

Міністерство освіти та науки України
Шосткинський інститут
Сумський державний університет
Факультет денної форми навчання
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. Кафедри СІТ
Худолей Г.М.
“ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»
на тему:
“Система управління технологічної лінії виробництва етилового ректифікаційного харчового спирту”

Керівник роботи
ст викладач, к.т.н.

Г.М. Худолей

Виконав:
студент групи СУ-91ш

Д.О. Погребняк

Реферат

Погребняк Даниїл Олексійович. Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: "Система управління технологічної лінії виробництва етилового ректифікаційного харчового спирту". Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2023 рік

Робота складається з пояснювальної записки і графічної частини.

Пояснювальна записка містить 60 друкованих сторінок формату А4 (210x297). При виконанні роботи було використано 8 літературних джерел.

Робота складається з 7 розділів, які містять 35 рисунків, 4 таблиці з даними.

В кваліфікаційній роботі поданий опис технологічного процесу лінії етилового ректифікаційного харчового спирту, розглянуто основне технологічне обладнання та параметри, що впливають на ефективність процесу.

В ході виконання роботи було розроблено функціональну схему автоматизації. Були підібрані необхідні засоби автоматизації для даної системи.

Ключові слова: етиловий ректифікаційний спирт, керування, система автоматизації.

Abstract

Daniil Pogrebnyak. Qualification work of a bachelor on the topic: "Control system for the technological line of production of ethanol rectification food-grade alcohol." Shostka institute of the Sumy state University. Shostka, 2023 year.

The work consists of an explanatory note and a graphic part.

The explanatory note contains 60 printed pages of A4 format (210x297). The work was based on 8 literature sources.

The work consists of 7 chapters, which contain 35 figures, 4 tables with data.

The qualification work presents a description of the technological process of ethanol rectification food-grade alcohol production line, considers the main technological equipment and parameters that affect the efficiency of the process. In the course of the work, an automation scheme was developed. Necessary automation tools for this system were selected.

Keywords: of ethanol rectification food-grade alcohol, control, automation system.

ЗМІСТ

Список скорочень та умовних позначень	4
Вступ	5
1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації	6
2 Аналіз параметрів технологічного процесу	12
3 Вибір каналів контролю та управління	13
4 Вибір засобів автоматизації	19
5 Розрахункова частина	28
6 Алгоритм роботи системи управління	46
7 Розробка АСУТП та структурної схеми	52
Висновок	59
Список використаних джерел	60

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АРМ – автоматизоване робоче місце
- АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач
- ВО – виконуючий орган
- ВМ – виконуючий механізм
- КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика
- ОУ – об'єкт управління
- П-регулятор – пропорційний регулятор
- ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор
- ПІД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор
- ПЗ – програмне забезпечення
- ПЗО – пристрій зв'язку з об'єктом
- ПЛК – програмований логічний контролер
- ПК – персональний комп'ютер
- ПТК – програмно-технічний комплекс
- ПЧ – перетворювач частоти
- ПУ – пристрій управління
- РКІ – рідкокристалічний індикатор
- РО – робочий орган
- САПР – система автоматизованого проектування
- САР – система автоматичного регулювання
- САУ – система автоматичного управління
- ТО – термоперетворювач опору
- ТП – технологічний процес
- ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач
- ЦП – центральний процесор
- ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

ВСТУП

В даній бакалаврській роботі розглядається розробка системи автоматизації процесу виробництва етилового ректифікаційного харчового спирту.

Даний процес є важливою складовою у харчовій та хімічній промисловості, і правильне його управління має велике значення для забезпечення якості та ефективності виробництва.

Сучасний промисловий сектор стикається з викликами, пов'язаними зі зростанням конкуренції, посиленням вимог до якості продукції, енергоефективності та безпеки промислових процесів. У цьому контексті важливо розробити та застосувати систему управління, яка забезпечить оптимальний контроль над технологічною лінією виробництва етилового ректифікаційного харчового спирту.

Основною метою дослідження є розробка ефективної системи управління, яка дозволить забезпечити стабільність та високу якість продукції, мінімізувати втрати матеріалів та енергії, а також знизити ризик виникнення аварійних ситуацій. Для досягнення цієї мети будуть використані сучасні методи та інструменти управління, такі як автоматизація технологічних процесів, застосування систем моніторингу та контролю, оптимізація параметрів процесу та інше.

Дипломна робота базується на вивченні наукових джерел, аналізі вже існуючих рішень та практик у галузі виробництва етилового ректифікаційного спирту, а також на практичних дослідженнях у реальних умовах. Отримані результати сприятимуть розробці конкретних рекомендацій та рекомендацій для впровадження системи управління виробництвом етилового ректифікаційного харчового спирту у практику промислових підприємств.

Дослідження на тему системи управління технологічною лінією виробництва етилового ректифікаційного харчового спирту має велике теоретичне та практичне значення для промислового сектора. Впровадження ефективної системи управління сприятиме підвищенню якості та ефективності виробництва, забезпеченню сталого розвитку підприємств і сприянню конкурентоспроможності на ринку.

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Етиловий спирт являє собою прозору рідину, без кольорового окрасу, без сторонніх присмаків та запахів. Він отримується з сировини харчових груп (цукровий буряк, тростникові та бурякові меласи, безпосередньо цукор, картопля, зерно тощо).

Головною галуззю, яка використовує етиловий спирт, є харчова промисловість. З нього виробляється широкий спектр продукції: весь модельний ряд горілчаних виробів, оцети, харчові ароматизатори тощо [1].

Ректифікаційний спирт сортується в залежності від ступеня своєї чистоти: перший сорт має 96 об. %, вищий сорт має 96,2 об. %, екстра має 96,5 об. %, люкс має 96,3 об. %.

За допомогою дріжджів сімейства сахароміцетів цукор зброджують в спирт. Цей метод має назву мікробіологічного. Установки, які слугують цьому, називаються брагоректифікаційними.

Брагоректифікаційне устаткування може бути як косвеної дії, косвено-прямоточної та вакуумним. Це різноманітні бражні колони, епюраційні колони, ректифікаційні колони, брагоепюраційні колони, епюраційні колони, ректифікаційні колони.

Виготовлення ректифікаційного спирту зі спирту сирця робиться за допомогою ректифікаційного обладнання, до складу якого входять епюраційні та ректифікаційні колони.

Слід зазначити, що в цьому процесі важливий вплив на якість готового продукту чинить кількість сивушного масла, яке виділяється під час процесу. Тому ректифікаційне та брагоректифікаційне устаткування споряджають додатковими колонами: сивушними, очисними та екстракторними колонами.

Не залежно від сировини, яку беруть за основу для виготовлення етилового спирту, технологічна лінія завжди починається зі стадії мийки, очистки від бруду та каміння. Далі сировина подрібнюється і поступає апарати теплової обробки.

Наведемо впливові етапи технологічного процесу виготовлення етилового спирту з сировини, що містить крахмаль:

- підготовка сировини до використання та переробки;
- розварювання сировини, що містить в своєму складі крахмаль (для цього може використовуватися як обробка водяною парою високо тиску, так і спеціалізовані бактеріальні сполуки паралельно з нагрівом до температур 60...90 °С);
- процес сахаризації сировини;
- культивування дріжджової маси;
- зброджування сахаризованої сировини;
- перегін браги;
- ректифікація спирту етилового.

Виготовлення етилового спирту з сировини, що містить цукор, має менше технологічних етапів. Наведемо їх також:

- підготовка сировини до зброджування;
- культивування дріжджової маси;
- зброджування суслу;
- вилучення спирту з браги;
- очистка спирту етилового.

Зазначимо, що окрім основного устаткування для виготовлення спирту етилового, використовується багато допоміжного устаткування [3]: подрібнювачі, змішувачі, сепаратори, центрифуги, охолоджувачі тощо. І що їх роль хоч і є допоміжною, але не менш значущою.

Оскільки в якості сировини для виготовлення спирту етилового найчастіше використовується зерно (45...55% всього виробництва спирту), надалі розглядатимемо саме таку технологію.

1.1 Опис технологічної лінії виробництва спирту етилового з сировини, що містить крахмаль

Технологічну лінію виробництва спирту етилового з сировини, що містить крахмаль, зображено на рисунку нижче:

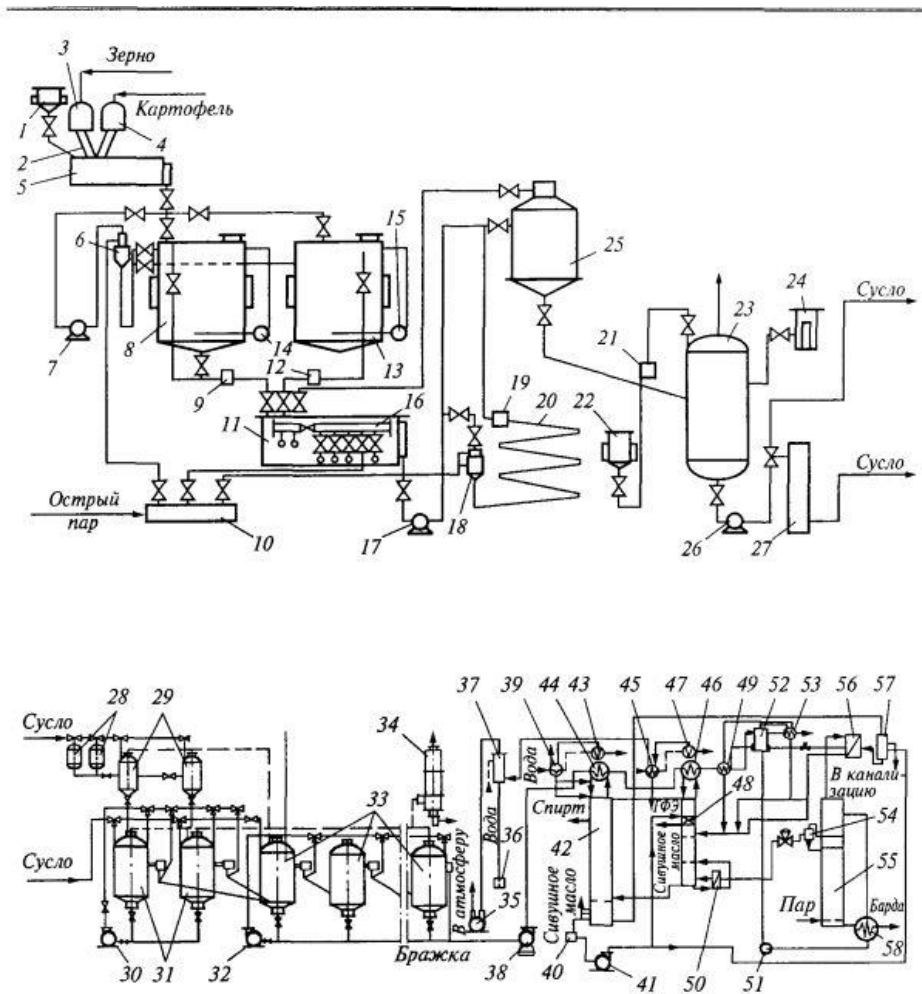


Рисунок 1 – Технологічна лінія виробництва спирту етилового з сировини, що містить крохмаль

Зерно – сировина, з якої буде вироблено спирт етиловий – подрібнюється в молотковому подрібнювачі 3. Після чого через лоток 2 поступає в змішувач 5. Тут до подрібненого зерна додається тепла (температура 60...65 °С) вода та ферментативний препарат (мова йде про α -амілазу, що подається зі збірника 1).

Змішування відбувається протягом 10...12 хвилин. Співвідношення зерна та води 1:3. Температуру суміші підтримують на рівні 50...55 °С.

За рахунок цього в змішувачі розпочинається початковий етап розчинення крохмалю та сухих речовин. α -амілаза в свою чергу надає суміші специфічного агрегатного стану, за якого вона починає текти.

Насос 7 штовхає суміш на контактну головку 6. Тут суміш підігрівається паром до 70...72 °С. Пара подається з розподільника 10. Після апарату 6 суміш

подається до апарату гідродинамічної обробки 8, далі до апарату 13 ферментативної обробки I ступеню.

Коли апарат заповнюється на 1/3, центробіжні насоси 14 та 15 перемішують суміш. Температура при цьому утримується в межах 65...70 °С.

Тут суміш витримується 3,5...4 години. Таким чином крахмаль та сухі речовини розчиняються ще більше.

Тепер суміш за допомогою дозуючих пристроїв 9 та 12 відводиться до апарату 11 гідродинамічної та ферментної обробки II ступеню. Цей апарат орієнтований горизонтально, розділений на три відсіки, має мішалки 16.

В першому відсіку апарату 11 суміш перемішується та витримується 15...16 хвилин за температури 65...72 °С.

В другому відсіку апарату 11 ця суміш нагрівається гострою парою до температури 72...75 °С і знову витримується 15...16 хвилин.

В третьому відсіку суміш нагрівається парою до температур 85...95 °С.

Тепер суміш нагнітається через стерилізатор 20 та регулюючий клапан 19 до парового сепаратору 25.Звідти суміш відводиться на процес цукрування.

Технологічний процес також містить контактну головку 18. Вона застосовується в тих випадках, коли сировина неякісна, а отже потребує більш високої температури стерилізації.

Під час процесу цукрування стерилізована суміш у випарювачі 23 змішується з глюкоамілазою. Також сюди зі збірника 24 подається формалін, який пригнічує розвиток кислотоформуєчих бактерій під час бродіння. Глюкоамілаза дозується дозатором 21 і поступає зі збірника 22. Отримана суміш витримується 30...35 хвилин за температури 55 °С.

У випарювачі 23 збирається сусло, яке за допомогою насосу 26 подається до теплообмінника 27. Далі, після охолодження до 18...20 °С, поступає в апарати бродіння 31 та 33.

Бродіння відбувається безперервно-проточним методом. Для цього дріжджі через апарати 28 та 29 подаються до головного апарату бродіння 31. Сусло з нього поступово подається в апарати 33.

Далі зріла бражка насосом 38 подається до дефлегматору ректифікаційної колони 43. Спирт уловлюється спиртовловлювачем 34.

На випадок проведення дезинфекції апаратів, сусло видаляється насосами 30 та 32.

Брагоректифікаційний вакуумний апарат слугує для виділення спирту з браги, а також для очистки спирту-сирця. Як ми вже зазначали раніше, такий апарат складається з трьох колон (брагоепюраційної 55, епюраційної 48 та ректифікаційної 42), теплообмінників, допоміжних ємностей та насосів.

В дефлегматорі 43 брага нагрівається за рахунок тепла спиртових парів до 40...50 °С. Далі, через теплообмінник, брага поступає до дефлегматору епюраційної колони 46. Тут відбувається її догрів до 50...55 °С за рахунок водно-спиртових парів епюраційної колони 48. Після цього поступає в додатковий підігрівач браги 49. Тут незконденсовані в дефлегматорі 56 водно-спиртові розчини брагоепюраційної колони 55 доводять брагу до температури 70...75 °С.

Остаточний догрів браги до температури 85...90 °С відбувається в підігрівачі браги 50.

Нагріта брага поступає в сепаратор 52. В конденсаторі 53 вона звільняється від діоксида вуглероду. Далі насосом 51 подається на верхню тарілку брагоепюраційної колони 55.

Брагоепюраційна колона складається з 34 тарілок. 18 тарілок розташовані у відгінній частині колони, 11 тарілок – в епюруючій частині колони, 5 тарілок призначені для уловлювання піни.

Епюруюча та відгонна частини колони відокремлені одна від одної циліндричною обічайкою.

Частина спирту відганяється з браги в епюруючій частині колони 55. Спирт (разом з домішками) у вигляді пари поступає до випарника. Лютерна вода випаровується, конденсується і йде до колектору брагового дистиллята 56.

Епюрована брага направляється до відгонної частини брагоепюраційної колони 55. Тут, за тиску 150...170 кПа спирт відганяється повністю. Барда віддає тепло в теплообміннику 586 охолоджується до 70...75 °С.

Парова суміш води та спирту через піновловлювач 54 поступають до кип'ятильника 50, прогрівають епіюраційну колону. Отриманий конденсат спрямовується на 10 або 15 тарілки епіюраційної колони 48. А дистилят з колектора 56 поступає на 20 та 25 тарілки тієї ж колон 48.

Загалом епіюраційна колона 48 має тридцять дев'ять тарілок. Дві третини цих тарілок виварюють домішки, одна третина концентрує домішки, одна третина працює в режимі гідроселекції. Вся ж колона працює під робочим тиском 50...65 кПа.

Ректифікаційна колона 42 має в своєму складі 81 тарілку. Половина з них працює на зміцнення спирту, чверть тарілок відганяє спирт, ще чверть – пастеризує його.

Колона 42 має дефлегматор 43, конденсатор 44, спиртовловлювач 39. Робочий тиск в колоні 50...70 кПа.

Відбір ректифікованого спирту відбувається з 72...75 тарілок ректифікаційної колони.

Вакуум, який необхідний для роботи колон 55, 46 та 42, створюється вакуумним насосом 35. 37 – барометричний конденсатор, 36 – збірник барометричної води.

2 АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Ретельний аналіз технологічного процесу виготовлення спирту етилового дозволяє розробити перелік основних параметрів, а аналіз технологічної карти – оперувати номінальними значеннями.

Структурування даних в таблицю допоможе в наочному представленні інформації:

Таблиця 1 - Параметри технологічного процесу виробництва спирту етилового

Місце встановлення	Назва параметру	Значення		Відхилення	Функція
		min	max		
Контактна головка	Температура	66,5 °C	73,5 °C	5%	контроль, управління, сигналізація
Стерилізатор	Температура	85,5 °C	94,5 °C	5%	контроль, управління, сигналізація
Теплообмінний апарат	Температура	19 °C	21 °C	5%	контроль, управління, сигналізація
Підігрівач бражки	Температура	85,5 °C	94,5 °C	5%	контроль, управління, сигналізація
Брагоепюраційна колона	Температура	85,5 °C	94,5 °C	5%	контроль, управління, сигналізація

3 ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

Після опису та аналізу технологічного процесу виробництва харчового етилового спирту було визначено параметри, які мають визначальний вплив на цей процес.

Далі за допомогою технологічних карт було сформовано таблиці з номінальними значеннями величин.

Тепер, базуючись на виконаній роботі, зпроектуємо канали управління та контролю раніше визначених параметрів, а також канали блокування та захисту.

3.1 Канали контролю та управління

3.1.1 Температура в контактній головці

Як вже зазначалося вище, в контактній головці відбувається стерилізація суміші. З метою підвищення якості цього процесу, обов'язково необхідно регулювати температуру в контактній головці.

З цією метою встановимо датчик температури всередині цієї установки.

Регулювання температури в контактній головці відбувається за допомогою відкриття/закриття клапану подачі водяної пари.

Контур регулювання температури в контактній колоні зображено на рисунку нижче:

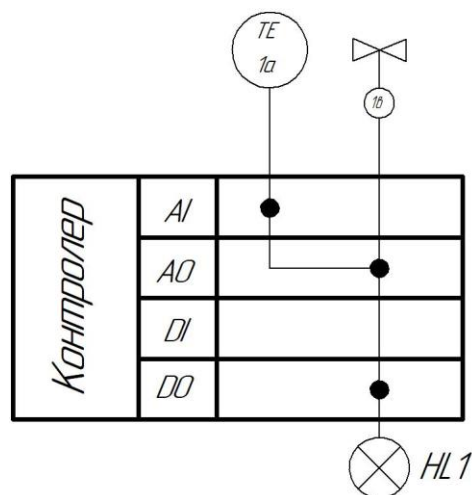


Рисунок 2 – Схема регулювання температури в контактній колоні

3.1.2 Температура в стерилізаторі

За умови використання неякісної сировини, технологічний процес вимагає проїедення повторної стерилізації, але вже за більшої температури.

З метою підтримки необхідної температури в стерилізаторі всередині нього встановлено датчик температури.

Регулювання температури стерилізації відбувається за допомогою відкриття/закриття клапану подачі водяної пари.

Контур регулювання температури в стерилізаторі зображено на рисунку нижче:

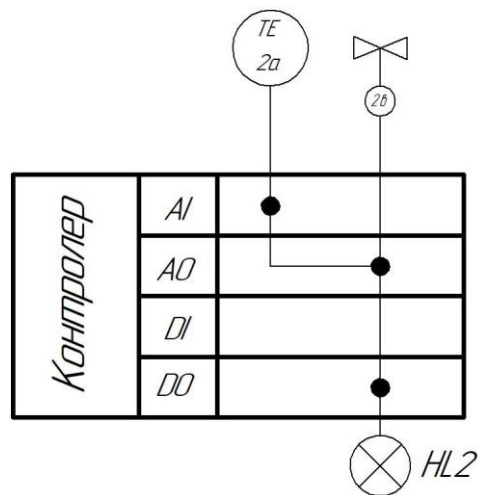


Рисунок 3 – Схема регулювання температури в стерилізаторі

3.1.3 Температура в теплообмінному апараті

Температура сусла, яке подається в апарати бродіння, впливає на якість отримуваної браги.

Тому є необхідність регулювати температуру в теплообміннику. Для цього всередині теплообмінника встановлено датчик температури.

Регулювання температури відбувається за допомогою відкриття/закриття клапану подачі водяної пари.

Контур регулювання температури в теплообмінному апараті зображено на рисунку нижче:

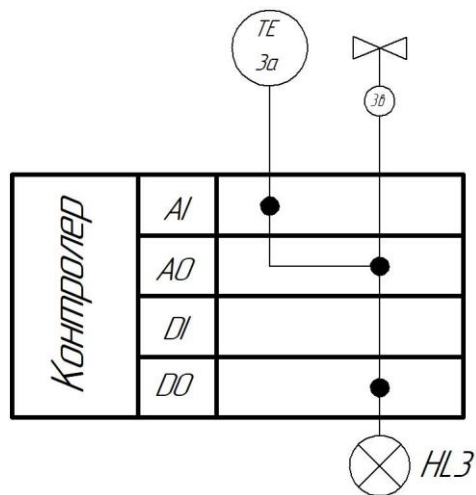


Рисунок 4 – Схема регулювання температури в теплообмінному апараті

3.1.4 Температура в підігрівачі бражки

Рухаючись між колонами, бражка втрачає певну частину своєї температури. Тому необхідно цю температуру підтримувати та слідкувати за нею.

З цією метою використовується підігрівач бражки, в якому встановлено датчик температури. Регулювання відбувається за допомогою відкриття/закриття клапану подачі водяної пари.

Контур регулювання температури в підігрівачі бражки зображено на рисунку нижче:

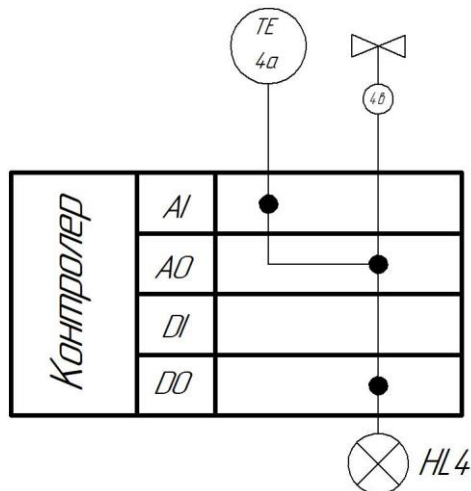


Рисунок 5 – Схема регулювання температури в підігрівачі бражки

3.1.5 Температура в брагоспюраційній колоні

Брагоспюраційна колона – це вирішальний етап технологічного процесу виготовлення етилового спирту. Тут він безпосередньо отримується.

Температура в брагепюраційній колоні – фундаментальний параметр. Тому його необхідно обов’язково регулювати. З цією метою всередині брагепюраційної колоні встановлено датчик температури.

Регулювання відбувається за допомогою відкриття/закриття клапану подачі водяної пари.

Контур регулювання температури в брагепюраційній колоні зображено на рисунку нижче:

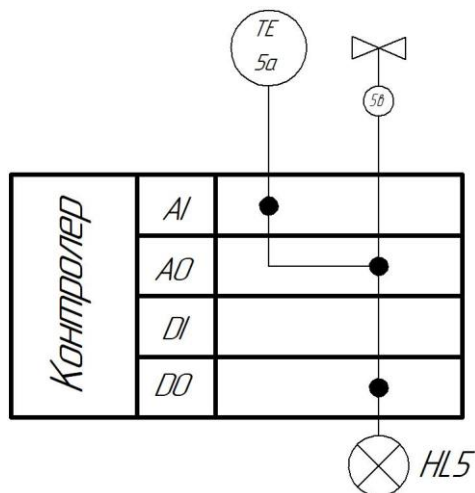


Рисунок 6 – Схема регулювання температури в брагепюраційній колоні

3.1.7 Керування циркуляційним насосом сусла

Для того, щоб полегшити умови праці обслуговуючому персоналу та оптимізувати процес виробництва харчового етилового спирту, нами організовано керування циркуляційним насосом сусла.

Передбачено можливість пуску насоса за місцем встановлення та можливість дистанційного керування ним.

Контур керування циркуляційним насосом сусла зображено на рисунку нижче:

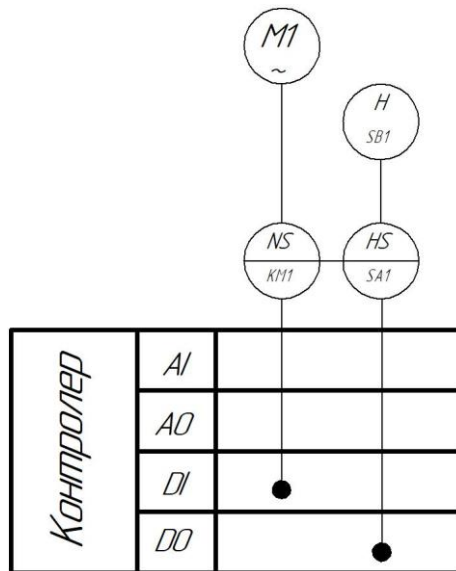


Рисунок 7 – Схема керування циркуляційним насосом сула

3.1.8 Керування двигунами мішалок апарату гідродинамічної та ферментативної обробки 2-го ступеню

Для того, щоб полегшити умови праці обслуговуючому персоналу та оптимізувати процес виробництва харчового етилового спирту, нами організовано керування двигунами мішалок апарату гідродинамічної та ферментативної обробки 2-го ступеню.

Передбачено можливість пуску двигунів за місцем встановлення та можливість дистанційного керування ними.

Контури керування двигунами мішалок апарату гідродинамічної та ферментативної обробки 2-го ступеню зображено на рисунку нижче:

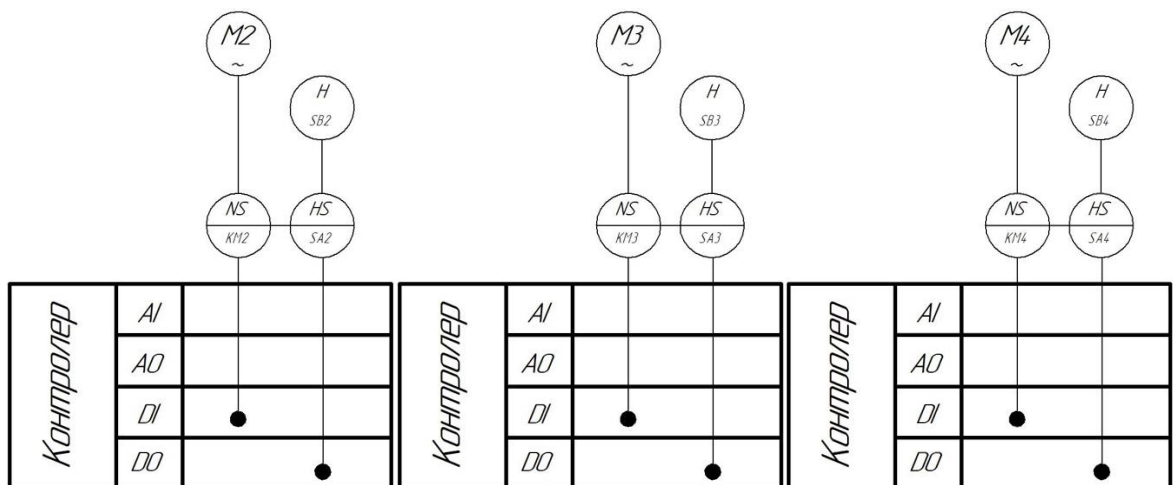


Рисунок 8 – Схема керування двигунами мішалок апарату гідродинамічної та ферментативної обробки 2-го ступеню

3.1.9 Керування циркуляційним насосом лютерної води

Для того, щоб полегшити умови праці обслуговуючому персоналу та оптимізувати процес виробництва харчового етилового спирту, нами організовано керування циркуляційним насосом лютерної води.

Передбачено можливість пуску насоса за місцем встановлення та можливість дистанційного керування ним.

Контур керування циркуляційним насосом лютерної води зображено на рисунку нижче:

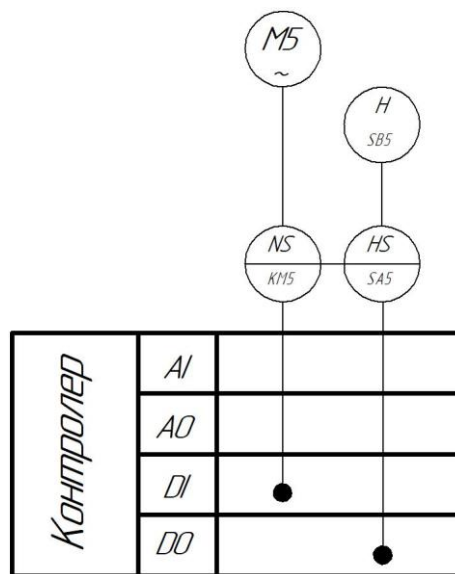


Рисунок 9 – Схема керування циркуляційним насосом лютерної води

3.2 Функціональна схема та замовна специфікація технічних засобів автоматизації

Маємо ретельний аналіз технологічного процесу, ключові параметри та номінальні значення цих параметрів, спроектовані контури управління.

Таким чином у нас є повна інформація, яка знадобиться для проектування функціональної схеми системи управління процесу виготовлення харчового етилового спирту ().

Маючи функціональну схему автоматизації та всі вищезазначені дані, була сформована замовна специфікація технічних засобів автоматизації [4].

4 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Автоматизація технологічного процесу виготовлення харчового спирту вимагає використання найрізноманітніших технічних засобів, які дозволяють забезпечити ефективну та якісну роботу всіх етапів виробництва.

Особливо застосування сучасних систем автоматичного контролю та управління процесами виробництва, таких як системи моніторингу параметрів технологічного процесу, системи автоматичного регулювання температури, витрати тощо.

Додатково автоматизація потребує використання спеціалізованого програмного забезпечення для збору, обробки та аналізу даних процесу виробництва, що дозволить швидко та точно контролювати весь процес та вчасно реагувати на будь-які зміни у параметрах.

Застосування автоматизації в технологічному процесі виготовлення спирту знижує витрати, скорочує час виробництва, забезпечує тим самим більш ефективну та якісну роботу всіх етапів виробництва.

Додатково автоматизація дозволяє забезпечити більш точний та стабільний контроль над якістю продукту та зменшити ризики непередбачуваних помилок під час процесу виробництва.

Обираючи засоби автоматизації для системи управління технологічною лінією виробництва етилового ректифікаційного харчового спирту, слід враховувати ряд критеріїв, що визначають їх ефективність та придатність для конкретного виробничого середовища. Нижче наведено декілька ключових критеріїв, які слід розглянути при виборі засобів автоматизації:

1. **Функціональність:** Засоби автоматизації повинні відповідати потребам системи управління. Вони повинні мати необхідні функції для контролю, моніторингу та керування технологічними процесами, що відбуваються на лінії виробництва етилового ректифікаційного харчового спирту. Наприклад, можуть бути необхідні функції автоматичного регулювання температури, контролю рівня ректифікаційних колон, моніторингу параметрів якості продукту тощо.

2. Сумісність: Важливо переконатися, що обрані засоби автоматизації можуть взаємодіяти з існуючими промисловими системами та обладнанням на виробництві. Це дозволить забезпечити гладке інтегрування нових засобів з наявною інфраструктурою та забезпечити спільну роботу всіх компонентів системи управління.

3. Надійність: Виробництво етилового ректифікаційного спирту є критичним процесом, тому засоби автоматизації повинні бути надійними та стійкими до впливу небажаних факторів, таких як перебої в електропостачанні або випадкові помилки. Необхідно вибирати виробників з доброю репутацією та забезпечити наявність гарантійних та післяпродажних сервісних послуг.

4. Масштабованість: Обрані засоби автоматизації повинні бути готовими до масштабування в разі необхідності. Зростання обсягів виробництва або впровадження нових технологій може вимагати розширення системи управління. Важливо вибрати засоби, які можуть ефективно працювати у розширеному масштабі, забезпечуючи гнучкість та легкість розширення функціональності.

5. Вартість: Одним з важливих критеріїв є вартість засобів автоматизації. Потрібно провести економічний аналіз, враховуючи витрати на придбання, впровадження, підтримку та оновлення обраної системи. Важливо забезпечити баланс між вартістю та користю, щоб засоби автоматизації були ефективними з фінансової точки зору.

Обираючи засоби автоматизації для системи управління технологічною лінією виробництва етилового ректифікаційного харчового спирту, слід звернути увагу на ці критерії і здійснити аналіз різних пропозицій, враховуючи особливості конкретного виробництва та потреби підприємства.

4.1 Вибір датчиків

Аналіз функціональної схеми автоматизації та визначальних параметрів технологічного процесу виготовлення етилового спирту говорить про те, що нам знадобляться датчики температури.

4.1.1 Вибір датчиків температури

Ринок технічних засобів автоматизації пропонує широкий спектр первинних перетворювачів температури. Для промисловості добре себе показують термоперетворювачі, термометри опору, пірометричні термометри.

Розглянемо декілька первинних перетворювач температури.

Термоперетворювач ДТС505Л

Первинний перетворювач ДТС505Л складається з двох провідників різної металевої фольги, з'єднаних в точці зварювання, а також захисного покриття.

Діапазон вимірювання температури від -200°C до $+500^{\circ}\text{C}$. ДТС505Л має високу термоелектричну ємність, що дозволяє досягти високої точності вимірювання температури.

Також ДТС505Л часто використовуватися в умовах зміни температури з великою швидкістю. Вцілому він є досить надійним та точним датчиком для вимірювання температури в різноманітних умовах.

Однак, як і будь-який інший первинний перетворювач, він потребує використання підходящого зчитувача для коректного вимірювання температури.

Зовнішній вигляд ДТС505Л зображено на рисунку нижче:



Рисунок 10 – Зовнішній вигляд датчика температури ДТС-505Л

Основні технічні характеристики ДТС-505Л:

- Діапазон вимірювання: -50°C до $+200^{\circ}\text{C}$
- Термоелектрична ємність: більше $40 \text{ мкВ}/^{\circ}\text{C}$

- Діаметр провідників: 0,2 мм
- Матеріал провідників: нікель-хром / ніхром – нікель
- Довжина провідників: 1000 мм
- Матеріал захисного покриття: нержавіюча сталь
- Діаметр захисного покриття: 6 мм
- Довжина захисного покриття: 100 мм
- Клас точності: II
- Вихідний сигнал: мілівольти
- Максимальна похибка вимірювання: $\pm 1,5$ °C

Термоперетворювач ТСМ101

Принцип роботи термоперетворювача опору заснований на зміні електричного опору матеріалу в залежності від температури навколишнього середовища. Характерним фактором є те, що ця залежність опору від температури є лінійною та має низьку інерційність.

Виконання ТСМ101 дає йому захист від вологи, пилу, бруду та агресивних речовин. Виробник термоперетворювача потурбувався про наявність вібрацій на виробництві та високу вирогідність фізичного впливу.

Чутливим елементом ТСМ101 є 100М. Діапазон температур, які може виміряти термоперетворювач, від $-40 \dots +180$ °C. Клас точності 0,1.

Таким чином, враховуючи технічні характеристики ТСМ-101-100М, можна дійти висновку, що він цілком підійде для вимірювання температур в агрегатах, які використовуються в технологічному процесі виготовлення етилового спирту .

Зовнішній вигляд термоперетворювача ТСМ-101-100М зображено на рисунку нижче:

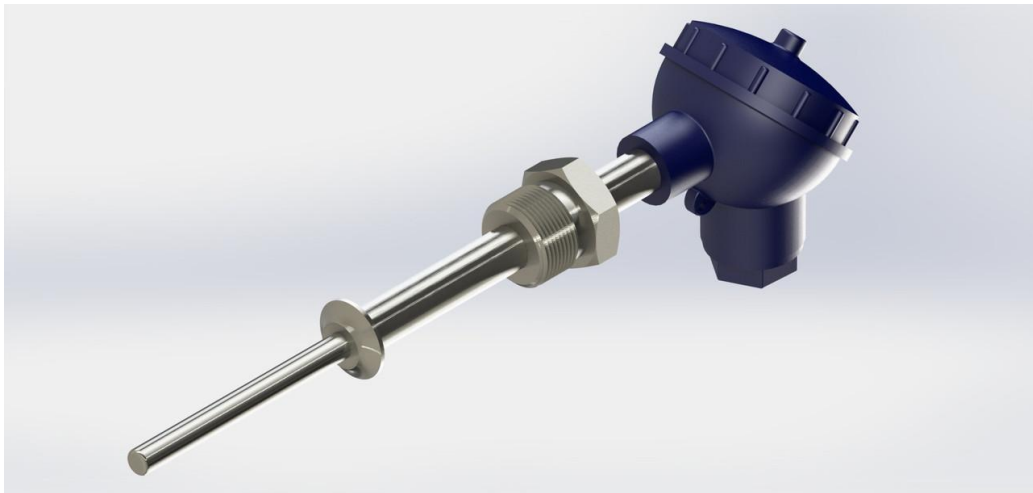


Рисунок 11 – Зовнішній вигляд датчика температури TCM-101-100M

Зведемо дані датчиків в таблицю для зручності порівняння:

Таблиця 1 – Порівняння датчиків температури.

Датчик	ДТС505Л	ТСМ-101-100М
Діапазон вимірювання:	-50°C до +200°C	-40...+180 °C
Клас точності:	0,2	0,1
Максимальна похибка вимірювання:	±1,5 °C	±1,0°C
Ціна:		

Порівнюючи ТСМ-101 та ДТС505Л, бачимо, що вони обидва підходять для технологічного процесу виготовлення етилового спирту.

Оскільки технічні характеристик у них схожі, за критеріями вибору підходять обоє, тому проаналізуємо економічну складову питання. ДТС505Л дешевший за ТСМ101 на 20%. Наша система автоматизації потребує 5 таких первинних перетворювачів. Відштовхуючись від економічного показника, зупинимо свій вибір на ДТС505Л.

4.2 Вибір регулюючих органів та виконавчих механізмів

Процеси, які протікають в об'єкті управління, залежать від значень вхідних параметрів. Вплив на вхідні параметри об'єкта управління відбувається регулюючими органами.

Регулюючі органи, в свою чергу, змінюють своє положення та станза допомогою виконавчих механізмів.

Практика експлуатації регулюючих органів та виконавчих механізмів показує, що їх конструктивне виконання в одному корпусі має важливу перевагу. Таке поєднання робить цей технологічний вузол більш швидкодіючим, надійним та ремонтпригодним.

З метою організації керуючих впливів під час автоматизації процесу виготовлення етилового спирту зупинимо свій вибір на сідельному клапані з електричним приводом Belimo LR24A-SR.

Електричний привод розроблено для керування вентиляційними, опалювальними та кондиціонувальними системами. І він дуже гарно працює з речовинами різних агрегатних станів: рідкими, твердими, газоподібними. Межі середовища мають знаходитися в межах від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Belimo LR24A-SR має наступні технічні характеристики:

- Напруга живлення: 24 В постійного струму (DC)
- Споживана потужність: 2,5 Вт
- Тип підключення: 3-провідна технологія
- Клас захисту корпусу: IP54
- Максимальний крутний момент: 10 Нм
- Час повного оберту: 150 секунд
- Максимальний кут повороту: 95 градусів
- Максимальний тиск на вході: 16 бар
- Діапазон керуючих сигналів напругою від 0 В до 10 В.

Зовнішній вигляд сідельного клапану з електроприводом Belimo LR24A-SR зображено на рисунку нижче:



Рисунок 12 – Зовнішній вигляд сідельного клапану з електроприводом
Belimo LR24A-SR

4.3 Вибір контролера

В системі автоматизації програмований логічний контролер виконує низку функціональних завдань:

1. Отримання та перетворення сигналів, які поступають від датчиків, встановлених за місцем;
2. Аналіз отриманих даних, формування відповідних керуючих впливів та передача цих сигналів до виконавчих механізмів;
3. Управління системами оповіщення, захисту та блокування технологічного процесу.

Отже під час вибору програмованого логічного контролеру необхідно враховувати кількість входів/виходів. Ці входи/виходи мають уніфікованими з метою зручного сполучення з датчиками та виконавчими механізмами (як на стадії проєктування, так і в процесі подальшої експлуатації системи автоматизації).

ПЛК має бути швидким та надійним. І обов'язково має передбачати ймовірне масштабування системи автоматизації в майбутньому.

В Україні є чимало виробників технічних засобів автоматизації. Серед них окремо слід виділити чернівецьку компанію ТОВ “Електроніка-Інтеліс”.

Вони вже тридцять років забезпечують підприємства України технічними засобами автоматизації, регуляторами, контролерами.

Перш ніж обрати конкретну модель ПЛК, слід сформулювати вимоги до типів та кількості входів/виходів ПЛК:

Таблиця 2 - Вимоги до входів/виходів контролера.

Види сигналів	Кількість сигналів
Вхідні аналогові сигнали	5
Вхідні дискретні сигнали	5
Вихідні аналогові сигнали	5
Вихідні дискретні сигнали	11

4.3.1 Програмований логічний контролер МІК-51

МІК-51 – програмований логічний контролер на базі мікроконтролера 8051 виробництва компанії Intel. Цей ПЛК забезпечує високу швидкість обробки даних і може бути використаний для автоматизації різноманітних промислових процесів [5].

Він має вбудовану пам'ять програм та даних, а також може бути з'єднаний з різними датчиками та пристроями через інтерфейси RS232, RS485, Ethernet, CAN тощо.

Зовнішній вигляд цього ПЛК зображено на рисунку нижче:



Рисунок 13 – Зовнішній вигляд програмованого логічного контролера МІК-

МК-51 має наступні технічні характеристики:

- Мікроконтролер: Intel 8051
- Швидкість процесора: до 12 МГц
- Розмір програмної пам'яті: до 64 Кбайт
- Розмір оперативної пам'яті: до 4 Кбайт
- Інтерфейси: RS232, RS485, Ethernet, CAN, USB
- Кількість входів/виходів: до 32
- Живлення: 12-24 В постійного струму (DC)
- Може бути програмований за допомогою мов програмування, таких як C, BASIC або Assembler.

4.3.2 Додаткові модулі розширення контролера

Обравши програмований логічний контролер, порівняємо його технічні характеристики з вимогами щодо необхідної кількості входів/виходів (таблиця 2).

Бачимо, що базова комплектація ПЛК має недостатню кількість аналогових входів та виходів. Тому нам знадобляться два додаткові модулі розширення:

- модуль аналогового введення RIO-5N-AIU8
- модуль аналогового виведення RIO-5N-AO4

5 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Відповідно до завдання зробим розрахунок регулятора для контуру стабілізації температури в брагоепюраційній колоні, тому що з метою забезпечення високої якості продукту у виробництві етилового харчового спирту (з точки зору процесу автоматизації) треба точно підтримувати температуру та час ферментації.

5.1 Аналіз об'єкта регулювання

Температура та час ферментації є важливими параметрами під час виробництва етилового харчового спирту. Ці параметри впливають на кількість отриманого продукту та його якість.

Під час процесу ферментації декстрини (складові зерна, кукурудзи, картоплі тощо) перетворюються на цукор, а в дальшому на алкоголь за допомогою дріжджів. Тут температура та час ферментації впливають на швидкість протікання реакції та кількість алкоголю, який утворюється під час процесу ферментації.

Зазвичай, процес ферментації протікає за температур у діапазоні від 20 до 30 градусів Цельсія. Надто висока температура спричиняє відхилення від нормального росту дріжджів, а занадто низька температура уповільнює росту дріжджів, що призводить до довшого часу ферментації та меншої кількості алкоголю.

Час ферментації величина нефіксована і може змінюватись в залежності від сировини, використовуваних дріжджів та технології виробництва. Як правило, час ферментації для виробництва етилового харчового спирту складає від 24 до 72 годин. Якщо продовжувати ферментацію після того, як дріжджі перестануть виробляти алкоголь, це майже гарантовано знизить якість продукту (за таких умов продукт буде містити велику кількість неалкогольних речовин).

Аналіз технологічного процесу показує, що процес ферментації регулюється за допомогою подачі водяної пари. А саме шляхом відкриття/закриття клапану подачі водяної пари.

Підіб'ємо підсумок. Об'єкт управління – брагоепюраційна колона. Регульований параметр – температура. Номінальне значення регульованого параметру 91,2 °С, мінімально припустиме значення регульованого параметру 85,5

$^{\circ}\text{C}$, максимально припустиме значення регульованого параметру $94,5^{\circ}\text{C}$. Діаметр трубопроводу для подачі водяної пари – 200 мм.

Приблизні показники якості бажані для системи:

- перегулювання: не більше 20%.
- час регулювання: не більше 60 с.

Ідентифікація об'єкта

Мета ідентифікації полягає в отриманні математичного опису об'єкта. Завдання ідентифікації можна вирішити двома способами: аналітичним і експериментальним. Аналітичний метод ґрунтується на аналізі та використанні фізичних законів, які визначають хід процесів в об'єкті. Експериментальний метод передбачає отримання необхідних даних (наприклад, кривих розгону) безпосередньо з об'єкта. Використання експериментального методу дозволяє перевірити адекватність аналітичної моделі.

5.1.1 Аналітичне визначення математичної моделі [6]

Аналіз технологічного процесу показує, що процес ферментації регулюється за допомогою подачі водяної пари. А саме шляхом відкриття/закриття клапану подачі водяної пари.

Складемо структурну схему об'єкту:

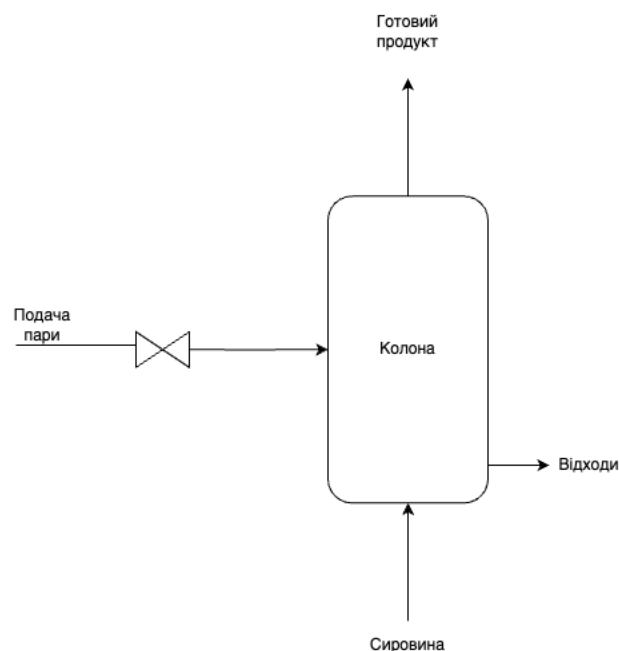


Рисунок 14 – Схема об'єкта регулювання.

Кількість тепла, що виділяється в одиницю часу визначається з виразу:

$$\Phi = k \cdot q_p \quad (5-1)$$

где k - швидкість пари, q_p - тепловий ефект від пари.

Швидкість пари визначається з рівняння [7]:

$$\omega = \frac{0,0155}{d_k^{2/3}} \sqrt{\frac{\rho_x * h_k}{\rho_y}} \quad (5-2)$$

де d_k – діаметр трубопроводу, ρ_x – щільність в вищій частині, ρ_y – щільність в нижній частині, h_k – висота.

В основу математичного опис належить рівняння теплового балансу для вмісту колони, яке може бути записано у вигляді:

$$M \cdot c \cdot \frac{d}{dt} T = q_{cm} + \Phi \quad (5-3)$$

де M - маса пари, c - теплоємність пари, q_{cm} - тепловий потік, який розраховується за такою формулою:

$$q_{cm} = a_{cm} \cdot S \cdot (T_{cm} - T) \quad (5-4)$$

де a_{cm} - коефіцієнт тепловіддачі від стінки, S - площа тепловіддачі, T_{cm} - середня температура у колоні.

Для знаходження T_{cm} складаємо рівняння теплового балансу стінки:

$$M_{cm} \cdot c_{cm} \cdot \frac{d}{dt} T_{cm} = q_n - q_{cm} \quad (5-5)$$

де M_{cm} - маса стінки, c_{cm} - теплоємність стінки, q_n - тепловий потік від парової сорочки до стінки.

Залежність теплового потоку, переданого від сорочки до стінки, пов'язана з температурою пари в сорочці в такий спосіб:

$$q_n = a_n \cdot S \cdot (T_n - T_{cm}) \quad (5-6)$$

Виконавши підстановку (6) і (4) в (5) і виразимо T_{cm} :

$$T_{cm} = \frac{a_n \cdot S \cdot T_n + a_{cm} \cdot S \cdot T}{M_{cm} \cdot c_{cm} \cdot p + a_n \cdot S - a_{cm} \cdot S_{cm}} \quad (5-7)$$

де $p = \frac{d}{dt}$

Потім підставляємо (5-1) і (5-7) в (5-3) отримуємо вираз:

$$T \cdot (M \cdot c \cdot M_{cm} \cdot c_{cm} \cdot p^2 + (M \cdot c \cdot a_n \cdot S + a_{cm} \cdot S \cdot M \cdot c + a_{cm} \cdot S \cdot M_{cm} \cdot c_{cm} - \Phi \cdot M_{cm} \cdot c_{cm}) \cdot p + a_n \cdot S^2 \cdot a_{cm} - \Phi \cdot a_n \cdot S - \Phi \cdot a_{cm} \cdot S) = a_{cm} \cdot S^2 \cdot a_n \cdot T_n$$

З огляду на слабкий характер нелінійності, і, прийнявши допущення про незначність відхилення вихідної координати в процесі нормальної роботи від деякого початкового значення T_0 , проведемо лінеаризацію нелінійності, тобто заміну існуючої нелінійності $k_0 \cdot e^{-E/RT}$ лінійною характеристикою методом розкладання в ряд Тейлора біля робочої точки T_0 з відкиданням членів розкладання другого і вище порядків. Отримуємо

$$f(T)|_{T=T_0} = k_0 \cdot e^{-E/RT} \approx \frac{df(T)}{dT} \cdot T_0 = k_0 \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \quad (5.8)$$

В результаті лінійне диференціальне рівняння математичного опису набуде вигляду

$$T \cdot (M \cdot c \cdot M_{cm} \cdot c_{cm} \cdot p^2 + (M \cdot c \cdot a_n \cdot S + a_{cm} \cdot S \cdot M \cdot c + a_{cm} \cdot S \cdot c_{cm} \cdot M_{cm} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \times \\ \times M_{cm} \cdot c_{cm}) \cdot p + a_n \cdot S^2 \cdot a_{cm} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot a_n \cdot S - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot a_{cm} \cdot S) = \\ = a_{cm} \cdot S^2 \cdot a_n \cdot T_n$$

Потім виконавши формальну заміну змінних $T = y$, $T_n = u$ і підстановку

$$a_0 = M \cdot c \cdot M_{cm} \cdot c_{cm}$$

$$a_1 = M \cdot c \cdot a_n \cdot S + a_{cm} \cdot S \cdot M \cdot c + a_{cm} \cdot S \cdot c_{cm} \cdot M_{cm} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot M_{cm} \cdot c_{cm}$$

$$a_2 = a_n \cdot S^2 \cdot a_{cm} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot a_n \cdot S - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot a_{cm} \cdot S$$

$$K_u = a_{cm} \cdot S^2 \cdot a_n$$

маємо
$$a_0 \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \cdot \frac{dy}{dt} + a_2 \cdot y = K_u \cdot u \quad (5-9)$$

Маючи на увазі виконання принципу суперпозиції для лінійних систем, на основі диференціального рівняння (5-9) отримуємо передавальну функцію об'єкта управління

$$W(p) = \frac{K_u}{a_0 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_2} \quad (5-10)$$

параметри об'єкта:

– теплоємність пари $c = 18 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ \text{C}$;

- теплоємність стінки колони $c_{cm} = 540 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$;
- маса пари $M = 1989 \text{ кг}$;
- маса стінки колони $M_{cm} = 1000 \text{ кг}$;
- коефіцієнт тепловіддачі стінки $a_{cm} = 62.8 \text{ Дж/с} \cdot \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- коефіцієнт тепловіддачі пари $a_n = 87,2 \text{ Дж/с} \cdot \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- площа тепловіддачі $S = 9,42 \text{ м}^2$;
- передекспоненційний множник $k_0 = 0,7$;
- енергія активації $E = 820 \text{ кДж/кмоль}$;
- газова постійна $R = 8.31 \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{К}$;
- тепловий ефект $q_p = 112 \text{ Дж/кг}$;
- початкова умова по температурі $T(0) = 17 \text{ }^\circ\text{C}$.

Коефіцієнти передавальної функції з урахуванням зазначених даних:

$$a_0 = 1989 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 540 = 1.933 \cdot 10^{10}$$

$$a_1 = 1989 \cdot 18 \cdot 87.2 \cdot 9.42 + 62.8 \cdot 9.42 \cdot 1989 \cdot 18 + 62.8 \cdot 9.42 \cdot 540 \cdot 1000 - 0.7 \cdot 112 \cdot e^{-820/8.31 \cdot 17} \cdot \frac{820}{8.31 \cdot 289} \times \\ \times 1000 \cdot 540 = 3.7 \cdot 10^8$$

$$a_2 = 87.2 \cdot 88.74 \cdot 62.8 - 0.7 \cdot 112 \cdot e^{-820/8.31 \cdot 17} \cdot \frac{820}{8.31 \cdot 289} \cdot 87.2 \cdot 9.42 - 0.7 \cdot 112 \cdot e^{-820/8.31 \cdot 17} \cdot \frac{820}{8.31 \cdot 289} \times \\ \times 62.8 \cdot 9.42 = 4.858 \cdot 10^5$$

$$K_u = 62.8 \cdot 9.42 \cdot 87.2 = 4.859 \cdot 10^5$$

Передавальна функція з урахуванням коефіцієнтів:

$$W(p) = \frac{4.86 \cdot 10^5}{1.93 \cdot 10^{10} \cdot p^2 + 3.7 \cdot 10^8 \cdot p + 4.86 \cdot 10^5} = \frac{1}{3.97 \cdot 10^4 \cdot p^2 + 761 \cdot p + 1} \quad (5-11)$$

Виконуємо моделювання, використовуючи математичний пакет MatLab.

Модель подана на рис. 15, а результати моделювання на рис. 16.

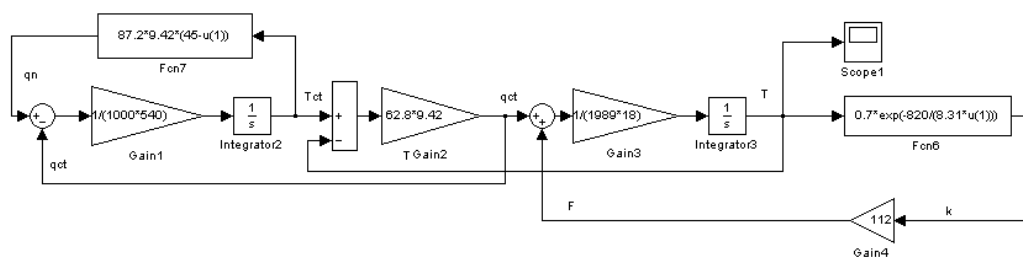


Рисунок 15 – Модель об'єкта регулювання

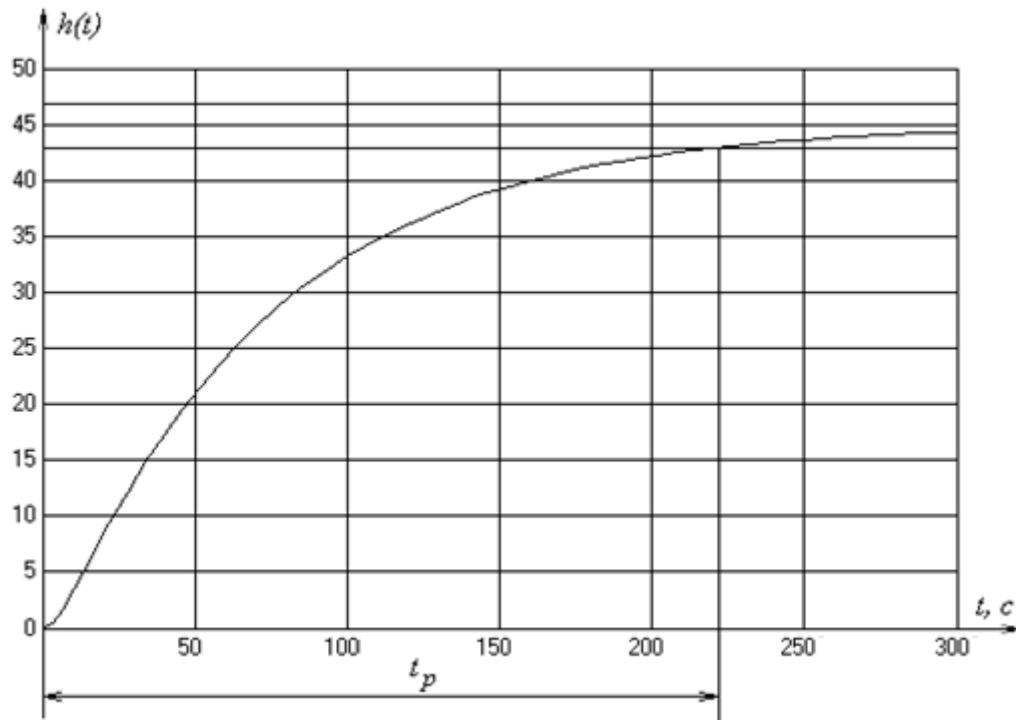


Рисунок 16 – Перехідна характеристика об'єкта регулювання

Час перехідного процесу $t_p = 222 \text{ c} = 3,7 \text{ хв.}$

5.1.2 Перевірка адекватності математичної моделі

Вибір датчика температури в брагепюраційній колоні вимагає акцентування уваги на таких аспектах:

- чутливий елемент датчика має бути якомога ближче до робочої частини апарату (це легко вирішується довжиною занурюваної частини датчика);
- з'єднувальний кабель від датчика до щита управління має бути достатньої довжини і одночасно з тим має бути захищеним від різноманітних завад;

Нагадаємо, що для процесу вимірювання температури в вакуум-апараті ми обрали термометр опору ТСМ5071 градування 50М. Детальні характеристики цього датчика температури можна переглянути у розділі 4 цієї бакалаврської роботи.

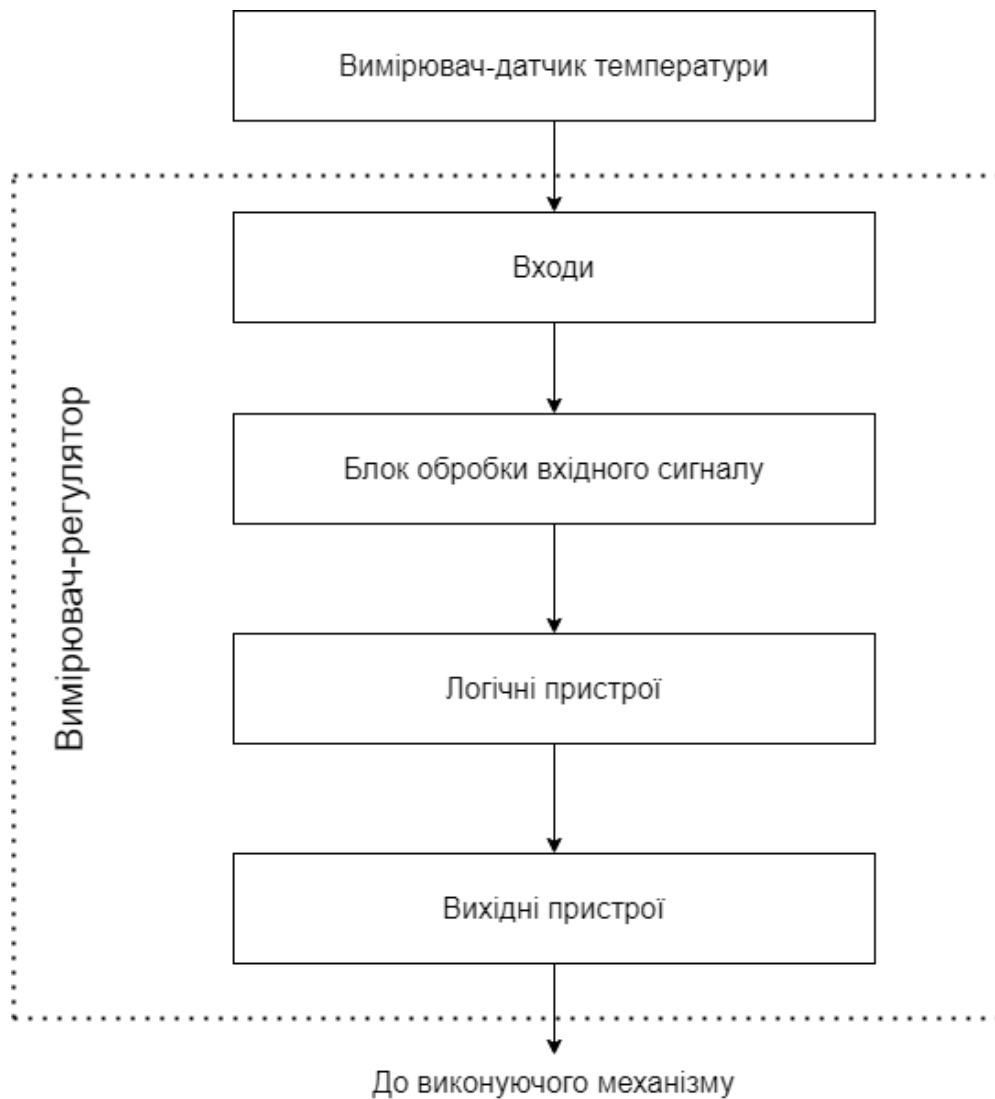


Рисунок 17 – Узагальнена функціональна схема вимірювача-регулятора температури

Дослідження динамічних характеристик об'єкта управління передбачає побудову його кривої розгону [6]. З цією метою подамо на вхід об'єкта управління прямокутний імпульс (це відповідатиме збільшенню подачі водяної пари в вакуум-апарат на величину 15%).

Під час побудови кривої розгону об'єкту управління будемо дотримуватися наступних рекомендацій:

- 1) Побудова кривої розгону відбувається під час стрибка керуючого сигналу в обидві сторони;
- 2) Вигляд отриманих кривих розгону надає інформацію щодо ступеню асиметричності об'єкта управління;

3) Теплові об'єкти управління мають зазвичай лінійну асиметрію. В тих випадках, коли асиметрія нелінійна і невелика, розрахунок налаштувань регулятора ведеться за середніми значеннями параметрів передаточних функцій;

4) Якщо асиметрія нелінійна і велика, слід проектувати так звану систему стабілізації об'єкта управління. Крива розгону при цьому знімається навколо робочої точки процесу;

5) Для якісної побудови кривої розгону, амплітуда тестового вхідного сигналу має бути виваженою. З одного боку достатньо великою, щоб виділити криву розгону серед шумів. З іншого боку достатньо малою, щоб не порушити нормального перебігу технологічного процесу;

6) В тих випадках, коли шуми заважають побудові чіткої кривої розгону, знімають кілька кривих розгону з подальшим накладення одна на одну. Таким чином отримується усереднена крива розгону;

7) Зняття та побудова кривої розгону робиться під час усталеного режиму роботи устаткування.

Для перевірки адекватності математичної моделі, отриманої аналітично, знімаємо криву розгону безпосередньо з об'єкта. Отримана характеристика представлена на рис. 18.

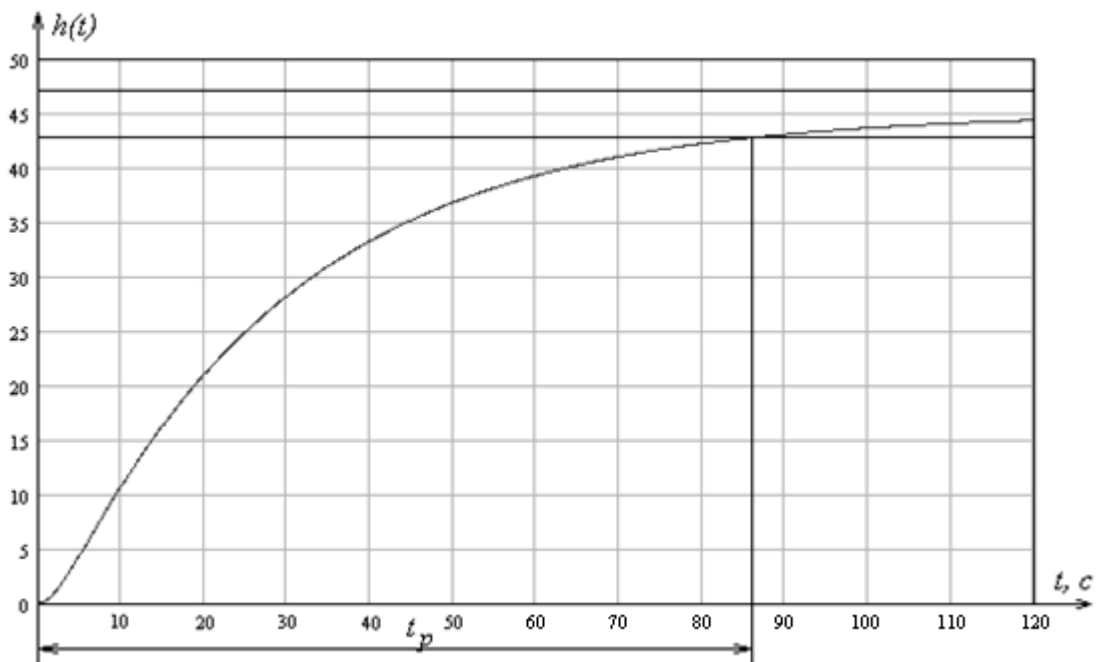


Рисунок 18 – Крива розгону об'єкта регулювання

Час перехідного процесу $t_p = 88\text{с}$.

Використовуючи метод найменших квадратів [8], перевіримо схожість двох кривих розгону (отриманої аналітичним і експериментальним способом). Для цього розбиваємо весь інтервал часу на 12 рівних частин. Визначаємо значення температури в відповідні моменти часу і зводимо їх в табл. 8.1.

Таблиця 3 – Значення температури в фіксовані моменти часу

t	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
h отримані аналітично	0	11	21	28	33	37	39	41,5	42,5	43	43,5	44	44,5
h' отримані експериментально	0	10,9	21	27,9	33	36,9	39	41,5	42,4	43	43,5	44	44,5

Зробимо оцінку точності шляхом порівняння експериментальних значень досліджуваної величини з відповідними значеннями, отриманими аналітичним шляхом. Для цього обчислимо коефіцієнт детермінації R^2 (кореляції). Розрахунок базується на визначенні дисперсії, як показника, який оцінює ступінь розсіювання значень досліджуваної величини.

$$R^2 = \frac{S_{\tilde{h}}^2}{S_h^2} = \frac{\sum (\tilde{h}_i - \bar{\tilde{h}})^2}{\sum (h_i - \bar{h})^2} \quad (5-12)$$

де \bar{h} – середнє арифметичне

$$\bar{h} = \frac{\sum h_i}{n} = \frac{10.9 + 21 + 27.9 + 33 + 36.9 + 39 + 41.5 + 42.4 + 43 + 43.5 + 44 + 44.5}{12} = \frac{427.6}{12} = 35.63$$

$$\bar{h} = \frac{\sum h_i}{n} = \frac{11 + 21 + 28 + 33 + 37 + 39 + 41.5 + 42.5 + 43 + 43.5 + 44 + 44.5}{12} = \frac{428}{12} = 35.67$$

$$R^2 = \frac{(11 - 35.67)^2 + (21 - 35.67)^2 + (28 - 35.67)^2 + (33 - 35.67)^2 + (37 - 35.67)^2 + (39 - 35.67)^2 + (41.5 - 35.67)^2 + (42.5 - 35.67)^2 + (43 - 35.67)^2 + (43.5 - 35.67)^2 + (44 - 35.67)^2 + (44.5 - 35.67)^2}{(10.9 - 35.63)^2 + (21 - 35.63)^2 + (27.9 - 35.63)^2 + (33 - 35.63)^2 + (36.9 - 35.63)^2 + (39 - 35.63)^2 + (41.5 - 35.63)^2 + (42.4 - 35.63)^2 + (43 - 35.63)^2 + (43.5 - 35.63)^2 + (44 - 35.63)^2 + (44.5 - 35.63)^2} = \frac{1245.6668}{1250.5268} = 0.99$$

Коли коефіцієнт детермінації дорівнює 1, це означає, що значення, отримані експериментальним і аналітичним шляхом, повністю співпадають. У випадку, коли коефіцієнт детермінації наближений до 1, можна стверджувати, що модель є адекватною до реального об'єкту.

5.2. Вибір і розрахунок параметрів регулятора [7]

5.2.1 розрахунок налаштувань П-регулятора

Передавальна функція П-регулятора $W_n(p)$ є коефіцієнт підсилення регулятора k_n :

$$W_n(p) = k_n \quad (5-13)$$

Розрахунок регулятора проведемо методом визначення оптимальних параметрів за показником коливальності (метод В.Я. Ротача).

Визначаємо межу зони, в якій замкнута система управління буде мати запас стійкості буде не нижче заданого показника коливальності $M \leq M_3$. При цьому вважається, що САУ має необхідний запас стійкості, якщо її показник коливальності знаходиться в діапазоні $M = 1.3 \dots 2.3$, що відповідає ступеню згасання $\psi = 0.95 \dots 0.75$. Таким чином, вибираємо ступінь коливальності $M = 1.55$.

Частотна передаточна функція об'єкта управління $W_{oo}(\omega)$ і П-регулятора $W_p(\omega)$:

$$W_{oo}(\omega) = \frac{1}{3.97 \cdot 10^4 \cdot (j \cdot \omega)^2 + 761 \cdot j \cdot \omega + 1} \quad (5-14)$$

$$W_p(\omega) = k_p \quad (5-15)$$

Будуємо АФЧХ розімкнутої системи $W(\omega) = W_n(\omega) \cdot W_{oo}(\omega)$, використовуючи математичний пакет Mathcad. Потім знаходимо такий коефіцієнт підсилення k_p , при якому ця характеристика торкатиметься окружності, для заданого значення M . Результати побудови представлені на рис. 19.

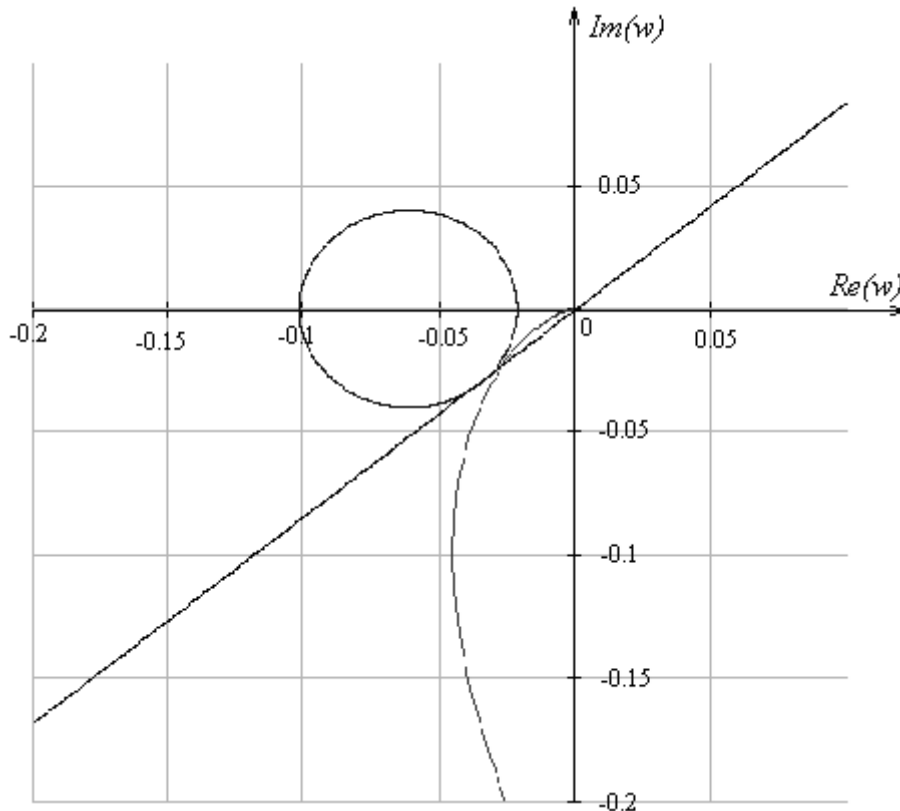


Рисунок 19 – АФЧХ розімкнутої системи і заборонена область

Величину коефіцієнта підсилення П-регулятора визначаємо відповідно до формули (4.16).

$$k_p = \frac{M}{M^2 - 1} \cdot \frac{1}{r_{окр}} \quad (5-16)$$

де $r_{окр}$ – радіус кола забороненої області.

$$k_p = 27.585$$

Графік перехідної характеристики $h(t)$ замкнутої системи при оптимальних настройках регулятора представлений на рис. 20.

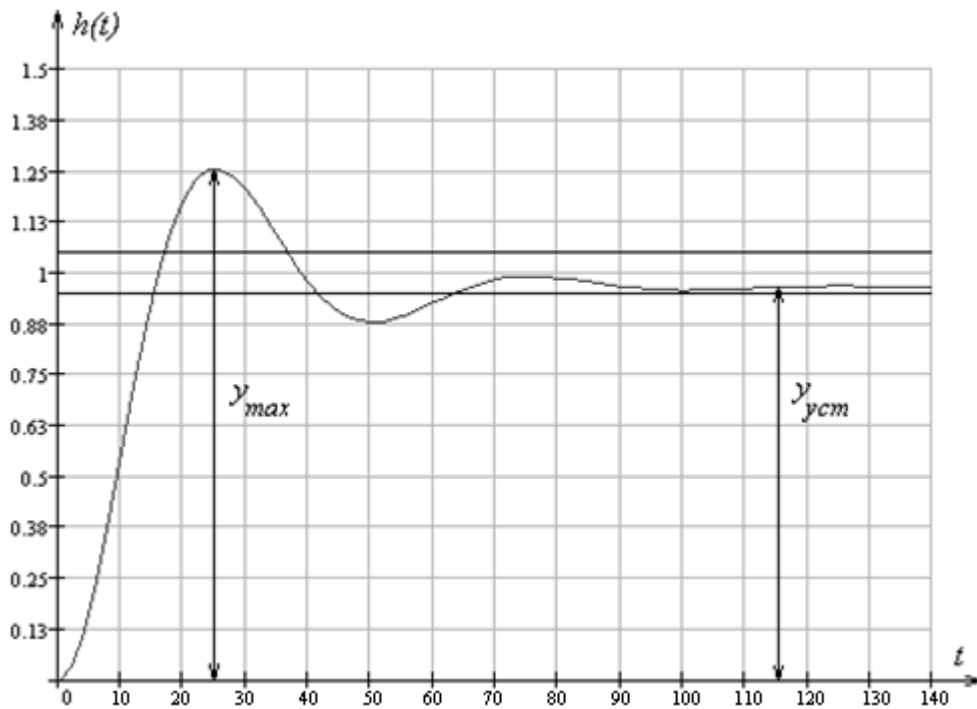


Рисунок 20 – Перехідна характеристика замкнутої системи при $k_n = 27.585$

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіку, такі:

- Перерегулювання $\sigma = \frac{y_{\max} - y_{\text{уст}}}{y_{\text{уст}}} \cdot 100\% = \frac{1.25 - 1}{1} \cdot 100\% = 25\%$, (5-17)
- Час перехідного процесу $t_p = 64$ с ,
- Статична помилка 3% .

5.2.2 розрахунок налаштувань ПІ-регулятора

Передавальна функція ПІ-регулятора $W_p(p)$ має вигляд:

$$W_p(p) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u p} \right) \quad (5-18)$$

де k_p - коефіцієнт передачі (підсилення) регулятора

T_u - час ізодрома

Частотна передавальна функція ПІ-регулятора $W_p(\omega)$:

$$W_p(\omega) = k_p + \frac{1}{T_u \cdot j \cdot \omega} \quad (5-19)$$

Будуємо сімейство АФЧХ розімкнутої системи $W(\omega) = W_p(\omega) \cdot W_{o0}(\omega)$ для різних значень часу ізодрома T_u , за допомогою математичного пакету Mathcad. Потім

знаходимо такі коефіцієнти посилення k_p , при яких ці характеристики будуть торкатися кола, для заданого значення M . Результати побудови представлені на рис. 21.

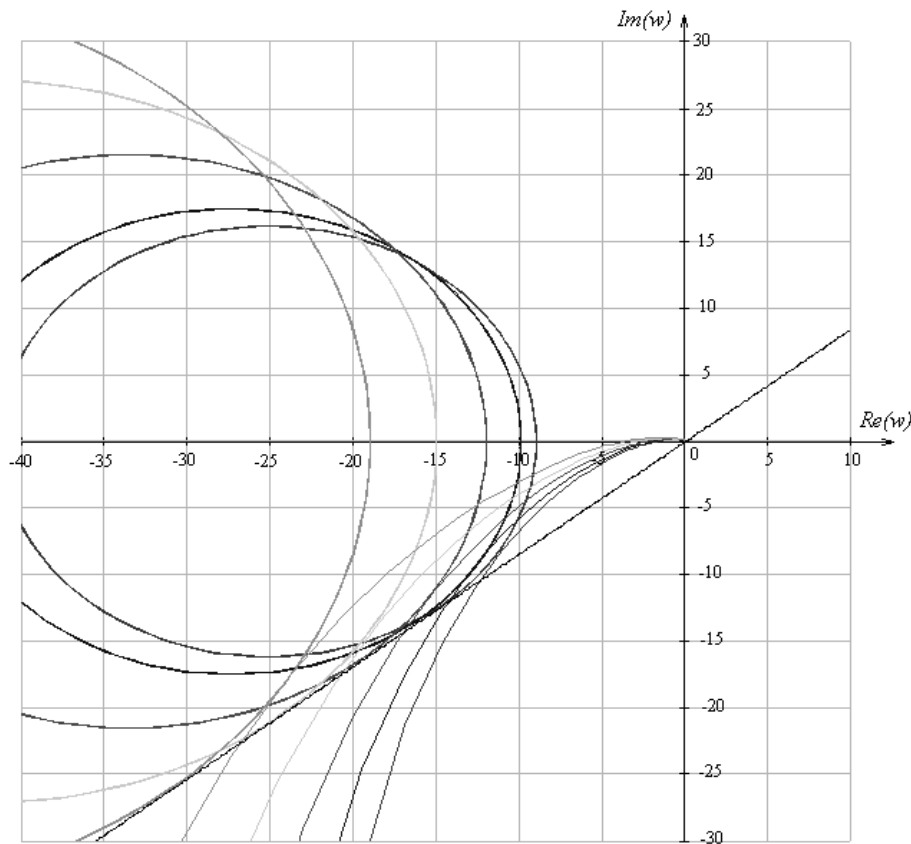


Рисунок 21 – Сімейство АФЧХ розімкнутої системи

Коефіцієнти підсилення ПІ-регулятора визначаємо відповідно до формули (5-16) для кожного значення T_u .

Отримані пари налаштувань зводимо в табл. 8.2.

Таблиця 4 – коефіцієнти налаштування ПІ-регулятора

T_u	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43
k_p	3,27	3,43	3,59	3,62	3,75	3,98	4,54	4,84	5,13	5,72	6,23	7,4

За результатами будемо графік залежності (рис. 22).

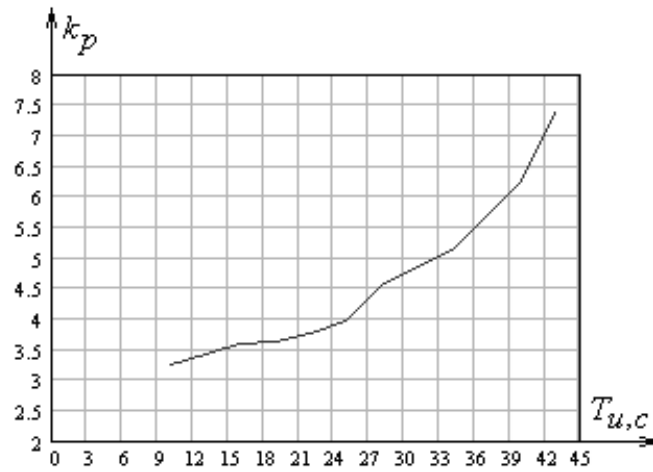


Рисунок 22– Межа області заданого М

Для визначення того, яка пара налаштувань дає найкращі показники якості, будемо графіки перехідних характеристик замкнутої системи для декількох значень T_u ($T_u = 25$ с, $T_u = 31$ с, $T_u = 37$ с, $T_u = 43$ с). Результати подані на рис. 23.

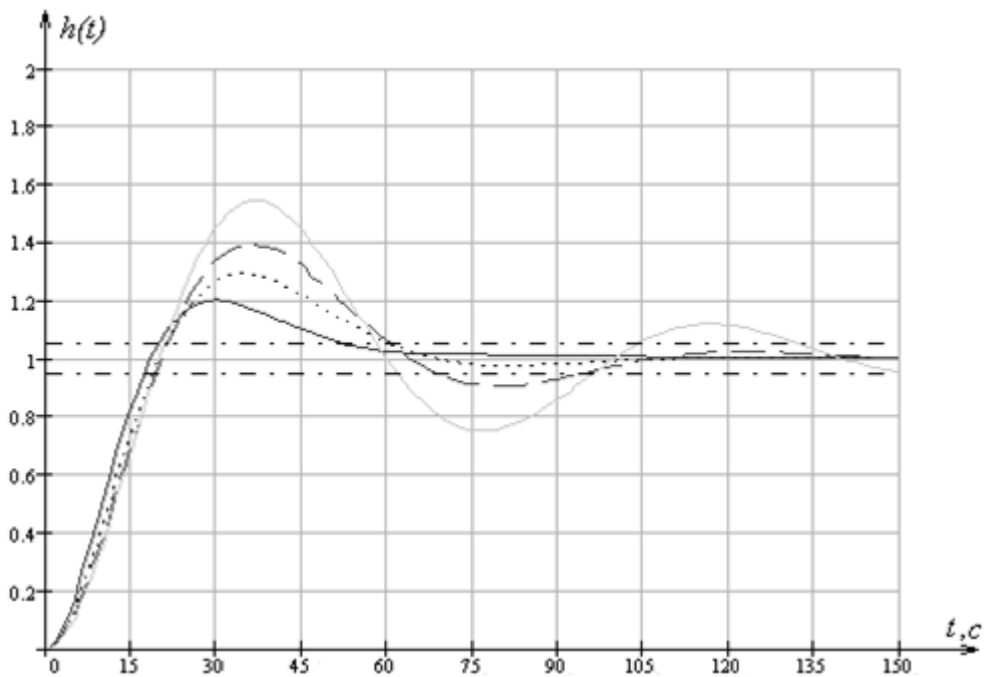


Рисунок 23 – Перехідні характеристики САУ для заданого М при різних значеннях часу ізодрома

Найкращі показники якості забезпечує пара налаштувань регулятора $k_p = 7,39, T_u = 43$ с. Перехідна характеристика замкнутої системи з оптимальними настройками регулятора поданий на рис, 24.

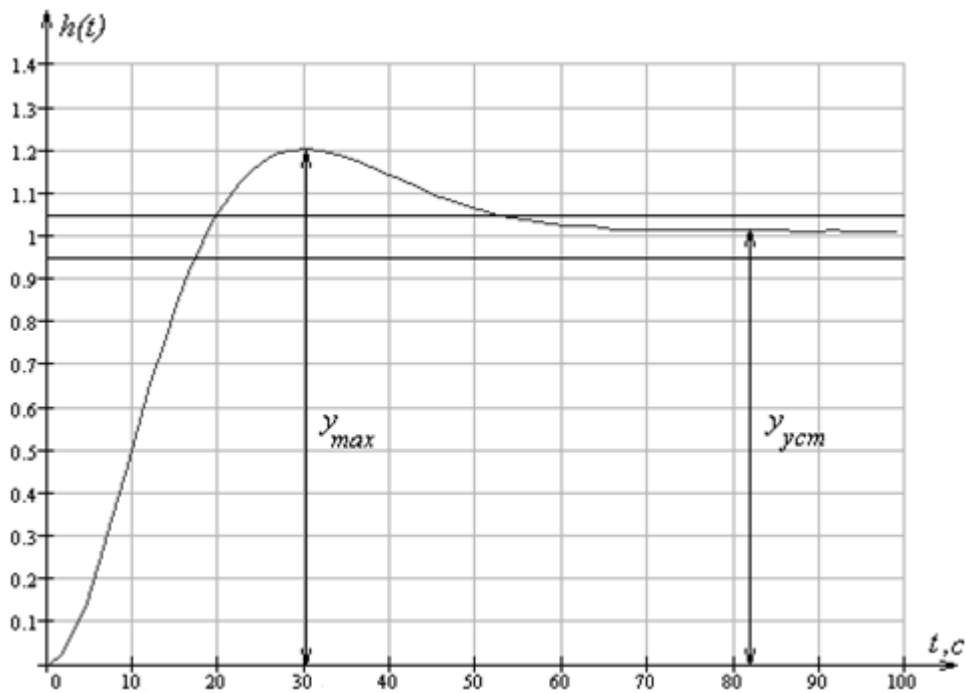


Рисунок 24 – Перехідна характеристика замкнутої системи при

$$k_p = 7,39 T_u = 43 \text{ c}$$

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіку, такі:

- Перерегулювання $\sigma = \frac{y_{\max} - y_{\text{уст}}}{y_{\text{уст}}} \cdot 100\% = \frac{1,2 - 1}{1} \cdot 100\% = 20\%$,
- Час перехідного процесу $t_p = 54 \text{ c}$.

5.2.3 Розрахунок налаштувань ПІД-регулятора

Передавальна функція ПІД-регулятора $W_{\text{pid}}(p)$ має вигляд:

$$W_{\text{pid}}(p) = k \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u \cdot p} + T_d \cdot p \right) \quad (5-20)$$

де k - коефіцієнт передачі (підсилення) регулятора

T_u - час іздрома

T_d - постійна часу диференціювання (час передування).

Формуємо частотну передавальну функцію ПІД-регулятора $W_{\text{pid}}(\omega)$:

$$W_{\text{pid}}(\omega) = k + \frac{1}{T_u \cdot j \cdot \omega} + \alpha \cdot T_u \cdot j \cdot \omega \quad (5-21)$$

де $\alpha = \frac{T_d}{T_u}$.

Для підвищення стійкості ПІД- регулятора до завад співвідношення між величиною часу ізодрома і часу передування вибираємо з умови

$$\frac{T_d}{T_u} < 0.25 \quad (5-22)$$

і приймемо рівним $\alpha = 0.2$.

Будуємо сімейство АФЧХ розімкнутої системи $W(\omega) = W_{нуд}(\omega) \cdot W_{од}(\omega)$ для різних фіксованих значень часу ізодрома T_u , використовуючи математичний пакет Mathcad. Потім знаходимо такі коефіцієнти підсилення k_p , при яких ці характеристики будуть торкатися кола, для заданого значення M . Результати побудови подані на рис. 25.

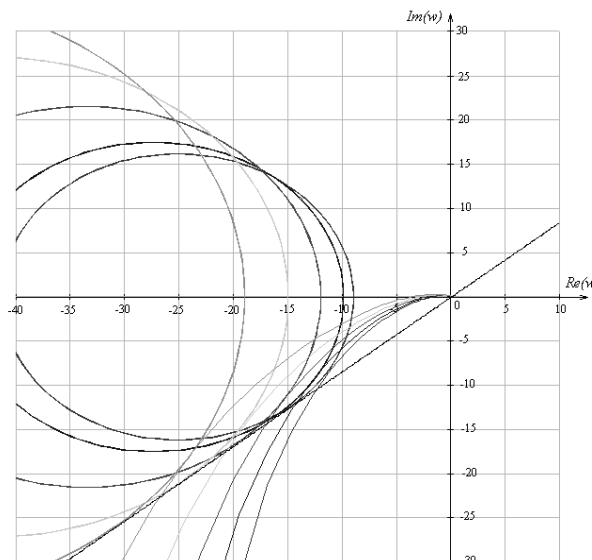


Рисунок 25 – Сімейство АФЧХ розімкнутої системи

Величини коефіцієнта підсилення ПІД-регулятора визначаємо відповідно до формули (5.16) для кожного значення T_u .

Отримані налаштування зводимо в табл. 5:

Таблиця 5 – коефіцієнти налаштувань ПІД-регулятора

T_u	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43
T_o	2	2,6	3,2	3,8	4,4	5	5,6	6,2	6,8	7,4	8	8,6
k_p	3,3	3,47	3,62	3,64	3,73	3,96	4,55	4,84	5,14	5,7	6,23	7,42

За результатами будуюмо графік залежності $k_p(T_u)$ (рис. 25).

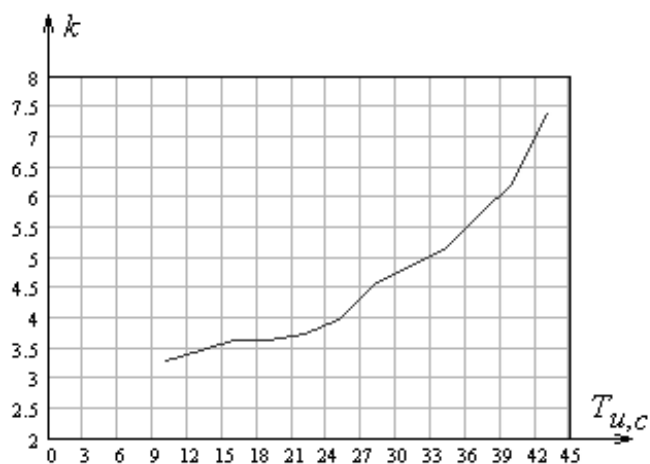


Рисунок 26 – Межа області заданого М

Для визначення того, яка пара налаштувань дає найкращі показники якості, будуюмо графіки перехідних характеристик замкнутої системи для декількох значень T_u ($T_u = 25$ с, $T_u = 31$ с, $T_u = 37$ с, $T_u = 43$ с). Результати подані на рис. 27.

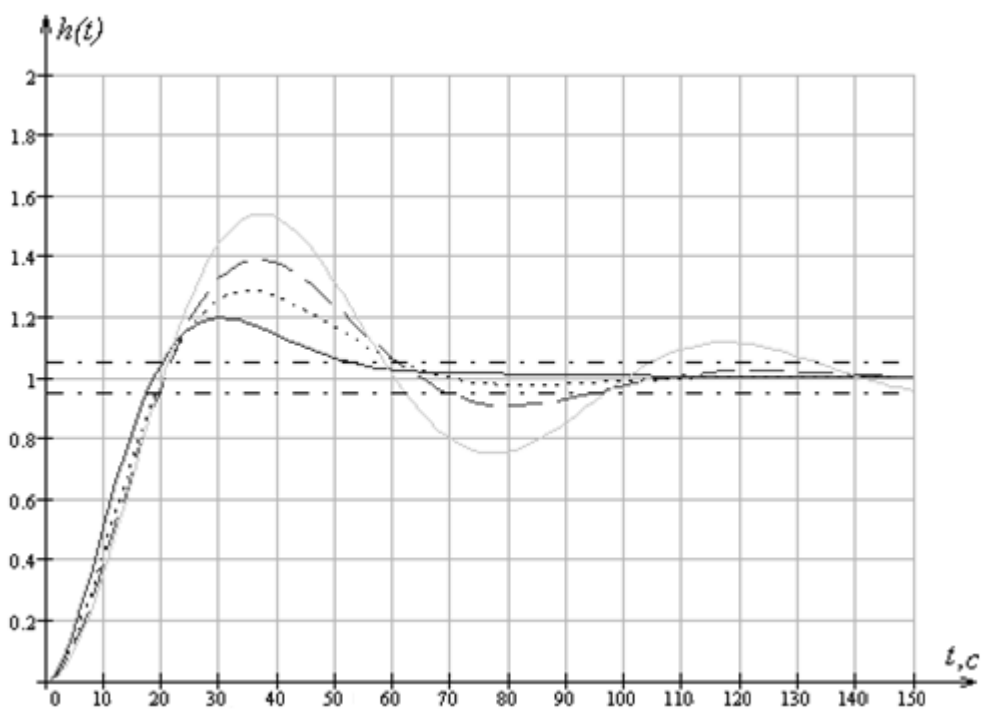


Рисунок 27 – Перехідні характеристики САУ для заданого М при різних значеннях часу ізодрома

Найкращі показники якості забезпечує пара налаштувань регулятора $k_p = 7,41, T_u = 43$ с. Графік перехідної характеристики замкнутої системи при оптимальних налаштуваннях регулятора поданий на рис. 28.

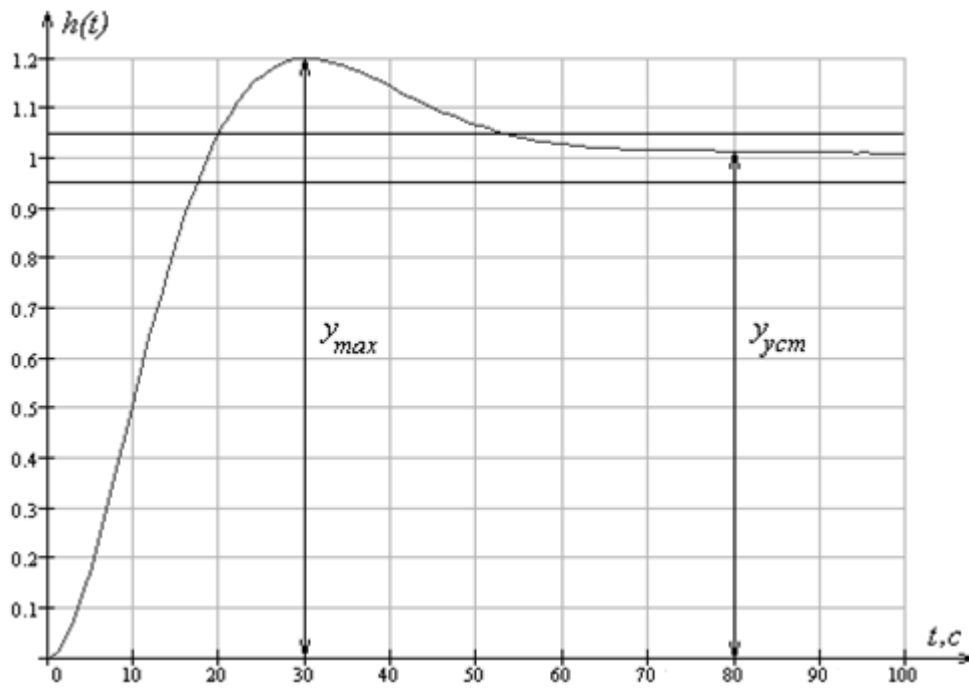


Рисунок 28– Перехідна характеристика замкнутої системи при

$$k_p = 7,41 T_u = 43 \text{ с}$$

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіку, такі:

- Перерегулювання $\sigma = \frac{y_{\max} - y_{\text{уст}}}{y_{\text{уст}}} \cdot 100\% = \frac{1.2 - 1}{1} \cdot 100\% = 20\%$,
- Час перехідного процесу $t_p = 54 \text{ с}$.

Порівнюючи отримані результати, бачимо, що П-регулятор дає статичну помилку, а також перерегулювання 25%, що не задовольняє заданим умовам. ПІ-регулятор і ПІД-регулятор дають незначно відмінні результати. Оскільки ПІД-регулятор більш чутливий до завад і складніший в реалізації, то для управління температурою ПВС будемо використовувати ПІ-регулятор.

6 ОПИС АЛГОРИТМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ

Система управління виробництвом етилового харчового спирту може включати наступні етапи алгоритму роботи:

1. Збір даних. З метою ситуаційної обізнаності та своєчасного впливу на процес виробництва етилового харчового спирту, САУ збирає дані з первинних перетворювачів, які вимірюють температуру, вологість, рівень рідини тощо. Дані збираються на постійній основі та передаються до мікропроцесора для обробки.
2. Аналіз даних. Після того, як дані зібрані та передані до мікропроцесорної системи, відбувається аналіз цих даних, з метою визначення необхідних коректив в роботі обладнання. Наприклад, якщо температура в баку для ферментації занадто висока, мікропроцесорна система може відправити сигнал до системи охолодження, щоб знизити температуру.
3. Прийняття рішень. В залежності від результатів аналізу даних, САУ приймає рішення про те, які саме корективи необхідно зробити. Наприклад, якщо температура в баку для ферментації вища за номінально припустиму, САУ приймає рішення про запуск механізму охолодження, що в свою чергу призведе до зниження температури.
4. Виконання команд. САУ передає команди різним пристроям та елементам з метою внесення необхідних змін в процес виробництва етилового харчового спирту.
5. Спостереження. Після внесення необхідних змін, САУ продовжує спостерігати за станом процесу виробництва –збирати необхідну інформацію з відповідних датчиків. Таким чином відбувається перевірка, як вплинули внесені корективи в процес виробництва та чи вдалося досягти необхідних параметрів технологічного процесу.
6. Запис даних. Останнім етапом функцій САУ є запис та архівація даних. Тобто система зберігає всю отриману інформацію, зібрану протягом процесу виробництва, у спеціальному сховищі. Ця інформація може бути використана

з метою подальшого аналізу та/або вдосконалення процесу виробництва етилового харчового спирту.

7. Отже, мікропроцесорна система управління виробництвом етилового спирту дозволяє автоматизувати процес виробництва та забезпечити його контроль та оптимізацію. Це дозволяє знизити витрати на виробництво, підвищити якість продукції та збільшити продуктивність підприємства.

Узагальнений алгоритм роботи системи управління виробництвом етилового харчового спирту зображено на рисунку нижче:



Рисунок 29 – Узагальнений алгоритм роботи системи управління виробництвом етилового харчового спирту

6.1 Алгоритм роботи підсистеми підтримання оптимальної температури

Логіка регулювання температури під час процесу виробництва етилового харчового спирту має бути наступною:

1. Вимірювання та зчитування температури. САУ вимірює та температуру в необхідних точках технологічного процесу за допомогою первинних перетворювачів.

2. Порівняння вимірної фактичної температури з заданим значенням. САУ порівнює зчитане значення температури в певній частині технологічного процесу з заданим значенням.

3. Аналіз отриманих даних. Якщо зчитана температура не співпадає з заданою, САУ розпочинає аналіз причин. Це можуть бути проблеми з устаткуванням, різкі зміни напруги в електричній мережі тощо.

4. Корекція поточного значення температури. Якщо САУ виявляє розбіжність між фактичним значенням температури та її заданим значенням, вона вносить корективи в процес, щоб досягти заданої температури. Це може бути зниження/підвищення потужності нагрівальних елементів або навпаки – включення системи охолодження.

5. Спостереження. Після внесення коректив САУ, продовжує стежити за температурою та збирати дані з відповідних датчиків. Якщо температура не увійшла до діапазону номінальних значень, дії з попереднього пункту повторюються.

6. Запис інформації. Всі дані про температуру та дії, спрямовані на її корегування, записуються в базу даних для подальшого аналізу та вдосконалення процесу.

Головна мета підсистеми підтримки номінальної температури полягає в тому, щоб забезпечити постійне значення температури в процесі ферментації етилового харчового спирту. Що в свою чергу покращує якість продукту та економічні показники.

Логіка роботи підсистеми має наступний вигляд:

1. Початок роботи. Підсистема запускається під час початкового запуску виробництва або одразу після зупинки з причини технічної несправності.

2. Вимірювання необхідних температур. Первинні перетворювачі температури встановлені в баках для ферментації та в системі охолодження. Підсистема зчитує покази з відповідних датчиків.

3. Аналіз отриманих значень температури. Підсистема порівнює значення температур з заданими значеннями та розраховує різницю. Якщо різниця перевищує задані межі, підсистема переходить до наступного кроку.

4. Запуск системи охолодження. Підсистема передає керуючий сигнал (пропорційний до сигналу розугодження) до системи охолодження, яка розпочинає роботу, знижуючи температуру.

5. Перевірка наслідків регулювання. Після відповідного часу роботи системи охолодження, підсистема знову розраховує сигнал розугодження. Якщо температура сягла номінального значення, підсистема вимикає систему охолодження та повертається до режиму stand by.

6. Ведення журналу роботи. Підсистема записує всі отримані дані та свої дії до журналу роботи. Це дає можливість аналізувати дії САУ, роботу підсистеми та співставити це з якістю продукту.

7. Зупинка роботи підсистеми.

Побудуємо ретельний алгоритм регулювання температури, враховуючи що підвищення температури відбувається за допомогою подачі водяної пари, а зниження температури – за допомогою вентиляторів охолодження:

1. САУ зчитує фактичну температуру у відповідному резервуарі з первинних перетворювачів і передає дані до керуючого пристрою.

2. Керуючий пристрій порівнює цю температуру з заданим значенням, яке вказано в алгоритмі керування.

3. Якщо виміряна температура нижча за задану, система працює на підвищення температури. Якщо виміряна температура вища за задану, то система працює на її зниження.

4. Підвищення температури досягається подачею водяної пари в резервуар. Поточний стан парогенератора контролюється САУ за допомогою фізичних датчиків.

5. САУ також організовує регулювання потужності парогенератора з метою забезпечення необхідного значення температури в резервуарі.

6. Для того, щоб знизити температуру, САУ вмикає вентилятори охолодження. З цією метою САУ зчитує як поточний стан вентиляторів, так і інших елементів системи охолодження. Цьому слугують датчики, встановлені у відповідних місцях технологічного обладнання.

7. Необхідні значення температур досягаються за рахунок регулювання потужності вентиляторів. Саме це є предметом регулювання САУ в цій частині.

8. Якщо температура знижується і опускається нижче заданого рівня:

- САУ відключає подачу водяної пари до реактора та одночасно з цим вмикає вентилятори охолодження.

- Після того, як температура увійде в номінальні межі, САУ вимикає вентилятори і відновлює подачу водяної пари, з метою підтримки температури на потрібному рівні.

9. Під час роботи САУ постійно відбувається спостереження за значеннями температур. Якщо виникають помилки або відхилення, САУ одразу повідомляє операторів (відповідним сигналом на панелі керування) та автоматично вмикає захисний режим.

10. За допомогою органів впливу на панелі керування, оператор може встановлювати необхідні параметри роботи САУ. Такі як температура, час, налаштування рівнів сигналізації, захисту та блокування, тощо. Окрім того, оператор має змогу переглядати історію роботи САУ, аналізувати ефективність роботи обладнання та всього виробництва в цілому.

11. Після завершення фізико-хімічного процесу ферментації САУ зупиняє подачу водяної пари і вимикає вентилятори охолодження. Так продукт дистилюється (також під контролем САУ).

12. Таким чином бачимо, що САУ виробництвом етилового харчового спирту забезпечує автоматизацію та точне регулювання температури під час процесу ферментації.

Цей алгоритм, описаний словами, наочно представлено нижче на рисунку 30:

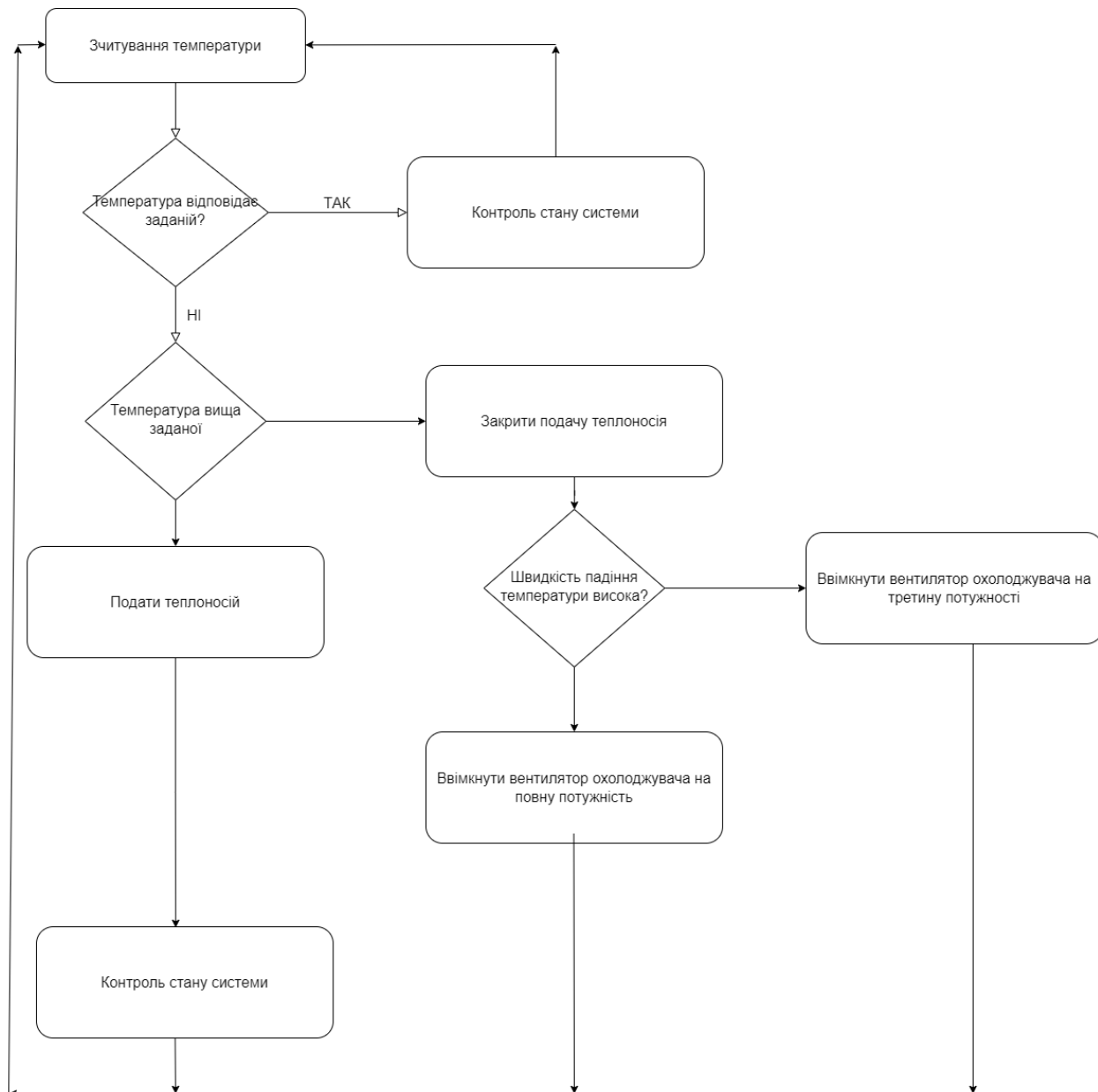


Рисунок 30 – Детальний алгоритм роботи підсистеми в в брагосепараційній колоні

7 РОЗРОБКА АСУТП ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

З точки зору апаратно-програмного комплексу засобів виробництва спирту АСУТП реалізована на базі двох промислових комп'ютерів, об'єднаних 100-мегабітної мережею Ethernet і працюючих під управлінням ОС РВ QNX 6.3.

7.1 Апаратне забезпечення

Основним технологічним устаткуванням, як об'єктом управління, є апарат з виробництва спирту. Структурну схему такої АСУТП представлено на рисунку нижче:

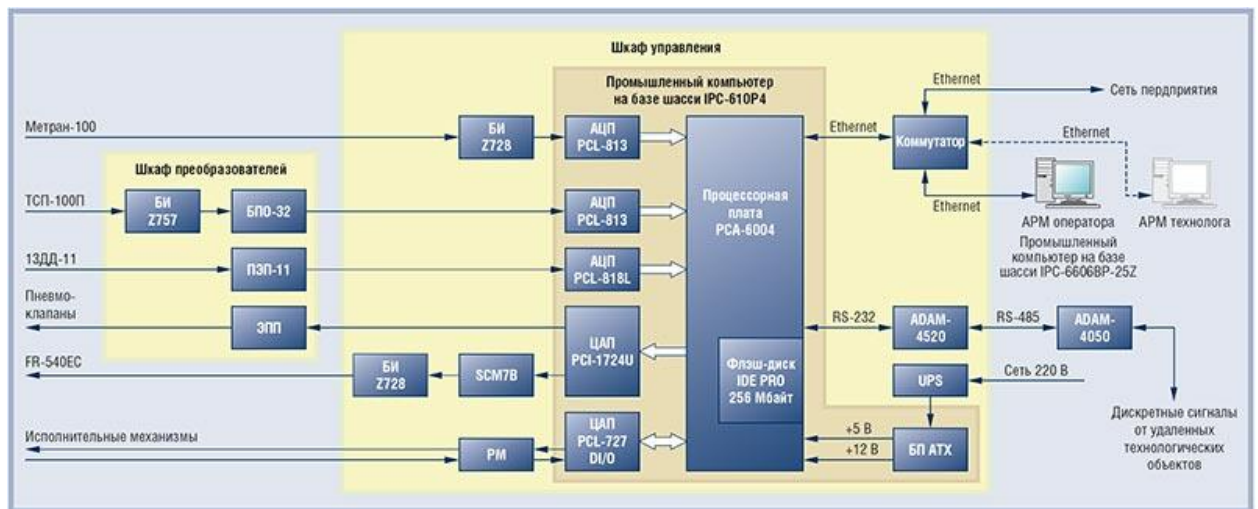


Рисунок 31 – Структурна схема АСУТП виробництва етилового харчового спирту

В основі апаратної частини системи управління є керуючий промисловий комп'ютер виробництва Advantech, виконаний на базі IPC-610P4. Комп'ютер має наступну комплектацію:

- процесорна плата PCA-6004 (Pentium Celeron 800 МГц, ОЗП 128 Мбайт);
- 32-х канальна плата АЦП PCL-813 (2 шт.);
- дві багатфункціональні 1-канальні плати АЦП PCL-818L;
- 32-х канальна плата ЦАП PCI-1724U;
- багатфункціональна 12-ти канальна плата ЦАП PCL-727;
- накопичувач на флешдиску фірми M-Systems серії IDE PRO (256 Мбайт);

- блок живлення типу АТХ.

Інший промисловий комп'ютер теж виробництва Advantech. Його побудовано на базі шасі ІРС-6606ВР-25Z і використовує він процесорну плату РСА-6004. Цей промисловий комп'ютер розміщується у відповідній вбудованій частині столу оператора.

Фактично цей комп'ютер виконує функції автоматизованого робочого місця:



Рисунок 32 – Автоматизоване робоче місце на базі комп'ютера Advantech.
ІРС-6606ВР-25Z

Для графічного відображення інформації використовується РК монітор діагональ 17 дюймів. Для звукового оповіщення передбачено акустичні колонки. Вважаємо, що вказувати конкретні моделі монітору та акустичних колонок не суттєво.

Впроваджена АСУТП виробництва етилового харчового спирту доволі легко масштабується шляхом підключення додаткових робочих місць. Як наприклад АРМ технолога.

Конструктивно керуючий комплекс АСУТП побудований у вигляді 19 дюймової промислової електротехнічної шафи, серія TS8, виробник шафи Rittal:



Рисунок 33 – керуючий комплекс АСУТП на базі шафи Rittal

Перелічимо склад шафи:

- керуючий комп'ютер;
- модуль релейної комутації TBR-8 виробництва Fastwel;
- модуль релейної комутації ADAM-3854 виробництва Advantech;
- електричні клемні з'єднувачі WAGO;
- модулі нормалізації сигналів SCM-7B виробництва Dataforth;
- бар'єри захисту від іскр серії Z7x виробництва Fuchs Elcon;
- джерело безперебійного живлення SmartUPS потужністю 700 ВА виробництва APC;
- мережеве обладнання.

Дискретні канали введення/виведення інформації організовано за допомогою інтерфейсу RS-485. Цьому допомагають модулі ADAM-4520 та ADAM-4050 виробництва Advantech.

Перетворення пневматичних сигналів на пневматичні (і в зворотньому порядку також) забезпечується блоками ЕПП та ПЕП. Ці блоки винесено в окрему шафу. В даній бакалаврській роботі ми використовуємо перетворювач сигналів термометрів опору БПО-32.

Зовнішній вигляд такої шафи зображено на рисунку нижче:



Рисунок 34 – Шафа з перетворювачами електричних та пневматичних сигналів ЕПП та ПЕП

До впровадження цієї АСУТП, у вибухонебезпечній зоні виробництва використовувалися датчики і виконавчі механізми з пневматичним входом.

Реконструкція цеху виробництва етилового харчового спирту передбачає розширення функціоналу САУ. Це в свою чергу вимагає впровадження сучасних датчиків температури, тиску, витрати, частотних перетворювачів.

Певна частина цих датчиків розташована у вибухонебезпечній зоні, тому:

- датчики мають вибухозахищене виконання;
- датчики з'єднуються з нормалізаторами сигналів через пристрої іскробезпеки.

7.2 Програмне забезпечення

В основі прикладного програмного забезпечення САУ покладено концепцію SoftLogic PLC та ідею максимального можливого використання стандартних рішень.

Забезпечити реалізацію цієї концепції стало можливим через використання операційної системи PV QNX 6.3, SCADA Silver 2.0 фірми «Системи реального часу Україна» (RealTimeSystem-Ukraine), а також пакету розробки ISaGRAF Workbench 3.4, середовище виконання якого тісно інтегроване із середовищем виконання SCADA Silver.

7.4 Опис функціонування системи

Первинний збір інформації та функції керування покладено на керуючий комп'ютер.

Циклічність збору інформації – 100 мс. Вхідні сигнали фільтруються з метою більш стабільної роботи САУ.

Використовується ПІД регулювання. Це дозволяє організувати застосовувати складні каскадні контури регулювання і коректно підбирати параметри всіх елементів САУ. Що дає якісні результати роботи.

САУ охоплює абсолютно всі технологічні підсистеми: бражну, епюраційну, ректифікаційну, сивушну колони, колону розгонки ефіроальдегідної фракції. Це позитивно впливає на ефективність всього виробництва, забезпечує високі показники стабільності технологічного процесу.

Окрім того, всі контури керування відображаються на інтерфейсі оператора. Таким чином є можливість:

- оперативно змінювати параметри регулювання та налаштування регуляторів;
- швидко перемикається між каскадним, автоматичним або ручним режимами керування.

На рисунку нижче наведено вигляд інтерфейсу налаштування та управління ПІД контурами:

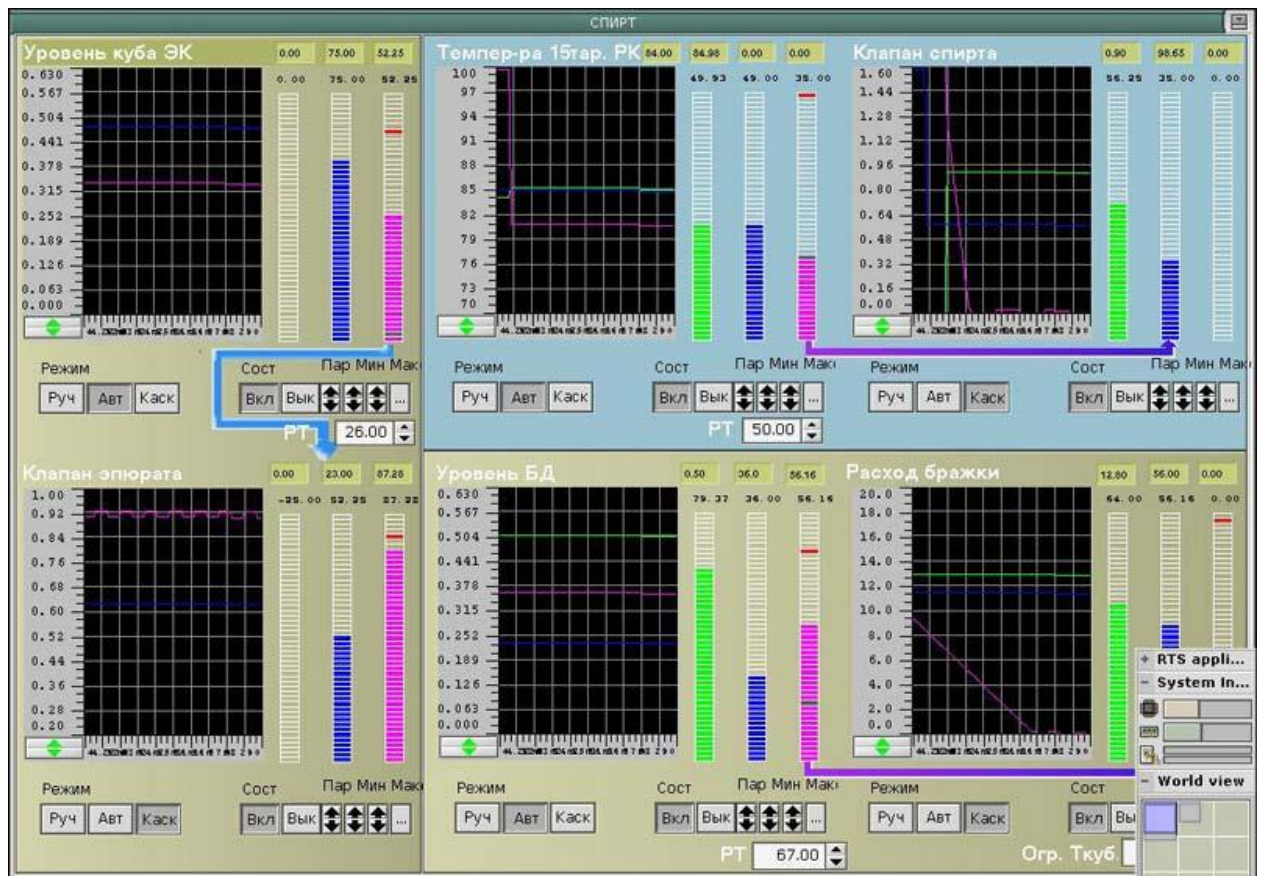


Рисунок 35 – Вікно налаштування ПІД контурів та управління ними

На базі автоматизованого робочого місця оператора виконано функції зовнішнього відображення, ручного керування, корекції параметрів підсистем САУ: управління, швидкого оперативного контролю, звукової та світлової сигналізації, запису інформації в базу даних, ведення бази даних тощо.

На рисунку нижче наведено визначальну мнемосхему АСУТП виробництва етилового харчового спирту:

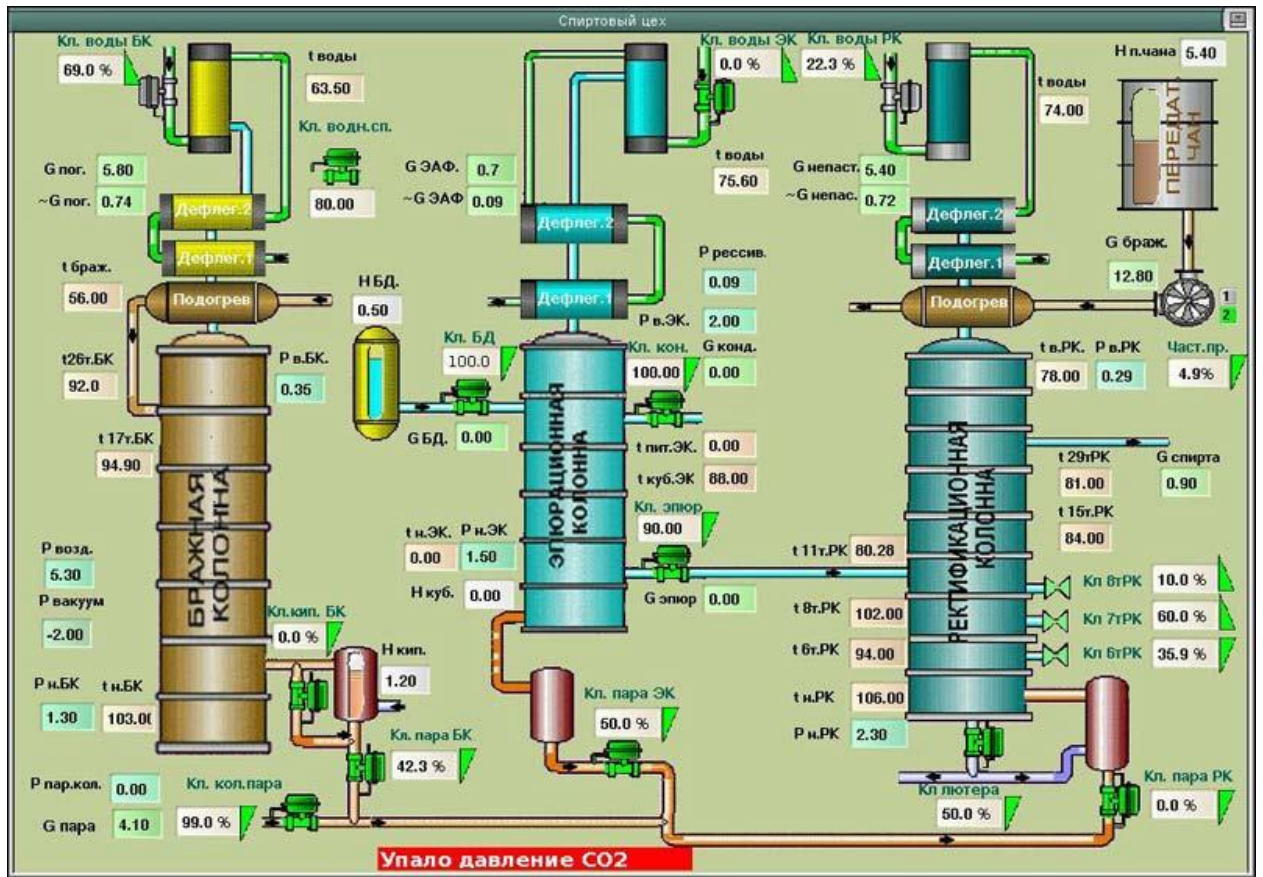


Рисунок 35 – Визначальна мнемосхема АСУТП виробництва етилового харчового спирту

ВИСНОВОК

Виробництво етилового харчового спирту – процес багатоетапний, складний, такий, що має кілька складних визначальних етапів. Що є підставою впровадження сучасних рішень з автоматизації та технологій.

Впровадження сучасних технологій та виробничих рішень дозволяють значно збільшити якісні показники виробництва: і в розрізі отримуваної продукції, і в розрізі умов праці.

Розроблена система автоматизованого управління виробництвом етилового харчового спирту дозволяє:

- покращити якість етилового харчового спирту;
- полегшити контроль над перебігом фізико-хімічних процесів в технологічному обладнанні;
- оптимізувати використання сировини та її залишків;
- знизити собівартість готового продукту;
- покращити умови праці обслуговуючого персоналу;
- підвищити техніко-економічні показники.

Впровадження САУ дозволяє більш точно контролювати температури у відповідних точках технологічного процесу. Що у свою чергу впливає на якість процесів підігріву, конденсації та ферментації. Таким чином виробництво етилового харчового спирту отримало сучасну, надійну систему автоматизації технологічного процесу з широким функціоналом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. "Автоматизовані системи управління машинами і виробництвом" / Яремко Р.О., Лихота Ю.О., Кушнір О.В. та ін. // Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2021.
2. "Автоматизація хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту" / Швидкий Є. А., Ярошук Л. Д. // Видавництво КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.
3. Стаття "Автоматизація процесу очищення спирту від води" (Ю.І. Ковальчук, О.М. Ляшенко, В.В. Мартинюк), 2018
4. "Каталог технічних засобів автоматизації від провідних виробників" / Компанія "Атом". - <https://atom.ua/ua/products/catalog/automation-equipment>
5. "Каталог технічних засобів автоматизації Івано-Франківського заводу "Промприлад"" / Компанія " Промприлад ". - <https://prylad.com.ua>
6. "Автоматизовані системи управління та моніторингу технологічних процесів" / Красновський І.М., Гавриш В.М., Глушко О.І. та ін. // Збірник наукових праць "Електромеханічні та енергозберігаючі системи". - 2018. - Вип. 1 (35).
7. Основные процессы и аппараты химической технологии. /Пособие по проектированию/ Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под редакцией Ю.И. Дытнерского, 2е издание, перераб. и до-полн. М.; Химия, 1991.– 496 стр.
8. Лоусон Ч., Хенсон Р. Численное решение задач методом наименьших квадратов. — М.: Наука, 1986.