура нейронної мережі для прогнозування параметрів копчення: $T_{к.д}(t)$ – оптимальна температура коптильного диму в робочій камері копчення; $Q_{к}(t)$ – продуктивність секції копчення; $\tau_{к}(t)$ – оптимальний час копчення

Це значення дозволяє оператору з високим рівнем точності приймати оперативні рішення щодо автоматизованого управління процесом копчення риби з оптимальними параметрами:

- 1) коптильного диму;
- 2) швидкості коптильного диму;
- 3) вологості коптильного диму;
- 4) температури пари на стадії проварювання;
- 5) геометрії сировинного продукту (відношення довжини L до товщини B);
- 6) довжини ультразвукової хвилі;
- 7) часу імпульсного ультразвукового оброблення рибної сировини;
- 8) тривалості інтервалу ультразвукового сигналу оброблення.

Межові припустимі помилки навчання мережі були вибрані на основі експертних оцінок технологів (досвідчених операторів), які відповідають за якість продукції – копченої риби.

Таким чином, використання методу, заснованого на роботі НМ-Р в АСУТП і ІСППОР дозволяє АРМ оператора працювати з набором вхідних параметрів будь-якого рівня декомпозиції та, головне, враховувати вплив кожного параметру на продуктивність $Q_k(t)$ процесу копчення. Вибір оптимальних управлінських параметрів, $U_{\text{п}}(t)$ – температури пару, $U_{\text{д}}(t)$ – температури копильного диму, $\bar{U}_{\text{CO}_2}(t)$ – вмісту CO_2 , дозволяє оператору мінімізувати енергетичні параметри $E_{\text{копч}}$ та стабілізувати якість продукції. Після навчання НМ-Р за допомогою ПЗ верхнього рівня (MES-системи оперативного планування і керування) виконується автоматичний розрахунок основних величин параметрів $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3 \dots$ для кожного різновиду рибної сировини та прогнозування параметрів $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3 \dots\}$.

Програмне забезпечення (ПЗ) функціонує в локальній мережі, яка включає персональні комп'ютери (автоматизоване робоче місце – АРМ) і два сервери (сервер бази даних й сервер додатків). Програмне забезпечення включає в себе такі компоненти:

1. СУБД – забезпечує збереження усіх баз даних, встановлюється на сервер баз даних. В якості СУБД використовується Oracle Server. Сервер баз даних є системоутворюючим елементом системи і забезпечує функціонування бази даних системи і доступу до неї сервера додатків і робочих станцій.

Сервер додатків реалізує основну функцію системи – оброблення даних контролюємих параметрів (D_1 - D_{20}) технологічного процесу копчення риби і прогнозування вихідних показників $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \bar{Y}_4\}$.

2. Програма оцінки якості продукції є обчислювальним ядром системи. Встановлюється на комп'ютер, який виконує функції сервера додатків. Програма має два режими: «Контроль» і «Навчання». Основний режим функціонування «Контроль» виконується постійно. Переведення в режим «Навчання» НМ модуля формування оперативних рішень виконується на початковому етапі роботи робототехнологічного комплексу копчення риби. З метою формування розпізнавальних правил нечіткого виведення для:

а) досягнення задовільних результатів МН прогнозу якості чинників $\{\bar{Y}_1\}$, $\{\bar{Y}_2\}$, $\{\bar{Y}_3\}$, $\{\bar{Y}_4\}$, $\{\bar{Y}_5\}$;

б) для відпрацювання оптимальних $\{\bar{U}_{\text{п}}(t)\}$, $\{\bar{U}_{\text{д}}(t)\}$, $\{\bar{U}_{\text{CO}_2}(t)\}$ в умовах переходу на новий вид сировини;

3. Програма візуалізації (ПВ) запускається із комп'ютера АРМ в потрібний час користувачем АРМ. Програма функціонує за технологією «клієнт-сервер» і підключена до серверу баз даних Oracle шляхом ПЗ Oracle Client і відповідного налаштування ODBC-джерел.

Сервер баз даних, сервер додатків, АРМ функціонують на платформі IBM System×3550 з операційною системою Windows 2000/2003. Режим роботи програмного забезпечення:

сервер баз даних і сервер додатків повинні функціонувати в режимі 24×7; автоматизовані робочі місця операторів функціонують в режимах, які відповідають робочому часу операторів.

Програмні модулі системи розроблено в середовищі Microsoft Visual C++ 6 SP 6 та Microsoft Visual C++ 2003 NET.

З метою створення програмного інтерфейсу доступу до БД необхідно застосувати ODBC-з'єднання (Open Database Connectivity), вказавши необхідні параметри доступу – назву мережевого з'єднання з сервером СУБД Oracle, назву бази даних, ім'я користувача і пароль АРМ-оператора.

У табл. 13.1 наведено результати імітаційного моделювання режимів роботи інтелектуального комплексу робототехнічного управління копченням п'яти сортів риби з експертною оцінкою її якості. Оцінювання якості копченої риби за органолептичними показниками проведені за методикою, розробленою спеціалістами ХДУХТ [4, 5, 6].

Таблиця 13.1

Результати роботи інтелектуального комплексу копчення риби в робототехнічній системі виробництва рибопродуктів

Номер партії та вид риби	Фактори для навчання мережі НМ-Р							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Значення факторів	Температура коптільного диму: 348...358 К	Швидкість руху коптільного диму: 0,1...0,5 м/с	Вологість коптільного диму: 40...60%	Температура пари на стадії проварювання: 374...382 К	Геометрія сировинного рибного продукту (відношення довжини L до товщини B): 3,0...5,0	Довжина ультразвукової хвилі: 200, 250, 300, 350, 400 нм	імпульсного ультразвукового оброблення: 4, 6, 8, 10, 12 с	Тривалість інтервалу між ультразвуковою обробкою: 3, 5, 10, 15 хв
відмінна якість копченої риби								
1 (скумбрія)	350	0,25	45	375	3,0	250	10	5
2 (горбуша)	352	0,26	48	380	3,9	300	12	10

Продовження таблиці 1

Номер партії та вид риби	Фактори для навчання мережі НМ-Р							
	1	2	3	4	5	6	7	8
3 (сом)	351	0,31	50	378	4,2	350	10	15
4 (минтай)	353	0,35	55	380	3,1	350	12	15
5 (лящ)	354	0,48	52	379	4,25	200	8	12
добра якість копченої риби								
1 (скумбрія)	350	0,35	50	380	3,1	350	12	15
2 (горбуша)	350	0,38	50	385	3,5	350	12	
3 (сом)	355	0,40	55	382	3,5	350	12	15
4 (минтай)	358	0,42	56	380	4,0	350	12	15
5 (лящ)	355	0,45	55	382	4,5	355	12	15
задовільна якість копченої риби								
1 (скумбрія)	356	0,47	58	380	4,5	400	8	10
2 (горбуша)	358	0,47	58	380	4,2	400	8	10
3 (сом)	358	0,48	58	380	4,6	400	8	10
4 (минтай)	356	0,49	58	380	4,8	400	8	5
5 (лящ)	350	0,50	58	380	4,7	400	6	5

Аналіз результатів моделювання для п'яти видів риби дозволяє зробити висновок про достатню ступінь точності роботи інтелектуального комплексу з імпульсним ультразвуковим інтенсифікатором процесів дифузії компонентів копильного диму та прогнозування восьми чинників, які визначають роботу комплексу. Результати роботи інтелектуального робототехнологічного комплексу можуть бути використані в режимі підтримки прийняття оперативних рішень (ІППОР) при управлінні процесом копчення різних сортів риби з мінімізацією впливу CO₂ на навколишнє середовище та оптимальними параметрами енергозатрат (пари, газу, електрики) і параметрами кулінарної готовності рибної продукції.

Таким чином, розроблено інтелектуальний робототехнологічний комплекс виробництва рибопродуктів з нейромережевим прогнозатором температури коптильного диму, швидкості коптильного диму, параметрів CO₂, продуктивності технологічної лінії копчення. Результати лабораторних досліджень показали, що інтелектуальний робототехнологічний комплекс з імпульсним ультразвуковим інтенсифікатором процесу дифузії забезпечує АРМ оператора, за допомогою нейромережевого регулятора і прогнозатора робочих характеристик обладнання технологічної лінії копчення рибопродуктів, оптимальними параметрами регулювання параметрів установки, підвищує якість керування нею та є адаптивним по відношенню до умов виконання технологічного процесу копчення різновидів рибних продуктів за рахунок модуля формування оперативних рішень, інтелектуальної системи підтримки прийняття оперативних рішень, цифрової платформи «Іжа», промислового Інтернету-речей, MES, ERP, SCADA систем.

Доведено, що рибна продукція одержана з використанням імпульсного ультразвукового оброблення має кращі органолептичні показники: час до досягнення кулінарної готовності скорочується на 20%, продукція характеризується високою харчовою цінністю, добрими споживчими властивостями, високим вмістом білків, жиру та мінеральних речовин.

13.3. Проектування роботизованих комплексів виробництва м'яса птиці.

Розглянемо приклади проектування високоавтоматизованих процесів виробництва м'яса птиці. На рис.13.10 наведено існуючу автоматизовану поточну лінію з виробництва м'яса птиці, в якій використані маніпулятори транспортування птиці та системи підготовки тушки бройлера.

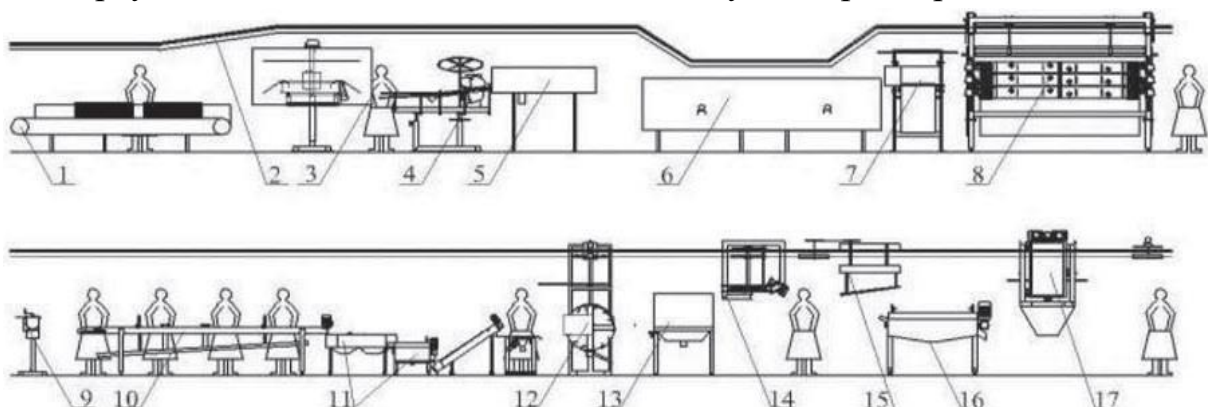


Рисунок. 13. 10 Автоматизована технологічна лінія переробки м'яса птиці (кількість АРМ та роботів на лінії умовна):

- 1 - транспортер подачі птиці; 2 - конвеєр забою; 3 - апарат електрооглушення УАЕГ-1;
- 4 - машина забою птиці В2-ФЦ-2Л-6 / 4-01; 5 - жолоб знекровлення Е-313;
- 6 - ванна універсального апарату К7-УЗКЦЛ для ультразвукової обробки;

7 - дисковий автомат для видалення хвостового оперення К7-ФЦЛ-7;
8 - дисковий автомат для видалення оперення К7-ФЦЛ-7; 9 - машина відділення голів Е-315;
10 - транспортер розбору потрухів; 11 - комплект механізмів для обробки м'язових шлунків:
машина обробки шлунків; машина очищення шлунків; шнек мийки шлунків; машина зняття
кутикули; 12 - машина відділення шиї Я6-ФРШ-01; 13 - пристрій душіруючого; 14 - машина
відділення ніг Е-31; 15 - знімач відрізаних ніг з підвісок; 16 - машина очищення відрізаних
ніг; 17 - пристрій санітарної обробки підвісок конвеєра. В презентованій автоматизованій
системі впроваджена мехатронна система підготовки тушки птиці.

На рис 13.11. наведено загальний вигляд мехатронного пристрою для підготовки тушки птиці.

Технологічний процес переробки тушок курчат бройлерів ґрунтується на виконанні певної послідовності операцій, включаючи приймання, доставку, первинну обробку, тобто забій птиці і обробку тушок, потрошіння, сортування і упакування. На рис. 13.12. наведено модифікацію проєктних рішень (рис 13.11) у роботизовану поточно-технологічну лінію переробки м'яса птиці.

Роботизована технологічна лінія включає автоматизовані робочі місця операторів: АРМ 1, АРМ 2, АРМ 3 та інтелектуальну систему управління з програмними продуктами, системами візуалізації, датчиків положення, продуктивності та виконавчих механізмів. До складу роботизованої технологічної лінії продуктів переробки м'яса птиці відносимо: 1 – маніпулятор подачі птиці; 2 - конвеєр забою; 3 - апарат електрооглушення УАЕГ-1; 4 - машина забою птиці В2-ФЦ-2Л-6 / 4-01; 5 - жолоб знекровлення Е-313;



Рисунок 13.11. Мехатронний пристрій з системою підготовки тушки птиці.

6 - ванна універсального апарату К7-УЗКЦЛ для ультразвукової обробки, які контролюються за допомогою АРМ 1; 7 - дисковий автомат для видалення хвостового оперення К7-ФЦЛ-7; 8 - дисковий автомат для видалення оперення К7-ФЦЛ-7; 9 - машина відділення голів Е-315; 10 - транспортер розбору потрухів; 11 - комплект механізмів для обробки м'язових шлунків: машина обробки шлунків; машина очищення шлунків; шнек мийки шлунків; машина зняття кутикули, які контролюються за допомогою АРМ 2; 12 - машина відділення шиї Я6-ФРШ-01; 13 - душіруючий пристрій; 14 - машина відділення ніг Е-31; 15 - знімач відрізаних ніг з підвісок; 16 - машина очищення відрізаних ніг; 17 - пристрій санітарної обробки підвісок конвеєра. Такі технологічні операції контролюються за допомогою системи візуалізації 3.- АРМ 3

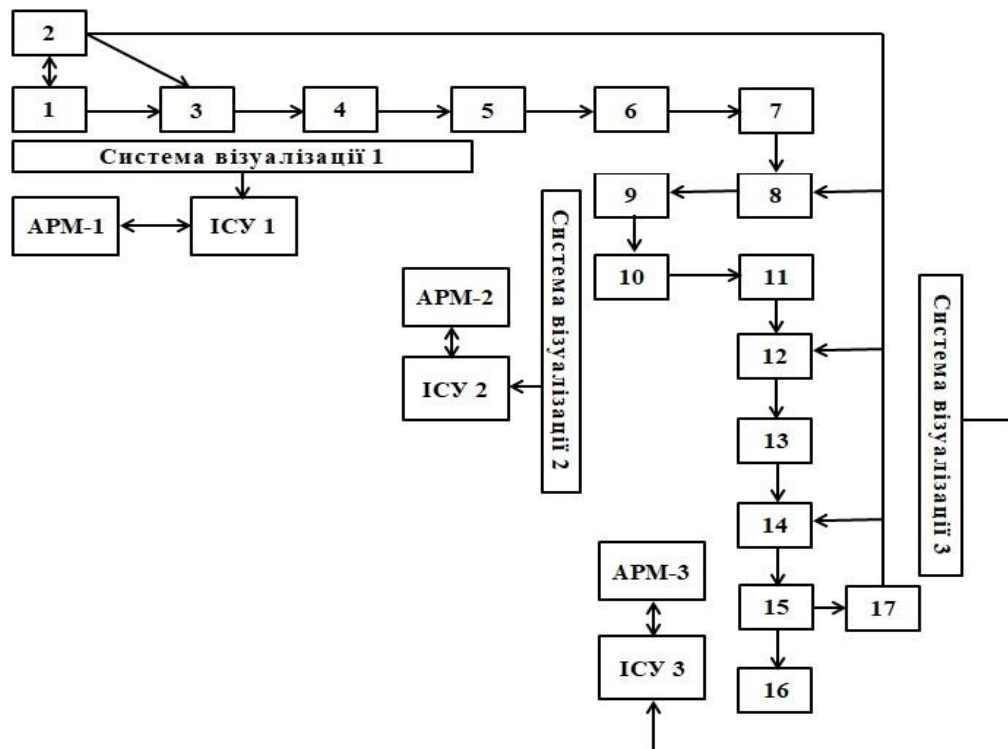


Рисунок 13. 12 .Роботизована технологічна лінія переробки м'яса птиці

Первинна переробка курчат бройлерів на роботизованій технологічній лінії (РТЛ) складається з наступних послідовно виконуваних операцій: навішування птиці за допомогою робототехнологічного пристрою на конвеєр; електрооглушення в універсальних апаратах УАЕГ- 1 (сила струму 25 мА, напруга 550 В, час - 15 с); забій і знекровлення курчат-бройлерів на технологічні цілі впродовж 90 с; тепла та ультразвукова обробка тушок виконується при температурі 52-55 °С, впродовж 120 с, в універсальному апараті К7-УЗКВЦЛ; видалення оперення (обскубування) з тушок на дискових

апаратах (роботах-автоматах) при температурі води 45-56 °С; потрошіння тушок; відрізання шиї і голови, відрізання ніг за допомогою робототехнологічного пристрою; охолодження м'яса птиці; сортування і упаковка виконується також за допомогою автоматів з пультів АРМЗ.

Промислова переробка курчат-бройлерів здійснюється шляхом використання роботизованої технологічної лінії (РТЛ) з системами та алгоритмами інтелектуального управління, розробленими спеціалістами ДонНУЕТ. [1,2,11]. Для вивчення наведених проектних рішень в темі запропонована лінія переробки курей і курчат-бройлерів продуктивністю 500 тушок за годину. Лінія комплектується одним конвеєром, що проходить через ділянки забою і потрошіння.

Принцип роботи потокової лінії зображений на рис.13.12. На лінію сировина (кури, курчата, курчата-бройлери) надходить в транспортній тарі, ящиках або контейнерах. З транспортної тари вони вивантажуються на транспортер 1 за допомогою робототехнологічного пристрою. У подальшому курчата-бройлери переміщуються за технологічними операціями за допомогою просторового підвісного конвеєра 2. Робот бере курча за ноги з транспортера подання 1 і закріплює його в підвісках конвеєра 2. Конвеєр переміщає курчат-бройлерів на першу технологічну операцію - електрооглушення.

В апараті електрооглушення 3 під дією електричного струму курча знерухомлює. Знерухомлення бройлера потрібне для подальших операцій - забою і знекровлення. Вийшовши з апарату електрооглушення 3, птиця потрапляє в автомат -машину забою 4, де дискові ножі здійснюють надріз яремної і сонної артерій. З машини забою 3 курча-бройлер переміщується в жолоб знекровлення 5. За час проходження над жолобом кров стікає з курча в жолоб, а з нього - в накопичувальну ємність. Після проходження жолоба знекровлення в подальшому м'ясо птиці потрапляє у ванну теплової обробки 6. Ультразвукова й кавітаційно-теплова обробка птиці потрібна для покращання якості продукту. Пройшовши кавітаційно-теплову обробку, птиця проходить через машину зняття хвостового оперення 7. Оскільки у курей утримання хвостового оперення вище, ніж у курчат-бройлерів, необхідно для його видалення докладати великих зусиль, що і відбувається на машині зняття хвостового оперення. З цією метою птиця потрапляє в машину-робот зняття оперення 8. У ній перо знімається гумовими пальцями, встановленими в роторних дисках, який обертаються один назустріч одному. Зняте перо змивається - теплою водою, що подається в машину. Перо потрапляє або в гідрожолоб, або в накопичувач, звідки транспортується в цех утилізації. Після виходу тушки з машини зняття оперення оператор з АРМ 1 перевіряє якість зняття оперення і при необхідності здійснює доощипку птиці.

Після зняття оперення тушки проходять через машину відділення голови 9. Тут надрізна голова відділяється від шиї одночасно з головою відділяється і трахея. Після цього тушки спрямовуються на ділянку потрошіння. Потрошіння виконується над транспортером розбору потрухів 10. Мехатронний пристрій розкриває тушку і витягує нутрощі за допомогою спеціального автоматизованого інструменту та сенсорів візуалізації (рис.13.11). На рис.13.13 наведено мехатронний пристрій захоплення та переміщення курчат-бройлерів.

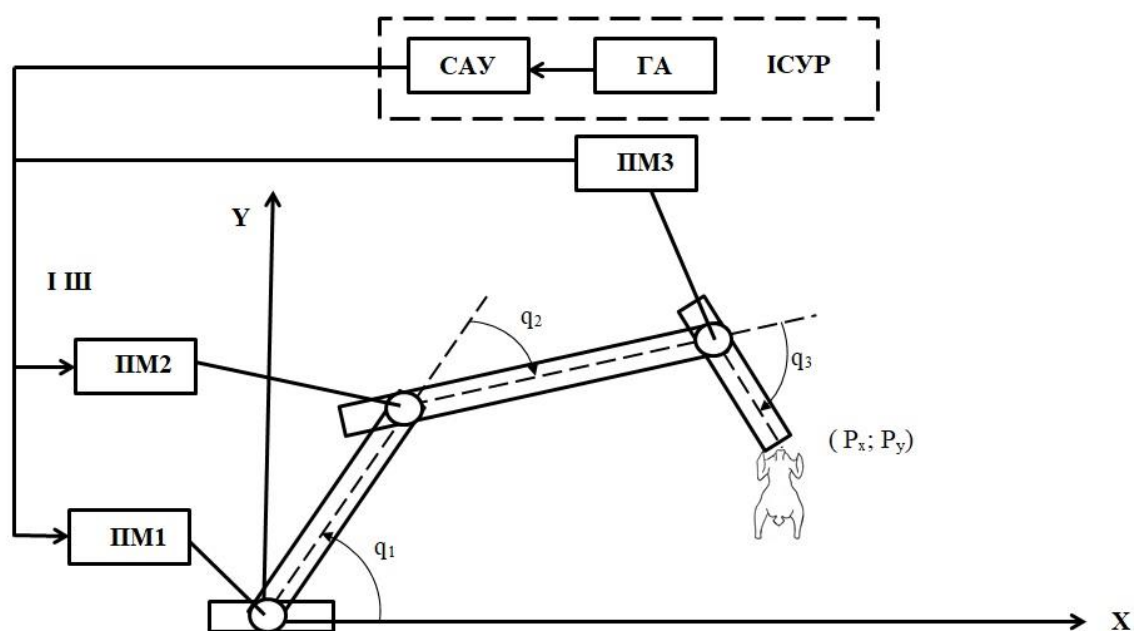


Рисунок 13.13. Загальний вигляд мехатронного пристрою захоплення та переміщення курчат-бройлерів.

Автоматично проводиться ветеринарний огляд тушки і витягнутих потрухів, після чого відділяють серце, печінку, вирізують клоаку і увесь пакет з шлунком і кишечником кладуть на транспортерну стрічку. Транспортна стрічка переміщає пакет з шлунком і кишківником в комплект обробки м'язових шлунків 11, що складається з машини відділення, розрізання і миття шлунків, машини очищення шлунків, шнека миття і машини для зняття кутикули. Цей технологічний процес обслуговує один робот-оператор АРМ 2. Після операції потрошіння тушки птиця проходять через машину відділення шиї 12. У ній шия перетискується по другому шийному хребцю і виштовхується з шкіри. Після проведення усіх технологічних операцій здійснюється перевірка якості потрошіння, і в подальшому тушки спрямовуються в душируючий пристрій 13 для обмивання зовні і усередині. Пройшовши душируючий пристрій, тушки потрапляють в машину відрізання ніг 14. Ноги відрізаються по суглобу, а тушки падають на технологічний стіл. З технологічного столу тушки переважають на конвеєр охолодження. Птахи, що

залишилися в підвісках ноги, виймаються знімачем відрізаних ніг 15. Вийняті з підвісок ноги по склізу падають в приймальну горловину машини очищення відрізаних ніг 16. На вході в неї подається гаряча, а на виході з машини - холодна вода. Гаряча вода служить для нагріву ніг і відведення епідермісу, що знімається, а холодна вода - для охолодження очищених ніг. Завершальна технологічна операція на конвеєрі - це санітарна обробка підвісок і конвеєра. Вона здійснюється шляхом санобробки - операція 17. Далі конвеєр приходить на ділянку навішування за допомогою робота нової партії курчат-бройлерів.

Завданням мехатронних комплексів з системами захоплення, різання, потрошіння курчат-бройлерів є позиціонування пристрою захоплення (різання) в заданій точці (P_x, P_y) . Це виконується пристроями положення з'єднання маніпулятора q_1, q_2 та q_3 , які приводяться приводами ПМ 1, ПМ 2, ПМ 3. Рівняння зв'язку положень з'єднання і мехатронних пристроїв захоплення має вигляд:

$$\begin{cases} p_x = l_1 * \cos(q_1) + l_2 * \cos(q_1 + q_2) + l_3 * \cos(q_1 + q_2 + q_3) \\ p_y = l_1 * \sin(q_1) + l_2 * \sin(q_1 + q_2) + l_3 * \sin(q_1 + q_2 + q_3) \end{cases} \quad (13.12)$$

Ці рівняння занесені в пам'ять МП, в якій від сенсорів надходять сигнали положень з'єднань маніпуляторів q_1, q_2, q_3 при відомих координатах простору (P_x, P_y) . Управління траєкторією руху пристрою захоплення маніпулятора виконано за допомогою інтелектуальної системи управління роботом (ІСУР) та генетичного алгоритму (ГА), до складу яких входить регулятор, системи сенсорів, мережі зворотного зв'язку та алгоритми розпізнавання положення виконавчих механізмів. Таким чином, за допомогою робототехнологічних комплексів збільшується продуктивність автоматизованої технологічної лінії переробки м'яса курчат бройлерів, а оптимізація технологічних операцій за допомогою АРМ 1, АРМ 2, АРМ 3 з інтелектуальними системами управління візуалізації скоротився штат робітників.

В середньому в штат входять п'ять операторів АРМ; на ділянках потрошіння тушок і їх упаківката 1 людина - адміністратор зміни. Разом - 6 співробітників. Вдосконалення і оптимізація функціонування потокової лінії полягає в її правильній комплектації, від чого залежать продуктивність і кількість обслуговуючого персоналу. Основну роль при оцінці якості м'яса відіграють наступні показники: вміст компонентів, які використовуються організмом для біологічного синтезу і покриття енергетичних витрат; органолептичні характеристики (зовнішній вигляд, запах, колір, консистенція); відсутність токсичних речовин і патогенних мікроорганізмів.

Показники якості м'яса залежать від складу і властивостей початкової сировини, режимів технологічної обробки і зберігання. Об'єктивна і усебічна оцінка вказаних залежностей є необхідною основою для виявлення чинників,

що впливають на якість продукції. Обов'язкові умови випуску продукції високої якості - правильний підбір сировини, суворе дотримання режимних параметрів на всіх стадіях технологічного процесу виробництва і зберігання, санітарно-гігієнічних норм, контроль дозування хімічних добавок, а також ветеринарно-санітарна експертиза. Важливими умовами випуску харчової продукції високої якості є подальше вдосконалення методів його контролю, суворе дотримання технологічної дисципліни, усебічний аналіз причин зниження рівня якості або появи браку. В результаті проведених досліджень авторами посібника запропоновано варіант докомплектації РТЛ системою контролю якості продукції за допомогою нейромережових систем.[3]

На рис.13. 14. наведено нейромережеву систему розпізнавання якості м'яса птиці на ділянках АРМ 1, АРМ 2, АРМ 3. Вхідні сигнали від датчиків якості, встановлених в технологічних апаратах 7-10 надходять в нейромережеву систему 1,2,3,...К, в результаті чого виконується оцінка якості птиці (діагноз 1,2). За допомогою параметрів 1,2,3 та параметрів К виконується оцінка якості птиці в цілому(діагноз 3).

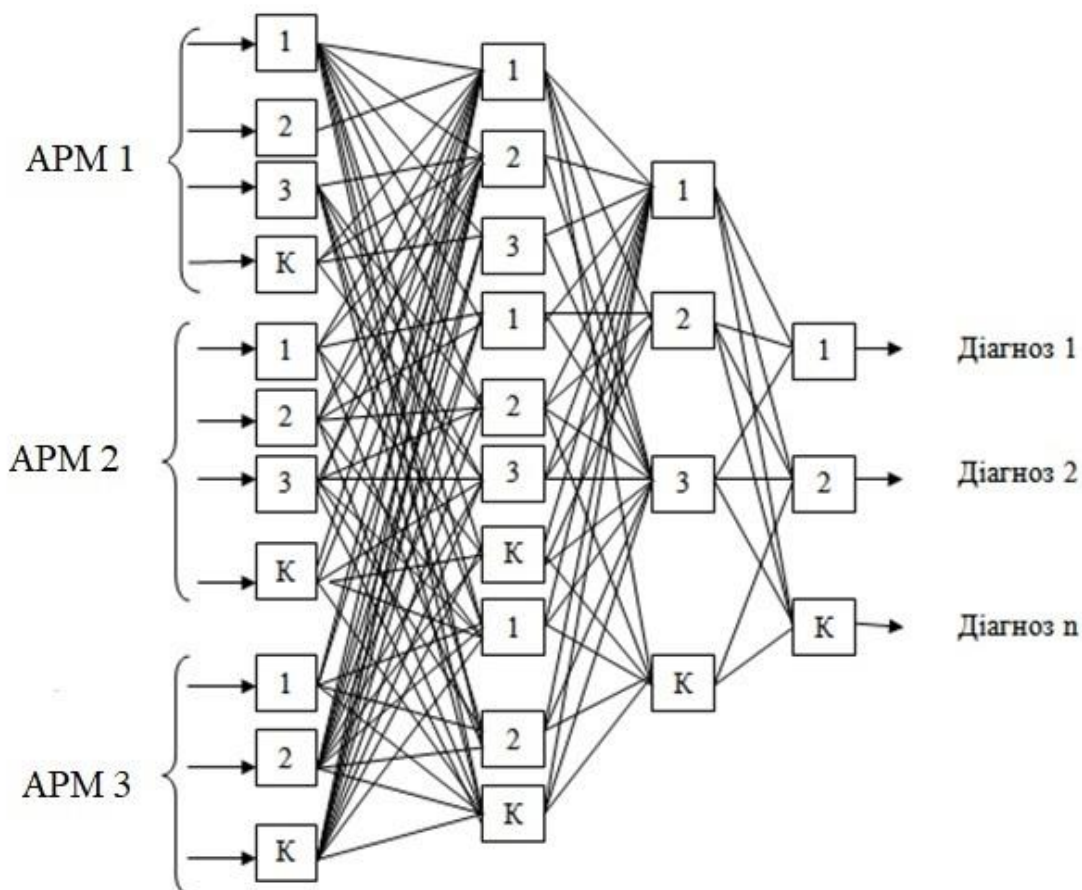


Рисунок 13. 14 . Оцінка якості продукції м'яса птиці.

Зберігають м'ясо в окремих холодильних камерах, а для збільшення терміну зберігання виконують заморожування виробів.

Запитання для самоперевірки до другого модуля

1. Сформулюйте дві основні ідеї, на яких базуються інтелектуальні системи управління.
2. Які сучасні інформаційні технології використовуються в ІСУ
3. Опишіть основні пристрої типової ІСУ
4. Сформулюйте стратегічні вимоги до мехатронних і робототехнічних систем в АСУ підприємства харчової промисловості.
5. Навести основні завдання оптимізації технологічних процесів.
6. Як здійснити вибір системи підтримки інтелектуальних рішень в АСУ підприємством харчової промисловості
7. Який закон регулювання застосовується під час автоматизації процесу?
8. Назвіть інформаційні функції АСУ.
9. Які існують види забезпечення функціонування АСУТП?
10. Які недоліки мають централізовані АСУТП?
11. Назвіть шляхи розвитку мехатроніки в АСУТП згущеного молока.
12. Поясніть функції технолога-оператора АРМ.
13. Поясніть завдання штучних нейронних мереж в створенні систем технічного зору
14. За яким принципом будуть працювати смарт-підприємства харчової промисловості 2035 року
15. Як працюють ультразвукові аналізатори геометрії туші великої рогатої худоби
16. Назвіть склад і функціональне призначення ультразвукових роботів – інтенсифікаторів.
17. Поясніть типову систему контролю якості заморожуваного продукту.
18. Які основні параметри регулюються в мехатронній системі керування виробництвом хліба

Тема 14. Самостійна робота. Самоперевірка здобутих знань здобувачами вищої освіти за допомогою тестів.

У процесі вивчення 13 навчальних тем курсу «Мехатроніка» та самостійного ознайомлення з матеріалами підручників, посібників, монографій, наведених в літературі [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 29, 30, 32, 33, 34, 36] автори посібника рекомендують перевірити свої знання за допомогою розроблених тестів.

ТЕСТ 1. Промислові роботи(ПР) відносяться до:

1. мехатронних комплексів у виробництві продуктів харчування;
2. класу машин, які використовують для автоматизації виробництва продукції;
3. автоматизованих безлюдних систем. Вірна відповідь.-

Тест 2. Основні визначення промислового робота 1. переміщення в просторі об'єктів маніпулювання; 2. переміщення в просторі різних предметів; 3. переміщення заданих предметів у просторі. Вірна відповідь. -

Тест 3. Система координатних переміщень промислового робота (ПР) це:

1. Система переміщення руки робота в просторі;
2. визначає кінематику основних рухів і форму робочої зони;
3. Руки захвату(затиску) деталі тощо.

Вірна відповідь.-

Тест 4. Системи координат в робототехніці: 1. прямокутні й криволінійні;

2. сферичні та циліндричні;
3. полярні та сферичні. Вірна відповідь.-

Тест 5. Різновидністю криволінійної системи координат є:

1. ангулярна(кутова) система координат;
2. лише циліндрична система координат;
3. лише система сферичних координат. Вірна відповідь.-

Тест 6. В ангулярній плоскій системі координат об'єкт маніпулювання переміщується в: 1. площині координат поверхні; 2. координатній площині завдяки відносним поворотам ланок руки; 3. площині руху багатопланової руки. Вірна відповідь.-

Тест 7. Ангулярна циліндрична система характеризується додатковим зміщенням відносно: 1. основної системи координат руки; 2. основної поворотної ланки руки; 3. основної координатної площини в напрямку перпендикулярної до неї координат Z. Вірна відповідь -

Тест 8. Вантажопідйомність руки ПР: 1. найбільша маса об'єктів маніпулювання, які можуть переміщуватись рукою; зусилля переміщення

об'єктів маніпулювання;затиск деталі та її переміщення в просторі рукою. Вірна відповідь.-

Тест 9. Вантажопідйомність промислового робота визначається так: 1. сумарна вантажопідйомність його рук(виконавчих механізмів); 2. сумарна вага переміщення вантажів; 3. сумарна вага захоплення вального пристрою. Вірна відповідь.-

Тест 10. Число ступенів рухомості ПР визначається: 1. сумою координатних рухів ПР відносно поверхні стойки; 2. сума можливих рухів виконавчих механізмів (ВМ) ПР;3. сума координатних рухів об'єкта маніпулювання відносно опорної системи ПР. Вірна відповідь.-

Тест 11. Похибка позиціонування: 1. сума відхилень ВМ від заданих координат; 2. відхилення заданої позиції виконавчого механізму від фактичної; 3. кутова величина виконавчого механізму. Вірна відповідь.-

Тест 12. Робоча зона промислового робота:1. простір переміщення руки ПР; 2. простір рухомих ланок маніпулятора; 3. простір, в якому може перебувати робочий орган маніпулятора Вірна відповідь.-

Тест 13. Захоплювальні пристрої (ЗП) промислових роботів служать: 1. для захоплення об'єктів маніпулювання; 2. для захоплення і втримання у визначеному положенні об'єктів маніпулювання; 3. лише для захоплення у визначеному положенні об'єктів маніпулювання. Вірна відповідь.-

Тест 14. Захоплювальні пристрої втримують об'єкт завдяки: 1. кінематичній дії робочих елементів; 2.кінематичній дії пальців; 3. використанню лише електромагнітного пристрою. Вірна відповідь.-

Тест 15. Утримуючі ЗП. забезпечують силову дію на об'єкт завдяки: 1 використанню вакуумних й магнітних ЗП; 2.використання різних фізичних ефектів; 3. використання лише електромагнітних пристроїв. Вірна відповідь.-

Тест 16. Центруючі захоплювальні пристрої визначають:1. положення осі ЗП; 2. положення площини ЗП; 3.положення осі симетрії ЗП. Вірна відповідь.-

Тест 17. Фіксуючі ЗП зберігають положення об'єкта, яке той мав у момент: 1 захоплення; 2. переміщення;3.розпізнавання форми. Вірна відповідь.-

Тест 18. Некеровані ЗП: 1. пристрої з постійними магнітами; 2. вакуумними присосами; 3. пристрої без примусового розрядження. Вірна відповідь.-

Тест 19. Адаптивні захоплювальні пристрої: 1. програмовані пристрої: 2. з системами розпізнавання форми, маси об'єкту; 3. оснащені здавачами зовнішньої інформації. Вірна відповідь.-

Тест 20. До механічних ЗП кліщового типу, що призначені для маніпулювання ставлять вимоги: 1 забезпечення руху деталей в просторі; 2. забезпечення центрування деталей; забезпечення поворотними губками. Вірна відповідь.-

Тест 21. Електромагнітні ЗП інколи компанують так: 1 системою електромагнітів, встановлених на загальній рамі; 2. пристроями для переміщення фасонних деталей; 3. підйомними електромагнітами. Вірна відповідь.-

Тест 22. Присоси ЗП виготовляють з: 1. гуми; 2. пластику; 3. гуми та пластику. Вірна відповідь.

Тест 23. Сила протягування електромагніта визначається за формулою: 1 Ома 2.Фарадея; 3. Масквела. Вірна відповідь. -

Тест 24. При створенні мехатронних пристроїв завантаження зі струменевими захоплювачами використовують: 1. функціональні ознаки струменевих елементів, які формують потік повітря; 2. функціональні ознаки струменя, який формує потік агенту; 3. функціональні ознаки пристроя, який формує електромагнітне поле. Вірна відповідь.-

Тест 25. Робот це: 1 автоматична система; 2. багатофункціональна перепрограмована машина; 3. інтелектуальний живий організм. Вірна відповідь.-

Тест 26. Вимогою до раціональної конструкції захоплювачів потрібно вважати наявність: 1. прямолінійної плоскої або циліндричної поверхні захоплення; 2. геометричної форми поверхні захоплення; 3. сили присмокування. Вірна відповідь.-

Тест 27. Щилинні струменеві захоплювачі у яких: 1. повітря витікає крізь кільцеву щилину; 2. повітря направлено паралельно; 3. струмінь повітря направлений під кутом до поверхні. Вірна відповідь.-

Тест 28. Вакуумні ЗП придатні лише для: 1. плоских та рівних поверхонь; 2. плоских поверхонь; 3. герметичних зеднань. Вірна відповідь.-

Тест 29. Електромагнітні захоплювальні пристрої придатні: 1. для матеріалів з високим рівнем магнітного протягування; 2. придатні лише для для матеріалів, що намагнічуються; 3. лише для сталі. Вірна відповідь.-

Тест 30. Мобільні захоплювачі пристрої поділяють на: 1. стаціонарні; 2. пересувні; 3. стаціонарні та пересувні. Вірна відповідь.-

Тест 31. Адаптивні ПР мають: 1. систему очуствлення; 2. технічний зір; 3. сенсорне забезпечення. Вірна відповідь.-

Тест 32. Інтегральні ПР здатні формувати програму своїх дій на основі: 1. програмного забезпечення; 2. нейремережових систем; 3. інформації про об'єкти і явища зовнішнього середовища. Вірна відповідь.-

Тест 33. Робототехніка це: 1. сфера науки і техніки, зв'язана зі створенням роботів; 2. сфера проектування автоматів; 3. сфера проектування і синтезу безлюдних технологій виробництва продуктів. Вірна відповідь.-

Тест 34. Маніпуляційний робот використовують: 1. для виконання функцій руху, аналогічним функціям руки людини; 2. для використання складних технологічних операцій; 3. для виконання безлюдних операцій виробництва продукції. Вірна відповідь.-

Тест 35. Мобільний робот: 1. робот для виконання складних рухів ВМ; 2. робот, який рухається в робочому середовищі у відповідності з програмою керування; 3. робот, який переміщує предмети в просторі. Вірна відповідь.-

Тест 36. Інтелектуальний робот це коли: 1. програма керування. може навчатись експертами; 2. програма керування повністю або частково формується автоматично; 3. програмне забезпечення змінюється оператором. Вірна відповідь.-

Тест 37. Спеціальний робот: 1. робот для виконання п-видів операцій; 2. робот для виконання одної операції одного виду; 3. мехатронний автомат з високим рівнем розпізнавання предметів. Вірна відповідь.-

Тест 38. Універсальний робот: 1. робот з технічним зором; 2. робот з візуалізацією та програмним забезпеченням(ПЗ); 3. робот для виконання різних операцій. Вірна відповідь.-

Тест 39. Спеціалізований робот: 1. робот для виконання різних операцій заданих видів; 2. робот для виконання різних операцій одного виду; 3. робот для виконання лише запрограмованих операцій. Вірна відповідь. -

Тест 40. Роботизовані комплекси: 1. багато технологічні автоматизовані системи; 2. автоматизовано діючі перепрограмовані роботи, вбудовані в технологічний процес; 3. роботи з високим рівнем автоматизації та ПЗ. Вірна відповідь.-

Тест 41. Промисловий робот: 1. робот .призначений для виконання технологічних І/АБО допоміжних операцій; 2. робот з ПЗ для виконання технологічних операцій; 3. робот без технічного зору для виконання допоміжних операцій. Вірна відповідь.-

Тест 42. Роботизований комплекс: 1. технологічна лінія з виробництва продукції; 2. сукупність одного або декількох промислових роботів і обладнання; 3. сукупність автоматів та обладнання. Вірна відповідь.-

Тест 43. Мехатроніка: 1. сфера науки та техніки, основана на синергетичному об'єднанню пристроїв; 2. лінії з автоматичними робочими місцями; 3. система інтелектуального керування виробництвом продукції. Вірна відповідь.-

Тест 44. Механотронним пристроєм є: 1 сучасний автомобіль; 2. сучасний холодильник; 3. сучасний магнітофон. Вірна відповідь.-

Тест 45. Роботи з інтерактивним керуванням: 1. інтелектуальні роботи, які розпізнають предмети і приймають рішення; 2. діалогові системи керування технологічним процесом; 3. роботи з комбінованими системами керування. Вірна відповідь.-

Тест 46. Робочий орган (РО) робота це: 1. складова виконавчого пристрою ПР; 2. робочий орган робота, який утримує об'єкт робочого середовища; 3. один із елементів промислового робота. Вірна відповідь.-

Тест 47. Пристрій управління це: 1. пристрій ПР для формування і створення управлінських впливів виконавчому механізму (ВМ); 2. система команд ВМ; 3. управлінська програма для ВМ. Вірна відповідь.-

Тест 48. Основним компонентом виконавчого пристрою є: 1. виконавчий механізм - багато ланцюгова частина ПР, яка реалізує функцію руху; 2. виконавчий механізм, який виконує функцію технічного зору; 3. система двигунів та електромагнітів. Вірна відповідь.-

Тест 49. Робочий простір ПР: 1. множина точок; 2. множина точок, якими може співпадати точка виконавчого пристрою (ВП) промислового робота; 3. множина точок, з якими може співпадати хоч би одна точка ВП промислового робота. Вірна відповідь.-

Тест 50. Похибка позиціонування: 1. відхилення траєкторії руху ВМ; 2. відхилення положення характеристичної робочої точки (ХРТ); 3. відхилення програмного забезпечення від заданого. Вірна відповідь.-

Тест 51. Чутливість промислових роботів: 1. можливість робочого органу виконувати задану траєкторію. 2. здатність робочого органу виконавчого пристрою ПР відхилятися від заданого положення; 3. здатність ПР виконувати задану траєкторію руху. Вірна відповідь.-

Тест 52. Мобільність промислових роботів: 1. здатність робота працювати в забрудненому середовищі; 2. здатність робота рухатись за програмою;

3. здатність характеристичної робочої точки робочого органа рухатись в заданій точці робочої зони з необхідною швидкістю. Вірна відповідь.-

Тест 53. Електромеханічний привід ПР складається: 1 електродвигуна та механічного перетворювача; 2. електродвигуна та терісторного перетворювача; 3. гальмівних пристроїв і електродвигуна. Вірна відповідь.-

Тест 54. Механічний перетворювач це: 1 пристрій з виконавчим механізмом; 2. пристрій, який перетворює параметри руху електродвигуна в необхідні параметри руху вихідної ланки привода; 3. пристрій з системою автоматичного керування рухом руки ПР. Вірна відповідь.-

Тест 55. Перетворювач руху: 1. механізм робота; 2. оптична система зору; 3 перетворювач одного виду руху в інший. Вірна відповідь.-

Тест 56. Рівняння динаміки механізмів приводів встановлює зв'язок між кінематичними параметрами: 1 лінійними та нелінійними ланками; 2. кінематичними параметрами моделі механізму і навантаженням на її ланки; 3. лише з її кінематичними параметрами. Вірна відповідь.-

Тест 57. Лазерні датчики лінійного переміщення побудовані з використанням принципу вимірювання: 1. кутових переміщень; 2. вимірювання цифрового коду; 3. вимірювання зсуву фаз сигналів. Вірна відповідь.-

Тест 58. Індуктивні датчики переміщень в якості активного елементу використовують: 1. змінну індуктивність або взаємну індуктивність; 2. амплітуду сигналів індуктивного контура; 3. взаємодію феромагнітного контура. Вірна відповідь.-

Тест 59. До робототехнічних комплексів відносять будь-яку систему машин, які працюють з людиною І/ АБО без неї, яка велючає хоч би один робот з функціями: 1 які створюють переміщення і транспортування маніпулятором предметів тощо; 2. без яких система не забезпечує заданих показників її роботи; 3. постійного аналізу стану зовнішнього середовища в якому працює комплекс. Вірна відповідь.-

Тест 60. Семантична мережа – це представлення знань у вигляді: 1 передавальної функції; 2 деяких елементів; 3. графа. Вірна відповідь.-

Тест 61. Продукційні моделі представлення знань основні: 1. уявленні процедурних знань; 2. уявлення даних; 3. уявлення подій та ситуацій. Вірна відповідь.-

Тест 62. Система виведення результату на основі знань називається: 1. керування системою ПР; 2. системою управління бази знань (СУБЗ); 3. ядром продукції. Вірна відповідь.-

Тест 63. Автоматична система регулювання робота складається із наступних елементів: 1. автоматичного регулятора, об'єкта керування, компенсуючого пристрою; 2. що формують процес керування на основі сигналів неузгодження; 3. які сумують сигнали неузгодження. Вірна відповідь-.

Тест 64. Об'єкт керування або регулювання – це: 1. технологічний процес; 2. робототехнологічний комплекс; 3. технологічний процес чи агрегат, в якому відбувається перетворення речовини (сировини) в продукцію. Вірна відповідь-.

Тест 65. Що є критерієм керування для АСР робота: 1. прибуток або мінімізація енерговитрат в цілому; 2. якість системи з невизначеними параметрами; 3. якість роботи технологічного об'єкта керування. Вірна відповідь-.

Тест 66. У розімкнених автоматизованих системах регулювання (АСР) роботів немає: 1. задавальних пристроїв; 2. зворотного зв'язку; 3. автоматичних регуляторів. Вірна відповідь-.

Тест 67. За принципом керування АСР роботів можуть бути: 1. стабілізуючими, програмними або слідкувальними; 2. лише зі зворотним зв'язком; 3. мікропроцесорними. Вірна відповідь-.

Тест 68. Інваріантні системи робота це: 1. системи, які нечутливі (інвертні) до збурень; 2. системи з компенсацією; 3. високоточні комп'ютерні системи. Вірна відповідь-.

Тест 69. За кількістю регульованих величин мехатронному пристрої можна виокремити АСР: 1. одновимірні АСР; 2. багатовимірні з одним вихідним сигналом; 3. з відповідно однією або багатьма вихідними (регульованими) величинами. Вірна відповідь-.

Тест 70. Вимірювальний канал: 1. канал інформації про фізичну величину; 2. сукупність засобів вимірювальної техніки, призначена для створення сигналу вимірювальної інформації про фізичну величину; 3. сукупність вимірювальних каналів для створення сигналів вимірювальної інформації про зовнішнє оточення робота. Вірна відповідь - .

Тест 71. Вимірювальний прилад робота утворює: 1. візуальний сигнал вимірювальної інформації; 2. віртуальний сигнал інформації; 3. дискретний сигнал корисної інформації. Вірна відповідь-.

Тест 72. Компаратор реалізує: 1. порівняння однорідних фізичних величин; 2. порівняння двох величин; 3. перетворення сигналів. Вірна відповідь. -

Тест 73. Вимірювальна система робота: 1. сукупність засобів контролю і вимірювальних приладів; 2. лише вимірювальних і перетворювачів; 3. система

формування сигналів вимірювальної інформації з метою використання її в робототехнічних системах. Вірна відповідь.-

Тест 74. Технологічні об'єкти керування першого порядку можуть бути: 1. нейтральними або стійкими; 2. лише стійкими; 3. інерційними або астатичними. Вірна відповідь.-

Тест 75. Для аналітичного моделювання динаміки мехатронних пристроїв потрібно визначити його межі, його входи й виходи, а також визначити: 1. структуру та взаємозв'язки в об'єкті; 2. лише структуру; 3. рівняння динаміки. Вірна відповідь.-

Тест 76. Детерміновані методи отримання динамічних моделей робота ґрунтуються на передумові: 1. існування робочих характеристик об'єкту керування; 2. існування закономірного зв'язку між вихідними та вхідними параметрами в об'єкті моделювання; 3. існування частотних характеристик. Вірна відповідь.-

Тест 77. Встановлюють значення коефіцієнтів у рівняннях об'єкту на основі: 1. ідентифікації; 2. статики; 3. лінеаризації та апроксимації. Вірна відповідь.-

Тест 78. Статистичні методи отримання динамічних характеристик ґрунтуються на передумові: 1. наявності рівняння динаміки об'єкту досліджень; 2. наявності випадкових взаємодій входів і виходів в об'єкті досліджень; 3. зашумлення входів та виходів об'єкту моделювання. Вірна відповідь.-

Тест 79. Системи інтелектуального управління РТК в умовах неповної інформації зазвичай реалізуються у вигляді: 1. систем верхнього рівня; 2. комплексу програмних засобів на комп'ютері верхнього рівня керування; 3. системи інформаційного забезпечення РТК. Вірна відповідь.-

Тест 80. Мікропроцесор – це мікроелектронний програмований пристрій призначений для: 1. обробки інформації та керування процесами обміну цією інформацією в складі комп'ютерної системи; 2. керування складними технологічними процесами виробництва продукції; 3. обробки інформації та траєкторного управління виробництвом продукції. Вірна відповідь. -

Тест 81. Мехатронний модуль – це функціональний і конструктивно самостійний синергетичний і апаратно та програмно інтегрований пристрій, що складається: 1. з функціональних частин робота; 2. з елементів різного фізичного походження і призначення для реалізації певних функцій системи; 3. з окремих мехатронних компонентів. Вірна відповідь.

Тест 82. Мехатронний модуль руху – це конструктивно й функціонально самостійний пристрій, що складається: 1. з механічної та електротехнічної частини, а також електронної та інформаційної частин; 2. з багатьох

інформаційних модулів; 3. з гідравлічної та пневматичної, електричної частин. Вірна відповідь.

Тест 83. Інформаційно-вимірювальні мехатронні модулі призначені: 1. для візуалізації параметрів системи; 2. для збору, обробки, передачі, зберігання та подання достовірної інформації у зручному для ЕОМ вигляді та для реалізації керування мехатронними пристроями; 3. для забезпечення інформацією мехатронних компонентів. Вірна відповідь.

Тест 84. Найважливішими показниками інерційності мехатронних пристроїв з позитивним самовирівнюванням вважають: 1. час інерції об'єкту; 2. сталу часу Тоб.; 3. коефіцієнти динаміки об'єкту. Вірна відповідь

Тест 85. Дифузійні тензорезистори характеризуються: 1. дифузією певних домішок у силіцієву підкладку; 2. провідністю р-типу; 3. провідністю лише п-типу. Вірна відповідь.

Тест 86. У п'єзоелектричному перетворювачі використовується ефект: 1. появи кристалів з електричним зарядом; 2. появи кристалів на гранях деяких кристалів у разі їх механічного деформування електричних зарядів; 3. швидкоплинних процесів зміни тиску та температурної чутливості. Вірна відповідь -

Тест 87. Частотні електричні перетворювачі призначені для перетворення статичних величин на: 1. частотні вихідні сигнали; 2. напругу; 3. кодо-імпульсні сигнали. Вірна відповідь-

Тест 88. Тахометричні витратоміри – найточніші засоби для вимірювання: 1 витрати; 2.напруги та струму; 3 витрат швидкості. Вірна відповідь -.

Тест 89. Система управління роботом складається з: 1.пристроїв автоматики; 2. об'єкта управління та управлінського мехатронного пристрою; 3. лише об'єкта керування з людиною- оператором. Вірна відповідь-.

Тест 90. Чутливим елементом біметалевого термометра є: 1. гекон; 2. внутрішня пластина; 3. пластина з різним коефіцієнтом лінійного розширення. Вірна відповідь -.

Тест 91. До нестационарних належить реальні об'єкти, що змінюють свої характеристики: 1. за період експлуатації; 2. в часі у процесі експлуатації; 3. за період квазістационарності.Вірна відповідь-.

Тест 92. Спостережуваність об'єкту передбачає можливість визначення його стану за даними: 1. вимірювань; 2. вимірювань на скінченному інтервалі часу; 3. обчислень характеристик об'єкту керування. Вірна відповідь -.

Тест 93. Захоплювальні пристрої роботів втримують об'єкт завдяки: 1. кінематичній дії робочих елементів (губок, пальців, кліщів) за допомогою сил тертя; 2. лише комбінації сил тертя і запираючих зусиль; 3. активних дій кліщів або шарнірних пальців. Вірна відповідь-.

Тест 94. Адаптивне управління робота виконується: 1. у функції від параметрів зовнішнього середовища і дозволяє забезпечити досягнення цілі керування при неповній апріорній інформації про параметри; 2. виконується вбудованим автоматом зі захоплення вальним пристроєм випадкових предметів; 3. виконується адаптивним регулятором зі сенсорним пристроєм маніпулятора. Вірна відповідь-.

Тест 95. Проєктування технічних систем це: 1. виконання технічного завдання командою проєкта; 2. процес створення нового виробу у вигляді його проєкту; 3. розробка проєкту робототехнологічного комплексу та його документації. Вірна відповідь-.

Тест 96. Порядок і методи проєктування засобів робототехніки регламентується комплексом нормативно-технічних документів, які включають: 1. спеціальні методичні вказівки; 2. ДСТУ і методичні вказівки; 3. лише державні стандарти та інструкції. Вірна відповідь-

Тест 97. Модульний принцип побудови роботів дозволяє: 1. створювати їх модифікації та нові типи на базі одних і тих же конструктивних машин; 2. одержати значні переваги щодо вартості; 3. знизити собівартість комплектувальних модулів. Вірна відповідь -

Тест 98. Роботизовані технологічні комплекси, в яких ПР використовують: 1. в допоміжних операціях щодо обслуговування основного технологічного процесу; 2. в допоміжних та головних операціях; 3. лише в операціях керування промисловим роботом. Вірна відповідь-.

Тест 99. Проєкт – це: 1. сукупність технічних документів, з допомогою яких виробу можна виробляти та експлуатувати; 2. набір документів щодо правил експлуатації ПР; 3. Набір інструкцій щодо виробництва продукції. Вірна відповідь-.

Тест 100. Термін «мехатроніка» з'явився в 1969 році в: 1. США; 2. Україні; 3. Японії. Вірна відповідь-.

Тест 101. Основні переваги інтелектуальних мехатронних модулів (ІММ): 1. здатність ІММ виконувати складні операції розпізнавання предметів; 2. здатність виконувати комунікації між центрами керування і виконавчими механізмами робота; 3. здатність ІММ виконувати складні рухи самостійно, без

звернення до контролера верхнього рівня керування та їх гнучкість. Вірна відповідь-

Тест 102. Робототехніка – прикладна наука, що охоплює: 1. проектування, розробку та використання роботів, а також комп'ютерних систем для їх контролю, сенсорного зворотного зв'язку і обробки інформації РТС.; 2. використання програмного забезпечення, алгоритмів та систем 3Д-моделювання; 3. дослідження і виготовлення роботів та маніпуляторів. Вірна відповідь-

Тест 103. Інженер-мехатронік – це спеціаліст, який працює у сфері науки, техніки розуміється в механіці, а його робота спрямована: 1. на створенні гнучких виробництв продуктів здорового харчування; 2. на створенні та експлуатацію машин та цілих робототехнічних систем з комп'ютерним управлінням рухом виконавчих систем; 3 на створенні інноваційного обладнання для безлюдних технологій. Вірна відповідь-

Тест 104. У робототехнологічному комплексі збирання огірків їх розпізнавання виконується: 1. шляхом порівняння з еталоном; 2. шляхом нейрокомп'ютерних систем; 3. за допомогою сенсорних систем. Вірна відповідь -.

Тест 105. Комп'ютерезована діагностична система передбачає застосування у своєму складі: 1. комп'ютерних засобів для отримання інформації про технічний стан об'єкта діагностики; 2. програмно-апаратні засоби контролю; 3. інформаційних систем зі здавачами, актуаторами тощо. Вірна відповідь -.

Тест 106. Характеристики технологічних середовищ можуть бути визначені за допомогою: 1. аналітико-експериментальних досліджень і методів комп'ютерного моделювання; 2. статистичних методів оцінки параметрів процесу; 3. нейромережових систем розпізнавання. Вірна відповідь -.

Тест 107. Мехатронні пристрої – клас машин або вузлів, що базуються на використанні досягнень: 1. точної механіки, електроприводу, електроніки, комп'ютерного керування; 2. інтеграції функціональних елементів; 3. електромеханіки з механізмами передачі руху. Вірна відповідь -.

Тест 108. Синергетична інтеграція – це не просто з'єднання окремих частин робота у систему за допомогою: 1. комп'ютерних систем; 2. інтерфейсних систем; 3. єдиного приводного модуля через конструктивне об'єднання елементів. Вірна відповідь -

Тест 109. Роботизація технологічних процесів виробництва продуктів харчування – це: 1. процес автоматизації технологічних процесів з максимізацією прибутку; 2. неперервний процес використання роботизованих технологій, змінюють монотонну людську працю та можуть імітувати складні

фізичні процеси; 3. сукупність обладнання, яке оснащено автоматами та сенсорами для виробництва продукції. Вірна відповідь -.

Тест 110. Кроковий електропривод робота- це: 1. електродвигун змінного струму з перетворювачем; 2. електродвигуни, які повертають виконавчі ланки робота покроково на певний кут під управлінням контролера; 3. електродвигун з системою імпульсного керування. Вірна відповідь -.

Тест 111. П'єзодвигуни: 1. ультразвукові двигуни; 2. двигуни з крихітними п'єзоелектричними ніжками, що вібрують із частотою понад 1000гц.; 3. двигун з високою манометричною точністю, швидкістю і потужністю. Вірна відповідь-.

Тест 112. Датчик – це: 1. первинний перетворювач сигналу; 2. елемент вимірювального, сигнального, регулюючого або керуючого пристрою системи, що перетворює контрольовану величину в зручний для використання сигнал; 3. пристрій для одержання інформації про зовнішнє середовище. Вірна відповідь-.

Тест 113. Реостатний датчик заснований на змінні: 1. активного опору елемента від величини переміщення; 2. відношення деформації поверхні робота; 3. температурних параметрів поверхні робота. Вірна відповідь -.

Тест 114. Основою фотоелектричних датчиків є: 1 фотоелемент; 2. фоторезистор; 3. фото транзистор. Вірна відповідь -.

Тест 115. До тактильних датчиків відносять: 1 кнопку/ бампер, оптичний барер, датчик зазору ; 2. датчики положення; 3. датчики руху. Вірна відповідь -.

Тест 116. Конструкції виконавчих механізмів розрізняють за: 1. характером руху вихідної ланки (прямокутні поворотні); 2. за видом чутливого елемента, який перетворює енергію командного сигналу в переміщення вихідної ланки; 3. кількістю двигунів в системі руки робота. Вірна відповідь -.

Тест 117. Датчики ідентифікації: 1. доплеровський радар, доплеровський звуковий, камера – акселерометр; 2. лазерний далекомір, радар, ультразвуковий датчик, звуковий датчик; 3. ємнісний датчик, камера, сонар, структурований світ. Вірна відповідь -.

Тест 118. Датчик положення: 1. гороскоп; 2. укліномір; 3. індуктивний енкодер. Вірна відповідь -.

Тест 119. Виконавчий елемент – це пристрій, що: 1. безпосередньо здійснює механічне переміщення регульовального органу об'єкта управління і змінює його стан; 2. механізм, який відпрацьовує команду верхнього рівня РП.;

найбільш поширений елемент утримання або переміщення продукту. Вірна відповідь -.

Тест 120. Електромагнітні перетворювачі, що застосовуються в робототехніці для технологічних вимірювань(індуктивні, трансформаторні, індукційні), які перетворюють вхідні фізичні величини(найчастіше кутові чи лінійні переміщення або зусилля) на вихідні електричні сигнали з використанням:
1. оцінки параметрів зміни опору перетворювачів; 2. змін магнітних перетворювачів під впливом перетворюваних фізичних величин; 3 зміни лише фізичних величин. Вірна відповідь -.

Тест 121. Генераторні перетворювачі ґрунтуються на принципі зривання коливань високочастотного генератора при: 1. введенні металевої пластинки у щілину перетворювача або наближенні до нього; 2. змінні імпедансу генератора; 3. змінні параметрів коливального контуру. Вірна відповідь -.

Тест 122. Сельсинні перетворювачі є: 1 перетворювачами кута повороту; 2. електричними датчиками сигналів; 3. вторинними приладами для перетворення фізичних величин в сигнали. Вірна відповідь -.

Тест 123. Тензорезистори, одержані за технологією вакуумної сублімації тензочутливого матеріалу з наступною конденсацією його на підкладку, називають: 1. фольговими; 2. плівковими; 3. дротяними. Вірна відповідь -.

Тест 124. Метрологічні характеристики наклеюваних тензорезисторів значно погіршуються під дією наступних чинників: 1. температури і вологості; 2. плинність, механічний гістерезис, вплив температури довкілля; 3. лише температури довкілля. Вірна відповідь -.

Тест 125. Щоб створити швидкодіючу і високоточну систему керування роботом, важливо забезпечити жорсткість і малу масу його руки. Система керування рукою робота повинна задовольняти наступним вимогам: 1. стала помилка повинна бути дорівнювати нулю; 2. перерегулювання при ступеневому сигналі допускається не більше 10%; 3. час встановлення повинно бути не більше заданого. Вірна відповідь -

Тест 126. Лазерний маніпулятор управляється за допомогою: 1. лінійного двигуна; 2. двигуна постійного струму; 3. синхронного двигуна. Вірна відповідь-.

Тест 127. Інженер-оператор робототехніки вирішує наступні завдання: 1. виконує керування і підтримання працездатності робототехнічних комплексів на виробництві і в сфері послуг; 2. відповідає за безпеку роботи персонала з роботами; 3. проектує системи взаємодії роботів з системами керування верхнім рівнем. Вірна відповідь -

Тест 128. Консультант по робототехніці: 1. розбирається у морально –етичних, соціальних та юридичних аспектах взаємодії роботів і людей; 2. розробляє рішення щодо визначення зон відповідальності системних архітекторів, операторів, володарів за «вчинки» машин, прва і свободи робототехнічних систем, визначення робота як суб'єкта права тощо; 3. розробляє правила взаємодії людей та роботів. Вірна відповідь -.

Тест 129. Колаборативні роботи (коботи) з високим рівнем інтелекту призначені: 1. для роботи з людьми; 2. для роботи з автоматами; 3. для роботи з мережею роботів. Вірна відповідь -.

Тест 130. Кобот (колаборативний робот) – це: 1. автоматизований пристрій, який може працювати спільно з людьми; 2. маніпулятор з програмним забезпеченням; 3. автомат, що виконує рухи виконавчих органів маніпулятора. Вірна відповідь -.

Тест 131. Маніпулятори РТК виробництва продуктів харчування – це складний просторовий механізм з декількома ступенями рухомості, який створює: 1. систему, що відтворює рухи рук людини; 2. тверді і пружинні ланки, передачу та привід; 3. заданий рух робочого органа – захоплювача. Вірна відповідь -.

Тест 132. Маніпулятором ПР називається: 1. технічний пристрій, який призначений для відтворення деяких робочих функцій рук людини; 2. технічний пристрій з системами програмного забезпечення і керування; 3. технічний пристрій зі системою керування рухом виконавчого механізму. Вірна відповідь -.

Тест 133. Для опису кінематики і динаміки ПР використовують: 1. інформаційні системи; 2. графічний, векторний і метод матриць; 3. математично- графічні моделі. Вірна відповідь -.

Тест 134. Для розв'язання прямої задачі кінематики із застосуванням методу матриць необхідно: 1. визначити правосторонні декартові системи координат; 2. визначити лише декартової системи координат; 3. визначити лівосторонні декартові системи координат. Вірна відповідь -.

Тест 135. Для вирішення оберненої задачі кінематики спочатку: 1. розв'язують пряму задачу кінематики для заданої кінематичної схеми маніпулятора; 2. розв'язують задачу у загальному вигляді; 3. розв'язують задачу математично. Вірна відповідь -.

Тест 136. Команди вводу – виведення забезпечують увід інформації: 1. з датчиків ТО та видачу керуючих дій на виконавчі пристрої; 2. у вигляді адресів виходу; 3. з датчиків до систем автоматизації роботи. Вірна відповідь -.

Тест 137. У маніпуляційної системи існує декілька ступенів свободи, кожна з яких регулюється за допомогою: 1. свого приводного двигуна; 2. струмового керування; 3. системи керування виконавчим пристроєм. Вірна відповідь -.

Тест 138. Прикладом високого рівня, який зручно представити у вигляді моделі зниженого порядку, є рука робота. Існує декілько методів зниження порядку передавальних функцій, а саме: 1. зменшення впливу несуттєвих полюсів і їх позбавлення, які мають достатньо велику від'ємну дійсну частину; 2. метод апроксимації Рауса; 3. метод моделювання полюсів за допомогою комп'ютера. Вірна відповідь -.

Тест 139. Система керування роботом, яка має допустимі зміни якості в процесі зміни її моделі, називається: 1. адаптивною; 2. робастною; 3. комп'ютерною. Вірна відповідь -.

Тест 140. Від робастної системи робота вимагають, щоб вона мала низьку чутливість, зберігала стійкість та задовольняла вимогам проєктантів: 1. функціонувати у широкому діапазоні зміни невизначених параметрів; 2. бути надійною, гнучкою та грубою; 3. до її якості у достатньо великому діапазоні зміни її параметрів. Вірна відповідь -.

Тест 141. Гнучкі руки робота виготовляють із легких матеріалів, а управлінські системи в розімкненому стані мають: 1. низький рівень якості; 2. слабе демпфування; 3. низьку стійкість. Вірна відповідь -.

Тест 142. У промислових роботах необхідно створювати значні сили за допомогою електрогідравлічних виконавчих пристроїв. Бажано, щоб при ступеневому входному впливі стала помилка була: 1. максимальною; 2. мінімальною; 3. середньою. Вірна відповідь -.

Тест 143. У робототехнологічному комплексі заморожування м'яса птиці виконавчий пристрій захоплює тушку птиці і переміщує її в камеру для заморожування. У процесі синтезу ПД-адаптивного регулятора необхідно оцінити: 1. його коефіцієнти; 2. перерегулювання; 3. чутливість системи. Вірна відповідь -.

Тест 144. ПД-регулятор в системах керування роботом – регулятор, передавальна функція якого утворена трьома складовими, відповідно пропорційною ланкою, інтегратором та диференціатором, вихідні сигнали яких сумуються. При цьому коефіцієнт підсилення в кожному із трьох каналів може бути: 1. різним; 2 пропорційним; 3. налагоджуваним. Вірна відповідь -.

Тест 145. У робототехнологічній системі керування роботом переміщення хліба в камеру заморожування з системою технічного зору, датчиками кольору, запаху тощо є цифрова система керування, яка виконана на 32-розрядному

мікропроцесорі RISC і запам'ятовувальному пристрої 16 Мб. Тоді така система стійка якщо: 1. усі полюси її передавальної функції розташовані на z-плоскості всередині одиничного кола; 2. усі полюси від'ємні; 3. усі полюси позитивні. Вірна відповідь -.

Тест 146. Цифрову реалізацію ПІД-регулятора можливо одержати, якщо використовувати дискретну апроксимацію операцій: 1 лише інтегрування; 2. диференціювання та інтегрування; 3. лише диференціювання. Вірна відповідь-.

Тема 147. Синтез робототехнічних систем – це процес: 1. в результаті якого створюється новий фізичний пристрій; 2. в результаті якого розробляються електромеханіка робота; 3. в результаті якого створюється програмне забезпечення робота. Вірна відповідь -.

Тема 148. У робототехноогічних комплексах копчення риби найбільш важливою змінною є температура диму, яку вимірюють: 1 тактильним датчиком; 2. датчиком опору; 3. терморезисторним перетворювачем температури. Вірна відповідь -.

Тест 149. Вбудованим програмним забезпеченням роботів можна керувати виключно за допомогою: 1. машинного інтерфейсу; 2 інтерфейсу користувача; інтерфейсу оператора. Вірна відповідь -.

Тест 150. У виробничих операціях виробництва хлібобулочних виробів, де необхідна велика точність, швидкість можуть бути використані роботи. Система керування рухом руки такого робота в розімкненому стані може бути описана: 1. апередичною ланкою; 2. коливальною ланкою зі запізненням; 3. ланкою підсилення зі запізненням. Вірна відповідь -

Післямова

Стратегія промислового розвитку України до 2035 року, визначена Урядом, може бути успішно реалізована тільки з урахуванням ідей та технологій неоіндустріалізації Індустрії 4.0, що передбачає широке використання смарт-технологій, Промислового Інтернету Речей (IIoT), робототехнологічних комплексів, у тому числі для розвитку галузевого машинобудування і харчової промисловості. Використання такого підходу дозволить значною мірою підвищити продуктивність праці та рівень якості продукції на підприємствах харчової промисловості за рахунок використання безлюдних технологій, що базуються на автоматизації виробничих процесів, використанні робототехніки та IIoT.

У межах даної стратегії ключовими питаннями для розвитку харчової промисловості нашої країни постають розробка та впровадження нових стандартів харчової та екологічної безпеки, пошук оптимальних способів оброблення продуктів із збереженням та розвитком їх корисних властивостей, ощадливе використання ресурсів всіх видів.

Це коло питань може розширюватись для територій з підвищеним техногенним навантаженням, як, наприклад, Донецький та Придніпровський економічні райони України. Особливостями таких регіонів є збільшена загальна потреба в харчовій продукції як загального, так і лікувально-профілактичного призначення для забезпечення здоров'я та працездатності населення, зміцнення захисних функцій організму людини та запобігання патологічним станам, що можуть розвиватися під впливом факторів зовнішнього середовища.

Важливим напрямком реалізації стратегії сталого розвитку України є розробка системи виробництва розумних продуктів харчування в достатній кількості для забезпечення регулярного збалансованого харчування населення, особливо на територіях із вираженим техногенним навантаженням.

Об'єктом дослідження нами було обрано робототехніку з адаптивними та інтелектуальними системами керування промисловим виробництвом хліба, хлібобулочних, молочних, заморожуваних виробів в умовах невизначеності й техногенного тиску. Причиною вибору такої групи продуктів став соціальний характер даної продуктової групи, обумовлений доступністю для всіх верств місцевого населення. Наприклад, хліб та хлібобулочні вироби є продуктами регулярного споживання в Україні, що робить їх найбільш зручним об'єктом досліджень, щодо впровадження безлюдних технологій в регіоні, мехатронних пристроїв та робототехнологічних комплексів.

Наукова новизна посібника полягає в розробці робототехнічних систем керування робочими характеристиками обладнання та якості води, борошна, опари, тіста на основі інтелектуальних технологій, що дає можливість на базі

нечітких регуляторів побудувати системи мехатронного керування комплексом автоматизованого приготування тіста, формування виробів, випікання хліба, його пакування та заморожування.

Доведено, що відпрацювання еталонного завдання в умовах невизначеності зовнішніх і внутрішніх збурень, які не контролюються датчиками, може бути оцінено експертною системою формування законів керування технологічним процесом виробництва заморожуваних продуктів харчування..

Таким чином, у посібнику на основі принципів синергетики систематизовано теоретичні і практичні результати адаптивного, інтелектуального та мехатронного керування складними технологічними процесами виробництва продуктів харчування з алгоритмами цифрового керування для підприємств харчової промисловості. Принцип їх роботи ґрунтується на функціональних можливостях мікропроцесорних систем керування складними технологічними процесами виробництва продукції, IoT, цифрових платформ, розподіленого керування та програмних продуктів. Інтелектуальне підприємство передбачає не тільки роботизоване забезпечення нормального перебігу виробництва хліба і борошняних виробів, але й автоматичне керування запуском та зупиненням апаратів для ремонтних робіт та в критичних ситуаціях.

Прогнозується, що розроблені інтелектуальні системи керування енергозбереженням на підприємствах харчової промисловості дозволять досягнути підвищення ефективності виробництва високоякісної продукції та знизити енерговитрати на 10-15% від звичайної потужності системи.

У посібнику запропоновано декілька новітніх систем контролю якості продукції хлібопекарського виробництва та технологічних процесів виробництва молочних продуктів, а також алгоритмів керування із застосуванням інтелектуальних механізмів. Розроблено ряд адаптивних та рабастних систем керування технологічними процесами.

Запропоновано концептуальний підхід виконання досліджень щодо розробки проекту «Інтелектуальне підприємство з виробництва хліба та борошняних виробів» з використанням робототехнологічних комплексів та систем інтенсифікації виробництва продукції.

Авторами посібника доведено наступне:

1. Розробка систем багатоцільового мехатронного керування технологічними процесами виробництва молочних продуктів значно зменшує витрати енергетичних ресурсів;

2. Впровадження робототехніки в технології виробництва копченої риби та м'ясопродуктів на основі поточного контролю якості продукції та інтелектуальних технологій сприятиме підвищенню продуктивності,

зменшенню питомих втрат вхідної сировини, людських ресурсів, електроенергії, газу та ін.

3. Аналіз особливостей багаторівневого керування процесів виробництва продуктів здорового харчування та виробництва виробів, як складних об'єктів управління якістю, аналіз існуючих систем виробництва хлібобулочних та м'ясних виробів на підприємствах галузі дозволяє визначити основні параметри роботи роботизованих технологічних процесів виробництва розумних продуктів харчування.

4. Визначено перспективні шляхи вдосконалення систем управління якістю рибної та м'ясної продукції шляхом підвищення ефективності керування робототехнологічним комплексом виробництва продуктів здорового харчування на основі сучасних досягнень науки і практики мехатронного керування технологічним обладнанням, що дозволить покращити екологічний стан навколишнього середовища.

5. Проведений системний аналіз технологічних підсистем мехатронних апаратів, інтелектуальної автоматизації виробництва продуктів харчування дозволив виділити їх робочі характеристики з позиції оцінки комплексних показників якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції, а також довів соціально-економічну сутність концепції роботизації виробництва розумних продуктів харчування та їх синергетичний ефект для регіонів з техногенним навантаженням.

Таблиця: Відповіді до тестів 14 теми.

№ теста	відповідь	тест	відповідь	тест	відповідь		
1	2	43	1	85	1	127	1
2	1	44	3	86	2	128	1+2
3	2	45	1	87	1	129	1
4	1	46	1	88	1	130	1
5	1	47	1	89	2	131	2
6	2	48	1	90	3	132	1
7	3	49	3	91	2	133	2
8	1	50	2	92	2	134	1
9	1	51	2	93	1	135	2
10	3	52	3	94	1	136	1
11	2	53	1	95	2	137	1
12	3	54	2	96	2	138	1+2
13	2	55	3	97	1	139	2
14	2	56	2	98	1	140	1+2+3

15	2	57	3	99	1	141	2
16	3	58	1	100	3	142	2
17	1	59	2	101	3	143	1+2+3
18	3	60	3	102	1	144	3
19	2	61	1	103	2	145	1
20	2	62	2	104	1	146	2
21	1	63	1	105	1	147	1
22	3	64	3	106	1	148	3
23	3	65	3	107	1	149	1
24	1	66	2	108	2+3	150	2
25	2	67	1	109	2		
26	1	68	1	110	2		
27	1	69	3	111	1+2+3		
28	1	70	2	112	1+2		
29	2	71	1	113	1		
30	3	72	1	114	1+2+3		
31	3	73	3	115	1+2+3		
32	3	74	1	116	2		
33	1	75	1	117	2		
34	1	76	2	118	1+2		
35	2	77	1	119	1		
36	2	78	2	120	2		
37	2	79	2	121	1		
38	3	80	1	122	1		
39	2	81	2	123	2		
40	2	82	1	124	2		
41	1	83	2	125	3+2+1		
42	2	84	2	126	2		

ЛІТЕРАТУРА

Список основної літератури:

1. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування: монографія/ В.П. Хорольський, Ю.М. Коренець В.М.,Серебренников – Кривий Ріг Видавець Чернявський Д.О., 2021. – 312с.
- 2.Автоматизація виробничих процесів: підручник/ В.П.Хорольський,Ю.М.Коренець- Кривий Ріг:ДонНУЕТ,2022.-370с.
3. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / Гончаренко Б.М.,Ладанюк А.П. -. Київ: НУХТ, 2014.- 530с.
4. Автоматизація виробничих процесів: підручник/ І. В. Ельперін, О. М. Пупена. В. М. Сідлецький, С.М. Швед; Національний університет харчових технологій-2-ге вид., випр..-Київ: Ліра-К. 2015.- 378с.
5. Автоматизація виробничих процесів: підручник / О. І. Черевко, Л.В. Коптева, В. М. Михайлов, О.Є. Загорулько; Харк. держ. ун-т харчових технологій – Харків. 2014.- 186с.
6. Вашпанов Ю.О. Сучасні сенсори автоматичних систем: навчальний посібник.-Одеса: ВМВ, 2014.-240с.
- 7.Васильківський І.С.,ФединецьВ.О.,Юсик Я.П. Виконавчі пристрої систем автоматизації.Львів,2020-220с.
8. Довбиш А.С. Основи проектування інтелектуальних систем: навчальний посібник / А. С. Довбиш.- Суми:Видавництво СУМДУ,2009.-171с.
- 9.. Dorf R.C.,Bishop R.H. Modern Control Systems ninth edition Prentice Hall Upper Saddle River Nj07458 – 2001.-831p.
- 10 Довбиш А.С. Основи теорії розпізнавання образів: навчальний посібник/ А.С Довбиш,І.В.Шелехов.- Суми:Сумський державний університет,2015.-ч1-109с.
11. Зайченко Ю.П. Основи проектування інтелектуальних систем: навчальний посібник / Ю.П.Зайченко.-К.: Видавничий Дім «Слово», 2004.-352с.
- 12.Згуровський М.З. Основи системного аналізу: підручник /М.З.Згуровський, Н.Д.Панкратова.-К.: Видавнича група ВНУ,2007.-544с.
13. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів: монографія/ В.П.Хорольський, Ю.М.Коренець,А.В. Возняк, О.В. Омельченко, Д.П. Заїкіна, О.К.Копайгора, А.В.Шеїна - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О.-2019.- 204с.
- 14.Костюк В.І. Робототехніка / [В.І.Костюк, Г.О.Спину, Л.С.Ямпольський і ін..] – К.: Вища школа, 1994.-447с.
15. Ловейкін В.С. Мехатроніка: навчальний посібник/ В.С. Ловейкін,Ю.С.Ромасевич,Ю.В.Човнюк.-К.: «Компринт»,2012-358с.
16. Мехатроніка в галузевому машинобудуванні:навчальний посібник / Б.В. Орловський.-К.: КНУТД,2018-416с.
17. Основи вимірювань і автоматизації технологічних процесів: підручник/ А.К.Бабіченко, В.І.Тошинський, Ю.А.Бабіченко та ін.. За заг. ред.. А.К.Бабіченко-Харьков: ТОВ. «С.А,М.»,2009.-616с.
- 18.Основи робототехніки: навчальний посібник /В. М. Ніколайчук._Рівне: НУВГП,2008-76с.

19. Основи робототехніки: навчальний посібник / Н.В. Морзе, Л.О. Варченко-Трощенко, М.А.Гладун, Київ. ун-т ім.Бориса Грінченка.- Кам'янець-Подільський(Хмельн.обл.) Буйницький О.А.2016-183с.
20. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: підруч.- 2-е вид. перероб. і доп.-К.: Лебідь,2007.-656с.
21. Руденко О.Г., Бородянський Є.В. Штучні нейронні мережі: навчальний посібник-Харків ТоВ«Компанія СМІТ»,2006-404с.
- 22.. Савицький В.Технічні засоби автоматизації.Львів,2018-292с.
23. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні:підручник / Л.Є.Пелевіч, К.І.Почка,О.М.Гаркавенко та ін.. Київ.Нац.ун-т буд-ва і архітектури.-К.: ТОВ. НВП «Інтерсервіс», 2016.- 258с.
24. Сугаков В.Й. Основи синергетики -К.: Обереги,2001.- 287с.
25. Попович М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електропривод/М.Г.Попович,О.Ю.Лозинський,В.Б.Клепиков.-К.: Либідь,2005.- 678с.
26. Проць Я.І.,Савків В.Б.,Шкодівський О.К.,Ляшук О.Л. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів.- Тернопіль: ТНТУ ім.І.Пулюя,2011.-344с.
27. Проць Я.І.Захоплювальні пристрої промислових роботів/ Я.І.Проць. Навчальний посібник.-Тернопіль: ТДТУ,2008.-232с.
- 28.Сучасні електромехатронні комплекси і системи: навч. посібник/ Т.П.Павленко, В.М.Шавкун.О.С.Козлова,Н.П.Лукашова;Харків. нац.. ун-т міськ.госп.-ва ім. О.М.Бекетова.-Харків: ХНУМГ ім.О.М.Бекетова, 2010.-116с.
29. Ткачук В. Електромеханотроніка: навч. посібник.-Львів.Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка»,2001-404с
30. Трегуб В. Г. Основи комп'ютерного –інтегрованого керування (інтегровані автоматизовані системи керування): навч. посібник. К.:НУХТ,2005-192 с.
- 31.Хмельнюк М. Г., Подмазко О. С., Подмазко І. О. Холодильні установки та сфери їх використання: підручник. Херсон: ФОП Грінь Д. С., 2014. 484 с.
- 32.Холодильні установки: підручник / за ред. І. Г. Чумака. Одеса: Рефпринтінфо, 2006. -550 с.
33. Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навчальний посібник/ Л.І.Цвіркун,Г.Грулер;Нац.гірничий ун-т.-2-ге вид.,випр..-Дніпропетровськ.НГУ,2010-224с.
34. Цифрові системи інтелектуального управління підприємствами промислового комплексу регіону: монографія / В.П.Хорольський, О.В.Хорольська. І.П.Діянов -Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О.- 2020.- 564с
35. Яглінський В.П. Торгачев Д.В. Моделювання динамічних процесів роботизованого виробництва- Одеса Астро Прінт,2004.-234с.
36. Ямпольський Л.С.. Нейротехнології та нейросистеми: монографія/ Л.С. Ямпольський, К.: ДорадоДрук, 2015.- 508с. .

Список додаткової літератури

37. Мікроархітектура процесорів Intel Itanium 2 [Електронний ресурс]- URL:<http://|MSU-Intel| Itanium2/html>
38. Сайт корпорації Intel Corporation[Електронний ресурс]- URL: <http://www.intel.com>.
39. Сайт корпорації AMD [Електронний ресурс]- URL: <http://www.amd.com>.
40. Альбом – каталог Siemens,2014-380с.
41. Нестеренко О.В.,Ковтунець О.В.,Фаловський О.О. Інтелектуальні системи і технології.Ввідний курс: навчальний посібник – К.: Національна академія управління,2017- 90с.
42. Зайцев Г.Ф. Теорія автоматичного управління/ Г.Ф. Зайцев,В.К.Стеклов, О.І.Бріцький: підручник / За ред. проф. Г.Ф. Зайцева.К.: Техніка,2002.-688с.
43. Корчєнний М.О.,Клендїй П.Б.,Потапенко М.В.Теоретичні основи автоматики. Київ.2012-303с.
44. Кубрак А.І.,Жученко А.І., Кваско М.З. Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем: навчальний посібник-К.: Політехніка,2004.-424с.
- 45.Ладанюк А.П.,Заєць Н.А.,Власенко Л.О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів: монографія. Київ:Ліра-К.,2016.312с.
- 46.Ладанюк А.П., Смітюх Я.В.,. Власенко Л.О. Заєць Н.А, Ельперін І.В. Системний аналіз складних систем управління К.:НУХТ,2013.274с
47. Автоматизація холодильних машин і установок: лабораторний практикум/ уклад. Ю.Б. Беляєв, В.М. Сідлецький.М. І.Іванченко; Національний університет харчових технологій- Київ: НУХТ, 2016.-61с.
48. Левченко О.І. Автоматизація холодильних машин і установок: курс лекцій/ О.І. Левченко; Національний університет харчових технологій.- Київ: НУХТ, 2007- 97с.
49. Valentyn Khorolskyi, Oleksandr Bavyko, Svitlana Yermak, Yekateryna Riabykina, Kostiantyn Khorolskyi (2018), Innovative functional food products for the workers of the mining industry, Journal of Hygienic Engineering and Design, Volume 24, P. 55–62. (<https://keypublishing.org/jhed/wp-content/uploads>
- 50.Хорольський В.П. Проектування робототехнологічного комплексу з виробництва хліба для територій з техногенним тиском / В.П. Хорольський, Ю.М. Коренець // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький, 2018. – № 1 (257). – С. 256-263.
- 51.Хорольський В.П. Ідентифікація процесу приготування тіста в полі ультразвукових коливань / В.П. Хорольський, Ю.М. Коренець, А.В. Шеїна // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький, 2018. – № 2 (259). – С. 115-123.
52. Хорольський В. П., Омельченко О. В., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Петрушина Ю. М. Холодозабезпечення холодильних камер смарт-промислових холодильників із системами нейро-нечіткого керування процесами заморожування продуктів харчування. *Вісник Хмельницького Національного Університету*. 2021. -№ 6. С. 264–271.
7/04.-Full-paper-Valentyn-Khorolskyi.pdf)

53. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Заїкіна Д. П., Невідін В. І. Автоматизовані системи керування виробництвом заморожуваних продуктів харчування. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. Хмельницький, 2020.- № 6 (291), С. 199–206.
54. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Заїкіна Д. П., Кузьменко А. О., Невідін В. І. Інформаційна система керування виробництвом харчових смарт-продуктів з технологіями заморожування. Обладнання та технології харчових виробництв. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2020. -№ 2 (41). С. 79–88.
55. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Яровий Д. В., Расчехмаров І. В. Теоретичні основи багаторівневого автоматизованого керування холодозабезпеченням промислових холодильників. Обладнання та технології харчових виробництв. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2021. Вип. 2 (43). С.122–130.
56. Нікіфоров Р.П., Сабіров О.В., Сімакова О.О. та ін... Технологія м'ясної продукції і використання високого тиску: монографія. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2021, 136с.
57. Електропривод: підручник/Ю.М. Лавріненко, О.С.Марченко, П.І.Савченко та ін.; за ред.Ю.М.Лавріненко.-К.:Ліра-К., 2009.-504с.
58. Гнітько С.М., Бучинський М.Я., Попов С.В., Чернявський Ю.А. Технологічні машини: підручник для студентів спеціальностей механічної інженерії закладів вищої освіти. Харків: НТМТ, 2020.-258с
59. Електропривод: підручник/Ю.М. Лавріненко, О.С.Марченко, П.І.Савченко та ін.; за ред.Ю.М.Лавріненко.-К.:Ліра-К., 2009.-504с
60. Теплохолодотехніка: навчальний посібник / С. М. Василенко та ін. Київ: Ліра-К, 2019.-258 с.
61. Тітлов О. С., Горикін С.Ф. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості: навчальний посібник Львів: Новий світ, 2011.- 286 с.
62. Поперечний А.М., Потапов В.О., Корнійчук В.Г. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв: підручник.- К.: Центр учбової літератури, 2021.- 312с.
63. Методи розпізнавання образів: навчальний посібник/ В.М. Заяць, Р.М. Камінський, Нац.ун-т «Львів політехніка»-Л.2004.-173с
64. Щокін В.П., Голюков С.П., Кваско, С.Г. Чорний Моделювання складних процесів та систем в галузі автоматизації з використанням сучасних інформаційних технологій: монографія-К.: Центр учбової літератури, 2012.- 216с.

Наукове видання

ХОРОЛЬСЬКИЙ В.П., КОРЕНЕЦЬ Ю.М.

МЕХАТРОНІКА

(Мехатроніка та інтелектуальна автоматика)

(навчальний посібник)

В авторській редакції

Підготовка до друку: Журавльова Ю.О.

Підписано до друку 07.09.2023 р.

Формат 64x84 1/16.

Друк цифровий лазерний та світлодіодний.

Об'єм 23,5 ум. друк. аркушів.

Тираж ___ екз.



Друк: Видавець Чернявський Д.О.

пр. 200-річчя Кривого Рогу, 17, (зуп. «Спаська»),

тел.: (067) 46-46-102

Свідоцтво ДК 3449 від 02.04.2009 р.

 [oktanua](#)  [oktanua](#)  oktanprint@ukr.net

 +38 (067) 46-46-102 

 [oktanprint.com.ua](#); [oktanshop.com](#); [oktanprint.cz](#)

ДРУКАРНЯ



ОКТАН-ПРИНТ