

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет) автоматизації і комп'ютерних систем
Кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління**

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Андрій ФОРСЮК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«__» лютого 2023 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Ярослав СМІТЮХ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«__» лютого 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інтелектуальні комп'ютерні системи керування

на тему: Інтелектуальне сценарне керування технологічним комплексом пивзаводу

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ІА-2-1М

Мироненко Максим Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Кишенько Василь Дмитрович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент Мошенський Андрій

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)

Київ - 2023р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи
керування

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Ярослав СМІТЮХ

«16» листопада 2022 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Мироненко Максим Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інтелектуальне сценарне керування технологічним комплексом пивзаводу

керівник роботи Кишенько Василь Дмитрович, к.т.н., професор,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “16” листопада 2022 року №820-кв

2. Строк подання здобувачем роботи “17 лютого 2023 року”

3. Вихідні дані до роботи Короткі відомості про об'єкт автоматизації, відомості про умови експлуатації об'єкта автоматизації та вимоги до системи автоматизації. Матеріали переддипломної практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Розділ 1. Характеристика пива як об'єкту керування. 1.1. Аналіз технологічного комплекс виробництва пива як складного об'єкта управління. 1.2. Стан автоматизації технологічних процесів виробництва пива. Розділ 2. Розробка сценарного керування технологічного комплексу пивзаводу. 2.1. Огляд методів сценарного керування. 2.2. Сценарна схема і формування сценарію. 2.3. Алгоритм сценарного управління процесами приготування пива. 2.4. Факторно-цільовий аналіз управління процесами приготування пива та постановка задачі багатокритеріальної оптимізації. Розділ 3. Розробка інтелектуальної системи керування. 3.1. Загальні відомості про об'єкт. 3.2. Структура експертної системи. 3.3 Лінгвістична апроксимація вхідних та вихідних параметрів. 3.4. Розробка бази правил для нечіткої системи. 3.5 Побудова нечіткого регулятора. Висновки. Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу

1. Сценарна схема і формування сценарію. 2. Факторно-цільова діаграма приготування пива. 3. А-сценарій управління технологічними процесами виробництва пива. 4. Функціональна схема об'єкта.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «16» листопада 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Видача та затвердження завдання</i>	<i>Перед переддипломною практикою</i>	
2	<i>Розділ 1. Характеристика пива як об'єкту керування.</i>	<i>3 тиждень</i>	
3	<i>Розділ 2. Розробка сценарного керування технологічного комплексу пивзаводу.</i>	<i>7 тиждень</i>	
4	<i>Розділ 3. Розробка інтелектуальної системи керування.</i>	<i>10 тиждень</i>	

Здобувач

(підпис)

Мироненко М. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кишенько В. Д.

(прізвище та ініціали)

Анотація

В дипломному проекті розглядається інтелектуальне сценарне керування технологічним комплексом пивзаводу.

В проекті проведена лінгвістична апроксимація основних змінних технологічних процесів виробництва пива та формалізація змінних на прикладі змінної “прозорість сула”, визначені фактори, які безпосередньо чи опосередковано впливають на режими роботи пивоварного виробництва. Здійснюється постановка та розв’язання задачі мережевої оптимізації процесів приготування пива. Зокрема запропоновано вирішувати задачі мережевої оптимізації наступним чином: вирішувати задачу мережевої оптимізації процесів приготування пива на основі апарату мереж Петрі.

За допомогою програмного забезпечення MATLAB і вбудованих функцій Simulink FIS Editor та Fuzzy Logic Toolbox, була розроблена інтелектуальна система керування бродильним апаратом для забезпечення якісного виробництва пива.

Annotation

The diploma project considers the intelligent scenario management of the technological complex of the brewery.

In the project, the linguistic approximation of the main variables of the technological processes of beer production and the formalization of the variables using the example of the "transparency of the wort" variable were carried out, the factors that directly or indirectly affect the modes of operation of the brewery production were determined. The formulation and solution of the problem of network optimization of beer brewing processes is carried out. In particular, it is proposed to solve the problems of network optimization as follows: to solve the problem of network optimization of beer brewing processes based on the apparatus of Petri nets.

With the help of MATLAB software and the built-in functions of Simulink FIS Editor and Fuzzy Logic Toolbox, an intelligent fermentation control system was developed to ensure quality beer production.

Зміст

ВСТУП.....	1
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПИВА ЯКОБ'ЄКТУ КУРУВАННЯ.....	3
1.1 Аналіз технологічного комплексу виробництва пива як складного об'єкта управління.....	3
1.2 Стан автоматизації технологічних процесів виробництва пива.....	15
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СЦЕНАРНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ПИВЗАВОДУ.....	24
2.1 Огляд методів сценарного керування.....	24
2.2 Сценарна схема і формування сценарію.....	27
2.3 Алгоритм сценарного управління процесами приготування пива.....	31
2.4 Факторно-цільовий аналіз управління процесами приготування пива та постановка задачі багатокритеріальної оптимізації.....	33
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ....	57
3.1 Загальні відомості про об'єкт.....	57
3.2 Структура експертної системи.....	59
3.3 Лінгвістична апроксимація вхідних та вихідних параметрів.....	60
3.4 Розробка бази правил для нечіткої системи.....	63
3.5 Побудова нечіткого регулятора.....	67
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81

Вступ

Виробництво пива – надзвичайно складний і досить тривалий біотехнологічний процес. На першому етапі зерно замочують, пророщують і піддають термічній обробці з метою перетворення його у солод, збагачений активними ферментами. Потім із подрібненого солоду в результаті ферментативних перетворень крохмалю та білків одержують пивне сусло, яке за допомогою дріжджів та їхніх ферментів зброджують на пиво.

Основними видами сировини для виробництва пива, зокрема в Україні, є ячмінь, хміль, ферментні препарати і вода. Широко використовують й інші зернові (пшениця, кукурудза, рис) та бобові культури. Щодо ячменю, то для пивоваріння придатні тільки спеціальні його сорти – так звані пивоварні ячмені.

Управління технологічними процесами – один з основних шляхів підвищення продуктивності праці та якості продукції в епоху науково-технічної революції. Розробка засобів управління технологічними процесами являє собою задачу, розв'язання якої може бути досягнуте за рахунок застосування сучасних методів теорії управління в рамках системного підходу до створення автоматичних приладів і автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Такий підхід вимагає комплексного дослідження різних питань теорії управління і, в першу чергу, задач ідентифікації та оптимізації технологічного процесу.

Великий вплив теорія управління має також на виробництво. При цьому для підвищення ефективності виробництва створюються системи автоматичного або автоматизованого управління технологічними процесами та автоматизовані системи управління допоміжними функціональними підрозділами виробництва.

Практичне втілення цих систем призводить до зміни як діючого технологічного обладнання, так і нових створюваних об'єктів. У підсумку розвитку теорії автоматичного регулювання за результатами випробувань

автоматичних регуляторів на діючих технологічних об'єктах нові аналогічні установки поставляються вже оснащеними відповідними регуляторами.

Виходом з цього становища у значній мірі є здійснення автоматичного або автоматизованого управління. Ці види управління технологічними процесами повинні забезпечити управління перебігом процесу для досягнення заданих цілей, а також повністю або частково звільнити людину від виконання одноманітних фізичних дій, збору та обробки великих масивів інформації.

Практична реалізація систем автоматичного і автоматизованого управління технологічними процесами стала можливою лише завдяки використанню обчислювальної техніки, що забезпечує можливість зберігання та переробки великих масивів інформації. Таким чином, були створені умови звільнення людини від виконання одноманітних інтелектуальних функцій, пов'язаних із одержанням та обробкою інформації і прийняттям рішень.

Актуальність теми. Пивоварне виробництво є одним із важливих галузей харчової промисловості. Сучасний стан у пивоварній промисловості характеризується застосуванням передових технологій, устаткування та мікропроцесорної техніки і комп'ютерних технологій. Разом з тим, при управлінні технологічними процесами виробництва пива використовують системи локального контролю та регулювання окремих технологічних та режимних параметрів, відсутній комплексно-інтегрований підхід, не розглядається синергія процесів, не враховується невизначеність, в тому числі і ситуаційна. Все це приводить до зниження ефективності управління пивоварним виробництвом в порівнянні з витратами на ресурси, що використовуються. Дослідження об'єктів управління пивоварного виробництва з позиції синергетики, теорії хаосу, теорії і практики штучного інтелекту дозволить встановити особливості проявів поведінки технологічних процесів виробництва пива, що забезпечує розробку ефективних алгоритмів управління на базі сценарного підходу, мережевої оптимізації, застосування інтелектуальних механізмів та сучасних інформаційних технологій, що є безумовно актуальною науково-технічною проблемою.

РОЗДІЛ 1. Характеристика пива як об'єкту керування

1.1. Аналіз технологічного комплексу виробництва пива як складного об'єкта управління

Пиво – це слабоалкогольний пінистий напій, який одержують шляхом ферментації охмеленого сусла, яке отримується із ячмінного солоду. Пиво представляє собою складну систему, яка містить в собі органічні і неорганічні сполуки, що формують притаманний пиву колір, смак, аромат [1-3].

Основною сировиною для приготування пива є ячмінний солод, який пророщують та висушують особливим чином. Причому для приготування пива використовують пивоварні сорти. Також за останні роки збільшилась доля інших зернових культур при виробництві пива: пшениця, рис, кукурудза. Вони відносяться до несолоджених матеріалів.

Специфічний гіркий смак дає інша сировина – хміль, а саме, ефірні олії хмелю та хмелеві смоли.

Для прискорення різних біологічних реакцій, що виникають в процесі виробництва пива, використовують наступну сировину – ферменти та ферментні препарати. Їхня роль полягає у розщепленні складних сполук на прості речовини.

І останній компонент, без якого не може утворитися пиво – вода. Вода представляє містить в собі як органічні, так неорганічні елементи. Саме хімічний склад води зумовлює органолептичні властивості пива.

Виробництво пива – тривалий і складний процес, який складається з наступних стадій (рис. 1.1) [4-6]:

- замочування ячменю;
- пророщування ячменю;
- сушка солоду;
- приготування затору;

- кип'ятіння сусла з хмелем;
- зброджування пивного сусла;
- доброджування та дозрівання пива;
- фільтрування та розлив пива.

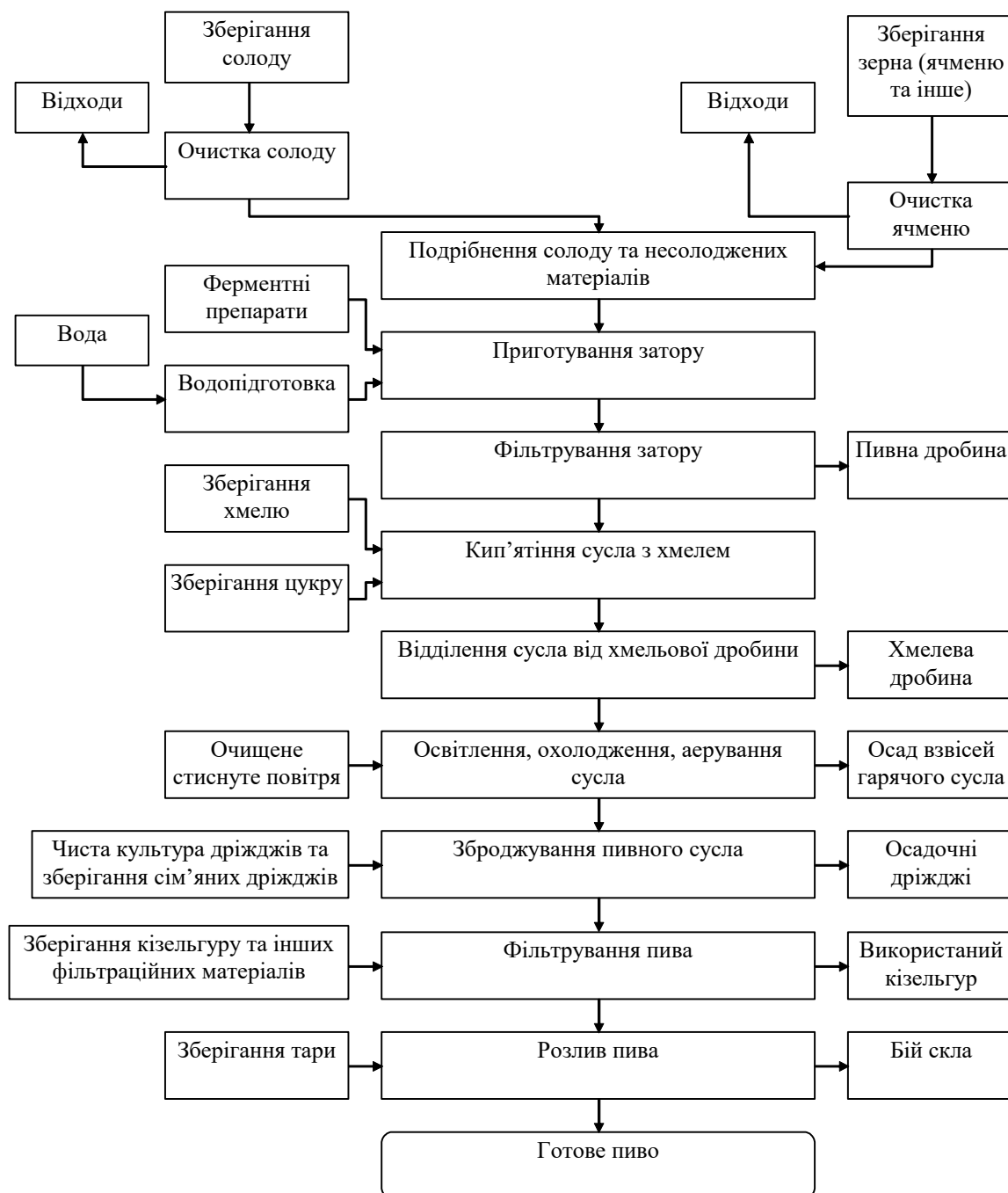


Рис. 1.1. Принципова технологічна схема приготування пива.

Подрібнення солоду. Згідно з технологією виробництва, оптимальний склад подрібнення солоду повинен забезпечити максимально можливий вихід

екстракту та достатньо високу швидкість фільтрування суслу, так як оболонка зерна є добрим фільтруючим матеріалом. Солод подрібнюється в сухому або частково зволоженому (мокрому) вигляді. Для подрібнення сухого солоду використовують чотири- та шестивальцеві дробарки. При мокрому подрібненні солод попередньо зволожують в бункері до вмісту вологи 18...32%, шляхом зрошення водою, що має температуру 35...60°C. При цьому збільшується еластичність оболонки, яка практично не подрібнюється на вальцях, що призводить до створення пористого фільтруючого шару. Якщо при виробництві передбачається використання несолоджених матеріалів (ячмінь, рис, кукурудза,), то в цьому випадку використовують двовальцеві дробарки з нарізними вальцями. Для подрібнення кукурудзи використовують молоткові дробарки [7-8].

Затирання. Мета затирання — екстрагувати розчинні речовини солоду та несолодженого матеріалу та перетворення під впливом ферментів нерозчинних речовин у розчинні з подальшим переходом їх в розчин. Речовини, які перейшли в розчин, називаються екстрактом.

Затирання включає в себе три стадії: змішування подрібнених зерно продуктів з водою, нагрівання та витримка суміші, яку отримали, при заданому температурному режимі. В результаті отримуємо продукт, який називається затором.

На перших стадіях затирання в розчин переходять вуглеводи, частково білки та продукти їх гідролізу, пектинові, дубильні та гірки речовини, ферменти і мінеральні солі, які складають 10...15% сухих речовин солоду. В несолодженому матеріалі їх в 2...3 рази менше. Основні компоненти зернопродуктів — крохмаль і білки нерозчинні. Тому їх перехід в розчинний стан відбувається в результаті цілеспрямованої дії ферментів.

Гідроліз крохмалю починається при солодорощенні. При затиранні крохмаль проходить наступні стадії: клейстеризацію, розрідження, оцукрення.

Гідроліз крохмалю представляє собою розрідження клейстера, яке супроводжується накопиченням декстринів, мальтози, глюкози.

Схематично гідроліз крохмалю можливо представити в наступному вигляді:

Крохмаль→Амілодекстрини→Еритродекстрини→Ахродекстрини→
Мальтодекстрини→Мальтоза→Глюкоза

В процесі гідролізу крохмалю при затиранні в суслі не повинно бути амілодекстринів, еритритродекстринів. Їх наявність визначають йодною пробою, яка дає характерний колір. Ахродекстрини, мальтодекстрини, мальтоза це речовини, які дають пиву повноту смаку і збільшують його в'язкість. При правильному затиранні з крохмалю повинно бути отримано 20...30% декстринів, 70...80% мальтози.

Амілолітичні ферменти гідролізують геміцелюлози і гуммі-речовини, що входять в склад стінок клітин зерна. При цьому створюються декстрини, глюкоза, ксилоза, арабіноза. Продукти гідролізу некрохмальних поліцукрів підвищують вихід екстракту, знижують в'язкість розчину, позитивно впливають на смак пива, ціноутворення та піностійкість. Однак гідроліз некрохмальних поліцукрів залежить від дії протеолітичних ферментів на білок, з яким ці речовини зв'язані.

Як і крохмаль, білки починають гідролізуватися в процесі солодощення. Їх гідроліз відбувається під дією ендопептидаз солоду. Розщеплення білків можливо представити за наступною схемою:

Білок→Альбумози→Пептоди→Поліпептиди→Пептиди→Амінокислоти

Біля 35% білків від загального складу сировини повинно перейти до сусла.

Пептоди і поліпептиди обумовлюють створення піни пива, пептиди і амінокислоти необхідні для дріжджів, високомолекулярні сполуки (продукти) гідролізу білка впливають на стійкість пива. Тому недостатній гідроліз білка

призводить до різкого зниження органолептичних властивостей, стійкості пива при зберіганні.

При затиранні проходять також і багато неферментативних реакцій: екстрагування речовин, що можуть розчинятися, часткова коагуляція білків і т.ін.

Основні фактори, що впливають на процес затирання, це співвідношення „фермент-субстрат”, тривалість процесу, температура та рН затору.

З підвищенням концентрації затору ферментативна активність знижується, тому концентрація затору не перевищує 16%.

Вплив температури обумовлено температурним оптимумом та термостабільністю ферментів. Наприклад, при 63°C створюється багато мальтози і мало декстринів. При збільшенні температури до 70°C гідроліз крохмалю проходить швидше, але внаслідок інактивації β-амілази, накопичуються переважно декстрини.

Оптимум рН для дії ферментів залежить від температури середовища. Як правило, при збільшенні температури збільшується рН-оптимум. Наприклад, для сумісної дії амілаз при температурі 63°C, рН-оптимум дорівнює 5,6.

При збільшенні тривалості затирання в суслі накопичуються низькомолекулярні сполуки гідролізу крохмалю та білків.

Важливими температурними паузами при затиранні є 50...52°C, 60...65°C, 70°C, під час яких максимальну активність, відповідно, проявляють ендопептидаза, β-амілаза, α-амілаза.

Способи та режими затирання. Приготування затору починається зі змішування подрібненого солоду з водою при температурі 37...40°C, яке здійснюється в заторному апараті при включеній мішалці. Далі затирання ведуть *настійним* або *відварочним* способом.

Настійний спосіб полягає у поступовому нагріванні всієї маси затору від 40°C до 70°C зі швидкістю 1°C/хв. та витримкою при температурі 40, 52, 63,

70°C по 30 хвилин. Далі затор нагрівають до 72°C та витримують до повного оцукрення. Повне оцукрення визначається за пробою на йод. Потім затор підігрівують до 77°C і перекачують до фільтрування. Сусло за таким способом багате на ферменти, містить мальтози та амінокислоти, небагато декстринів і тому добре зброджується. Такий спосіб використовують у разі верхового способу бродіння.

Сутність відварочного способу полягає в тому, що окремі частини затору (відварки) кип'ятять, а потім змішують із іншою частиною затору, поступово збільшуючи температуру до 75°C. При кип'ятінні крохмальні зерна із крупних частин зернопродуктів, що подрібнені, переходять в розчин, клейстеризуються та попадають під дію ферментів. Розрізняють різні варіанти відварочних способів приготування затору: з однією, з двома, з трьома відварками або кип'ятінню всієї маси. Найбільш розповсюджені — одно- та двовідварочні способи. При відварних способах затирання відбувається з використанням двох заторних апаратів: заторний і відварний.

Фільтрування затору. Оцукрений затор представляє собою суспензію, що складається з рідкої (сусло) і твердої (пивна дробина). Мета фільтрування полягає у відділенні пивного сусла від дробини. Фільтрування затору складається з наступних стадій: фільтрування первинного сусла, промивка дробини. Сусло та промивні води повинні бути прозорими.

Фільтрування первинного сусла представляє собою фізичний процес. А промивка дробини представляє собою сукупність процесів конвективної дифузії та обмінних реакцій.

В процесі фільтрування фільтрувальним шаром є шар дробини, який створюється при відстоюванні затору. Тому, одним із факторів, що впливає на швидкість фільтрування, є склад та висота фільтрувального шару. Солод, який має рекомендований склад помелу, створює легко проникливий, рихлий шар. Ще один фактор, який впливає на швидкість фільтрування є температура затору. Вона не повинна перевищувати 78°C, щоб запобігти інактивації α -

амілази: цей фермент завершує процес оцукрення. До того ж, висока температура збільшує розчинність продуктів гідролізу білка, поліфенольних сполук та інших речовин, які впливають на стійкість пива. Також, якщо на протязі довго часу відбувається процес екстракції, то в воду попадуть речовини з оболонки, які дають неприємний смак.

З технологічної точки зору фільтрування затору відбувається двома способами: фільтрування з використанням фільтраційного апарату або фільтрпресу [9].

На першому етапі затор перекачують в фільтраційний апарат, де він відстоюється для формування фільтруючого шару. Потім починається фільтрування затору, причому перше мутне сусло повертають до апарату. Коли процес фільтрування сусла закінчився, дробину промивають гарячою водою (70...80°C). Промивку ведуть до моменту отримання 0,5% концентрації сухих речовин в промивній воді.

У разі використання фільтрпресів, в якості фільтруючого шару використовується серветка із спеціальної тканини. Тому, дозволяється використовувати більш тонке подрібнення зернопродуктів. Після збору первинного сусла осад промивають водою, температура якої не більше 80°C, до концентрації 0,5...0,7% сухих речовин.

Кип'ятіння сусла з хмелем. Відфільтроване сусло та промивні води збирають у сусловарочному котлі і кип'ятять з хмелем. Мета кип'ятіння – стерилізація сусла, стабілізація і ароматизація його складу гіркими речовинами хмелю.

Подрібнені зернопродукти завжди мають деяку кількість мікроорганізмів, які в кислому середовищі стерилізуються вже через 15 хвилин.

При кип'ятінні хмелю в сусло переходить значна частина вуглеводів, білкових, гірких, дубильних, ароматичних і мінеральних речовин.

Ароматизація сусла відбувається за рахунок розчину складових частин хмелю та продуктів реакції меланоїдостворенню.

При збільшенні температури сусла відбувається денатурація білків, яка зовнішньо характеризується помутнінню сусла. Кип'ятіння сусла з хмелем супроводжується зниженням його в'язкості та збільшенню кольористості в результаті реакції меланоїдоутворенню, карамелізації цукрів, поліфенольних сполук і розчиненню забарвлених речовин хмелю.

На процеси, що відбуваються при кип'ятінні сусла з хмелем, впливають тривалість, рН та склад води, концентрація сусла.

При тривалому кип'ятінні сусла з хмелем розчин насичується гіркими кислотами, що призводить до зміни рН сусла. Це являється причиною випадіння їх в осад. Коагуляція білків найбільш повно проходить при рН 5,2 в присутності сульфатів і хлоридів. Дубильні речовини прискорюють коагуляцію білків.

При роботі з м'якою водою кислоти, що створюються, дають осадження гірких речовин, тим самим знижують відчуття гіркоти. При використанні карбонатних вод, дія кислот на початку бродіння нейтралізується.

При високій концентрації сусла в середовищі зростає кількість білка, що коагулюється, який при осадженні виводить з розчину гірки речовини. Тому при упарюванні концентрованого сусла дозу хмелю, що вводиться, збільшують.

Сусло з хмелем кип'ятять в сусловарильних апаратах. Сусло, що поступає в сусловарильний апарат, повинно мати температуру 63...75°C для того, щоб попередити інфікування і продовжити дію ферментів. В кінці набору перевіряють повноту оцукрення пробую на йод. Сусло кип'ятять при повному заповненню апарату. Тривалість кип'ятіння не повинно перевищувати 2 годин при швидкості випарювання води 5...6% за годину до маси сусла. Найбільш інтенсивно кип'ятять в середині варки. На початку

намагаються запобігти сильному утворенню піни, а в кінці – гарантовано отримати пластівці піни.

Кінець кип'ятіння сусла визначають по складу сухих речовин в ньому, згортанню білково-дубильних речовин, створенню пластівців та прозорості гарячого сусла.

Відділення сусла від хмільної дробини. По закінченню кип'ятіння охмелене сусло поступає до хмелевіддільника. Хмелева дробина затримується на ситах, сусло проходить крізь нього і відцентровим насосом перекачується до збірника сусла для охолодження і освітлення. Хмелеву дробину промивають гарячою водою для додаткового отримання екстрактивних речовин хмелю. Промивні води додаються до сусла в суслотоварильному апараті.

Охолодження і освітлення сусла. Метою охолодження і освітлення сусла є зниження температури до 6...17°C (в залежності від способу бродіння), насиченню його киснем повітря і осадженню зважених часток.

В охолодженому суслі залишаються коагульовані білки, які знаходяться в стані тонких суспензій. При зниженні температури вони осідають.

Під час всього процесу охолодження сусло поглинає кисень повітря, який при температурі вище 40°C витрачається на окислення органічних речовин сусла, що призводить до потемніння сусла, зниженню хмелевого аромату та хмелевої гіркоти.

Охолодження сусла супроводжується випарюванням деякої кількості води, що призводить до зменшенню її об'єму і збільшенню концентрації сусла.

Розчинення кисню в суслі починається при температурі 40°C та прискорюється при перемішуванні, збільшенні площі та тривалості контакту, зниженні концентрації. В той же час проходять окислювальні процеси і сусло насичується киснем.

Сусло, що має температуру 20...40°C, являється сприятливим середовищем для інфікування мікрофлорою. Тому сусло охолоджують в дві

стадії. Першу стадію від 90 до 60°C проводять тривалістю 2 години для забезпечення максимального осадження крупних суспензій, другу – від 60 до 6...17°C проводять швидко з використанням пластинчатих теплообмінників.

Для охолодження до 60°C використовують відстійники та гідроциклічні апарати (вірпули). Також вірпули використовують для фільтрування білкового осаду.

Для освітлення використовують відцентрові сепаратори, які швидко дозволяють отримати прозоре сусло і зменшити втрати екстракту.

Після охолодження до 6...17°C сусло аерують повітрям безпосередньо в трубопроводі або в апаратах попереднього бродіння. Початкова концентрація охолодженого сусла, його кислотність та кольористість повинно відповідати виду пива.

Зброджування та доброджування пива. Основний процес, в результаті якого сусло перетворюється в пиво – спиртове бродіння. При цьому хімічний склад сусла суттєво змінюється і воно перетворюється на смачний ароматичний напій. Зброджування пивного сусла відбувається в дві стадії: головне бродіння і доброджування. На першій стадії відбувається інтенсивне зброджування цукрів сусла, в результаті отримуємо молоде (мутне) пиво, що має смак і аромат, що не придатне до споживання. При доброджуванні цукри, що залишилися, повільно зброджуються, пиво отримує характерні органолептичні властивості, освітлюється і насичається оксидом вуглецю, т.б. відбувається його дозрівання і пиво перетворюється в товарний продукт [10].

Дріжджі, що використовуються, повинні відповідати наступним вимогам: мати високу бродильну активність, добре створювати пластівці і освітлювати пиво в процесі бродіння, надавати пиву чистий та приємний смак.

Бродильна активність визначається параметром, який називається ступінь зброджування сусла [11].

Основний процес при головному бродінні – біохімічне перетворення вуглеводів, що зброджуються, в етиловий спирт та оксид вуглецю. Поряд з

основними продуктами бродіння утворюються вторинні та побічні продукти, які в значній мірі визначають органолептичні показники пива.

Утворення спирту супроводжується виділенням теплоти в зовнішнє середовище, яку необхідно відводити для підтримання заданих температурних режимів.

На перших етапах бродіння відбувається активне розмноження дріжджів, що обумовлено наявністю повноцінного живильного середовища. По мірі зменшення живильного середовища, накопичення продуктів бродіння, створення надлишкового тиску, розмноження дріжджів припиняється.

В результаті головного бродіння сусло перетворюється в молоде пиво. Тому його направляють на доброджування та дозрівання. При доброджуванні відбуваються ті ж самі процеси, що при головному, але більш повільно. Оксид вуглецю (IV), що виділяється в процесі бродіння, розчиняється і зв'язується в пиві, що призводить до насичення пива оксидом вуглецю.

При дозріванні пива відбуваються окисно-відновні реакції, в результаті яких зникають, характерні для молодого пива, присмак дріжджів і хмелева гіркота.

При доброджуванні пиво освітлюється. Це обумовлено випадінню в осадок дріжджів, які адсорбують на себе білкову муть та інші суспензії. Також відбувається коагуляція та осадження хмелевих смол, білкових та дубильних речовин.

Найбільш впливовим на процес бродіння надає чинник температура та кількість дріжджів. Розрізняють холодне (7...9°C) та тепле (12...15°C) бродіння. Норма введення дріжджів залежить від способу бродіння і складає 0,4...1 л на 1 гл сусла. При цьому сусло повинно бути оцукреним, мати достатню кількість азотистих речовин і правильне співвідношення цукрів та нецукрів, рН сусла не повинно перевищувати 5,8. Найбільш прийнятно зброджується сусло з початковою концентрацією 10...12%.

Головне бродіння проводять періодичним, напівперіодичним, неперервним способом. Останній спосіб поки не знайшов широкого застосування. Також розрізняють верхове та низове бродіння.

При періодичному бродінні пивне сусло температурою 5...7°C направляють до бродильних апаратів, дріжджі додають в розрахунку 0,4...0,5 л на 1 гл сусла. Сусло зброджується у перебігу часу 7...11 діб, в залежності від концентрації початкового сусла. На третю добу дозволяється збільшити температуру до 8...10°C з подальшим зниженням до 4...5°C. Видима ступінь зброджування складає 59,1...67,5%.

Напівнеперервний спосіб проводять в бродильних апаратах, що утворюють батарею. Як правило, до 5 бродильних апаратів. Норма закладки дріжджів 0,6...1 л на 1 гл сусла. Сусло подають до розброджувача з температурою 6...8°C, перемішують і зброджують 24 години. Далі половину об'єму з видимим екстрактом 8,4...8,6 перекачують до першого бродильного апарату. Далі обидва апарати заповнюють свіжим суслем до повного об'єму. З інтервалом в одну добу заповнюють всі апарати. Пивне сусло зброджується з надлишковим тиском у перебігу часу за 5...6 діб.

Доброджування пива проводять при температурі 0...2°C під надлишковим тиском 0,03...0,06 МПа. При доброджуванні контролюють тиск в апаратах, органолептичні показники, ступінь зброджування. Тривалість доброджування залежить від сорту пива та коливається від 21 доби для сорту „Жигулівське” до 90 доби для сорту „Портер”.

Регулюючи температурний режим, можливо сумістити процеси бродіння та доброджування в одному апараті. Процес відбувається в циліндроконічних бродильних апаратах, що мають дві-три зони охолодження в циліндричній зоні і одну зону в конічній. Сусло подається з температурою 7...9°C і заповнює апарат на 85%. Задають дріжджі в кількості 0,7...1 л на 1 гл сусла. В початкових добах бродіння збільшується до температури 13...14°C. Так воно бродить 6...7 діб. Потім пиво охолоджують в нижній частині до

1...2°C, що в результаті дає густий осад дріжджів, який виводять з апарату. На восьму добу пиво охолоджують до 3...4°C, на дев'яту – до 1...2°C та витримують при цій температурі 5...6 діб для завершальних процесів доброджування.

Суміщення процесів бродіння та доброджування дозволило скоротити тривалість до 14...18 діб, в залежності від концентрації початкового суслу.

Освітлення та розлив пива. Після доброджування для надання товарного вигляду та бажаної прозорості, пиво освітлюють за допомогою сепарування або фільтрування. При цьому з пива видаляють дріжджові клітини, що знаходяться у стані суспензії, білкові та поліфенольні речовини, хмелеві смоли, солі важких металів та різні організми [12].

Найкращі результати отримують при фільтруванні на кізельгурових фільтрах [13]. Для надання прозорості, блиску, а також збільшення стійкості при зберіганні, пиво фільтрують на фільтрпресах з використанням спеціальних сортів картону. При фільтруванні пиво втрачає деяку частку двоокису вуглецю, тому перед розливом його карбонізують, шляхом продувки через пиво двоокисом вуглецю. Після карбонізації пиво витримується до 6-8 годин в форфасах, а потім направляється на розлив. Пиво розливають у пляшки 0,33; 0,5 л. Також популярною тарою на сьогоднішній день є так звана ПЕТ тара ємністю 1, 2 л. Також існує бочкове пиво, яке розливають у КЕГи [14].

1.2. Стан автоматизації технологічних процесів виробництва пива

Традиційна технологія приготування пива з оцінкою якості за органолептичними показниками давно перестала задовольняти як споживачів, так і виробників. Принципові підходи до зміни технології пивоваріння та управління цим виробництвом різні у вітчизняних та зарубіжних фірм-виробників. Опублікована, запатентована або анотована велика кількість

пропозицій по модернізації технології як всього процесу, так і практично кожного з компонентів, що входить в дане виробництво [15-16].

При виборі та підготовці сировини для приготування пива основні пропозиції пов'язані із зниженням собівартості і заміною солоду несолодженими матеріалами, а також способами солодощення. Стан автоматизації цієї стадії знаходиться на рівні локального управління. Процес сушки солоду – це єдиний процес, який став об'єктом автоматизації, для якого розроблювали алгоритми управління. Труднощі управління процесом пророщування ячменю призвели до альтернативних розробок, що не завжди пов'язані з розробками системи автоматизації.

Перші системи автоматизації варильного відділення базувались на локальних регуляторах, які підтримували основні технологічні параметри: температура в заторних, суловарильних котлах, витрати між апаратами, рівні в цих апаратах.

При розробці системи управління процесами виробництва пивного суслу було використана методика побудови на базі апаратури пневматичної системи ЦИКЛ, що запропоновано Інститутом проблем управління Академії наук СРСР [17]. Основним елементом в даній системі був блок логічних умов. До цього блоку надходили дані від кнопок управлінь та перемикачів, датчиків, сигнали часових пристроїв. На виході формувалися сигнали управління, які через блок виводів направлялися до виконавчих механізмів. Часові затримки були побудовані на елементах „УСЭППА”. Блок логічних умов реалізував алгоритми, що побудовані на мові циклічних процесів. Апаратно такий блок представляв монтажну плату на мікромодулях. Особливістю системи ЦИКЛ було те, що ручне управління передбачалось тільки в режимі наладки та аварії [18].

Фірма Альфа-Лаваль (Швеція) автоматизацію процесів управління виробництвом пива поділила на дві групи: дистанційне керування, де всі операції виконувалися вручну; автоматизоване дистанційне управління, де формування команд базувалось на пристроях вводу-виводу з використанням

перфокарт. Центральним елементом був пульт керування на базі цифрової техніки, куди поступала інформація від датчиків та клапанів, який реалізував програмне управління, функції яких зберігалися на носіях інформації.

Якщо розглядати різні підходи до систем управління варильним відділенням, то система автоматизації, як правило, передбачає:

1. Регулювання подачі пари в заторні котли за значенням температури в заторних котлах;
2. Регулювання подачі пари в збірник сусла за значенням температури в збірнику сусла;
3. Регулювання подачі пари в дозатор цукру за значенням температури в дозаторі цукру;
4. Регулювання подачі пари в сусловарильний котел за значенням температури в сусловарильному котлі;
5. Управлінням заповненням заторних котлів за значенням рівнів в них;
6. Управлінням положеннями зрихлюючих ножів у фільтрчані за значеннями їх положення;
7. Управлінням оборотами мішалки у збірнику сусла;
8. Управлінням подачі сусла від фільтрчану до збірника сусла;
9. Управління подачі сусла від збірника до сусловарильного котла;
10. Управлінням подачі сусла від сусловарильного котла до вірпулу;
11. Управлінням подачі цукрового розчину до фільтрчану;

Процеси приготування пивного сусла мають високий рівень автоматизації, який може забезпечити необхідну якість управління. Але за рахунок того, що якісні параметри затору та сусла варильного відділення пивзаводу вимірюються лабораторними методами та не завжди система вчасно реагує на ту чи іншу зміну в процесі приготування пива, традиційна система управління не завжди ефективна, а мікропроцесорна техніка прив'язана до конкретних алгоритмів, які закладені в пам'ять контролерів і не є гнучкими.

Модернізація технологічних процесів бродіння ведеться в напрямку вибору рас дріжджів, оптимізація і регуляція умов їх метаболізму. Зроблена спроба налагодити повністю автоматизоване управління бродильним виробництвом в залежності від об'єму вуглекислоти, що утворюється в процесі бродіння. Для регулювання росту дріжджів в процесі ферментації пива використані різні автоматичні пристрої типу проточних цитофотометрів для вимірювання частинок, що знаходяться в суспензії. Однак контроль складного біотехнологічного процесу по окремим опосередкованим параметрам безперспективний.

Інші стадії виробництва пива, мають достатньо високий рівень автоматизації. Всі стадії виробництва на сьогоднішній день автоматизуються за допомогою мікропроцесорної та комп'ютерної техніки.

На сьогоднішній день існують різні фірми та проектні організації, які розроблюють АСУТП для конкретного заводу [19-20].

Наприклад, система SISTAR (Німеччина), яка реалізована на пивзаводі «Оболонь» (м. Київ) за своєю ідеологічною структурою представляє собою ієрархічну побудову (рис. 1.2.).

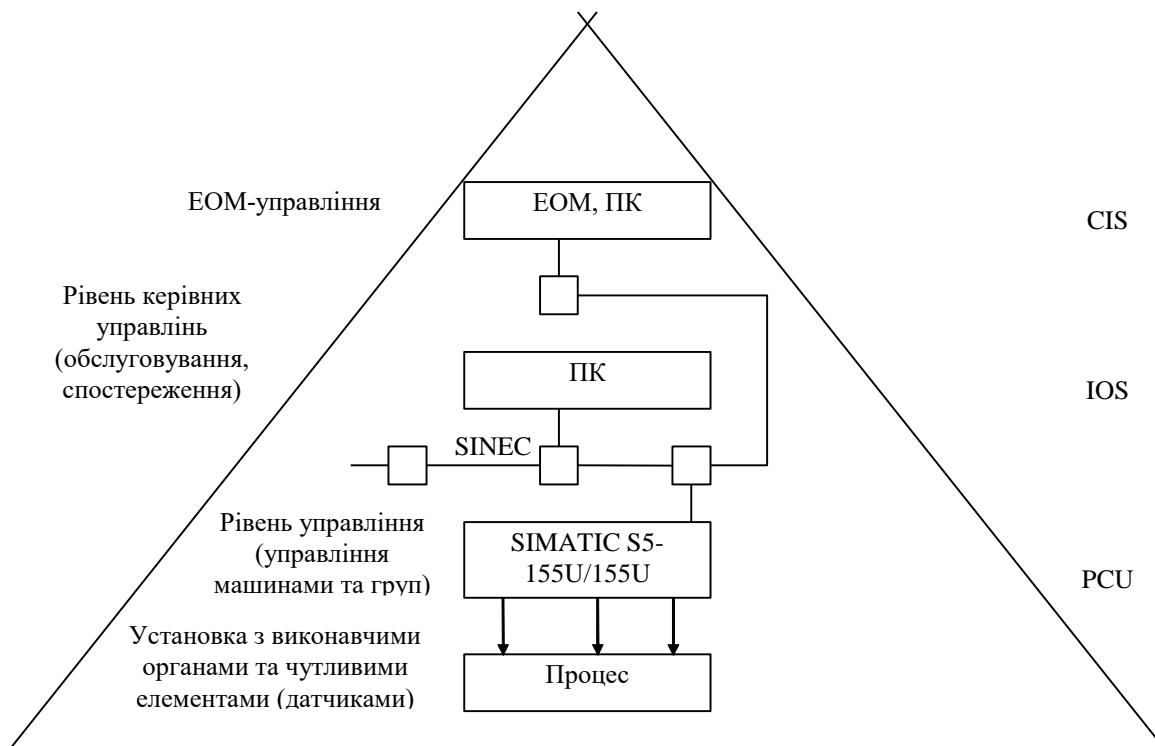


Рис. 1.2. Ієрархічна структура системи управління виробництвом пива.

Найнижчий рівень утворює управління технологічним обладнанням та машин. Управління технологічним обладнанням може бути, наприклад: управління елеватором, заторними апаратом, тощо. Управліннями машин є, наприклад: управління розливальною машиною, пакувальною, укладальною машиною. Управління технологічним обладнанням структуровані по підрозділах. Це рівень Process Control Unit (PCU).

Наступний рівень складається з керівних управлінь для підрозділів установки, таких як, наприклад, варильної установки, допоміжного виробництва, складу ємкостей тощо. Це рівень Information and Operating System (IOS).

Найвищий рівень утворений EOM-управліннями. Вони зв'язані з усіма ведучими станціями та мають, таким чином, доступ до всіх наявних даних. Це рівень Computer Integrated System (CIS).

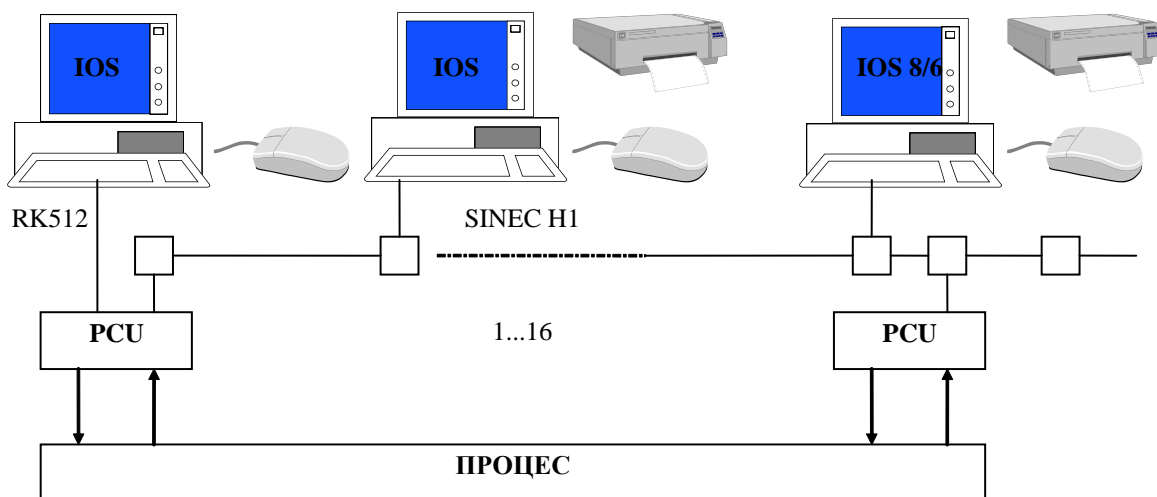


Рис. 1.3. Структура промислової мережі виробництва пива.

Система управління побудована на сучасних мікропроцесорних контролерах SIEMENS SIMATIC S7, які автоматизують кожне відділення, створюючи централізоване управління. Такі контролери об'єднуються в промислову мережу типу SINEC H1 (рис. 1.3). Це дозволяє обмінюватись даними між різними відділеннями, створюючи розподілену систему управління виробництвом, що дозволяє реалізувати задачу стабілізації потоку, вести облік витрат сировини та готової продукції, а також узгоджене управління рецептурою виробництва різних сортів пива.

Така структура дозволяє реалізувати рецептурне управління на базі програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу (SCADA-програм), яке встановлено на IOS, т.б. на комп'ютерах операторського управління.

В роботі [21] описана АСУ ТП варки суслу на пивовареному заводі ВАТ «Комбінат ім. Степана Разіна» в Санкт-Петербурзі, що виконана на базі контролерів, що програмуються, родини FP фірми Matsushita NAIS.

Подібні системи можна зустріти на різних заводах [22].

Окрім цього, в сучасних системах автоматизації різними відділеннями впроваджена система безрозбірної мийки обладнання (CIP), яка інтегрується в систему рецептурного управління.

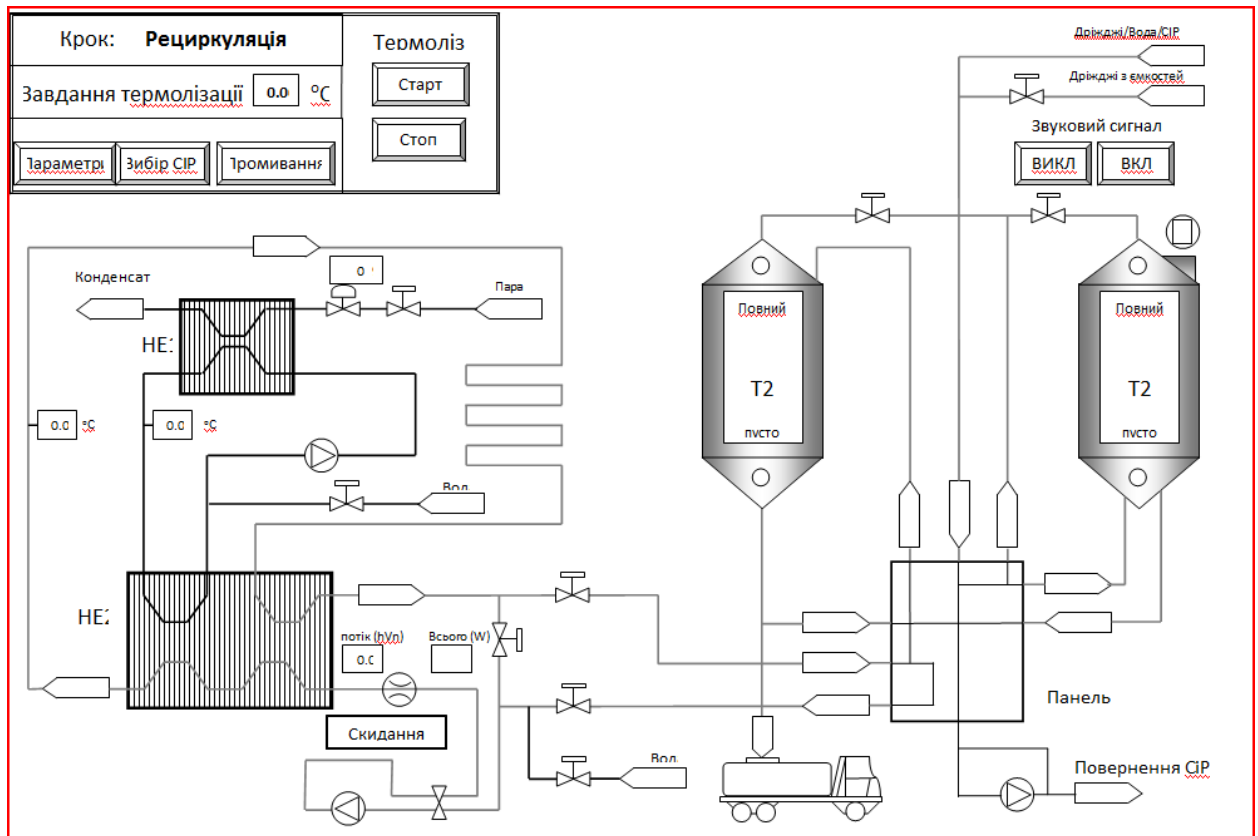


Рис. 1.4. Приклад управління станцією СІР на пивзаводі «Рогань».

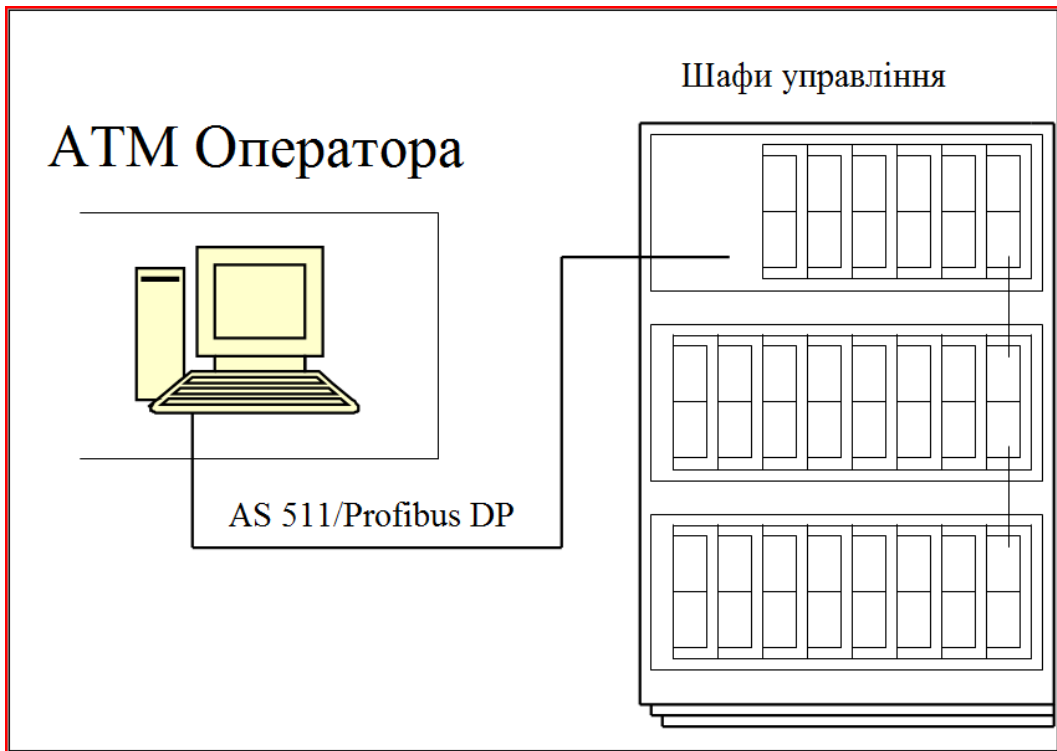


Рис. 1.5. Приклад зв'язку контролерів та операторської станції управління.



Рис. 1.6. Приклад мнемосхеми процесу охолодження сусла (система Alfa Laval).

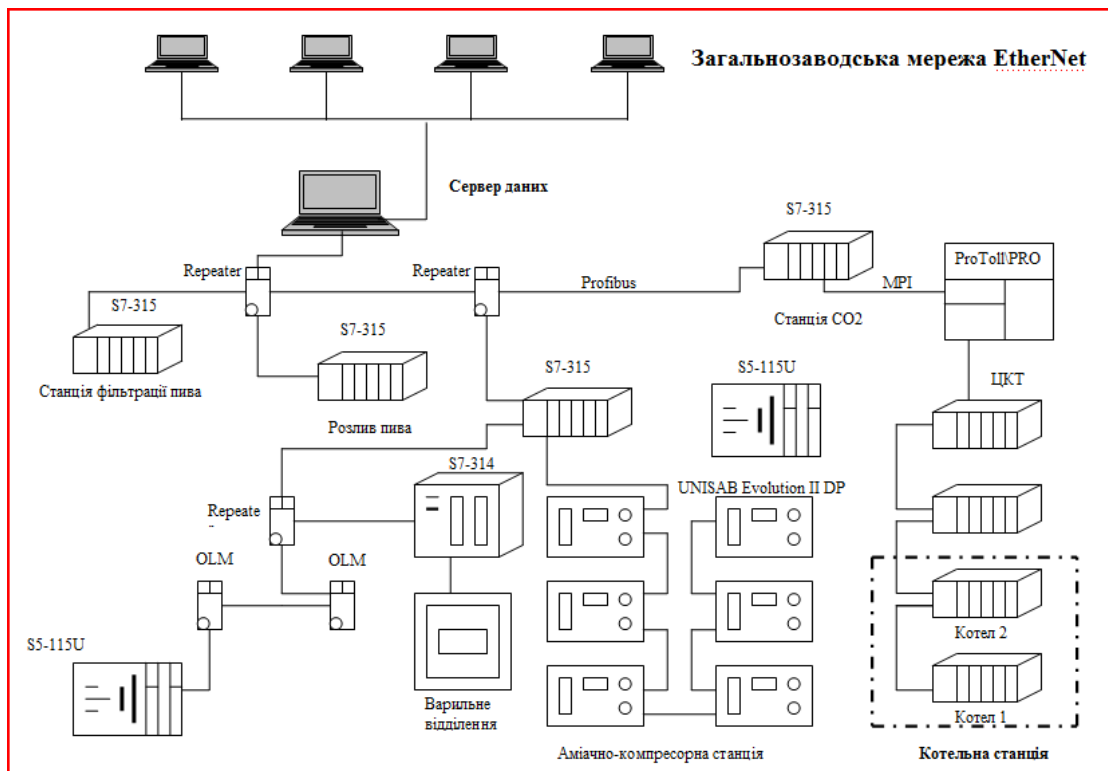


Рис 1.7. Приклад комп'ютерно-інтегрованої системи управління допоміжними відділеннями пивзаводу.

В автоматизованій системі (рис.1.2-1.7) передбачаються наступні функції:

- Зняття необхідних технологічних даних та сигналів з об'єкта управління;
- Контроль технологічних параметрів з метою оперативного реагування на зміну процесів;
- Видача необхідної управляючої дії на виконавчі механізми;
- Ведення архіву (історія подій та аварій);
- Обробка даних для візуалізації технологічних параметрів у вигляді екранних форм та мнемосхем;
- Створення трендів;
- Видача технологічних, аварійних, попереджувальних повідомлень та діагностичних повідомлень;
- Формування та підготовка до друку звітної документації.

Цілями автоматизації систем управління пивоварними заводами є:

- Незмінна якість продукції;
- Підвищення експлуатаційної безпеки;
- Можливість повторювальності рецептів, які добре себе зарекомендували;
- Найбільший вихід продукції при використанні різної сировини;
- Вивільнення персоналу від виконання рутинних завдань.

Подібні системи автоматизації реалізовані на більшості пивзаводів України.

РОЗДІЛ 2. Розробка сценарного керування технологічного комплексу пивзаводу

2.1. Огляд методів сценарного керування

Сценарії розвитку складної системи належать до класу так званих неповних математичних моделей, тобто. моделей, до яких включено лише суттєві фактори, які можуть бути формалізовані з прийнятною ступенем точності. Основною сферою застосування таких моделей є зустрічається на практиці клас завдань, що зводяться до знаходження як оптимістичних, так і песимістичних маргінальних оцінок основних кількісних характеристик досліджуваних об'єктів за умов реалізації певної сукупності управлінських рішень.

Елементи сценарного підходу необхідні, коли дослідник стикається з можливістю вибору різних варіантів управління, із змінними критеріями оцінки результатів, з невизначеністю поведінки системи, що вивчається, та (або) її середовища, з недостатністю інформації про досліджуваному об'єкті, процесі тощо. «Під сценарієм розуміють гіпотетичну послідовність подій, яка показує, як із існуючої чи якоїсь заданої ситуації може крок за кроком за кроком розгортатися майбутній стан досліджуваного об'єкта».

Для побудови моделей складних систем та обробки отриманої інформації використовувався різноманітний математичний інструментарій: економетричні методи, математична логіка, методи оптимальних рішень, теорія автоматів, теорія розпізнавання образів та ін. Для формування сценаріїв були розроблені оригінальні методи, наприклад, метод аналізу перехресних взаємодій (крос-імпакт аналіз) У загальному вигляді можна запропонувати таке формулювання завдання побудови сценаріїв: вивчається складна, динамічна, відкрита, керована, не повністю спостерігається система. Слід описати можливі напрямки її зміни кількома (бажано, небагатьма) варіантами так, щоб у рамках поставленого змістовного завдання дати найбільше повне

уявлення про можливі майбутні стани та траєкторії розвитку системи. Проведений аналіз робіт зі складання сценаріїв розвитку, дослідження проблеми із загальносистемних позицій дозволяють визначити наступні основні елементи завдання побудови сценаріїв розвитку систем у умовах невизначеності:

- 1) сукупність досліджуваних змінних та множини їх значень;
- 2) побудована у тому чи іншому вигляді модель системи;
- 3) критерії виділення «сценарних областей» та «сценарних зразків».

Ключовим поняттям методології сценарного підходу є поняття невизначеності.

Під невизначеністю розуміють ситуацію, коли частково чи повністю відсутня інформація про структуру та можливі стани системи та (або) її середовища. Побудова сценаріїв має дві мети щодо невизначеності: по-перше, максимально можливе в рамках цього підходу її зниження; по-друге, опис не усуненої частини невизначеності за допомогою ряду сценарних варіантів. Тим самим закладається основа для подальшого зменшення невизначеності розвитку систем у процесах прогнозування, планування та управління. Virізнюють різні компоненти невизначеності: об'єктивну невизначеність перебігу процесів у часі, суб'єктивний фактор, що полягає у процесі прийняття рішень, неповноту інформації, що враховується, невизначеність впливу середовища на систему, неоднозначність, критеріїв вибору у процесі прийняття рішень.

Для розробки методології сценарного підходу є необхідним детальне дослідження видів та джерел виникнення невизначеності. Це дозволяє окреслити область програми сценарного підходу та виявити особливості його застосування у різних ситуаціях.

Сценарій поведінки об'єкта є необхідним проміжним ланкою між етапами цілепокладання та формування конкретних планів робіт. Формально сценарій є ієрархічно побудованою конструкцією взаємозалежних елементів. Зокрема, сценарій, що формується на базі сценарної системи, що представляє

собою імовірнісний операторний мультиграф, відображає безліч шляхів та подій, пов'язаних очікуваними залежностями з різними видами невизначеності.

У змістовному плані з точки зору теорії управління сценарієм поведінки об'єкта є модель зміни обстановки, пов'язаної з виникненням та розвитком тієї чи іншої ситуації та визначається в дискретному часовому просторі із заданим часовим кроком. Методологія реалізації різних сценарних схем залежить від цілей дослідження та можливості подання суб'єкта управління основних елементів сценарію - синергічного та атрактивного. Для зазначених випадків запропоновано схеми побудови сценаріїв розвитку СЕС, визначення їх основних характеристик та автоматичної генерації на різних рівнях управління.

2.2. Сценарна схема і формування сценарію

У запропонованому механізмі автоматичної генерації сценаріїв розвитку систем сценарій може бути синтезований як інструмент формального аналізу альтернативних варіантів розвитку ситуації при цільових та критеріальних установах в умовах невизначеності, коли виникають труднощі посереднього формування конкретного плану ведення комплексу заходів безкризового та сталого розвитку систем. На основі аналізу сценаріїв атрактивної поведінки розроблено формалізовані методи дослідження структурної стійкості розвитку систем, зокрема за умов ризику. Таким чином, розроблено методологію синтезу сценаріїв управління розвитком систем, що включає:

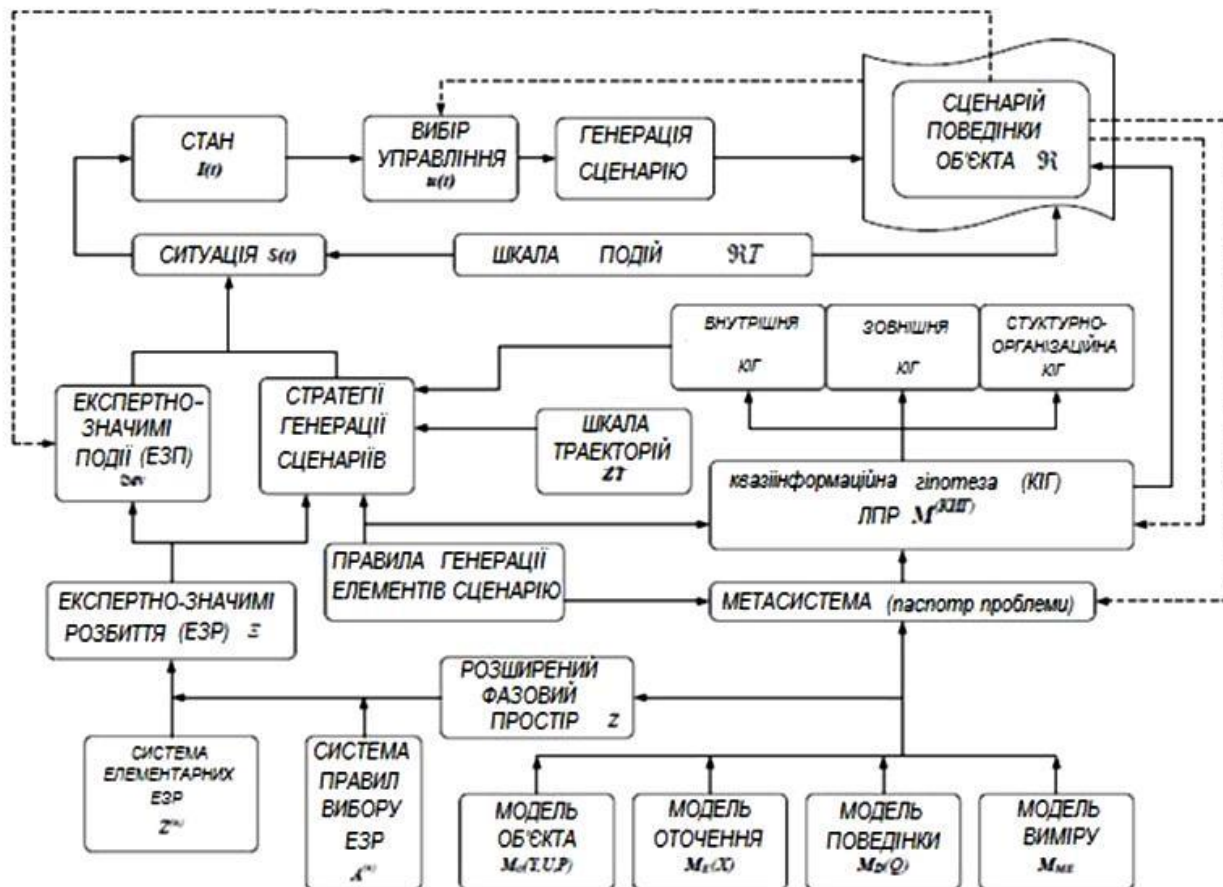
- формальний опис результатів сценарного аналізу;
- способи опису властивостей сценарної системи, що застосовується;
- способи формування цілей генерації сценаріїв;
- способи формалізованого опису та завдання проектних характеристик генерованого спектру сценаріїв;
- розробку основ сценарного обчислення;
- моделі та методи формування оптимального сценарію розвитку систем.

Загальну схему формування сценарію представлено на Мал. 2.1. Важливою перевагою запропонованої схеми формування сценарію є її інваріантність по відношенню до конкретних методів його побудови, які можуть бути класифіковані як неформалізовані (експертні), частково-формалізовані (інтерактивні) та формалізовані. До неформалізованих належать методи побудови сценаріїв із пріоритетним.

До формалізованих від належать методи генерації сценаріїв, засновані на автоматичній або автоматизованій процедурі. Прикладом такого підходу є генерація сценаріїв на основі когнітивних карт та з використанням формальних графіків. До частково-формалізованих належать схеми формалізованої побудови, кореговані за допомогою експертної оцінки. В

процесі функціонування об'єкта, що визначається взаємодією її компонентів між собою та із зовнішнім середовищем, генерується фактична поведінка об'єкта, яке, як правило, відрізняється від синтезованого у сценарії.

Рис. 2.1. Сценарна схема і формування сценарію



Виникаючі неузгодженості ініціюють рішення, що приймаються ЛПР в інтерактивному режимі. Експертні методи побудови сценаріїв можуть бути реалізовані двома способами: від сьогодення до майбутнього або від майбутнього до справжнього, при цьому можуть бути використані як формалізовані, так неформальні професійні мови опису. У першому випадку, який називається прямим процесом, розглядаються поточні фактори та припущення, що породжують деякий логічний результат. У другій послідовності, яка називається зворотним процесом стану розглядають, починаючи з бажаного результату в момент часу. Потім продовжують розгляд у зворотному напрямку часу, щоб оцінити фактори та проміжні результати, які

потрібні для досягнення бажаного результату. При прямому процесі розглядаються релевантні фактори сьогодення, впливу та мети, які призводять до осмисленим висновкам чи сценаріям. Чинники, дії, цілі можуть бути економічними, політичними, екологічними, технологічними, культурними та/або соціальними за природою. Зворотний процес починається з бажаних сценаріїв, потім досліджуються політики та фактори, за допомогою яких можна реалізувати ці сценарії.

Прямий процес побудови сценаріїв забезпечує оцінку стану можливих результатів. Зворотний процес планування забезпечує засобами контролю та управління прямим процесом рух у напрямку бажаного стану. Залежно від обставин один з цих процесів може бути цілком прийнятним, у той час як інший може виявитися незастосовним практично. Найбільш важливо, що кожен із них окремо не може не підходити для створення ефективного сценарію. Однак якщо об'єднати їх у єдиний прямий та зворотний процес, то виявиться можливим ефективно вирішити проблему.

Атрактивний опис сценарію передбачає нормативний ендогенний визначення можливих його варіантів шляхом докладного структурування квазіінформаційної гіпотези та стратегій поведінки ОПР, а також з урахуванням вивчення топологічних властивостей сценарного простору. Принципові схеми автоматизованої генерації варіантів сценарію поведінки об'єкта при атрактивному описі вимагають докладного розгляду інформаційно-керуючих компонентів квазіінформаційної гіпотези та уточнення раніше даних ухвал.

Для генерації синергічних та атрактивних сценаріїв поведінки систем пропонується використовувати апарат знакових графів, що дозволяє працювати з даними як якісного, і кількісного типу. Апарат знакових графів дозволяє формально будувати синергічні сценарії, або гіпотетичні траєкторії руху моделюваної системи у фазовому просторі її змінних (чинників), на основі інформації про її структуру та бажаних програмах її розвитку. Запропонована методика полягає в апроксимації тенденцій розвитку систем

фрагментами траєкторії імпульсних процесів на знакових орграфах. При цьому визначаються основні тенденції розвитку систем без втручання ззовні або при застосуванні керуючих впливів, що задаються (пряме завдання). При негативній якійсній оцінці характеристик спостережуваних параметрів слід перейти до вирішення зворотного завдання - пошуку ефективних з погляду ЛПР управлінь та його використання у моделі, тобто. Перейти до створення атрактивних сценаріїв спеціального типу. В якості можливих варіантів використовуються статичні та динамічні типи управління. Перші є такі управлінські рішення, які змінюють структурні відносини між елементами системи, другі - вносять зміни у динаміку процесу функціонування СЕС. З точки зору реалізації структурних управлінських впливів може бути лише разовими, будучи незмінними протягом деякого інтервалу моделювання (такими є, наприклад, структурні зміни). Динамічні управління можуть застосовуватись на кожному кроці моделювання та суттєво впливати на подальший розвиток подій.

Для реалізації синергічної схеми побудови сценарію розвитку систем на операторному орграфі визначаються:

- цілі формування сценарію;
- елементи основного метанабору сценарного проекту;
- експертно-значущі розбиття;
- експертно-значущі події;
- експертні КІТ та стратегії формування сценарію.

При реалізації атрактивної схеми потрібно змінювати значення вершин операторного орграфа. При цьому визначаються:

- цілі формування атрактивного сценарію;
- елементи основного метанабору сценарного проекту;
- експертно-значущі розбиття;
- керовані контрольовані фактори (УК-фактори);
- атрактивні експертно-значущі події;
- атрактивні КІТ та стратегії формування атрактивного сценарію.

2.3. Алгоритм сценарного управління процесами приготування пива

Сценарій – спосіб досягнення поставлених цілей з врахуванням факторів впливу середовища, в якому знаходиться система, що характеризується цілями, факторами впливу, операціями, міжопераційними зв'язками. Операція, як крок сценарію, по різному визначається в абстрактному (А) та структурному (С) сценаріях. В першому випадку операція працює з неструктурованими об'єктами (не враховується внутрішня структура об'єкта), перетворює входні об'єкти у вихідні (спосіб внутрішнього перетворення не розкривається, тобто операція трактується як „чорний ящик”). С-сценарій виходить з того, що визначена внутрішня структура об'єктів, які описані наборами властивостей-атрибутів. Атрибути приймають значення з деякої області Ці значення можуть змінюватись внаслідок застосування визначених правил. Операція С-сценарію являє собою блок ,в якому розміщені об'єкти з однаковим набором атрибутів, трактується як клас, екземпляри якого – об'єкти „живуть в деякому просторі”[120]. Сценарій характеризується такими складовими:

- цілями;
- факторами впливу;
- операціями;
- міжопераційними зв'язками.

С-сценарій являє собою деталізацію А-сценарію з урахуванням еволюції об'єкта при виконанні операцій та передачі об'єктів від одних операцій до інших. Еволюція об'єктів при виконанні операцій проявляється у зміні значень їх ознак (атрибутів), при переходах виникають „мутації” – виникнення нових ознак і втрата ознак, що стали непотрібними. Кожен клас С-сценарію працює автономно. Його взаємодія з „зовнішнім світом”, тобто з іншими класами і

зовнішнім середовищем полягає у внесенні у вхідні черги нових об'єктів та видалення із вихідних черг „відпрацьованих” об'єктів. .

Для реалізації сценарних алгоритмів управління процесами приготування пива необхідною є формалізація змінних, які характеризують технологічні процеси. Для цього була вирішена задача лінгвістичної апроксимації (наведена вище).

Далі на другому етапі формуємо А - сценарій системи, для якого визначені об'єктні потоки. Для відображення динаміки складної системи використовується апарат мереж Петрі, який дозволяє виявляти помилки абстрактного сценарію системи.

Динамічне моделювання (перевірка коректності) сценарію системи може бути організоване як глобальна (створюється повний ієрархічний опис сценарію і лише потім відбувається аналітичне чи / або імітаційне дослідження повного опису) чи локальна процедура (виконується послідовне пошарове моделювання шляхом побудови та аналізу ланцюжка сценарних модулів).

Моделювання мережі Петрі відбувається імітаційним чи аналітичним способом. Імітаційне моделювання полягає у визначенні послідовності станів мережі, що відповідають тій чи іншій послідовності спрацювання переходів. При аналітичному моделюванні визначаються її властивості та застосовується метод дерева досягнення цілей.

Мережа Петрі, отримана на основі А- сценарію, дозволяє моделювати рух об'єктних потоків в системі, але без врахування досягнення цілей та факторів впливу зовнішнього середовища.

На третьому етапі А – сценарій перетворюється в С - сценарій: структурують об'єкти; вводять класи об'єктів та переходи між ними, формують описи життєвих циклів всередині кожного класу; визначається набір інтегральних показників функціонування системи (значення цих показників встановлюються в ході імітаційного моделювання С- сценарію); задаються вирази залежності ступеню досягнення цілей від інтегральних показників та факторів впливу.

2.4. Факторно-цільовий аналіз управління процесами приготування пива та постановка задачі багатокритеріальної оптимізації.

Моделювання перебігу процесів являє собою циклічний процес, в якому знання про досліджувану проблему розширюються і уточнюються, а початкова модель постійно вдосконалюється. Моделювання засноване на сценарному підході. Сценарій – це сукупність тенденцій, що характеризують ситуацію в поточний момент, бажаних цілей розвитку, комплексу заходів, направлених на розвиток ситуації, та системи параметрів (факторів), що спостерігаються та показують перебіг процесів[115].

Сценарій може моделюватися за трьома основними напрямками:

- прогноз розвитку ситуації без будь-якої дії на процеси в ситуації (ситуація розвивається сама собою);
- прогноз розвитку ситуації з вибраним комплексом заходів (управління) – пряма задача;
- синтез комплексу заходів для досягнення необхідної зміни стану ситуації – обернена задача.

Ситуація була визначена як :

$$S(t) = \{J^{(i)}(\mathbf{x}^{(i)}(t_i), \mathbf{y}^{(i)}(t_i), t_i) \mid 0 \leq t_i \leq t, i = 0, 1, \dots, s; t_0 = 0\} \quad (3.1)$$

де $J = (\mathbf{x}(t), \mathbf{y}(t), t)$ – очікувана подія, i - кількість подій, що характеризують дану ситуацію, t - момент часу, в який визначається ситуація у відповідності з продукційними правилами вибору $\tilde{A}^{(t)}$, $\mathbf{x}(t), \mathbf{y}(t)$ - реалізація нечітких значень відповідно вхідних та вихідних змінних, отриманих в момент часу t .

Обстановка $I(t)$ в момент часу t є набором ситуацій в поточний момент часу $S(t)$ та квазіінформаційних гіпотез (КІГ) особи, що приймає рішення $\Theta(t)$, для якої сценарій визначаємо як послідовність ситуаційно-значущих зон та КІГ: $\mathfrak{R} = \mathfrak{R}\{(I(t_i), t_i)\} \mid i = 0, 1, \dots, N;$ (3.2)

N – глибина сценарію, $T = t_N$ – горизонт сценарію, $\tau_i = t_{i+1} - t_i$ – часовий крок сценарію.

Концептуальна схема реалізації сценаріїв управління для досягнення заданої якості наведена на рис.3.1.

Для експерта, що займається постановкою та вирішенням проблем призначена детальна технологія отримання послідовностей у вигляді набору стратегій та правил вибору

$$J_{ev}^{(\alpha_{i+1})}(t_{i+1}) = J_{ev}^{(\alpha_i)}(t_i), M^{(KIF)}(t_i, \check{C}(t_i)), \quad (3.3)$$

де α – нечіткі фактори, M - метанабір системи :

$$M = (M_o(Y; U; P); M_E(X); M_D(Q)M_{ME}; \tilde{A})$$

$M_o(Y; U; P)$ – ідентифікована модель системи; $y \in Y$ – номенклатура вихідних змінних об'єкта; $u \in U$ - номенклатура управляючих дій; $p \in P$ - номенклатура використаних ресурсів (сировини, напівфабрикатів, енергії); $M_E(X)$ - модель оточуючого середовища (параметри сировини, напівфабрикатів); $x \in X$ - номенклатура зовнішніх впливів (змінювання якісних показників сировини); $M_D(Q)$ – модель поведінки системи; Q - умови функціонування системи; M_{Mo} - модель визначення стану системи; M_{ME} - модель визначення зовнішніх збурень (що визначаються як функтори переходів з однієї категорії якості сировини в іншу категорію); \tilde{A} - продукційні правила вибору; $\check{C}(t_i)$ – стратегія управління.

В основі експертного опису лежить поняття експертно-значущої розбивки Ξ (ЕЗР) фазового простору $Z = X \times Y$ та ситуаційно-значущої зони $J_{ev}^{(\alpha)}(t)$, які відбуваються в послідовності, вказаній в системі надання переваг $\mathfrak{R}(\Xi)$, що визначається об'єктивними законами. Модель поведінки об'єкта, для якої визначені ЕЗР $\Xi = \{Z^\alpha, A^{(e)}\}$ та слідування ЕЗП $\mathfrak{R}(\Xi)$ будемо називати ЕЗР- моделлю $M(\Xi, \mathfrak{R}(\Xi)) = \{\Xi, \mathfrak{R}(\Xi)\}$.

Розглянемо технологічні процеси приготування пива які є, як витікає з попереднього викладу, дуже складними, з погляду сценаріїв оптимізації

показників якості, витрат та продуктивності. Процеси представляють сукупність окремих, головним чином, послідовних операцій. Ефект кожної операції визначається не лише власне нею, але є результатом впливу на продукт попередньої та наступної операції. Сценарний підхід є одним з найпоширеніших методів досліджень, який дозволяє адекватно сформулювати думки фахівців щодо прогнозування перебігу подій у складних системах. Кожен сценарій зв'язує зміну зовнішніх умов з результуючими (наслідковими) змінними .

Простота та потужність нечіткої логіки, як методології вирішення проблемних ситуацій, гарантує її успішне застосування у вбудованих системах контролю та аналізу інформації, при цьому відбувається залучення інтуїції та досвіду оператора (експерта). Ефективним механізмом керування в системах з великим ступенем невизначеності є застосування сценарного підходу.

Для кожної системи можна виділити множину цілей її функціонування та множину факторів, що впливають на неї. Цілі та фактори, які є зовнішніми, зазвичай структуровані, тобто складаються із підцілей і підфакторів, які в свою чергу теж складаються із своїх підцілей і підфакторів і т.д. В результаті, список виявиться досить великим. Зрозуміло, що елементи отриманого списку нерівнозначні і в різній мірі впливають на поведінку системи. Отже, необхідно, враховуючи думки експертів, проранжувати цілі та фактори, відібрати з них найбільш вагомі, тобто провести факторно-цільовий аналіз. Разом з ним може ефективно застосовуватись ситуаційний аналіз, суть якого полягає в аналізі ситуацій – стадій розвитку системи, коли фіксується початкова та кінцева ситуація і визначаються переходи між ними. Таким чином, визначається набір внутрішніх цілей та факторів, що доповнюють відповідний набір зовнішніх.

Задача визначення ситуацій та їх класифікації формується наступним чином. Ситуація визначається деяким відношенням на множині параметрів $\{Y\}$, які характеризують стан об'єкта управління, множиною класів ситуацій $\{K_s\}$, що відображені в сценарії управління, множиною алгоритмів

класифікації $\{K_A\}$, а також правилами вибору алгоритмів класифікації $\{P_K\}$. Визначена ситуація дозволяє встановити множину моделей прийняття рішень з урахуванням ступеню ситуаційного ризику, згортки та динамічної пріоритетності критеріїв, типу та методів розв'язання конфліктів (ресурсних, критеріальних або ситуаційних). Множина вибраних моделей дозволяє сформулювати стратегії пошуку рішень з управління та здійснити їх синтез у відповідності з поточними цілями та критеріями управління, що відображаються в певному фрагменті сценарію управління.

Основні елементи, з яких складається сценарій мають такі характеристики:

- окремі фактори, виражені лінгвістичною змінною, що характеризує його нечітку належність до певного лінгвістичного поняття (“низько”, “нижче норми”, “норма”, “вище норми”, “високо”) ;
- на основі експертного опитування вводяться бальні оцінки пріоритету цілей та експертні ймовірнісні оцінки досягнення цілей при різних значеннях факторів впливу на технологічні процеси.

Під час управління технологічними процесами приготування пива може виникнути множина ситуацій, які вимагають розгляду та розробки алгоритмів для поточного аналізу ситуацій в реальному масштабі часу. В ході розробки сценаріїв управління слід наголосити на понятті операції. Операція сценарію являє собою крок сценарію управління.

Метод сценаріїв отримав потужну підтримку після створення спеціальних мов програмування сценаріїв. За його допомогою здійснюється первинне впорядкування проблеми, виявлення даних про її передісторію, поточний стан й зв'язки з іншими проблемами, також може будуватись прогноз подальшого перебігу технологічного процесу. Кожен сценарій зв'язує зміну зовнішніх умов з наслідковими змінними. Сценарії являють комплекс моделей (метанабір системи), за допомогою яких при певних умовах функціонування системи визначаються послідовності фазових станів в принципові, з точки зору управління, моменти – експертно-значущі події [17].

Сценарій - спосіб досягнення поставлених цілей з урахуванням факторів впливу середовища, в якому знаходиться система.

Для побудови сценарію управління технологічними процесами приготування пива необхідно виділити основні цілі та на основі них побудувати факторно-цільову діаграму. Для кожної цілі будується дерево підцілей, головна ціль в даному випадку виступає коренем. Цільове дерево закінчуємо на простих цілях, які вже не деталізуються.

Розглянемо факторно-цільову діаграму для основних процесів пивоваріння (рис.3.3). На ній C_{io} - цілі, що характерні пивоваріння;

C_{io} - засоби досягнення цілей;

Φ_i - фактори впливу.

Кожна ціль оцінюється відповідною вагою, що визначена на основі експертного опитування. Такий підхід є достатньо суб'єктивним і вимагає сумлінного аналізу ситуації з боку експертів. В свою чергу, якщо вершина C_i має вагу W_i і ця вершина має підцілі, то має місце така умова:

$$W_i = W_{i.1} + W_{i.2} + \dots + W_{i.n}, \quad (3.4)$$

де W_i - вага цілі, i - номер цілі;

W_{ij} - вага підцілі, j - номер підцілі.

Фактори впливу на представленій структурі являть собою кружки зі стрілками. Для вибору найбільш значущих цілей та найбільш ефективних факторів необхідно було вирішити задачу кількісної оцінки та ранжування, за рахунок побудови матриці взаємодії простих цілей, рядки та стовпці якої відповідають цільовим розгалуженням (деревам), де знак взаємодії „+” або „-” задається з точки зору оцінки цілей та впливу між ними, а числове значення визначає силу взаємодії.

Фактори, які впливають на виконання цілей технологічного процесу приготування пива наведено таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Фактори, що впливають на процеси пивоваріння.

Ф актор	Зміст
1	Якість солоду, несолодженої сировини.
2	Показники жорсткості води
3	Кількість (співвідношення) солод-несолоджена сировина
4	Якість і склад помелу сировини
5	Вибір способу затирання
6	Режими затирання
7	Екстрактивність затору
8	Тривалість фільтрування
9	Інтенсивність кип'ятіння сусла з хмелем
10	Використання вторинної пари
11	Освітлення сусла
12	Пропагація дріжджів (об'єм біомаси)
13	Вибір способу зброджування

14	Ф	Інтенсивність зброджування
15	Ф	Тривалість ферментації(головного зброджування і доброджування)
16	Ф	Розрахунок обладнання, підбір варильного порядку, визначення кількості ЦКБА або об'єму бродильних апаратів
17	Ф	Врахування витрат основної і допоміжної сировини , проміжних продуктів та норми завантаження продукту у ємності для бродіння
18	Ф	Вибір способу подрібнення зернопродуктів, який впливає на вибір фільтраційного апарату та якість сусла
19	Ф	Кількість екстрактивних речовин зернопродуктів, що витрачаються на процеси метаболізму дріжджів
20	Ф	Карбонізація пива
21	Ф	Способи фільтрування пива
22	Ф	Вибір способу пастеризації пива
23	Ф	Виконання своєчасної повірки засобів вимірювання
24	Ф	Енергоємність обладнання

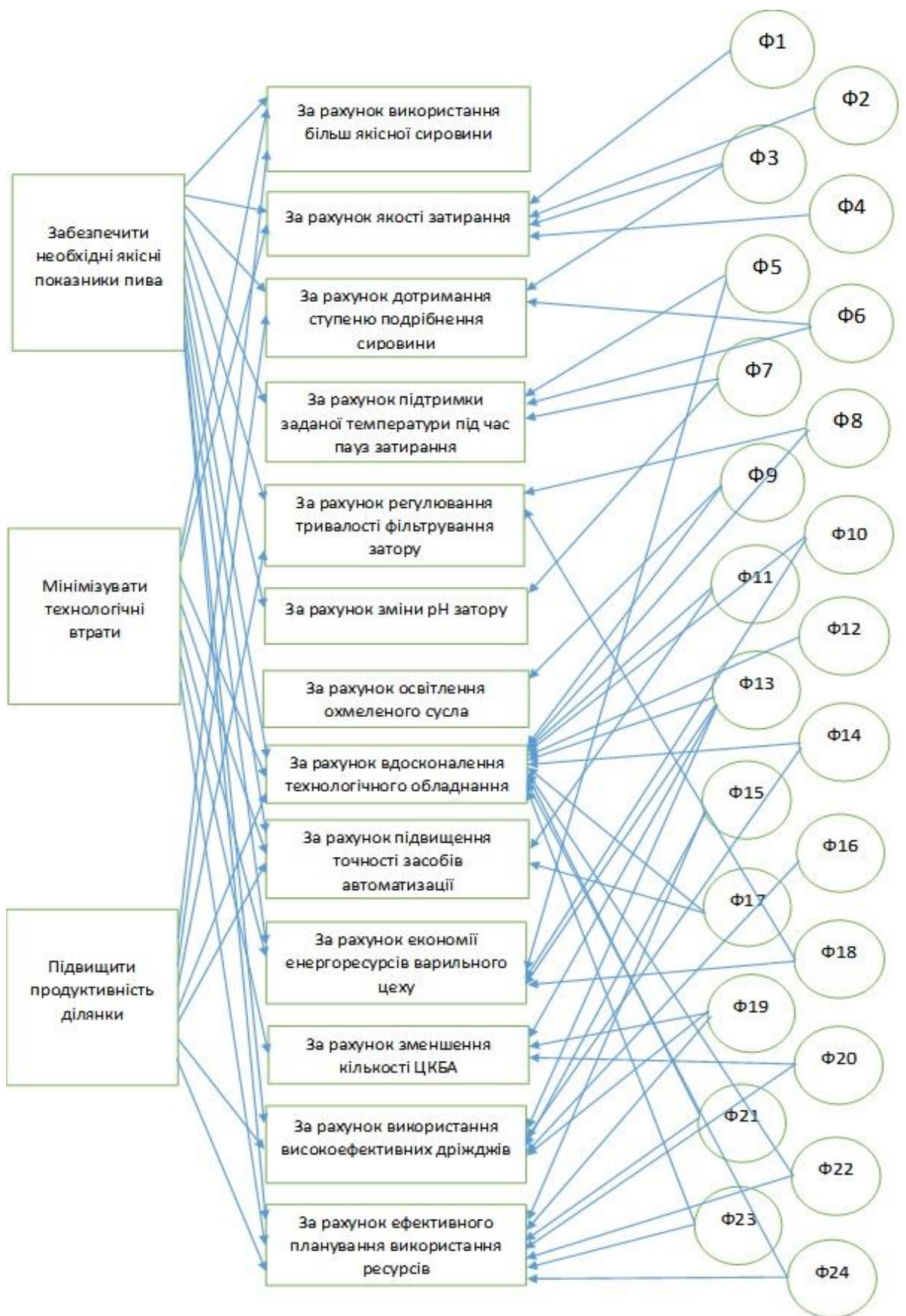


Рис. 2.2. Факторно-цільова діаграма приготування пива

В результаті проведення факторно-цільового аналізу, встановлено та відкориговано цілі та фактори впливу в процесі приготування пива.

Якість функціонування систем приготування пива можна охарактеризувати як гарантований випуск готового продукту стандаризованої якості [78]. Основний економічний ефект приготування пива – максимальний вихід готового продукту при мінімальних витратах. Отже, якість функціонування пива можна оцінити змішаним критерієм – мінімальний період часу t , що витрачається на досягнення мети (максимальний вихід пива заданої якості), а ефективність цього функціонування це гарантований вихід готових виробів стандартної (найкращої) якості.

На основі факторно-цільового аналізу та визначення множин атрибутів, потоків, факторів, життєвих станів даного об'єкта управління сформовано структури взаємодії між цілями та факторами, що дозволило визначити найбільш впливові цілі та ґрунтовно підійти до формування структур сценаріїв керування.

В залежності від виду об'єкта та етапу управління визначають цілі оптимізації, які прагнуть досягти в результаті автоматичного управління. В пивоварінні такими цілями є: збільшення продуктивності, зменшення витрат, підвищення якості продукції. Поставлені цілі, як правило, різнонаправлені і суперечать одна одній.

Вихідний контролюваний параметр, що характеризує ступінь досягнення поставленої цілі, виступає критерієм оптимізації.

В цілому управління процесами пивоваріння являє собою багатокроковий процес прийняття рішень [90]. Кожний крок в процедурі вибору рішення пов'язаний з певною цільовою функцією управління технологічним процесом і являє собою набір керувальних дій. Загальна цільова функція є адитивною, що складається з суми цільових функцій управління кожним окремим процесом приготування пива.

Визначення багатокритеріального рішення по своїй природі є компромісним і засновано на суб'єктивній інформації [94]. Процес знаходження рішення складається з двох етапів. На першому етапі відбувається розпізнавання образу ситуації. На наступному етапі – за допомогою закладених сценаріїв здійснюється формування оптимального управління у відповідності до поставлених критеріїв управління технологічним процесом.

При вирішенні задач оптимального управління були виділені такі множини критеріїв (3.5).

Множина агрегованих критеріїв:

$$F = \left\{ \begin{array}{l} K_i \\ P_i \\ W_i \end{array} \right\}_i \begin{array}{l} - \text{якість;} \\ - \text{продуктивність;} \\ - \text{витрати.} \end{array} \quad (3.5)$$

Оскільки процес приготування пива складається з багатьох технологічних процесів, в роботі представлено основні процеси: солодощення; процес затирання, процес кип'ятіння суслу з хмелем, процеси бродіння та доброджування.

В результаті обробки експериментальних даних, відповідно до поставлених цілей, були розроблені сценарії управління технологічними процесами пивзаводу, при яких досягається вихід пива найкращої якості, більша всіх технологічних процесів пивоваріння, та найменші втрати.

Сценарії, для основних процесів пивоваріння наведені в додатку 3.

Реалізація сценаріїв управління процесами пивоваріння була виконана за допомогою інструментального середовища Matlab – його внутрішнього додатку Fuzzy Logic [100].

Послідовність управляючих діянь визначається на множині вхідних змінних та вихідних змінних, представлених як нечіткі величини.

Кожен сценарій зв'язує зміну зовнішніх умов з результуючими змінними.

Сценарій - характеризується цілями, факторами впливу, операціями, міжопераційними зв'язками . Операція як крок сценарія по різному визначається в абстрактному(А) та структурному(С) сценаріях. В першому випадку операція працює з неструктурованими об'єктами /не враховується внутрішня структура об'єкта/, перетворює вхідні об'єкти у вихідні/спосіб внутрішнього перетворення не розкривається, тобто операція трактується як „чорний ящик”. С-сценарій виходить з того, що визначена внутрішня структура об'єктів, які описані наборами властивостей-атрибутів. Атрибути приймають значення з деякої області Ці значення можуть змінюватись внаслідок застосування визначених правил. Операція С-сценарія являє собою блок, в якому розміщені об'єкти з однаковим набором атрибутів, трактується як клас, екземпляри якого – об'єкти „ живуть в деякому просторі”.

С-сценарій являє собою деталізацію А - сценарію з урахуванням еволюції об'єкта при виконанні операцій та передачі об'єктів від одних операцій до інших. Еволюція об'єктів при виконанні операцій проявляється у зміні значень їх ознак (атрибутів), при переходах виникають „мутації” – виникнення нових ознак і втрата ознак, що стали непотрібними. Кожен клас С-сценарію працює автономно. Його взаємодія з „зовнішнім світом”, тобто з іншими класами і зовнішнім середовищем полягає у внесенні у вхідні черги нових об'єктів та видалення із вихідних черг „відпрацьованих” об'єктів [91].

Формуємо графічне представлення А - сценарію системи.(Рис.2.2)

Сформуємо А-сценарій (рис. 2), об'єктні потоки в цьому сценарії подамо в наступній таблиці (табл. 2.2).

Таблиця 2.2. Основні об'єктні потоки

Позначення	Зміст
P1	Витрата води
P2	Витрата солоду
P3	Витрата несолоджених матеріалів (зернових)

P4	Витрата інших несолоджених матеріалів (цукор, патока, ЯСЕ)
P5	Витрата затору
P6	Витрата сусла
P7	Витрата дробини
P8	Витрата промивної води
P9	Витрата охмеленого сусла
P10	Витрата білкового бруху
P11	Витрата освітленого сусла
P12	Витрата хмелепродуктів
P13	Витрата чистої культури дріжджів
P14	Витрата дріжджів
P15	Витрата нефільтрованого пива
P16	Витрата CO ₂
P17	Витрата стерильного повітря
P18	Витрата надлишкових дріжджів
P19	Витрата холодоагента
P20	Витрата пари
P21	Витрата кізельгуру
P22	Витрата готового пива

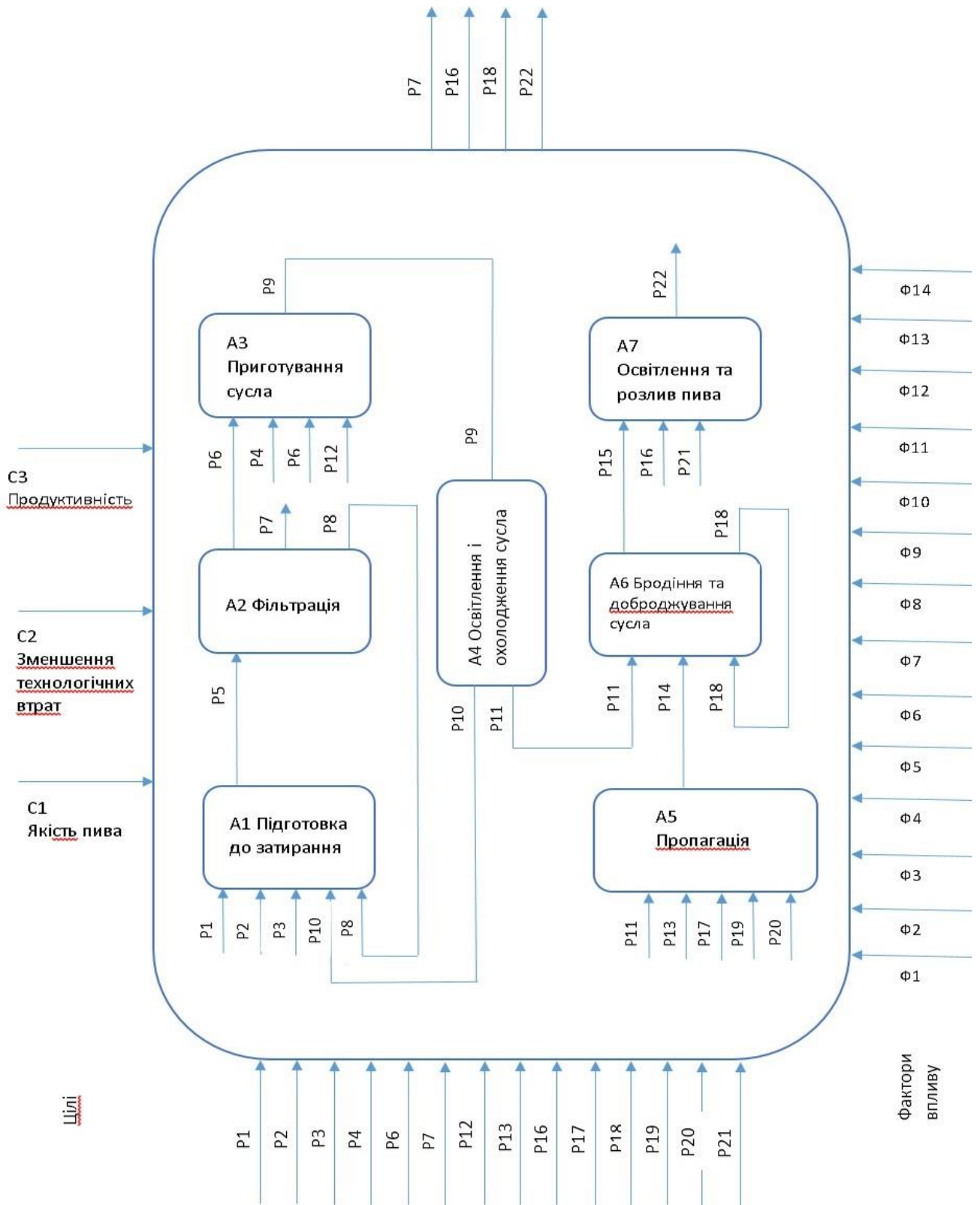


Рис. 2.3. А-сценарій управління технологічними процесами виробництва пива

Будемо розрізняти два види моделювання поведження системи. Це, по-перше, моделювання функціонування існуючої системи, і по-друге, моделювання розвитку системи. Сценарний підхід до моделювання ефективний при використанні до розвитку системи. При цьому сценарій має включати прогнозування розвитку системи при різних стратегіях ,вибір(на основі результатів прогнозування) найкращої стратегії, операції по реалізації вибраної стратегії.

Необхідною передумовою побудови сценарію управління є виділення атрибутів об'єкту (табл. 2.3) та текстовий опис станів життєвого циклу об'єкту (табл. 2.3).

Таблиця 2.3. Атрибути об'єкта С-сценарію

Клас	Позначення атрибута	Зміст атрибута
A1	a1.1 a1.2 a1.3 a1.4	Ступінь подрібнення солоду Активність ферментів Ступінь розчинення солоду Вологість солоду
A2	a2.1 a2.2 a2.3 a2.4 a2.5 a2.6	Час заливання сит водою Час перекачування затору Час повернення мутного сусла Час фільтрування затору Час промивки дробини Час вивантаження дробини
A3	a3.1	pH затору

	<p>a3.2</p> <p>a3.3</p> <p>a3.4</p> <p>a3.5</p> <p>a3.6</p> <p>a3.7</p>	<p>Вміст амінного азоту</p> <p>Концентрація затору</p> <p>Контроль за йодним числом</p> <p>Ступінь зброджування</p> <p>Температура оцукрення</p> <p>Йодна проба</p>
A4	<p>a4.1</p> <p>a4.2</p> <p>a4.3</p> <p>a4.4</p>	<p>Тривалість подачі охмеленого сусла</p> <p>Тривалість освітлення</p> <p>Подача холодоагенту</p> <p>Тривалість охолодження</p>
A5	<p>a5.1</p> <p>a5.2</p> <p>a5.3</p> <p>a5.4</p>	<p>Стерилізація сусла</p> <p>Охолодження сусла</p> <p>Подача чистої культури дріжджів</p> <p>Ступінь накопичення біомаси дріжджів</p>
A6	<p>a6.1</p> <p>a6.2</p> <p>a6.3</p> <p>a6.4</p> <p>a6.5</p> <p>a6.6</p>	<p>Якість дріжджів</p> <p>Концентрація дріжджових клітин</p> <p>Ступінь зброджування</p> <p>Температура бродіння</p> <p>Час бродіння</p> <p>Вміст діацетилу</p>
A7	<p>a7.1</p> <p>a7.2</p> <p>a7.3</p> <p>a7.4</p>	<p>Мутність пива</p> <p>Концентрація CO₂</p> <p>Органолептичні показники</p>

Прогнозування та вибір стратегії базується на сукупності методів понятійного моделювання та принципів сценарного підходу-життєвого циклу об'єктів в рамках класів.

Провівши факторно-цільовий аналіз з урахуванням думки експертів проранжувавши атомарні зовнішні цілі і фактори та вибравши із них найбільш значимі, розробили мережеву модель Петрі, яка відображає варіанти способів досягнення цілей. Апарат мереж Петрі дозволяє адекватно відобразити динаміку складних систем, в тому числі виконання паралельних процесів.

Таблиця 2.4. Стани життєвого циклу об'єкту

Клас	К	Позначення стану	Зміст стану
	1	2	3
1	A	S1.1	Збільшити оберти вальців дробарки
		S1.2	Зменшити оберти вальців дробарки
		S1.3	Збільшити подачу води в дробарку
		S1.4	Зменшити подачу води в дробарку
		S1.5	Збільшити зазори вальців дробарки
		S1.6	Зменшити зазори вальців дробарки
2	A	S2.1	Збільшити подачу води
		S2.2	Зменшити подачу води
		S2.3	Збільшити відведення прозорого
		S2.4	сусла
		S2.5	Зменшити відведення прозорого
		S2.6	сусла
			Збільшити подачу мутного сусла
			Зменшити подачу мутного сусла

3	A S3.1 S3.2 S3.3 S3.4 S3.5 S3.6 S3.7 S3.8 S3.9 S3.10 S3.11 S3.12 S3.13 S3.14	Подача підготовленої води Подача зернопродуктів Подача пари Збільшити подачу пари в заторному котлі Цитолітична пауза Білкова пауза Подача молочної кислоти або солі кальцію Збільшити подачу ферментних препаратів Мальтозна пауза Подача ферментних препаратів Оцукрення Збільшити подачу пари в сушварильний котел Збільшити час оцукрення Почати перекачку сусла на фільтрування
4	A S4.1 S4.2 S4.3 S4.4 S4.5	Подача охмеленого сусла Зменшити подачу Витримка у вірпулі Відведення освітленого сусла Відведення білкового бруху
5	A S5.1 S5.2 S5.3 S5.4 S5.5	Збільшити подачу пари Зменшити подачу пари Збільшити подачу стерильного повітря

		S5.6 S5.7	Зменшити подачу стерильного повітря Збільшити подачу холодоагенту Зменшити подачу холодоагенту Подача чистої культури дріжджів
6	A	S6.1 S6.2 S6.3 S6.4 S6.5 S6.6 S6.7 S6.8 S6.9 S6.10 S6.11 S6.12	Подача охолодженого сусла в ЦКБА Аерація сусла Подача насінневих дріжджів Стадія головного бродіння Підвищити t до 14 градусів протягом 2 діб Головне бродіння протягом 5-6 діб Стадія доброджування Подача холодоагенту до конусної частини ЦКБА(Осаджування) Доброджування протягом 7-8 діб Випуск дріжджів Подача пива на фільтрацію
7	A	S7.1 S7.2 S7.3 S7.4 S7.5 S7.6 S7.7 S7.8	Подача пива в буферну ємність Фільтрування пива Освітлення пива (Подача кізельгуру) Карбонізація пива Подача CO ₂ Подача пива у форфаси Пастеризація пива Подача на розлив

Мережа Петрі - дискретна динамічна модель з наглядним графічним представленням. Одна з основних переваг апарату мереж Петрі полягає у тому,

що вони можуть бути представлені як в графічній формі (що забезпечує наочність), так і в аналітичній (що дозволяє автоматизувати процес їх аналізу).

Мережа Петрі є дводольний орієнтований граф, безліч вершин якого розбивається на дві підмножини і не існує дуги, що сполучає дві вершини з однієї підмножини. Отже, мережа Петрі - це набір $N = (T, P, A)$, $T \cap P = \emptyset$, де $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ – підмножина вершин, що називаються переходами;

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ - підмножина вершин, що називаються місцями;

$A \subseteq (T \times P) \cap (P \times T)$ – множина орієнтованих дуг.

Вершини позиції позначаються колом, вершини-переходи - рисками. Із змістовної точки зору, переходи відповідають подіям, які властиві досліджуваній системі, а позиції — умовам їх виникнення. Таким чином, сукупність переходів, позицій і дуг дозволяє описати причинно-наслідкові зв'язки, властиві системі, але в статиці. Щоб мережа Петрі «ожила», вводять ще один вид об'єктів мережі — так звані фішки, або мітки позицій. Перехід вважається активним (подія може відбутися), якщо в кожній його вхідній позиції є хоча б одна фішка.

Мережу Петрі можна розуміти (інтерпретувати) по-різному. Можна уявити собі, що місця представляють умови (буфер порожній, файл закритий і т.п.), а переходи - події (посилка або отримання повідомлення в буфер, запис у файл).

Стан мережі Петрі в кожен теперішній момент визначається системою умов. Для того, щоб стало можливим і зручним задавати умову типу "в буфері знаходиться 3 записи", в модель мережі Петрі додаються фішки. Фішки зображаються крапками усередині місця. У застосуванні до програмування можна уявляти собі переходи як процедури, а місця - як змінні або буфер.

Фішка свідчить про те, що змінна/буфер має значення, а якщо місце має, наприклад, 3 фішки, то це може інтерпретуватися як наявність трьох різних значень в буфері. Якщо місце містить фішку, то місце маркіроване і мережа

називається маркірованою. Початковий розподіл фішок задає початкову маркування M_0 мережі. Маркування мережі визначає її поточний стан.

Мережа на рис.2.4 в початковому стані містить одну фішку в місці p_3 . Маркування формально задається функцією $M: P \rightarrow I, I = \{0,1,2,..\}$, а функція M представляється вектором, в якому i -й компонент задає маркування місця. Наприклад, початкова маркування мережі на рис.3.4 представляється вектором $M_0 = \{1,0,0\}$.

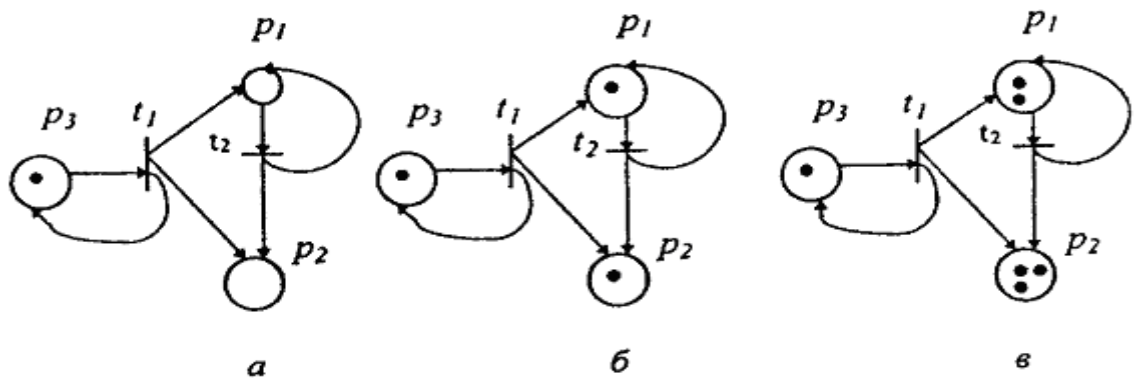


Рис. 2.4. Маркована мережа Петрі.

На рис.2.4 показана послідовність станів мережі Петрі в ході спрацювання переходів. Початкова розмітка $M_0 = (1,0,0)$ показана на рис.3.5,а. У цьому стані може спрацювати тільки перехід t_1 . Розмітка мережі $M_1 = (1,1,1)$ після спрацювання t_1 показана на рис.3.5,б. Остання дозволяє одночасно спрацювати переходам t_1 і t_2 , розмітка $M_2 = (1,2,3)$ після їх спрацювання показана на рис.3.5,в. Стан позицій та мережі в цілому є величина змінна - функція часу.

Поведінка мережі Петрі визначається зміною її стану, що обумовлена спрацюванням переходів. Перехід активований (тобто готовий до спрацювання) якщо в кожній його вхідній позиції є щонайменше один об'єкт. При спрацюванні переходу об'єкт видаляєм із кожної вхідної позиції та вносимо в кожну вихідну. Якщо одночасно активовані два переходи, то спрацюває лише один, причому, вибір переходу що буде запускатись здійснюється випадково(в цьому розумінні МП – не детермінована модель). Розглянемо властивості, що характеризують МП. Позиція МП обмежена(к-

обмежена), якщо існує таке ціле число $k \geq 1$, що число об'єктів в цій позиції не перевищує k . Число k називають ємкістю позиції. МП називають зберігаючою, якщо число циркулюючих в ній об'єктів постійне. Перехід МП називають безвихідним, якщо в процесі функціонування мережа може опинитися в стані, в якому цей перехід заблокований (не може бути активований). Моделювання МП може здійснюватись імітаційними чи аналітичними методами. Імітаційне моделювання полягає у визначенні послідовності станів МП, що відповідають тій, чи іншій послідовності спрацювання переходів. При аналітичному моделюванні визначаються властивості МП і застосовуються методи їх аналізу.

Отже, переваги мереж Петрі полягають у тому, що вони: дозволяють моделювати ПП всіх можливих типів з урахуванням вірогідних конфліктів між ними; володіють наочністю і забезпечують можливість автоматизованого аналізу; дозволяють переходити від одного рівня деталізації опису системи до іншого (за рахунок розкриття/закриття переходів).

Разом з тим, мережі Петрі мають ряд недоліків, що обмежують їх можливості. Основний з них — час спрацювання переходу вважається рівним 0, що не дозволяє досліджувати за допомогою мереж Петрі тимчасові характеристики модельованих систем.

Апарат мережі Петрі використовується для виявлення помилок абстрактного сценарію системи. З цією метою трансформуємо сценарій в МП і далі перевіряємо властивості мережі.

Динамічне моделювання (перевірка коректності) сценарію системи може бути організоване як глобальна (створюється повний ієрархічний опис сценарію і лише потім відбувається аналітичне чи / і імітаційне дослідження повного опису) чи локальна процедура (ведеться послідовне пошарове моделювання шляхом побудови та аналізу ланцюжка сценарних модулів).

Побудова мережі Петрі адекватної А- сценарію відбувається таким чином:

- для кожної операції знищується кожна вхідна (вихідна) стрілка і замість неї всередину рамки операції поміщається вхідна (вихідна) позиція;
- кожній формулі перетворення потоків даної операції відповідає перехід ;
- введений перехід з'єднується з вхідними та вихідними позиціями операції згідно відповідній формулі;
- однакові помічені позиції, що належать різним операціям – ототожнюються.

Мережа Петрі отримана на основі А- сценарію дозволяє моделювати рух (та перевіряти коректність) об'єктних потоків в системі, але без врахування досягнення цілей та факторів впливу зовнішнього середовища. Моделювання МП відбувається імітаційним чи аналітичним способом. Імітаційне заключається у визначенні послідовності станів МП, що відповідають тій , чи іншій послідовності спрацювання переходів. При аналітичному моделюванні визначаються властивості МП та застосовується метод дерева досягнення цілей.

На третьому етапі А –сценарій перетворюється в С- сценарій:

- структуруються об'єкти ;
- вводяться класи об'єктів та переходи між ними, формуються описи життєвих циклів всередині кожного класу;
- визначається набір інтегральних показників функціонування системи (значення цих показників встановлюються в ході імітаційного моделювання С-сценарію);
- задаються вирази залежностей ступеню досягнення цілей від інтегральних показників та факторів впливу.

Важливим етапом передбачення є оцінка реалістичності розроблених сценаріїв із попереднім визначенням умовних ймовірностей подій, що формують ці сценарії.

Головна особливість умовних ймовірностей полягає в тому, що в такому разі вони фактично є психологічною оцінкою імовірності тієї чи іншої події.

Різні оцінки для однієї й тієї самої події, очевидно, будуть надходити від різних людей, які залучені до передбачення. Отже, оцінення реалістичності сценаріїв є складною проблемою.

На рис. 2.4 наведено клас А-сценарію, що являють собою С- сценарій.

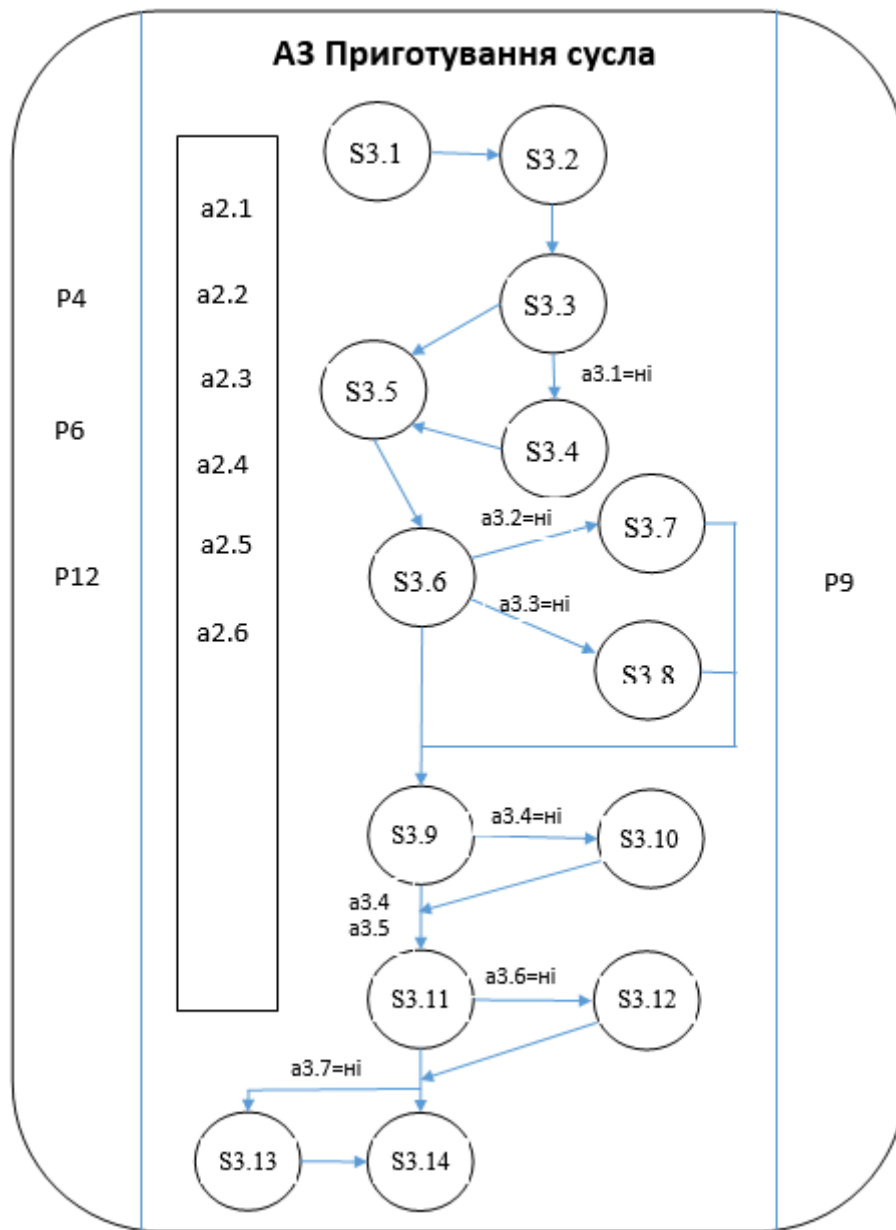


Рис.2.5. Фрагмент С- сценарія, клас А3.

РОЗДІЛ 3. Розробка інтелектуальної системи керування

3.1. Загальні відомості про об'єкт:

Схема автоматизації складається з контурів вимірювання, сигналізації, регулювання витрати, температури, рівня.

Бродильний апарат (бродильно-купажний) (див. креслення 1) являє собою циліндричну посудину 7 з конічним днищем, сферичної кришкою, закритою герметично люком 12 і опорами 3.

Для регулювання температури сусла апарат забезпечений сорочкою 6. У нижній конічній частині встановлений дріжжевіддільник 3 із засувкою 1.

Для перемішування сусла при бродінні і купажуванні є пропелерна мішалка 4. Апарат забезпечений також штуцерами 8 і 13 для відведення повітря з апарату і сорочки, штуцерами 16 і 5 для введення і відведення охолоджуючої води, штуцером 9 для подачі сусла і штуцером 14 для введення сиропу, термометром 10, манометром 17, компенсатором 17, пробним краником 18, зливним штуцером 19 і штуцером 11 для введення датчика автоматичного визначення рівня рідини.

Спочатку в бродильний апарат подають пивне сусло і 1/4 цукру (у вигляді цукрового сиропу) його загальної кількості, передбаченого рецептурою. Зміст сухих речовин в суслі для пива повинно бути не менше 2,5%, а для окрошки пива - 1,6%. Після цього в суслоносять комбіновану закваску з чистих культур дріжджів і молочнокислих бактерій (2-4% до обсягу сусла) або розведення, отриману з висушених, технічно чистих культур (0,8% дріжджі і 0,06% молочнокислі бактерії до обсягу сусла).

Бродіння проводять при температурі 6-12 °С до зниження вмісту сухих речовин в суслі на 1% мас, і досягнення кислотності не нижче 2 см³ розчину лугу концентрацією 1 моль / дм³ на 100 см³ квасу. В процесі бродіння регулюють температуру, не допускаючи її підвищення. Для більш повного оцукрювання вуглеводів і, внаслідок цього, для прискорення бродіння, після введення цукрового сиропу, додають ще мелений ячмінний солод (5 г на 1 дм³

сусла). Солод повинен мати низьку тривалість оцукрювання - не більше 10 хв. Для підвищення стійкості зброджене сусло після закінчення бродіння ретельно відокремлюють від дріжджів, для чого його охолоджують в бродильному апараті до 3-6 ° С. При цьому дріжджі щільним шаром осідають в дріждевіддільник, а квас обережно, не зачіпаючи дріжджового осаду, перекачують в купажний апарат або купажують безпосередньо в бродильному апараті.

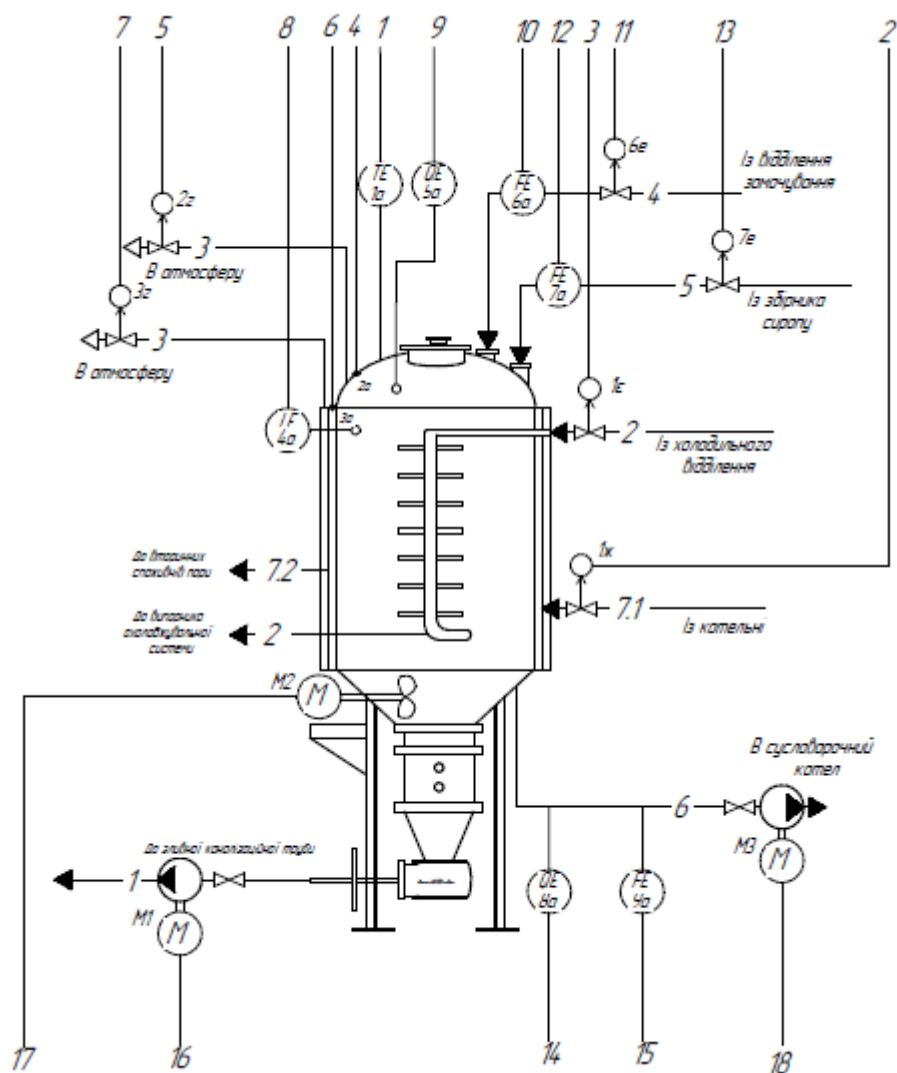


Рис.3.1. Функціональна схема об'єкта.

3.2. Структура експертної системи:

Задачею є створення підсистеми оцінки якості, що має три входи і формує на основі оцінки відповідне логічне рішення. На рис. 3.2. зображена структура системи логічного висновку

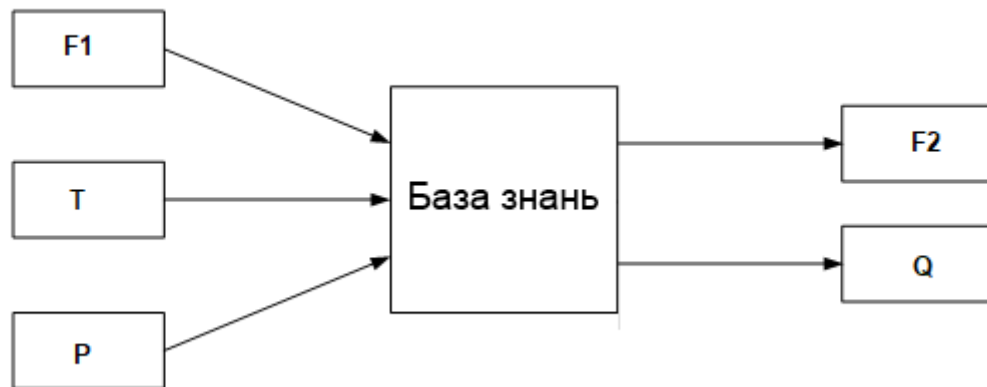


Рис.3.2. Структура експертної системи

Входи:

F1 – витрата пивного сусла ;

T – температура у бродильному апараті;

P – тиск у бродильному апараті;

Виходи:

F2 – витрата готового, зброженого пивного сусла ;

Q – мутність готового, зброженого пивного сусла .

3.3 Лінгвістична апроксимація вхідних та вихідних параметрів:

За допомогою програмного середовища MATLAB та вбудованої функції FIS Editor Fuzzy Logic Toolbox створюємо прийнятні вхідні та вихідні змінні.

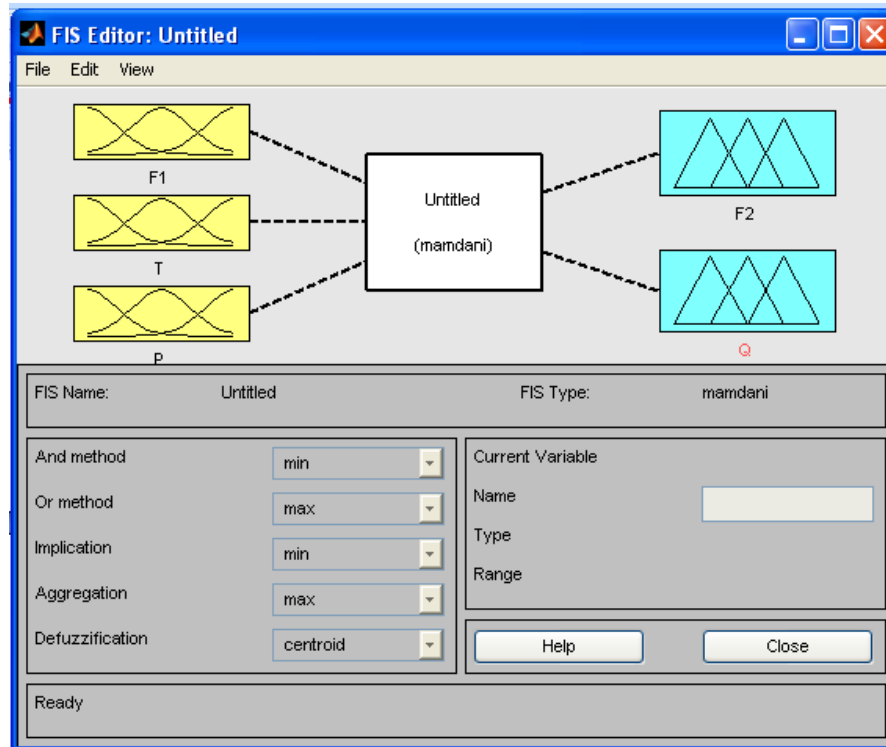


Рис 3.3. Вхідні та вихідні параметри у вікні FIS Edit.

Кожній змінній відреагуємо на п'ять функцій належності. У меню Edit вибираємо пункт підменю Add MFs... - додати необхідні типи (MF type) та кількість (Number of MFs) функцій належності.

У вікні Member Funktion Editor налаштовуємо параметри кожної функції належності.

В зоні параметрів Current Variable параметри Range(ряд) і Display Range(ряд, що відображається) – задаємо діапазони змінних.

В зоні параметрів Current Membership Function є можливість змінити назву лінгвістичної змінної в полі Name, тип функції належності Type і параметри в полі Params.

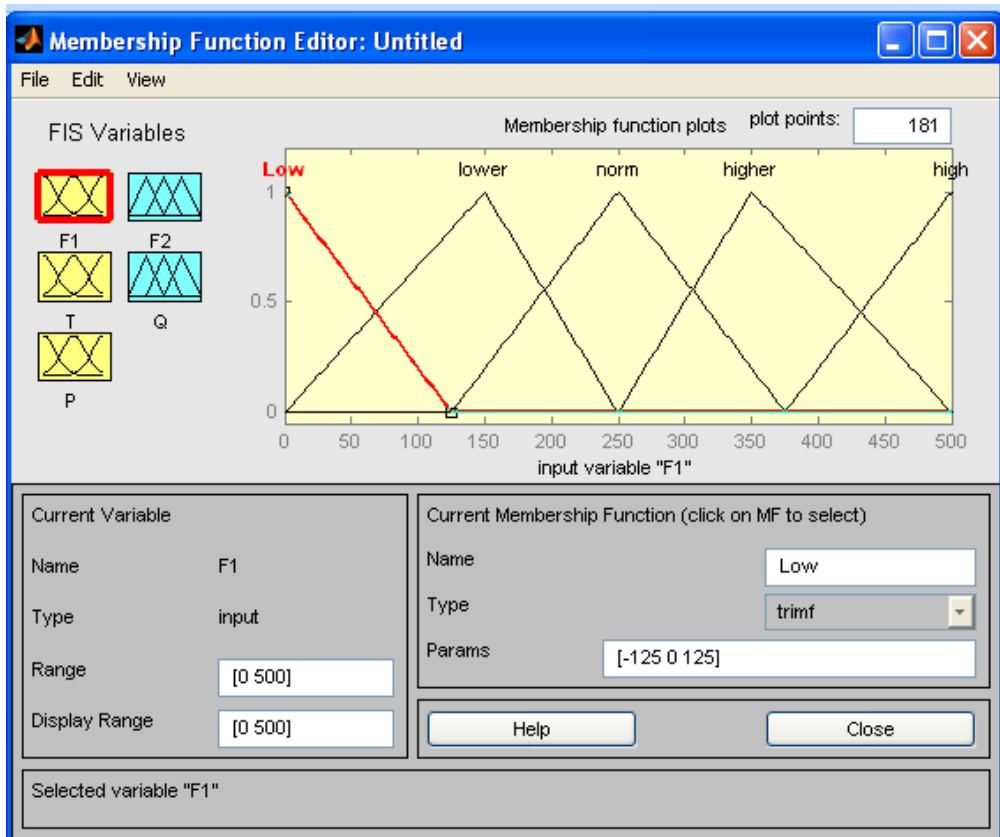


Рис 3.4. Функція належності витрати пивного сусла.

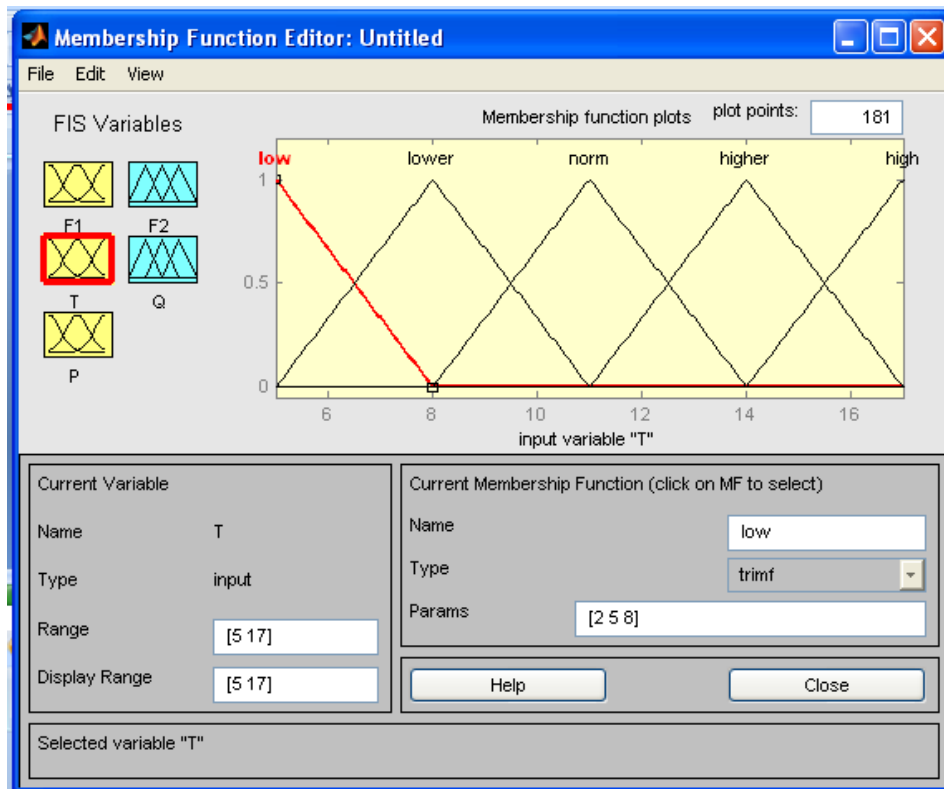


Рис 3.5. Функції належності температури повв бродильному апараті.

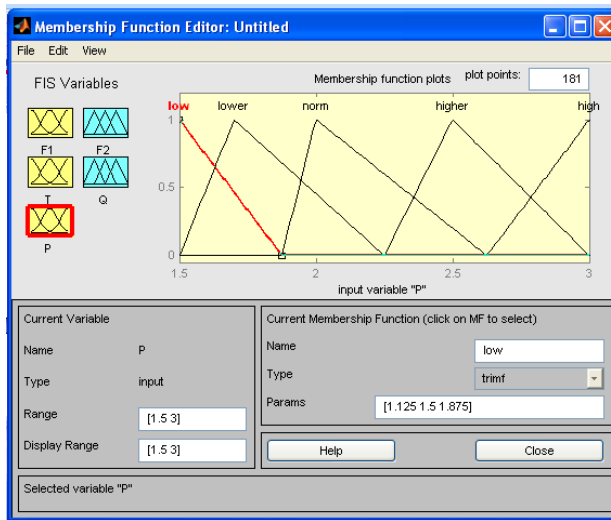


Рис. 3.6. Функції належності тиску в бродильному апараті.

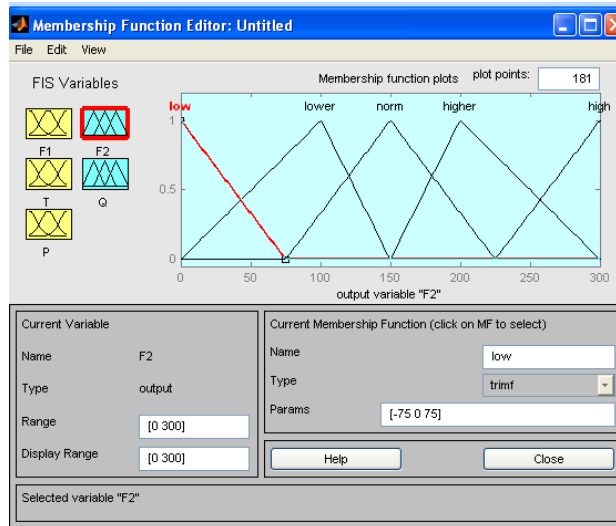


Рис. 3.7. Функції належності витрати готового, зброженого пивного суслу.

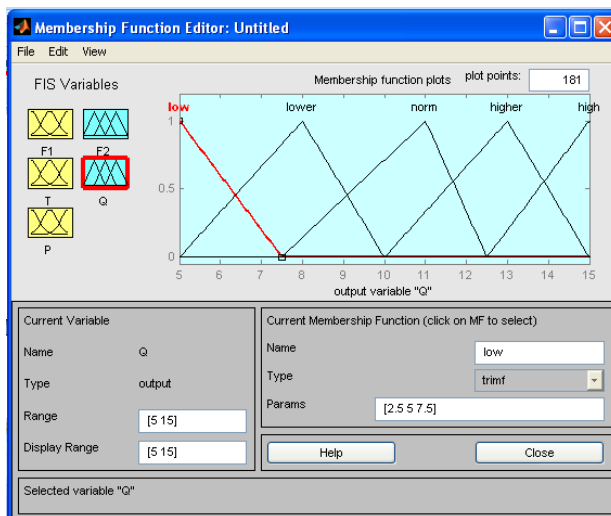


Рис. 3.8. Функції належності мутності пивного, зброженого суслу.

3.4 Розробка бази правил для нечіткої системи. Аналіз результатів роботи системи:

В головному вікні FIS Editor в меню Edit - Rules... відкриваємо вікно Rule Editor. В даному вікні визначаються нечіткі правила поведінки системи. Створюємо набір правил для утворювальної системи.

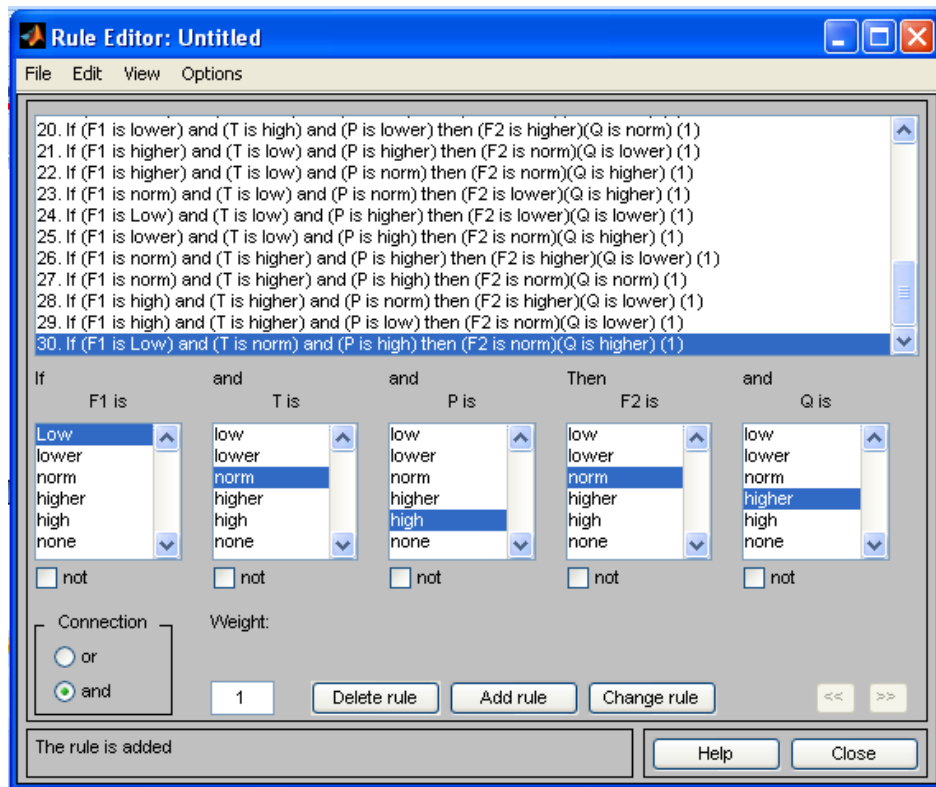


Рис. 3.9. Створені правила нечіткого висновку.

Для перегляду результату роботи системи нечіткої логіки в головному вікні FIS Editor обираємо меню View команду Rules – графічне відображення роботи алгоритму нечіткого висновку або команду Surface – відображення поверхні відгуку.

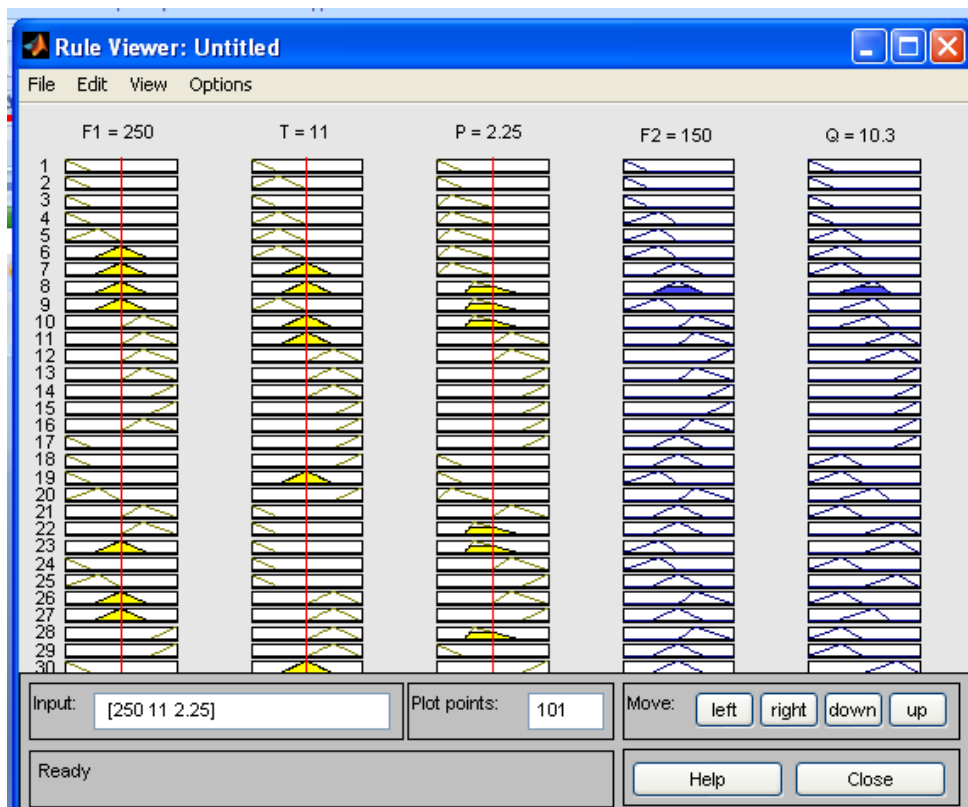


Рис 3.10 Вікно графічного відображення роботи алгоритму нечіткого висновку.

З малюнку видно рекомендовані оптимальні значення параметрів:

Вх.

F1 – 250;

P – 3.25;

T – 11;

Вих.

F2 – 150;

Q – 10.3.

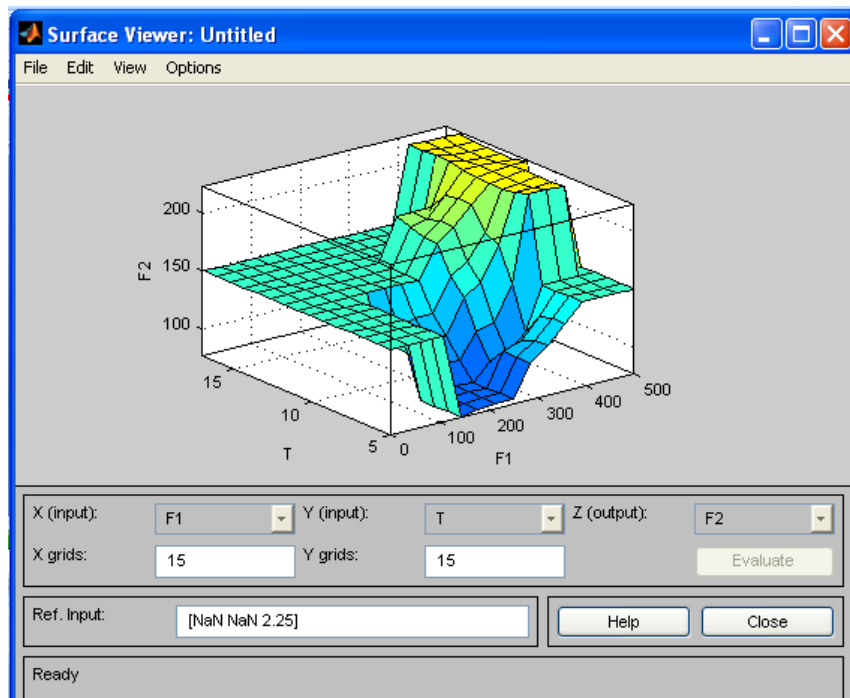


Рис. 3.11. Вікно залежності поверхні відгуку залежності витрати пивного сусла з трубопроводу і температури сусла в бродильному апараті до витрати готового зброженого пивного сусла.

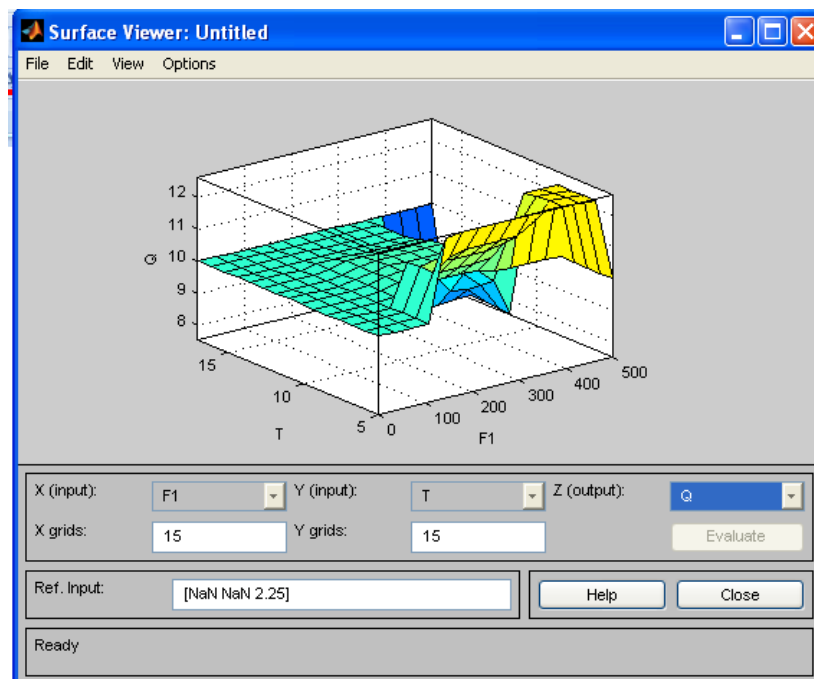


Рис. 3.12. Вікно залежності поверхні відгуку залежності витрати пивного сусла з трубопроводу і температури пивного сусла в бродильному апараті до мутності пивного сусла в бродильному апараті.

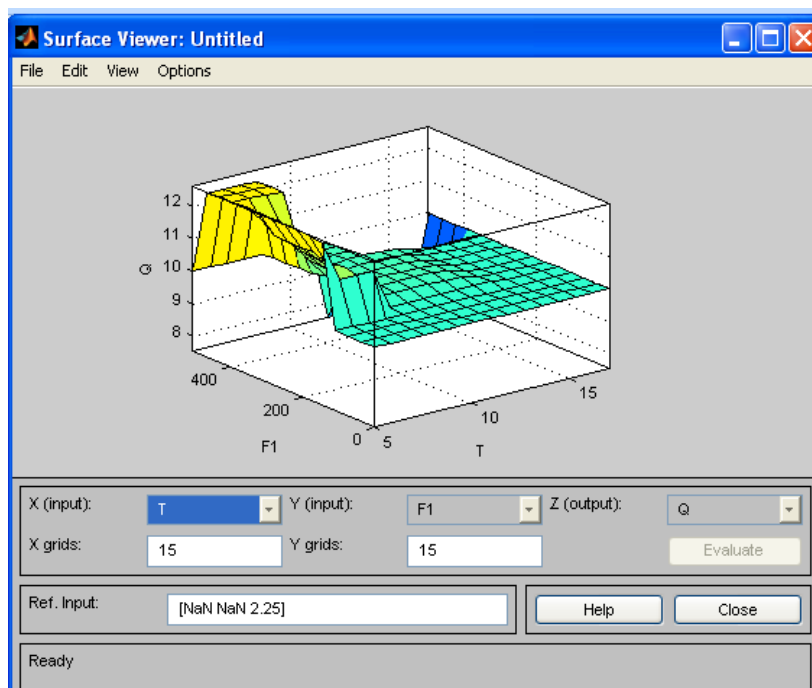


Рис. 3.13. Вікно залежності поверхні відгуку залежності температури пивного сусла в бродильному апараті і витрати пивного сусла з трубопроводу до мутності пивного сусла в бродильному апараті.

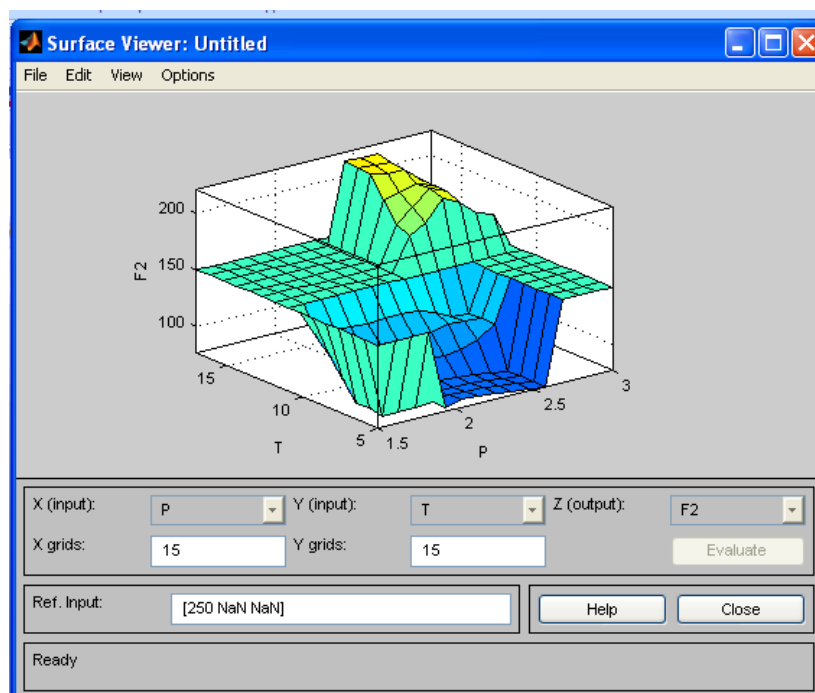


Рис. 3.14. Вікно залежності поверхні відгуку залежності тиску у бродильному апараті і температури пивного сусла в бродильному апараті до витрати пивного зброженого сусла.

3.5 Побудова нечіткого регулятора:

На значення мутності і витрати готового зброженого пивного сусла впливають фактори температури в бродильному апараті, тиск в бродильному апараті і витрата пивного сусла з трубопроводу. Потрібно підібрати такий регулятор який враховував ці фактори для підтримки необхідної витрати і мутності. Швидкість зміни залежить від постійного діаметра трубопроводу і температури в трубопроводі, кількості додаваного пивного сусла і тиску в бродильному апараті. Система має суттєво нелінійні характеристики.

Входами для контролера є витрата пивного сусла з трубопроводу, тиск у бродильному апараті та тиск у бродильному апараті.

Математична модель об'єкта управління має вигляд

$$U = u_c, h = b/SU - a/S \sqrt{h}$$

де h - висота ємності (м), u_c - напруга на виході пристрою управління (керуючий вплив), (v) , U - Інтеграл від напруги на виході пристрою управління, яка обумовлює переміщення клапана, S - площа поперечного перерізу ємності (m^2), a, b - параметри, які визначаються експериментально.

Для системи слід сконструювати і провести порівняльний аналіз наступних типів регуляторів:

1. Пропорційний регулятор (П).
3. Пропорційно-диференційний регулятор (ПД).
3. Нечіткий регулятор, який виконує такі правила:
 - If (level is okay) then (valve is no chang)
 - If (level is low) then (valve is open fast)
 - If (level is high) then (valve is close fast)
4. Нечіткий регулятор, який використовує правила:
 - If (level is norm) then (valve is no chang)
 - If (level is low) then (valve is open fast)
 - If (level is high) then (valve is close fast)

If (level is norm) and (rate is positive), then (klap is close slow)

If (level is norm) and (rate is negative), then (klap is open slow)

Схема роботи установки розроблена в програмному пакеті MATLAB Simulink на основі мат. моделі. Система замкнута від'ємним зворотнім зв'язком. Приймаємо для спрощення, що на вхід подаємо величину, чисельно рівну значенню бажаного рівня рідини в установці.

В наслідок цього коефіцієнт вимірювача, приймаємо рівним 1. ($K_p=1$)

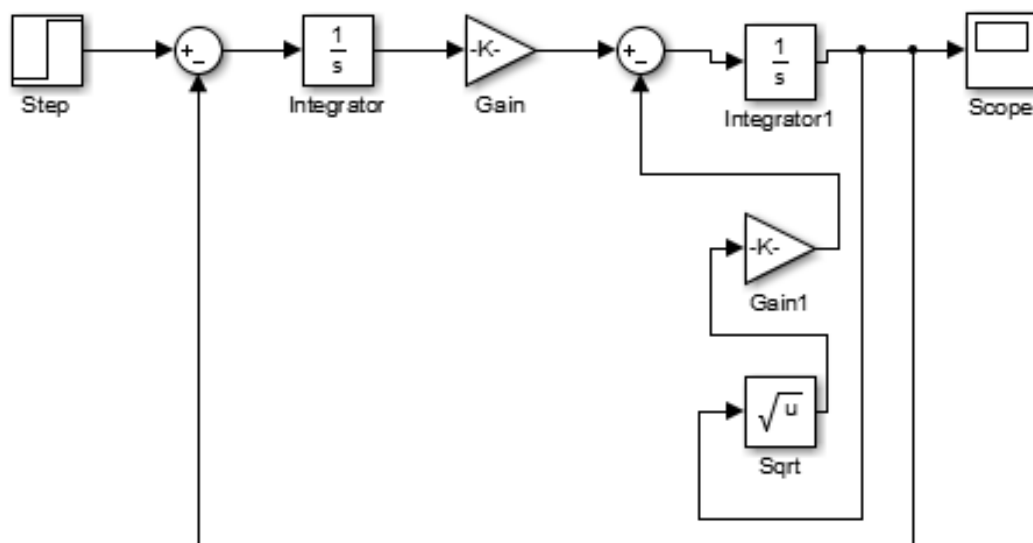


Рис. 3.15. Схема об'єкта управління при $K_p=1$

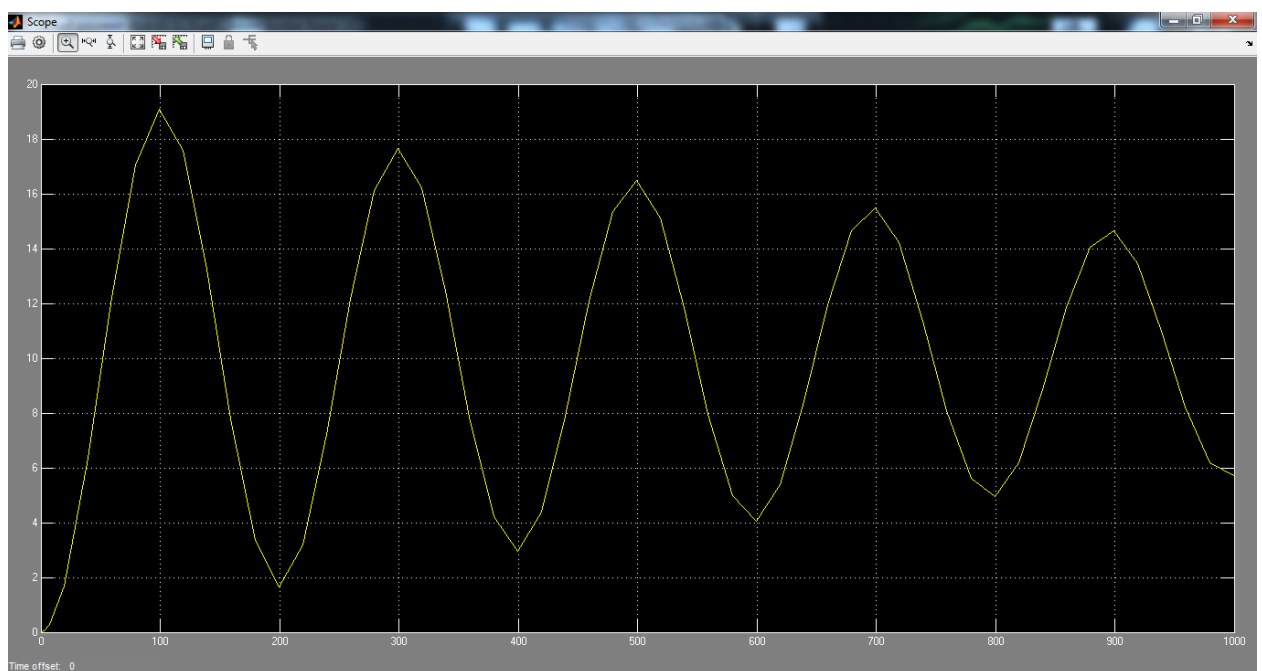


Рис. 3.16. Зміна мутності на витрати готового зброженого пивного суслу при $K_p=1$.

Додамо систему П-регулятор, який реалізує пропорційний закон управління.

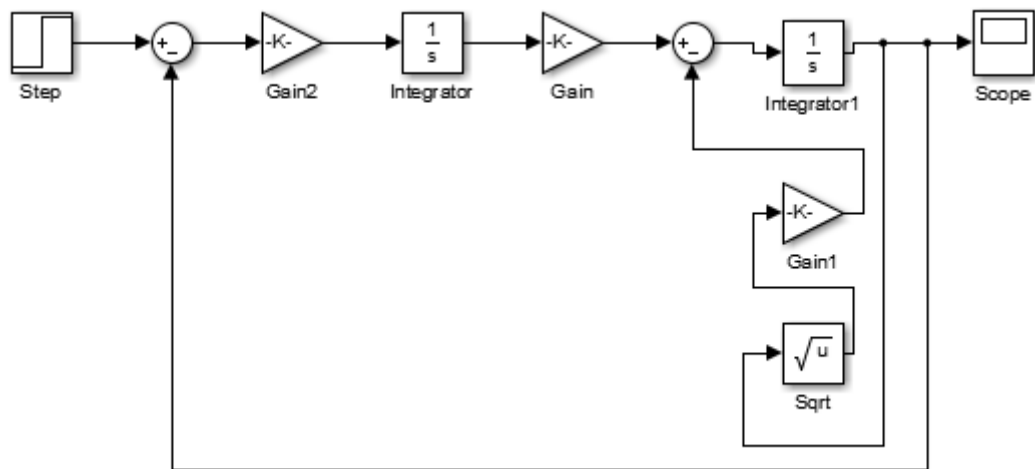


Рис. 3.17. Схема об'єкта управління з П- регулятором

За таким механізмом регулювання зміни коефіцієнта підсилення може лише змінити швидкодію, але не якість.

У дані постановці задачі ми можемо змінити тільки швидкодію процесу, але не його динаміку. З допомогою П-регулятора ми не можемо отримати процес необхідної якості.

Тому додаємо до регулятора в системі диференційну ланку, тим самим створивши ПД- регулятор.

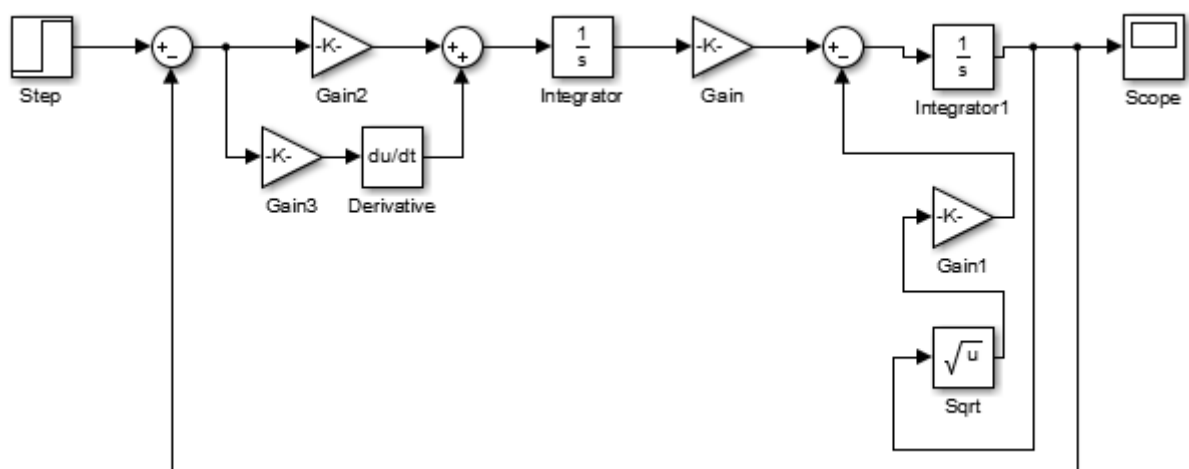


Рис. 3.18. Схема об'єкта управління з ПД- регулятором

Тепер ми маємо два варійованих параметра для настройки регулятора.

Розглянемо їх вплив окремо:

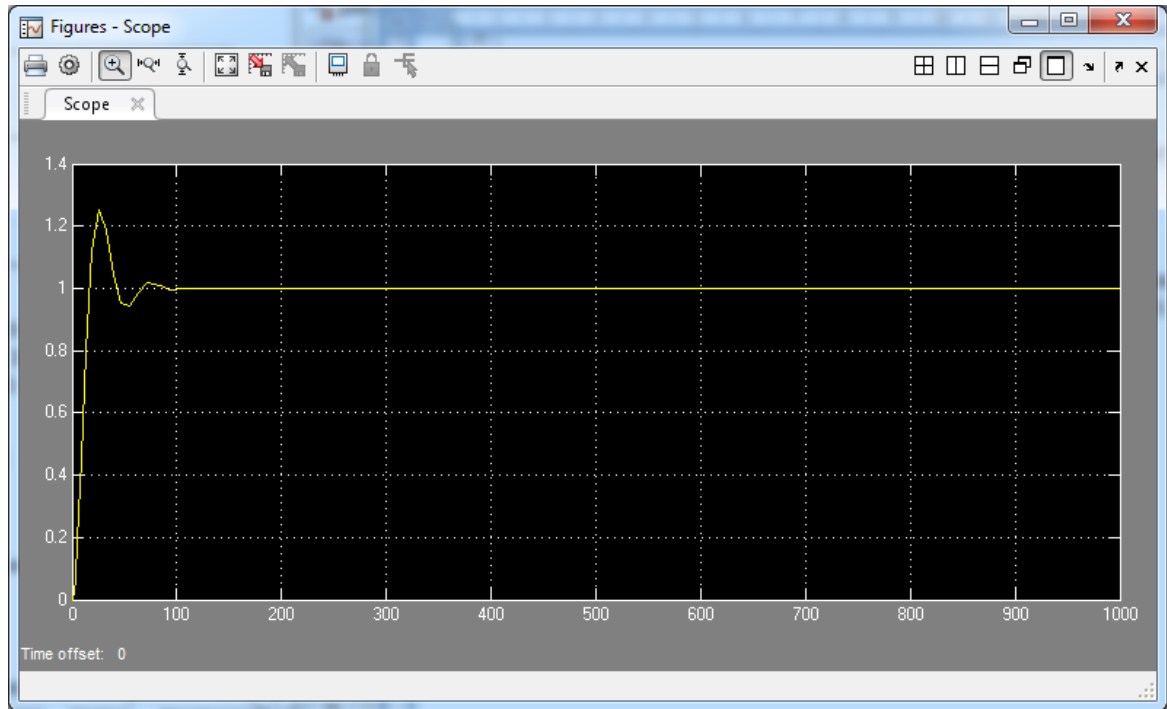


Рис. 3.19. Зміна мутності на витрати готового зброженого пивного суслу при різних значеннях коефіцієнтах пропорційності ПД-регулятора: $K_p = 0.05$ (1), $K_p = 0.3$ (2), $K_p = 0.0007$ (3) при $K_d = 0.3$.

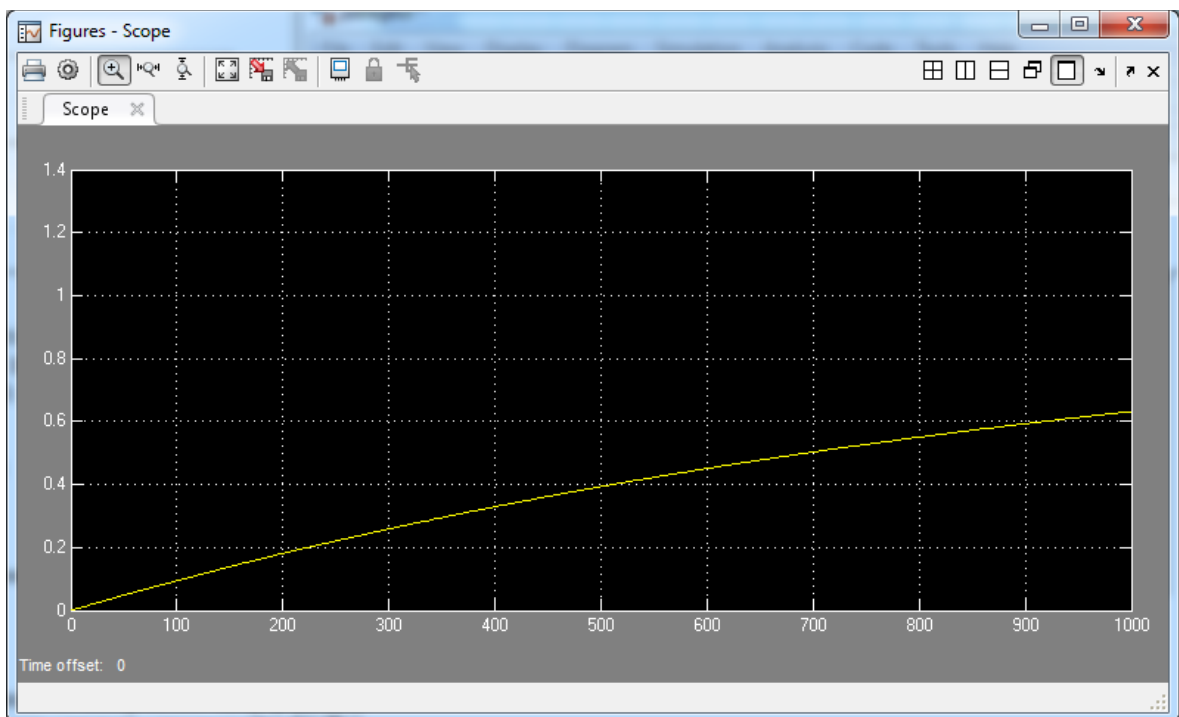


Рис. 3.20. мутності на витрати готового зброженого пивного суслу при різних значеннях коефіцієнтах пропорційності ПД-регулятора: $K_p = 0.03$ (1), $K_p = 0.1$ (2), $K_p = 0.0002$ (3) при $K_d = 30$.

Ми можемо бачити, що, природно, коефіцієнт диференціювання призводить до зміни перерегулювання прямо пропорційним чином. Очевидно, підбором обох коефіцієнтів можна досягнути і прийнятеного часу регулювання, і плавності переходу.

Перейдемо до побудови нечітких регуляторів. Розглянемо побудову нечіткого регулятора, закон управління якого формується на основі трьох правил:

If (level is okay) then (valve is no change)

If (level is low) then (valve is open fast)

If (level is high) then (valve is close fast)

Отримуємо наступне: якщо рівень рідини «нормальний», то залишаємо клапан «без змін», якщо рівень «низький», то клапан «швидко відкривається», якщо рівень «високий», то клапан «швидко закривається».

Модель нечіткого регулятора складена засобами Fuzzy Logic Toolbox. Нечіткі поняття, взяті вище в лапки, представлені в моделі термами лінгвістичних змінних, з якими зіставлені функції належності.

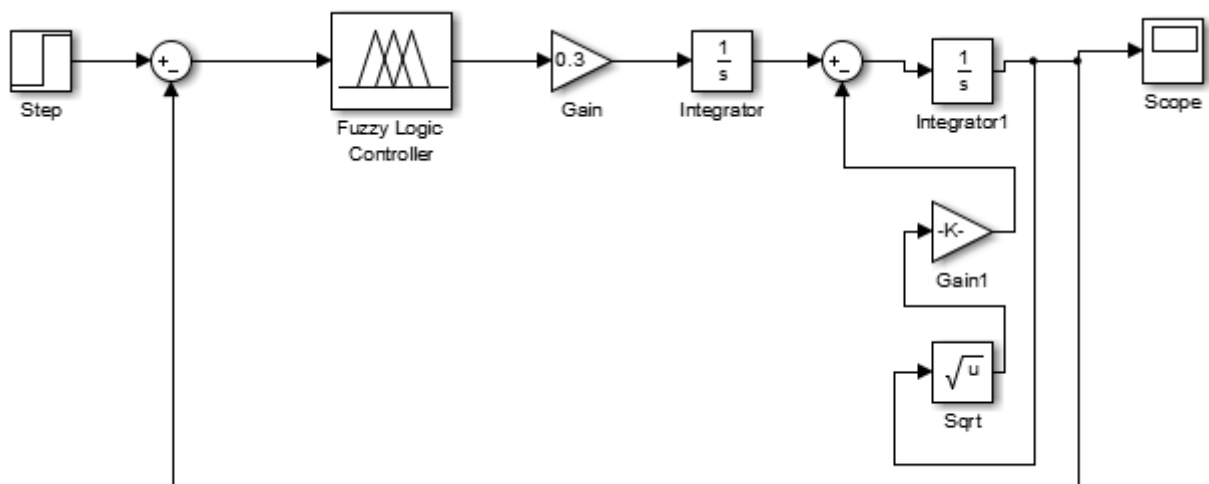


Рис. 3.21. Схема об'єкта з нечітким регулятором, три правила.

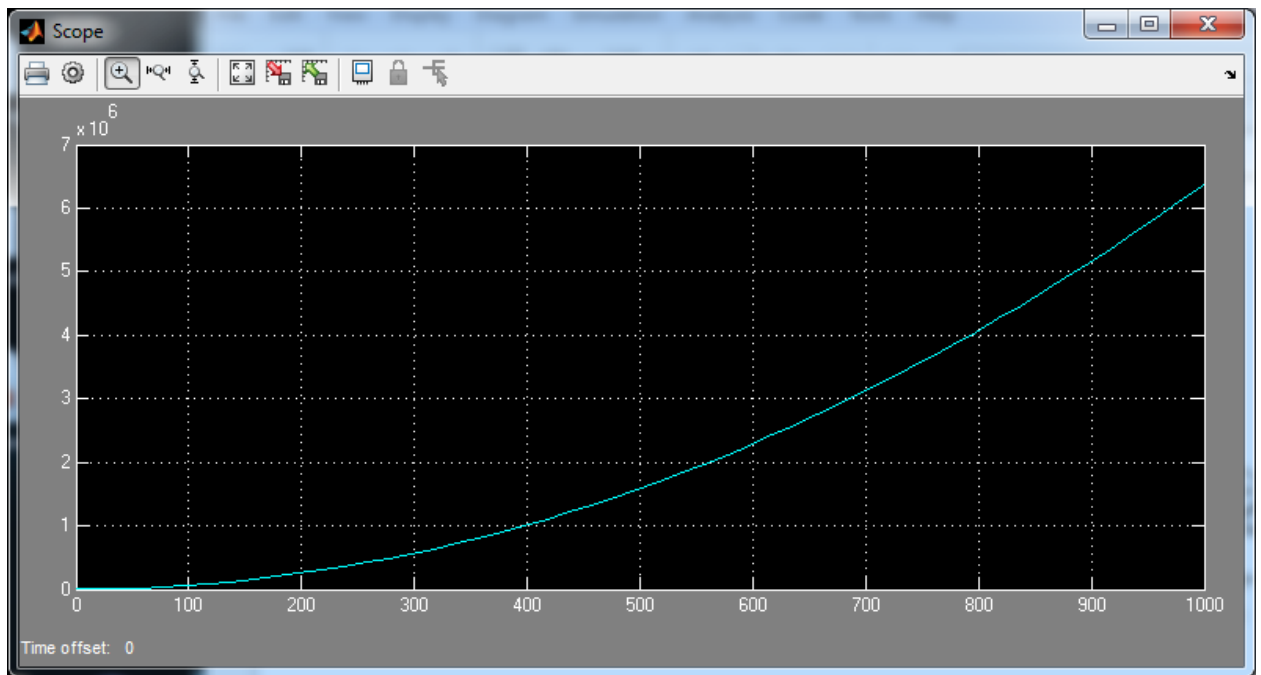


Рис 3.22. Зміна мутності на витрати готового зброженого пивного сусла з нечітким регулятором. За трьох правил.

В даному випадку ми отримали перехідний процес, за якістю неприйнятний. Підбором функцій належності не вдається підібрати прийнятний процес, оскільки не врахована інформація про поведінку при нормальній витраті. Приходимо до висновку про необхідність подачі на вхід регулятора інформації про знак похідної.

Це буде враховано в регуляторі з п'ятьма правилами

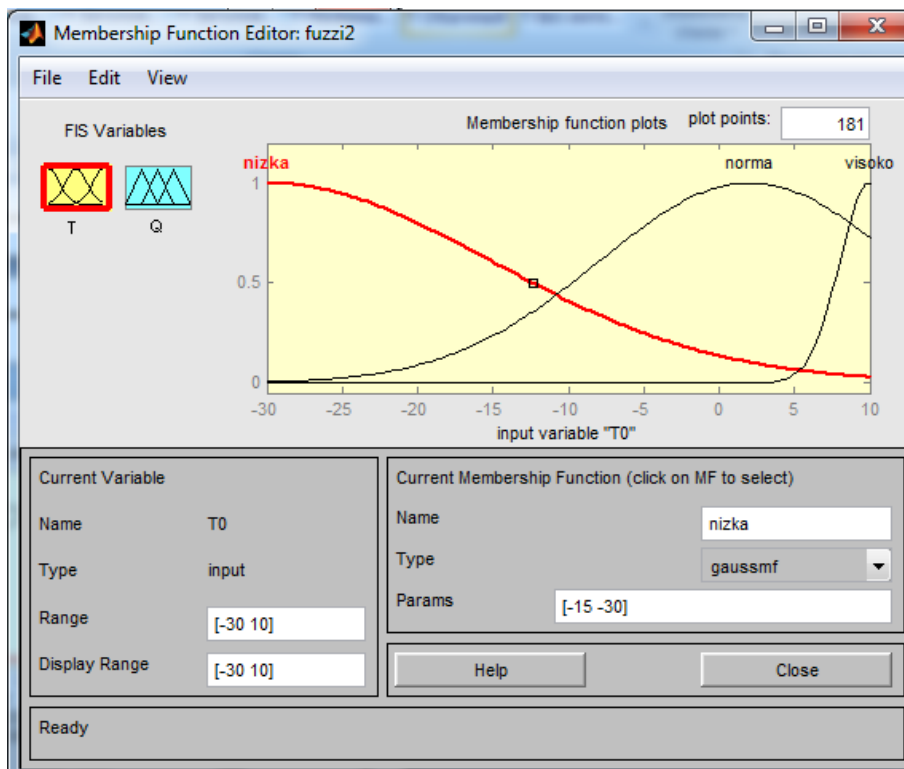


Рис 3.23. Функції належності для термів вхідної змінної температури

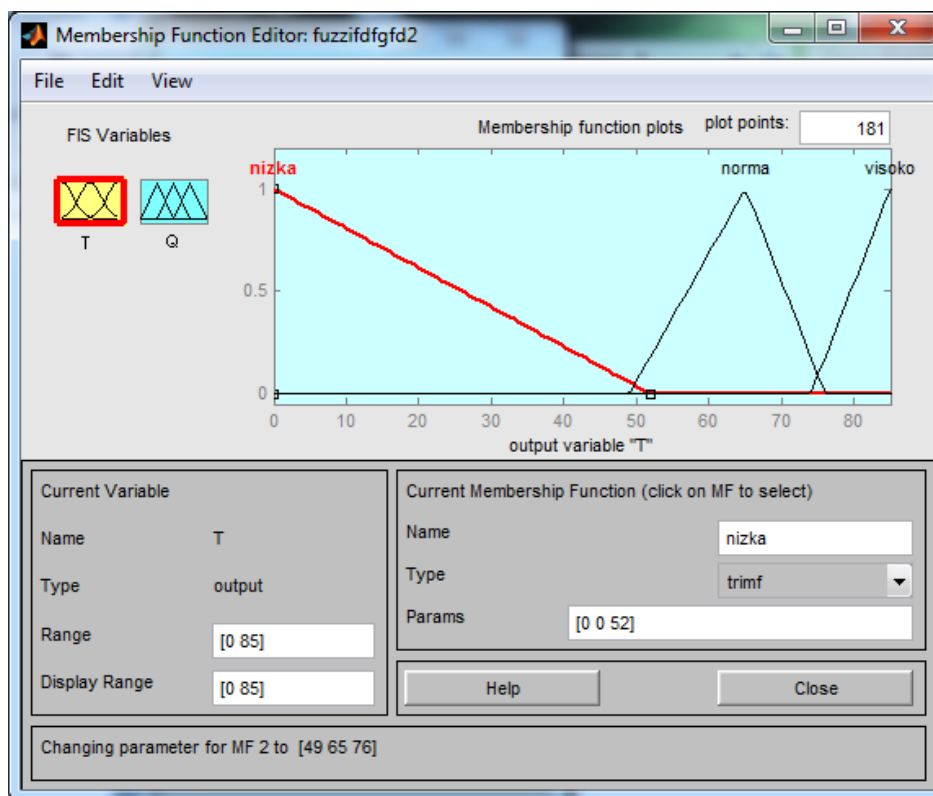


Рис 3.24. Функції належності для термів вихідної змінної мутності

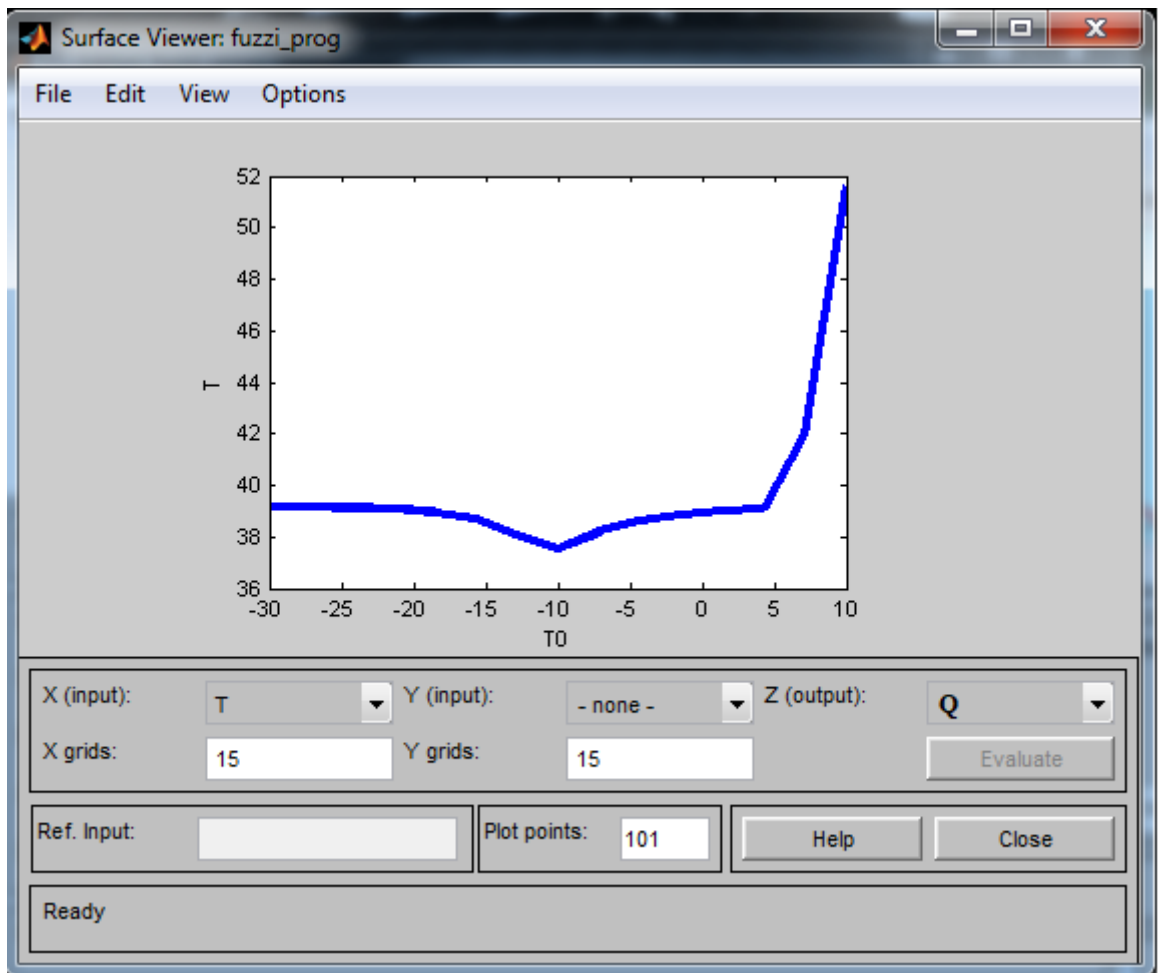


Рис 3.25. Поверхня відгуку для нечіткого регулятора, за трьох правил.

Ми отримуємо подібну з вищевикладеними залежність, оскільки закон керування регулятора подібний з пропорційним.

Тепер побудуємо вдосконалений нечіткий регулятор уже на основі п'яти правил такого вигляду:

If (level is okay) then (valve is no change)

If (level is low) then (valve is open fast)

If (level is high) then (valve is close fast)

f (level is okay) and (rate is positive), then (valve is open slow)

If (level is okay) and (rate is negative), then (valve is close slow)

Тут ми до минулих трьох додаємо ще два правила, які враховують знак похідної, щоб на «нормальному» рівні плавно відслідковувати тенденції зміни рівня рідини.

До того ж дослідження проведені при модифікації першого правила у

вигляді:

If (level is okay) and (rate is null) then (valve is no change)

Така заміна дає невеликий вигреш у часі моделювання, що можна бачити на нижче наведених графіках.

Тепер нечіткий регулятор має дві вхідні змінні, одна залишається для рівня рідини, інша для знака похідної.

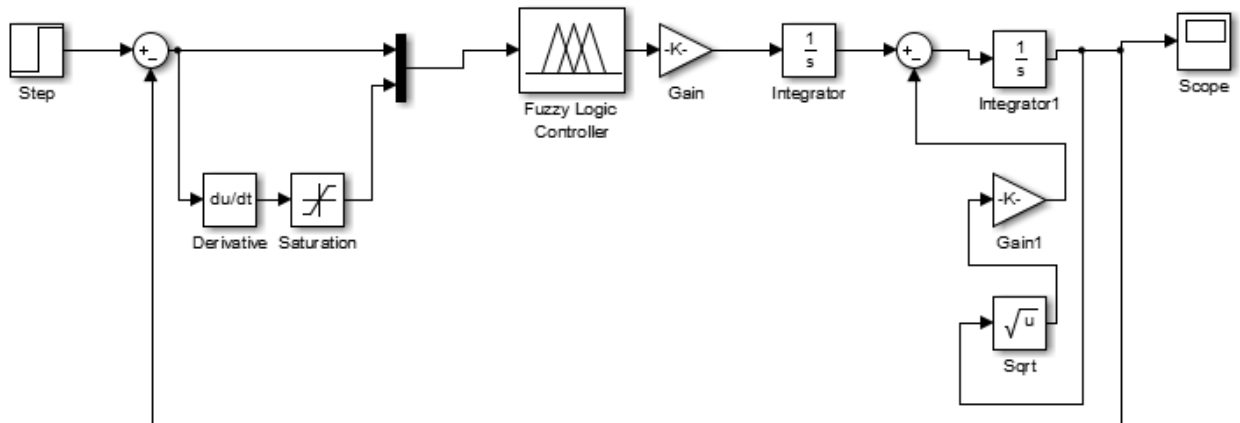


Рис 3.26. Схема об'єкта з нечітким регулятором, п'ять правил.

У ході моделювання були отримані наступні графіки зміни мутності:

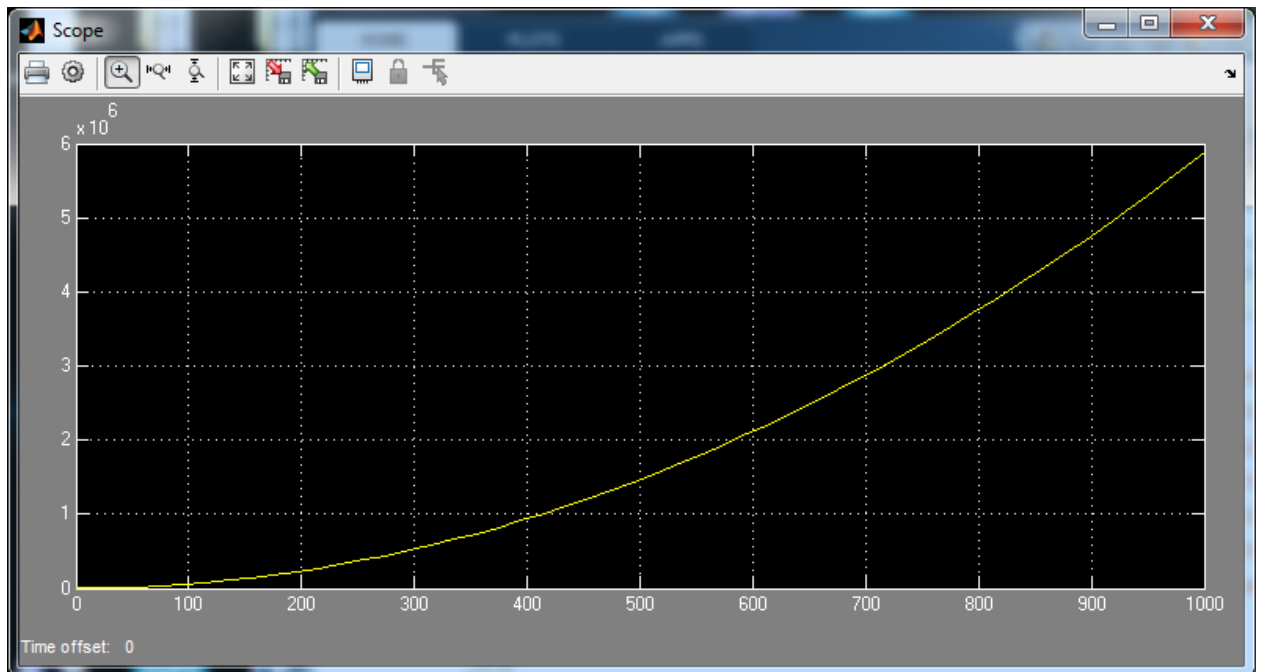


Рис. 3.27. Зміна мутності пива в системі з нечітким регулятором (5 правил), початковий рівень - 0.5, при вихідних правилах.

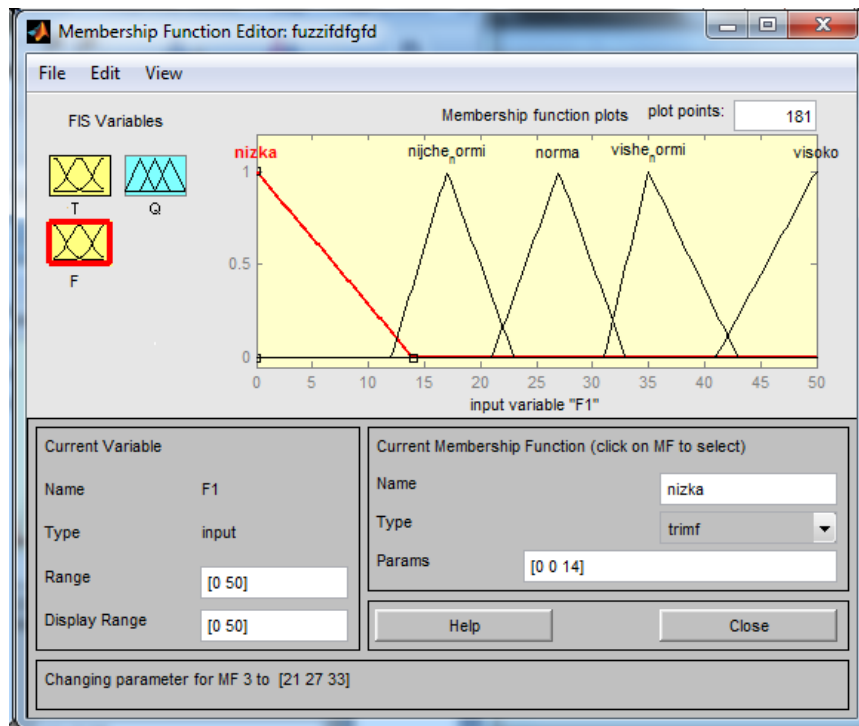


Рис 3.28. Функції належності для термів вхідної змінної витрати пивного сула.

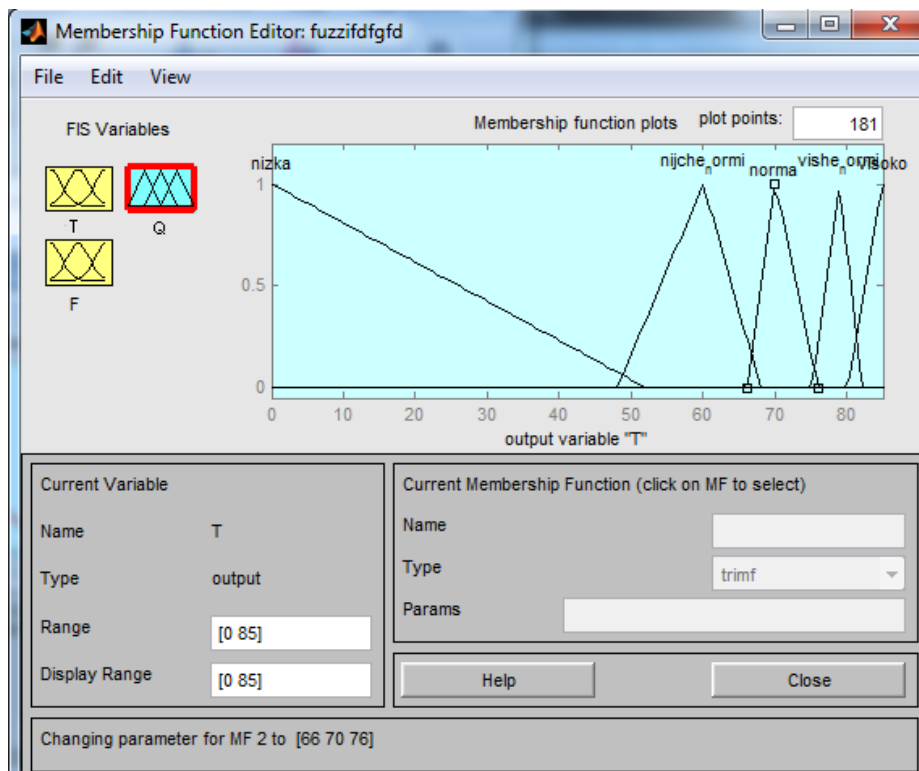


Рис. 3.29. Функції приналежності для термів вихідної змінної мутності пивного сула.

Як ми можемо бачити, ми додаємо ще два терма для вихідної змінної, відповідні меншій швидкості відкривання (закривання) клапана. Функції

належності для вхідної змінної рівня рідини були істотно змінені порівняно з аналогічними в регуляторі для 3 правил. 21

Відповідним підбором типів і форм функцій належності вдалося домогтися як нормальної якості процесів без значного перерегулювання, так і прийнятної точності.

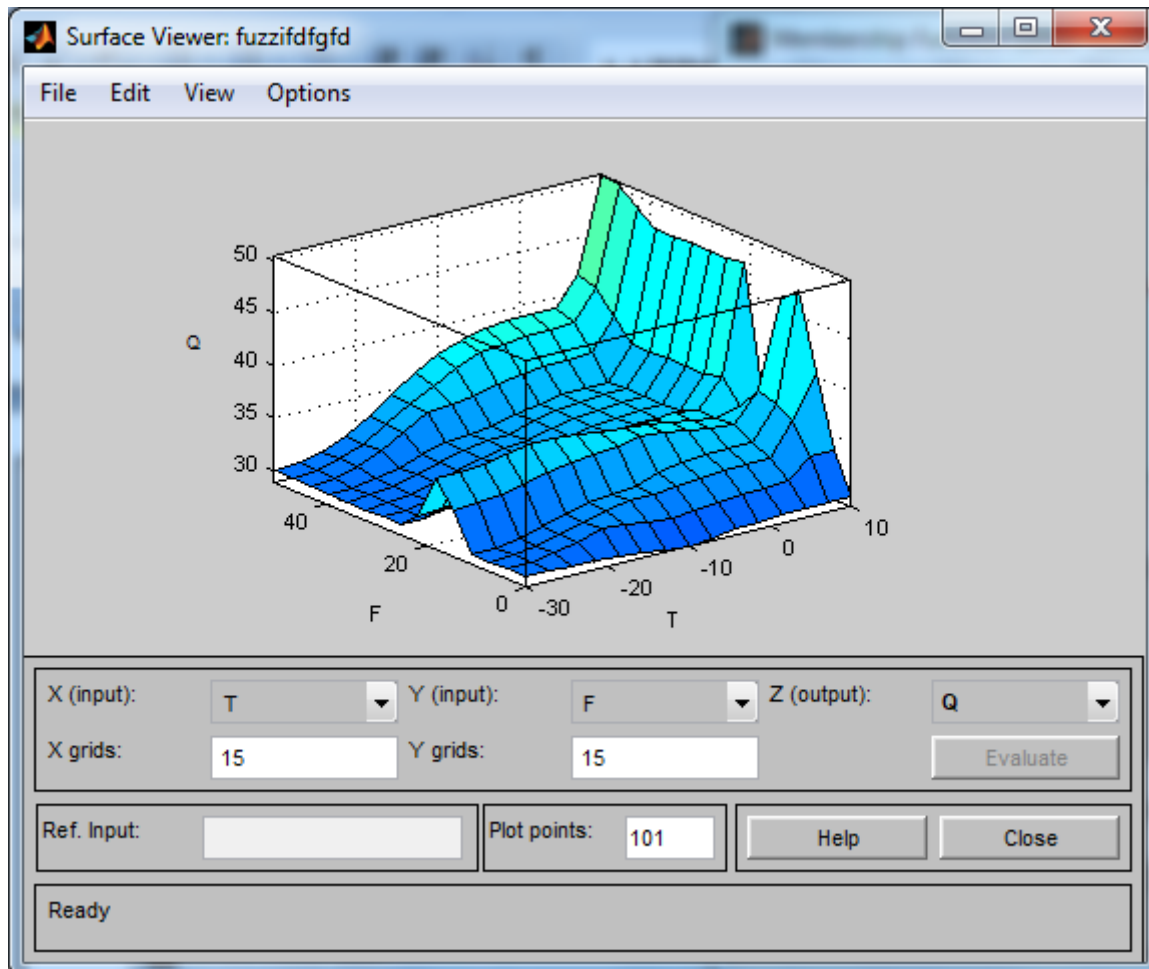


Рис 3.29. Поверхня відгуку для нечіткого регулятора. за п'яти правил.

Висновки

Була проведена лінгвістична апроксимація основних змінних технологічних процесів виробництва пива та формалізація змінних на прикладі змінної “прозорість сусла”, визначені фактори, які безпосередньо чи опосередковано впливають на режими роботи пивоварного виробництва. Такими факторами є: фізико-хімічні показники води, якісні показники свіжопророслого солоду, якісні показники товарного солоду, показники лабораторного сусла, якість хмелю, якість помелу зернопродуктів, ступінь подрібнення зернопродуктів, параметри затирання зернопродуктів, ступінь (якість) фільтрації сусла, ступінь освітлення сусла, прозорість сусла, якість пропagaції дріжджів, ступінь зброджування, ступінь (якість) фільтрації пива.

На основі цих даних побудований сценарій управління технологічним комплексом виробництва пива. Суть цього сценарію полягає в наступному: технологічний комплекс описується за допомогою А-сценарію на основі об’єктних потоків, враховуючи всі фактори впливу та цілі, яких необхідно досягти. Це забезпечує виявлення зв’язків між технологічними елементами, які важко прослідкувати, та їх вплив на ситуації, що виникають у процесі функціонування.

Також була здійснена постановка та розв’язання задачі мережевої оптимізації процесів приготування пива. Зокрема запропоновано вирішувати задачі мережевої оптимізації наступним чином: вирішувати задачу мережевої оптимізації процесів приготування пива на основі апарату мереж Петрі, наклавши певні обмеження на клас розв’язуваних завдань, що дозволило виділити із всієї множини мереж Петрі певний підклас із необхідними властивостями.

В подальшому отримані результати планується використати для побудови сценаріїв керування технологічними процесами пивоварного виробництва для створення системи підтримки прийняття рішень, що

дозволить підвищити якість готового продукту та зменшити матеріальні та енергетичні втрати.

Для кожного з параметрів було створено п'ять функцій належності, відповідно до технології. За для забезпечення відповідного та точного до технологічного регламенту, процесу керування системою, було створено 30 правил.

Основні етапи побудови системи інтелектуального управління на основі нечіткої логіки:

1. Визначення входів і виходів системи, що створюється.

З аналізу процесу було визначено 3 входи (витрата пивного сусла з трубопроводу, тиск у бродильному апараті, температура у бродильному апараті) і 2 виходи (мустність пивного сусла і витрати готового зброженого пивного сусла) процесу.

2. Визначення для кожного входу і виходу функції належності.

Функція належності являє собою імовірну оцінку, що показує наближене відтворення числового діапазону до лінгвістичного поняття. Для вхідних і вихідних параметрів використовувались такі функції належності: «низька», «нижче норми», «норма», «вище норми», «висока». В роботі використано трикутну функцію належності і алгоритм Мамдані, приведення до чіткості приводиться центроїдним методом.

За алгоритмом Мамдані була розроблена експертна система, у якій були враховані основні технологічні фактори.

3. Розробка правил для нечіткої системи.

Для використання у системі керування сформульовано також необхідні продукційні правила.

4. Вибір і реалізація алгоритму нечіткого висновку.

Запропоновано алгоритм керування за наявності обмежень на показники якості й урахуванням кліматичних змін за межами котлової. Визначено лінгвістичні змінні й функції належності для реалізації нечітких моделей.

Створено базу нечітких правил, нечітких висновків на основі обраних змінних та їх функцій належності.

5. Аналіз результатів роботи системи, що створена.

Визначено лінгвістичну апроксимацію параметрів, сформовані правила нечіткого висновку.

Результат роботи відображено за допомогою графічного відображення роботи алгоритму нечіткого висновку та поверхонь відгуків відповідних величин та графічного відображення алгоритму нечіткого висновку.

Список використаних джерел

1. Теліс П.І. Автоматизація безперервного процесу затирання в пивоварінні / ЦНІТЕЇ ПЩЕПРОМ. - М.: ЦНІТЕЇ ЇЖОПРОМ, 1967. - С. 32.
2. Теліс П.І. Дослідження оцукрівника для безперервного затирання в пивоварному виробництві як об'єкта автоматизації: Автореф. дис. ... к.т.н. / Київський технологічний інститут харчової промисловості. - К., 1969. - 26 с.
3. SIMATIC . Totally Integrated Automation . Розроблено та впроваджено нашими українськими партнерами // ДП «Сіменс Україна», департамент «Засоби автоматизації та приводи». - К.: 2007. - 256 с.
4. Кафаров В.В., Дорохов І.М., Кольцова Е.М. Системний аналіз процесів хімічної технології : Ентропійний та варіаційний методи нерівноважний термодинаміки в задачах хімічної технології /В.В. Кафаров , І.М. Дорохов , Е.М. Кільцова. - М. : Наука, 19 88 . - 367 с.
5. Кафаров В.В. Основи масопередачі /В.В. Кафарів. - М. : Вищ . школа, 1979. - 439 с.
6. Ліпатов Л.М. Типові процеси хімічної технології як об'єкти управління / Л.М. Ліпатов. - М. : Хімія , 1973. - 320 с.
7. Федоткін І.М. Математичне моделювання технологічних процесів /І.М. Федоткін. – Київ : Вища школа, 1988. - 415 с.
8. Остапчук Н.В. Основи математичного моделювання процесів харчових виробництв [2-ге вид ., дод . і перероб .]/Н.В. Остапчук. - До. : Вища школа, 1991. - 368 с.
9. Математичне моделювання процесів харчових виробництв : Зб. завдань: [учебне посібник] / Н.В. Остапчук, В.Д. Камінський , Г.М. Станкевич , В.П. Чуй ; під ред. Н.В. Остапчук. - До. : Вища школа - 175 с.
10. Кафаров В.В. Принципи математичного моделювання хіміко-технологічних систем/В.В.Кафаров, В.Л. Перов, В.П.Мешалкін. - М.: Хімія, 1974. - 344 с.

11. Жужиков В.А. Фільтрування : Теорія та практика поділу суспензій / В.А. Жужиків . - М .: Хімія , 1980 . - 400 с.
12. Федоткін І.М. Гідродинамічна теорія фільтрування суспензій/І.М. Федоткін, Є.І. Воробйов, В.І. В'юн. - Київ . : Вища шк , 1986. - 166 с.
13. Малиновська Т.А. Поділ суспензій у хімічній промисловості / Т.А. Малиновська, І.А. Кобринський, О.С Кірсанов. - М.: Хімія, 1983. - 264 с.
14. Федоткін І.М. Інтенсифікація технологічних процесів /І.М. Федоткін . – Київ : Вища шк ., Головне вид -во, 1979. - 344 с.
15. Федоткін І.М. Інтенсифікація технологічних процесів харчових виробництв /І.М. Федоткін, Б.Н.Жарік , Б.І.Погоржельський . – Київ : Технік , 1984. - 176 с.
16. Федоткін І.М., Гулий І.С. Математичне моделювання , теорія технологічних процесів та їх інтенсифікації [Навчальне посібник] / І.М. Федоткін, І.С. Гулий . – Київ : Арктур -А, 1998. - 416 с.
17. Кафаров В. В. Моделювання біохімічних реакторів / В.В. Кафаров , А.Ю. Вінаров , Л.С. Гордєєв та ін . - М. : Лісова. промисловість , 1979. - 342 с.
18. Кафаров В. Ст . / В.В. Кафаров , І.М. Дорохов , В.І. Павловська // Спільна біологія . - 1980. - Т. 11, №5. З. _ 713-724.
19. Яровенко В.Л. Моделювання та оптимізація мікробіологічних процесів спиртового виробництва / В.Л.Яровенко , Л.А.Ровинський . - М. : Їжа . пром-сть , 1978. - 247с.
20. Клименюк О. В. Системний підхід до інтенсифікації технологічних процесів / О.В. Клименюк . – Тернопіль : Лілея, 1998, - 264 с.
21. Автоматизація біотехнологічних процесів : Автоматичний контроль, оптимізація та управління / [Ю.Ю. Станішкіс , Д.Я. Левішаускас , Р.І. Сімутіс , У.Е. Віестур , М.Ж. Крістапсонс] ; під . ред. У.е. Віестура . - Рига : Зінатне , 1992. - 348 с.
22. Кафаров В.В. Моделювання біохімічних реакторів / В.В. Кафаров , А.Ю. Вінаров , Л.С. Гордєєв . - М. : Лісова. промисловість , 1979. - 342 с.

23. Trelea, IC, Titica, M., Landau, S., Latrille, E., Corrieu G., Cheruy, A., 2001b. A predictive modelling of brewing fermentation : from knowledge-based to black-box models . *Mathematics and Комп'ютери in Simulation* , 56: 405-424.
24. Trelea, IC, Latrille, E., Landau S., Corrieu, G., 2002. Prediction of confidence limits for diacetyl concentration during beer fermentation . *J. Am. Soc. Brew. Chem.* , 60:77-87.
25. Gauthier, JP, Hammouri, H., Othman, S., 1992. A simple observer for nonlinear systems : applications to Bioreactors . *IEEE T. Autom. Control* , 37 (6): 875-880 .
26. Daniel P. Dougherty Енергійний Dynamic Model для Variable Temperature Batch Fermentation *Lactococcus lactis* / Daniel P. Dougherty, Frederick Breidt, Jr., Roger F. McFeeters, і Sharon R. Lubkin . 68, No. 5, p. 2468-2478.
27. Kristina Hoffmann Larsen Beer pasteurization models / Kristina Hoffmann Larsen // Kongens Lyngby Technical University of Denmark Informatics and Mathematical Modelling March 16, 2006.
28. Gee, DA, Ramírez, FW, 1988. Optimal temperature control for batch beer fermentation . *Biotech. and Bioeng.* , 31:224-234.
29. Дворецький Д.С. Комп'ютерне моделювання біотехнологічних процесів та систем [у ч. п особ.] / [Д.С. Дворецький, С.І. Дворецький, Є.І. Муратова, А.А. Єрмаків] . - Тамбов : Вид -во Тамб.гос . техн.ун -та, 2005. - 80с.
30. Грачова І.М. Застосування математичної моделі для виявлення впливу температури бродіння на процес утворення вищих спиртів та біомаси дріжджів / І.М. Грачова, Л.Є. Михайлова, Л.І. Нісман, В.В. Жуковська // Ферментна та спиртова промисловість. 1973. №6. - С. 9-12.
31. Фараджева О.Д. Дослідження ферментативних процесів під час приготування пивного суслу / О.Д. Фараджева, А.Ф. Федоров // Ферментна та спиртова промисловість. 1965. №6. - С. 10-13.
32. оптимізація метаболічних процесів : застосування до біосинтезу флавінових коферментів у дріжджів /

33. Чистякова Є.А. Дослідження кінетики ферментативного гідролізу ячмінного крохмалю / О.О. Чистякова, А.Р. Сапронов // Ферментна та спиртова промисловість. 1972. №5. - С. 33-35.
34. Коваленко В.І. Кінетика ферментативного гідролізу при затиранні / В.І. Коваленко, Л.А. Данилова, А.П. Колпакчі, К.А. Калунянц // Ферментна та спиртова промисловість. 1983. №5. - С. 36-38.
35. Бендецький К.М. Кінетика ферментативного гідролізу крохмалю / К.М. Бендецький, В.Л. Яровенко // Ферментна та спиртова промисловість. 1976. №6. - С. 39-42.
36. Каньшин В.І. Оптимізація оцукрювання крохмалевмісної сировини / В.І. Каньшин, Б.А. Устинніков, І.К. Петров // Ферментна та спиртова промисловість. 1983. - №2. - С. 31-32.
37. Ровинський Л.А. Математичний опис кінетики процесу оцукрювання / Л.А. Ровинський, Б.А. Устинніков // Ферментна та спиртова промисловість. 1974. №3. - С. 20-22.
38. Коваленко В.І. Кінетика ферментативного гідролізу у процесі затирання / В.І. Коваленко, Л.А. Данилова, А.П. Колпакчі, К.А. Калунянц // Ферментна та спиртова промисловість. 1984. №5. - С. 31-34.
39. Кобелєв К.В. Кінетика ферментативного гідролізу нерозчинного ячмінного крохмалю / К.В. Кобелєв, Р.А. Колчева, К.А. Калунянц, І.А. Попадич // Ферментна та спиртова промисловість. 1981. №8. - С. 28-31.
40. Єрмольєв Ю.М. Математичні методи дослідження операцій. [Уч. посіб. для вузів] / [Ю.М. Єрмольєв, І.І. Ляшко, В.С. Михалевич, В.І. Тюття]. - Київ : Вища школа. Головне вид-во, 1979. - 312 с.
41. Бутунер Л.М., Математичні методи у хімічній техніці / Л.М. Бутунер, М.Є. Позин. - Л. : Хімія, 1971. - 824 с.
42. Афанасьєв Н.М. Основи методу операторів максимуму у просторі управліннь / Н.М. Афанасьєв. - Донецьк : ПММ, 1989. - 46 с.
43. Букреєв В.З. Математичні методи та моделі в розрахунках на ЕОМ: Математичні моделі технічних систем та оптимальне управління [Уч.

- посіб .] / В.З. Букреев , А.Г. Орлов [Ріс. заочн . ін -т текстил . і легко . пром -ти, Кафедра інформатики] . - РЗІТЛП, 1996. - 20 с.
- 44.Гурін Л.Г. Принцип максимуму в задачі оптимального керування зі змінною структурою та невизначеними параметрами / Л.Г. Гурін , Р.С. Миронова. - М. : ВЦ АН СРСР, 1986. - 42 с.
- 45.Баранов В.В. Рекурентні методи оптимальних рішень у стохастичних системах: (марк . процеси рішень) / В.В. Баранів. – Харків : Вища школа, 1981. - 145 с.
- 46.Погода А.К. Адаптація та оптимізація в системах автоматизації та управління : [Монографія] / А.К. Погодаєв , С.Л.Блюмін . – Липець : ЛЕГІ, 2003. - 128с.
- 47.Юдицький С.А. Сценарний підхід до моделювання поведінки бізнес - систем /С.А. Юдицький ; – М. : Синтег , 2001. - 108 с.
- 48.Юдицький С.А.Технологія вибору цілей при проектуванні бізнес систем / С.А.Юдицький , П.М. Владиславльов // Прилади та системи управління . - 2002. - № 12. - З 60-66.
- 49.Юдицький С.А. Цільове моделювання організаційних систем /С.А. Юдицький // Прилади та системи управління . - 1999. - № 12. - С. 62-66.
- 50.Місюра М.Д. Інтелектуальне управління технологічними комплексами на основі сценарного підходу/В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх , М.Д. Місюра // Тези доповідей учасників міжнародної науково-практичної конференції [«Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології»], (Чернівці, 19-21 травня 2004 р.) – Чернівці, 2004, – С.19-20.
- 51.Місюра М.Д. Управління технологічними процесами виробництва пива / М.Д. Місюра , В.Д. Кишенько // Матеріали 11-ої міжнародної конференції з автоматичного управління [“Автоматика 2004”], (Київ, 27-30 вересня 2004 р.) – Т. 2. – Київ, 2004. – С. 44.