

НУБІП України

НУБІП України
КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06 – КМР323"С" 23.03.06.010 ПЗ

НУБІП України
КУЛИКА ІВАНА ВАСИЛЬОВИЧА

2023

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 681.5:664.1:636.082.474

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики, автоматички і
енергозбереження
(назва ННІ)

В.В. Каплун

(підпис)

(ПБ)

« » _____ 2023 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматички
та робототехнічних систем
ім. акад. П.П. Мартиненка
(назва кафедри)

В.П. Лисенко

(підпис)

(ПБ)

« » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ ЗБРОДЖУВАННЯ ПИВА В БРОДИЛЬНОМУ АПАРАТІ НА БАЗІ КТЗ ОВЕН»

Спеціальність: 151– «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва)

Освітня програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва)

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., проф.

(науковий ступінь та вчене звання)

І. М. Болбот

(підпис)

(ПБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

В.О. Мірошник

(підпис)

(ПБ)

Виконав

І. В. Кулик

(підпис)

(ПБ студента)

КИЇВ – 2023

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

НУБІП України

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка

В.П. Лисенко

«___» _____ 2023 р.

НУБІП України

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ

Кулику Івану Васильовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

НУБІП України

Спеціальність: 151-«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Магістерська програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської роботи **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ ЗБРОДЖУВАННЯ ОПИВА В
БРОДИЛЬНОМУ АПАРАТІ НА БАЗІ КТЗОВЕН»**,

затверджена наказом ректора НУБІП України від 06.03.2023 року №323 «С»

Термін подання студентом магістерської роботи 03.11.2023 року

Вихідні дані до магістерської роботи: завдання кафедри на виконання
магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів
автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з
тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу
2. Дослідження об'єкта автоматизації.
3. Вибір регулятора та обґрунтування його параметрів.
4. Дослідження системи автоматизації.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Техніко-економічне обґрунтування.

НУБІП України

Дата видачі завдання «06» березня 2023 року

Керівник магістерської роботи

Завдання прийняв до виконання

(Підпис)

(Підпис)

Мирошник В.О.

(Прізвище та ініціали)

Кулик І.В.

(Прізвище та ініціали)

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Анотація

У даній кваліфікаційній магістерській роботі проведено дослідження та вдосконалення комп'ютерно - інтегрованої системи автоматичного контролю температури зброджування пива під час виробництва.

Актуальність цього дослідження пояснюється наступним чином: у сучасному розвитку харчової промисловості в Україні дуже важливою стає інтеграція і комп'ютеризація виробничих процесів.

Зараз на багатьох підприємствах використовується автоматизоване обладнання та контролери, але ці системи часто обмежені в аналізі технологічних даних. Вони здатні лише до часткового моніторингу основних параметрів виробництва. Розробка програмного забезпечення, схем та методів комплексної інформатизації технологічних процесів на підприємствах є надзвичайно актуальним завданням. Вирішення цієї проблеми може покращити якість виробленої продукції, збільшити продуктивність та допомогти зменшити споживання електроенергії.

Основною метою цієї роботи є вдосконалення автоматизованої системи управління технологічним процесом бродіння пива при виробництві.

Annotation

In this qualifying master's thesis, research and improvement of the computer-integrated system of automatic control of the beer fermentation temperature during production was carried out.

The relevance of this study is explained as follows: in the modern development of the food industry in Ukraine, the integration and computerization of production processes is becoming very important.

Many businesses now use automated equipment and controllers, but these systems are often limited in their ability to analyze process data. They are only capable of partial monitoring of the main production parameters. The development of software, schemes and methods of complex informatization of technological processes at enterprises is an extremely urgent task. Solving this problem can improve the quality of products produced, increase productivity and help reduce electricity consumption.

The main goal of this work is to improve the automated system for managing the technological process of beer fermentation during production.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	10
1.1. Інформаційний аналіз технологічного об'єкта керування.	10
1.2. Опис технологічного обладнання процесу бродіння пива.	15
1.3. Розробка функціональної схеми автоматизації	18
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	22
2.1. Загальний підхід до створення математичної моделі об'єкта керування та розробка схеми теплового балансу в бродильному апараті.	22
2.2. Розробка та дослідження імітаційної моделі об'єкта із використанням програмного середовища MATLAB.	24
РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ У БРОДИЛЬНОМУ АПАРАТІ	26
3.1. Вибір алгоритму керування	26
3.2. Вибір технічних засобів	27
3.3. Вибір первинного вимірювального перетворювача та визначення його передатної функції	28
3.4. Вибір регулюючого органу та виконавчого механізму	31
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЇЇ РОБОТИ	37
4.1. Оцінка якості автоматичних систем за стандартними показниками якості	37
РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	50
5.1. Вибір електротехнічної апаратури.	50
5.1.1. Вибір електродвигуна.	50
5.1.2. Вибір автоматичного вимикача QF1:	50
5.1.3. Вибір засобу від перенапруг.	53
5.1.4. Вибір теплового реле КК1	54
5.1.5. Вибір електромагнітного пускача КМ1, КМ2	55
5.2. Вибір проводів та кабелів.	59
5.3. Розрахунок надійності схеми автоматичного управління	61
5.4. Розробка SCADA - системи	64
5.5. Програмне забезпечення ПЛК	66
РОЗДІЛ 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБГРУНТУВАННЯ	69

ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
ДОДАТОК А.....	77
ДОДАТОК Б.....	78
ДОДАТОК В.....	80
ДОДАТОК Г.....	81

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Пиво - це широко поширений напій, який виробляється за допомогою складного біохімічного процесу, відомого як бродіння. В цьому процесі цукор перетворюється під дією дріжджів на вуглекислий газ і спирт.

Пиво славиться своїм освіжаючим смаком, характерним ароматом хмелю та приємною гіркуватістю. Воно насичується вуглекислим газом і містить невелику кількість етилового спирту. Пиво допомагає втамовувати спрагу і підвищує тонус організму. Завдяки своєму складу, воно також сприяє правильному обміну речовин і підсилює засвоєння їжі.

Процес виробництва пива включає в себе використання чотирьох основних складових: солоду, хмелю, води та дріжджів.

За тисячі років люди вивчили та вдосконалили процеси виробництва пива, включаючи вирощування солоду, оцукровання крохмалю і ферментацію. До 19-го століття було відомо мало про роль мікроорганізмів у цих процесах. Вивчення показало, що дріжджові гриби відіграють ключову роль у ферментації суслу, і цей процес є біокаталітичним і відбувається всередині дріжджових клітин.

Сучасний ринок пива активно розвивається на всій планеті, включаючи Україну. Виробництво пива швидко зростає, і для досягнення економічного успіху, необхідно постійно впроваджувати нові розробки в галузі пивоваріння.

Збереження конкурентоспроможності вимагає виробництва великих обсягів продукції і підтримання високої якості напою. Тому розробка нових технологій та їхнє постійне вдосконалення в галузі виробництва пива є актуальним завданням [14].

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурним режимом бродіння пива під час виробництва.

Задані магістерської роботи:

НУБІП України

- Аналіз технологічного процесу.
- Дослідження об'єкта автоматизації
- Розробка функціонально-технологічної схеми автоматизації.
- Вибір регулятора та обґрунтування його параметрів.

НУБІП України

- Дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизації.
- Розробка SCADA – системи.
- Техніко-економічне обґрунтування.

Об'єктом є процес керування температурою пивного сусла в бродильному танку.

НУБІП України

Предметом нашого дослідження є теоретичні, методичні та практичні аспекти управління технологічними процесами, які стосуються бродіння пива

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1. Інформаційний аналіз технологічного об'єкта керування.

Пивоваріння - це процес виготовлення пива, який включає в себе замочування джерела крохмалю (зазвичай злаки, найчастіше ячмінь) у воді і ферментацію отриманої солодкої рідини за допомогою дріжджів. Ця практика має свої коріння в давніх часах, близько шостого тисячоліття до нашої ери, і свідчення археологічних досліджень вказують на виробництво пива в різних стародавніх цивілізаціях, включаючи Древній Єгипет і Месопотамію. З часом, пивоварна промисловість стала невід'ємною частиною економік багатьох західних країн, починаючи з дев'ятнадцятого століття.

Основними складовими пива є вода і джерело крохмалю (солодовий ячмінь), які піддаються ферментації завдяки пивним дріжджам і приправляються хмелем. У рецептах пива також можуть використовуватися інші джерела крохмалю, такі як просо, сорго і маніока, а також додаткові інгредієнти, наприклад кукурудза, рис або цукор, для покращення смаку або зниження вартості. Відсоток крохмалю чи інших зернових інгредієнтів в рецепті пива називається засипкою або зерновим засипанням.

Процес пивоваріння.

Процес виробництва пива включає кілька етапів, які включають приготування солоду, подрібнення зерна, затирку, фільтрацію, кип'ятіння, бродіння, охолодження, фільтрацію і розлив. Існують різні методи бродіння, включаючи теплий, холодний і мимовільний, а також можливість використання відкритого чи закритого бродильного посуду, а також вторинної ферментації в бочці або пляшці. Існують також додаткові методи пивоваріння, такі як бертонізація, витримка в бочках, подвійне капання та методика Йоркшир-сквер.

високій температурі в печі, з поступовим підвищенням температури протягом декількох годин. Після сушіння зерно стає солодом і його подрібнюють, щоб розділити ядра та виділити сім'ядоло, яка містить більшість вуглеводів і цукрів, полегшуючи вилучення цукру під час затирки[14].

Затирання.

Затирання – це процес об'єднання подрібненого зерна, зазвичай солодуваного ячменю, з іншими зернами, якими можуть бути кукурудза, сорго, жито та пшениця. Під час затирання ферменти, які містить солод, розщеплюють крохмаль в зерні на цукор, зазвичай мальтозу. Цей процес призводить до утворення солодової рідини, відомої як затор. Існують два основних методи затирання: інфузійне, де зерно нагрівається в одному посудині, і відварне, де частина зерен відварюється та повертається в затор для підвищення температури.

Під час затирання застосовують паузи при певних температурах (зокрема, 45-62-73 ° C або 113-144-163 ° F), і цей процес відбувається в спеціальному пивоварному посуді з фіксованим дном, відомому як заторний чан. Готовий продукт затирання називається "затором"[8].

Фільтрація – відділення суслу (рідини, що містить цукор, витягнутий під час затирання) від зерен. Це робиться або в заторному чані, оснащеному фальшивим дном або в фільтрі для затирання. Більшість процесів сепарації мають два етапи: перший стік суслу, під час якого екстракт відділяється в нерозбавленому стані від відпрацьованих зерен і барботування, при якому екстракт, який залишається разом з зернами, змивається гарячою водою.

Кип'ятіння.

Після затирання пивне сусло кип'ятять з хмелем (та іншими ароматизаторами, якщо їх використовують) у великому резервуарі, так званому чайнику для заварювання. У процесі кипіння відбуваються хімічні реакції, включаючи стерилізацію суслу для видалення небажаних бактерій, виділення ароматів хмелю, гіркоти і ароматичних сполук за допомогою ізомеризації, зупинки ферментаційних процесів, осадження білків і концентрації суслу.

Кип'ятіння проводиться так, щоб воно було рівномірним і інтенсивним - безперервний "прокатний кипіння". Кипіння в середньому триває від 45 до 90 хвилин в залежності від його інтенсивності, додавання хмелю і обсягу води[9].

Охолодження сусла.

Після процесу кип'ятіння сусло потрібно охолодити до температури, придатної для бродіння, яка зазвичай коливається в межах 14-20 °С. Цей процес здійснюється за допомогою пластинчастого теплообмінника. У пластинчастому теплообміннику використовуються безліч пластин, які створюють два відокремлені шляхи. Сусло подається в теплообмінник і проходить через всі інші проміжки між цими пластинами. Одночасно охолоджувальна рідина середовища, якою може бути вода, россол або спеціальний хладагент, проходить через інші проміжки теплообмінника. Це дозволяє знизити температуру сусла до необхідних значень.

Способи бродіння.

Існує три основних способи бродіння, тепле, прохолодне і дике або спонтанне. Бродіння може відбуватися у відкритих або закритих чанах (танках).

На сучасних пивзаводах найчастіше використовують ЦКТ циліндро-конічні танки. Основні переваги циліндро-конічних танків полягає в зниженні витрат на приготування пива, а також в покращує його смакові якості.

Пивоварні дріжджі традиційно класифікуються як "верхнє бродіння" або "нижнє бродіння" дріжджі, класифіковані як верхнє бродіння, зазвичай використовуються в теплому бродінні, вони швидко бродять, а дріжджі, класифіковані як нижнє бродіння, використовуються в холодних ферментації, де вони бродять повільніше. Дріжджі назвали верхньою або нижньою культурою, оскільки їх збирали зверху або знизу бродильного сусла для повторного використання для подальшого заварювання. Ця термінологія дещо недоречна в сучасну епоху; після широкого застосування пивоварної мікології було виявлено, що в двох окремих методах збору брали участь два різних види дріжджів, які віддавали перевагу різним температурним режимам, а саме

Saccharomyces cerevisiae при більш високих температурах, і *Saccharomyces pastorianus* при прохолодних температурах.

Дозрівання.

Під час дозрівання залишкові ферментовані цукри у «молодому пиві» перетворюються в алкоголь, а пиво насичується CO₂. Для дозрівання потрібні великі ємності з нержавіючої сталі, сам процес триває від кількох тижнів до чотирьох місяців.

Під час дозрівання необхідно підтримувати стабільну температуру і тиск в резервуарах, ці параметри не повинні коліватися. На сучасних підприємствах технологічний процес контролюється спеціальним обладнанням, яке може автоматично змінювати температуру і тиск.

Фільтрація.

Після дозрівання пиво проходить ще одну фільтрацію за допомогою двох різних фільтрів, призначених для очищення великих і дрібних частинок. Після цього пінистий напій стає повністю прозорим і готовим до розливу.

Розлив.

На заключному етапі виробництва пива його розливають в ємності різних типів. Перед розливом в пляшки, бочки їх ретельно промивають, потім видаляють повітря, що потрапило всередину. Пиво - це швидкопсувний алкогольний напій, який вимагає стерильних умов. Без стерильності термін придатності готового продукту дуже короткий, і його смак помітно погіршується. При розливі в скляну тару пляшки попередньо пастеризуються-повільно нагріваються до температури 65 ° C, що значно продовжує термін придатності пива.

Структурна схема виробництва пива зображена на (рис. 1.2.).

Н
Н
Н
Н

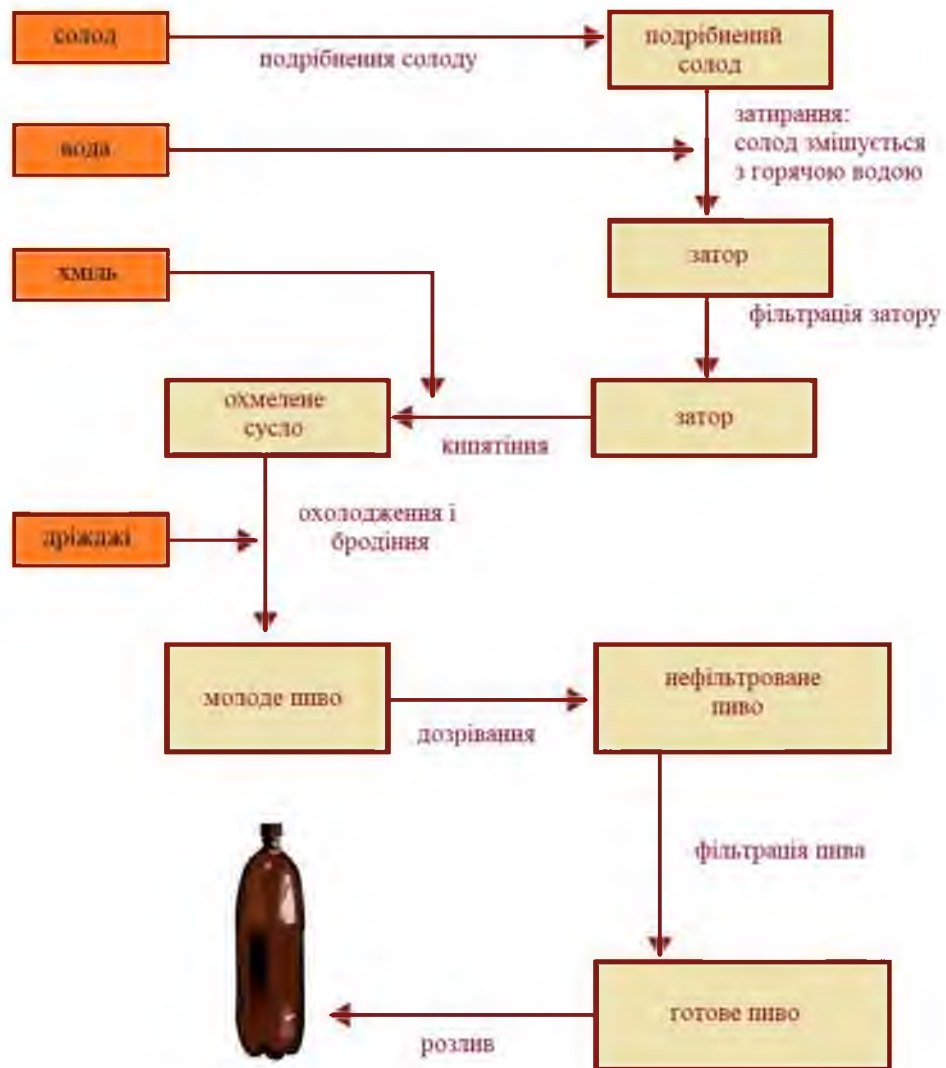


Рис. 1.2. Структурна схема виробництва пива

1.2. Опис технологічного обладнання процесу бродіння пива.

Для вилучення ферментованих цукрів під час затору зерно повинно бути подрібнене. Зернова дробарка подрібнює пивний солод в лущиння, крупу і борошно, щоб переконатися в ефективності затирання.

Ідеальна дробарка розщепить лущиння зерна і подрібнить вміст ядра званого крупю. Велика площа поверхні дрібно подрібненої крсмальної крупи допомагає максимізувати вихід екстракту. Лущиння діє як фільтр для сусла, через який проходить солодке сусло під час лаутера і спаржа.

По механізму впливу на сировину дробарки бувають двох видів:

Молоткова Використовується для подрібнення ячменю, кукурудзи.

Н
Н
Н
Н

ячменю, гороху і квасолі.

Вальцова. Застосовується для приготування кормів (ячмень, овес) або в пивоварінні (солод).

Тонкощі приготування пивного затору передбачають часткове збереження цілісності окремих елементів зерна. Саме тому для пивоварного виробництва вальцеву дробарку (рис.1.3).



Рис.1.3. Вальцева дробарка

Фільтрування застосовується в промисловому пивоварінні і використовується для збільшення терміну зберігання (придатності) пива.

Пиво фільтрують від залишків дріжджів / бактеріальних клітин, зважених частинок, різних домішок. При цьому використовуються намизні кізельгурові фільтри для пива, фільтр-преси, сепаратори, а також фільтри патронного типу (картриджі).

Нефільтроване пиво зберігається всього лише кілька днів, профільтроване на кізельгуровому фільтрі - від 5 до 20 днів, що пройшло додаткову знепоживаючу (контрольну) фільтрацію на фільтрах патронного типу — від 30 до 90 днів (рис.1.4.).

NU

аїни

NU

аїни



NUБІП УКРАЇНИ

Рис. 1.4. Установка для фільтрації пива

Кип'ятіння сусла є одним з найбільш важливих і складних аспектів процесу пивоваріння. Сьогодні існує дуже мало видів пива, де сусло не вариться. Серед найбільш відомих видів - фінське традиційне пиво під назвою Сахті, для якого сусло просто нагрівається. Хоча вони нічого не знали про мікроби, стародавні пивовари незабаром дізналися, що пиво, приготоване з вареного сусла, зберігається довше і корисніше для здоров'я (рис. 1.5.).

NUБІП УКРАЇНИ

NU

країни

NU

країни



Рис. 1.5. Чани для кип'ятіння сусла

Бродильний апарат являє собою циліндричну ємність із конічними днищами. Усередині апарата змонтований змійовик з нержавіючих труб для виведення теплоти, що виділяється при бродінні сусла.

NUБІП УКРАЇНИ

Для огляду і ремонту апарат обладнаний люком. Також апарат обладнаний датчиками температури, тиску та датчиком рівня. У нижній частині танка встановлені клапани для подачі сусле та дріжджів. При безперервно-поточковому способі бродіння на переточних трубах встановлюють дисковий затвор, за допомогою якого апарат відключається від батареї для миття та дезінфекції. Конструкція затвора запобігає застою бражки, що забезпечує стерильність процесу бродіння (рис. 1.6.).



Рис.1.6. Бродильний танк

1.3. Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації є основним проектним документом, що визначає структуру і рівень автоматизації технологічного процесу об'єкта керування. Функціональна схема з допомогою умовних графічних символів позначає технологічне обладнання, засоби зв'язку, управління, пристрої та засоби автоматизації і т.д. із зазначенням зв'язків між ними, таблиць символів і необхідних пояснень.

Функціональна схема автоматизації графічно розділена на дві зони. У верхній частині креслення представлена технологічна схема, а в нижній частині намальовані умовні графічні позначення, як умовно зображують: монтаж

НУБІП України
локальних пристроїв, щитів, панелей, точок контролю і управління. Графічні умовні зображення пристроїв і засобів автоматизації, їх розміри і буквені позначення повинні відповідати ГОСТ 21.404 – 85 ССДБ - Автоматизація технологічних процесів. Позначення умовних пристроїв і засобів автоматизації в схемах.

НУБІП України
Пристрої й засоби автоматизації показані на функціональних схемах в розгорнутому вигляді, відповідно до якого кожен пристрій або блок, що входять в єдиний набір, показані в вигляді окремих умовних графічних зображень. У верхній частині зображення (коло, овал) відзначте вимірне значення і функцію, виконувану приладом, в порядку їх розміщення зліва направо. У нижній частині вкажіть позиційне позначення вимірювального комплексу або його окремих елементів (рис. 1.7).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

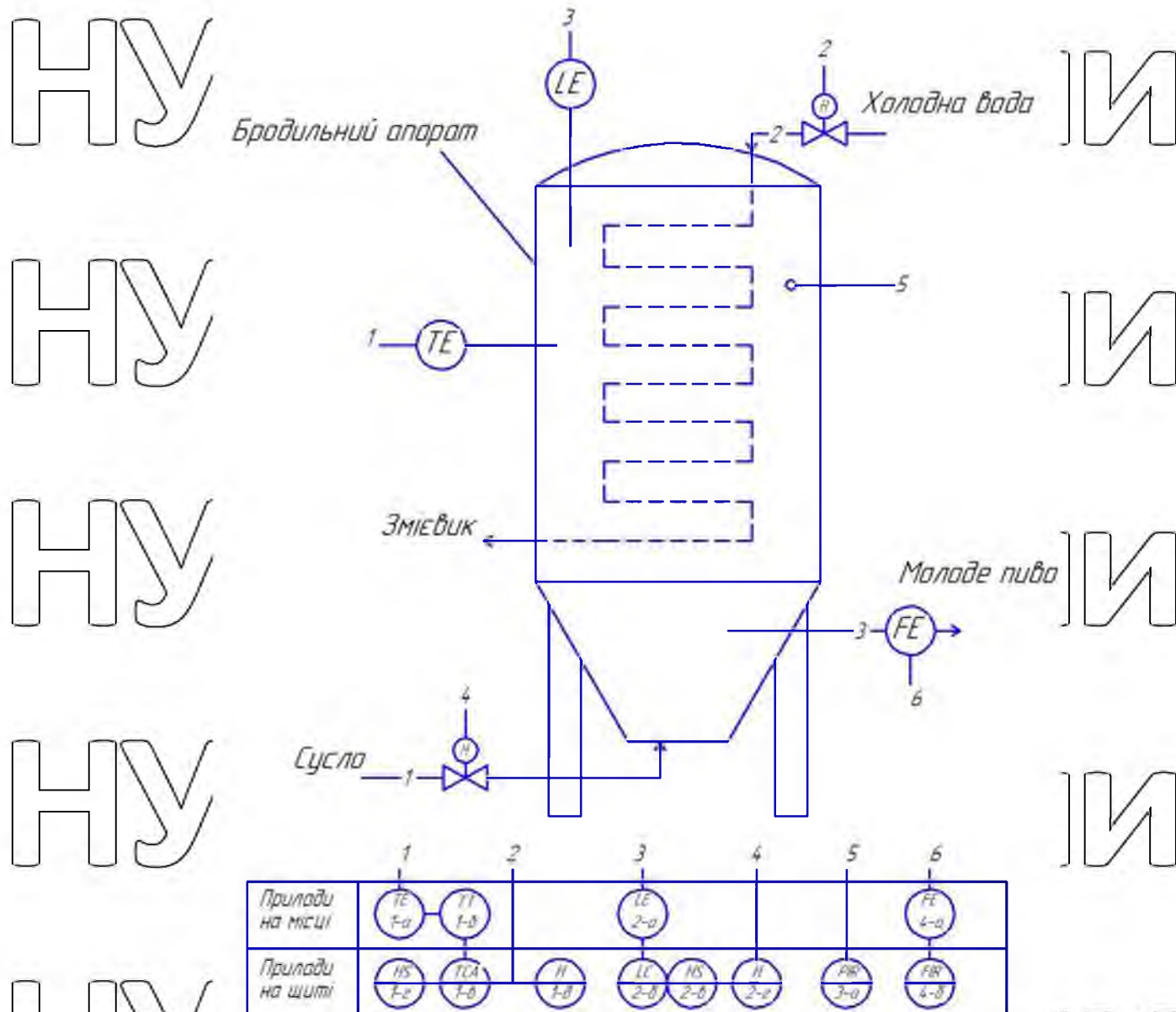


Рис. 1 7. Функціональна схема САК температури в бродильному танку

Пояснення до функціональної схеми:

1 – (TE) Первинний вимірюваний перетворювач для вимірювання температури, встановлений по місцю

3 – (LE) Первинний вимірювальний перетворювач для вимірювання рівня, встановлений по місцю.

5 – (PIR) – Прилад для вимірювання тиску, реєструючий, встановлений дистанційно.

6 – (FE) Первинний вимірювальний перетворювач для вимірювання витрати, встановлений по місцю

(H) – Прилад ручного дистанційного управління, який встановлений на щиті (кнопковий пост, тумблер).
(HS) – Прилад керування, який призначений для вибору керування, встановлений на щиті (перемикач).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Загальний підхід до створення математичної моделі об'єкта керування та розробка схеми теплового балансу в бродильному апараті.

Мета розділу полягає у розробленні математичної моделі об'єкта керування з урахуванням впливу параметру керування і подальшим створенням на базі динамічного рівняння зміни параметру керування імітаційної моделі ОК та дослідження цієї моделі. Дослідження моделі дає змогу знайти передаточний коефіцієнт об'єкта, отримати постійну часу об'єкта і розрахувати транспортне запізнення.

Складемо схему теплового балансу для системи регулювання температурного режиму у бродильному апараті (рис.2.1.).

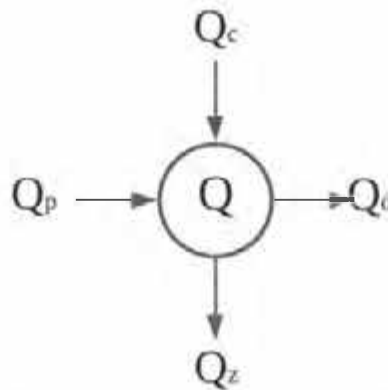


Рис.2.1. Схема теплового балансу в бродильному апараті

Q_c – тепло, яке надходить з суслим при завантаженні;

Q_p – тепло молодого тива, під час бродіння;

Q – тепло, що міститься в бродильному апараті;

Q_d – витрати теплоти в навколишнє середовище стінками апарата,

Q_z – тепло, яке відводиться змійовиком.

1. Тепло, яке надходить з суслим при завантаженні, Вт:

$$Q_c = m_c c_c t_c \quad (2.1.)$$

де m_c – кількість суслима закачане насосом, $m_c = 0.0055 \text{ кг/с}$, c_c – питома теплоємність

сусла, $c_c = 3630 \text{ Дж/кг}$; t_c – температура сусла яке поступає в бродильний апарат, $t_c = 10^\circ\text{C}$.

2. Тепло молодого пива, під час бродіння, Вт:

$$Q_p = m_c c_p t_p. \quad (2.2.)$$

де m_c – кількість пива викачане насосом, $m_c = 0.0055 \text{ кг/с}$; c_p – питома теплоємність пива, $c_p = 3820 \text{ Дж/кг}$; t_p – температура пива, $t_p = 10^\circ\text{C}$.

3. Кількість теплоти що міститься в бродильному апараті, Дж:

$$Q = V_p \rho_p c_p t_p. \quad (2.3.)$$

де V_p – об'єм пива у апараті, $V_p = 30 \text{ м}^3$; ρ_p – густина пива, $\rho_p = 1040 \text{ кг/м}^3$; c_p –

питома теплоємність пива, $c_p = 3820 \text{ Дж/кг}$ град; t_p – температура пива у апараті, $t_p = 10^\circ\text{C}$.

4. Витрати теплоти в навколишнє середовище стінками апарата, Вт:

$$Q_d = k_c \cdot F \cdot (t_c - t_{\text{пов}}). \quad (2.4.)$$

де F - площа поверхні стінок, що дорівнює 69 м^2 ; t_p - температура пива, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{пов}}$

- температура навколишнього повітря, приймаємо $t_{\text{пов}} = 15$; k_c - коефіцієнт теплопередачі від пива до навколишнього повітря через стінку, приймаємо $k_c = 150 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$.

5. Кількість теплоти, що відведено змієвиком, Вт:

$$Q_z = G_B \rho_B k (t_B - t_p). \quad (2.5.)$$

де G_B – витрати води, $G_B = 0.4 \text{ л/с}$; ρ_B – густина води, $\rho_B = 999 \text{ кг/м}^3$; t_B – температура води, яка проходить через змієвик, $t_B = 13^\circ\text{C}$; t_p – температура пива, $t_p = 10^\circ\text{C}$; k – коефіцієнт теплопередачі від води до пива, $k = 2500 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$.

Враховуючи динаміку процесу буде змінюватись вміст тепла у бродильному апараті:

$$\frac{dQ}{dt} = Q_s + Q_p - (Q_d + Q_z). \quad (2.6.)$$

Диференційне рівняння зміни тепла в бродильному апараті

$$\frac{dt_p}{dt} = \frac{m_c c_c t_c + m_c c_p t_p - (k_c \cdot F \cdot (t_c - t_{\text{пов}}) + G_B \rho_B k (t_B - t_p))}{V_p \rho_p c_p}. \quad (2.7.)$$

$$\frac{dt_{p1}}{d\tau} = \frac{0.0055 \cdot 3630 \cdot 10 + 0.0055 \cdot 3820 \cdot 10 - (150 \cdot 25(10-15) + 0.4 \cdot 999 \cdot 2500(13-10))}{30 \cdot 1040 \cdot 3820}$$

2.2. Розробка та дослідження імітаційної моделі об'єкта із використанням програмного середовища MATLAB.

Створення імітаційної моделі (рис.2.2).

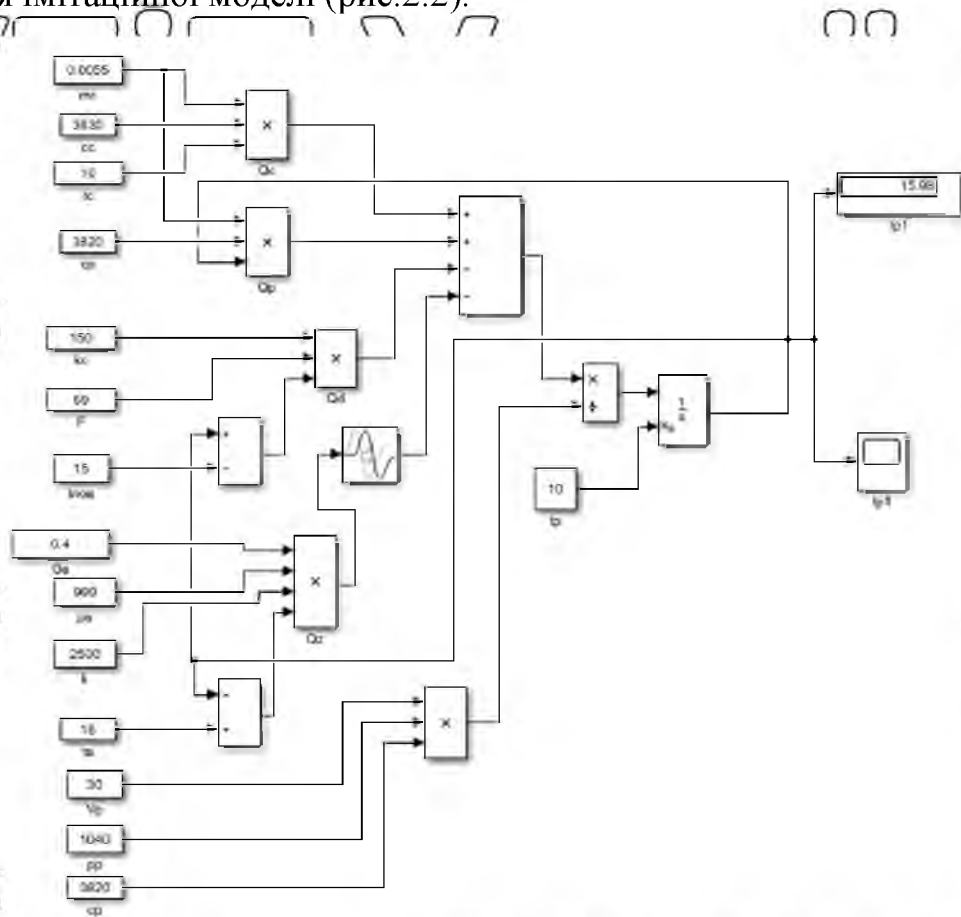


Рис.2.2. Імітаційна модель температури в бродильному апараті.

Дослідження об'єкта керування

Для оцінки характеристик бродильного апарата як об'єкта керування температури була використана її розгінна характеристика, яка представляє собою залежність температури від часу, при ступінчастій зміні управляючої дії. Дана характеристика представлена на рис.2.3.

Таким чином коефіцієнт передачі об'єкта дорівнює:

$$K = \frac{\Delta t_p}{\Delta G_b} = 15 \frac{\text{град}}{\text{м}^3/\text{с}}$$

Час за який вода заповнить змішувик є часом замізнення по параметру температури сусла для даного апарату і визначається рівнянням:

де L — довжина труби змійовика, м, f — площа поперечного перерізу труби, м²,
 G_v — витрати води, м³/с,
 $\tau = \frac{L \cdot f}{G_v} = 27 \text{ с.}$

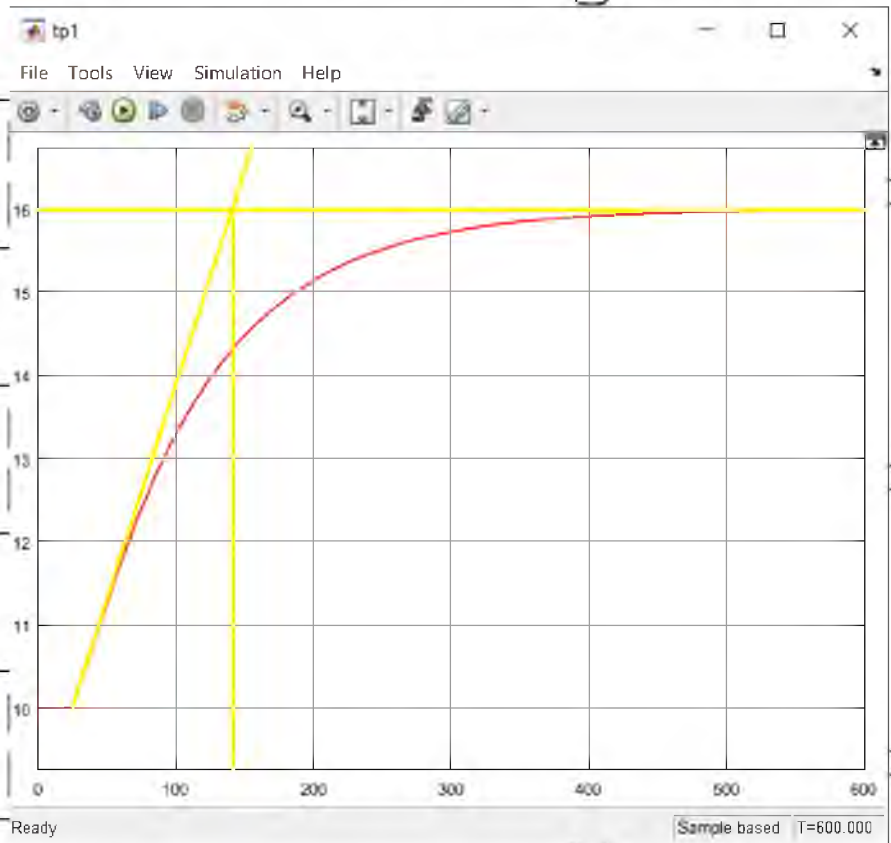


Рис.2.3. Розгінна крива характеристика об'єкта керування

За допомогою розгінної характеристики знайдемо постійну часу об'єкта:

$T_0 = 118 \text{ с.}$

Канал регулювання температури в бродильному апараті представляє з себе інерційну ланку першого порядку з запізнення:

$$W(s) = \frac{K_0}{T_0 s + 1} \cdot e^{-s\tau_0}$$

В результаті проведеного імітаційного моделювання отримаємо рівняння передатної функції об'єкта керування:

$$W_{ок}(s) = \frac{15}{118s + 1} \cdot e^{-27s}$$

НУВБІП України

РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ

ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ У БРОДИЛЬНОМУ АПАРАТІ

3.1. Вибір алгоритму керування

Тип регулювання вибирається з урахуванням властивостей об'єкта, і заданих параметрів перехідного процесу. До параметрів перехідного процесу можуть висуватися різні вимоги. В одних випадках оптимальним є процес з мінімальним значенням динамічної помилки, в інших - з мінімальним значенням часу регулювання і т.д. Зазвичай вибирають один з трьох типових перехідних процесів: граничний аперіодичний, з 20% перерегулюванням, з мінімальною квадратичною площею відхилення.

Граничний аперіодичний процес характеризується відсутністю перерегулювання, мінімальним загальним часом регулювання і найменшим впливом регулятора на об'єкт (що викликає найбільше відхилення регульованої величини від заданого значення). Такий перехідний процес використовується в якості оптимального при значній дії регулюючого впливу на інші технологічні величини об'єкта, щоб звести їх відхилення до мінімуму.

Процес з 20% перерегулюванням характерний більшою величиною впливу регулятора і меншим відхиленням регульованої величини від заданого значення, і при цьому час регулювання дещо зростає. Цей процес вибирають в якості оптимального, коли допустимо невелике перерегулювання.

Процес з мінімальною квадратичною площею відхилення має значне перерегулювання (до 40%), великий час регулювання і найменшу величину динамічної помилки.

При виборі типу регулятора рекомендується орієнтуватися на величину відношення часу запізнення до постійної часу об'єкта керування $\frac{\tau_{ok}}{T_{ok}}$.

При $\frac{\tau_{ok}}{T_{ok}} \leq 0,2$ обирається позиційний алгоритм керування.

При $0,2 < \frac{\tau_{ok}}{T_{ok}} < 1,0$ обирається безперервний (лінійний) алгоритм керування (П-, ПІ- або ПІД- алгоритм керування).
 При $\frac{\tau_{ok}}{T_{ok}} > 1,0$ застосовують багатоконтурні системи регулювання та

вживають заходи щодо компенсації впливу запізнювання.

Крім того для обґрунтування алгоритму і вибору регулятора, який відповідає цьому алгоритму, необхідно знати не тільки властивості об'єкта та вимоги до технологічного процесу, але й деякі конструктивні особливості самих регуляторів. Промислові регулятори реалізують алгоритм керування з певною похибкою, що обов'язково повинно враховуватись при виборі усіх технічних засобів, що входять до складу САК.

В нашому випадку передатна функція об'єкта керування (регулювання температури в бродильному апараті) $W_{ok}(s) = \frac{15}{118s+1} \cdot e^{-27s}$, при цьому

відношення $\frac{\tau_{ok}}{T_{ok}} = \frac{27}{118} = 0,23$ тому обираємо безперервний алгоритм керування.

3.2. Вибір технічних засобів

Функціональною схемою САК називається схема на якій зображенні функціональні елементи системи та зв'язки між ними. Функціональні елементи на схемі позначаються у вигляді прямокутників в середині буквами, скорочено пишуть назву елемента. Зв'язки між елементами показують лініями, а їх напрямки - стрілками. У графічні зображення елементів системи записують їх передаточні функції.

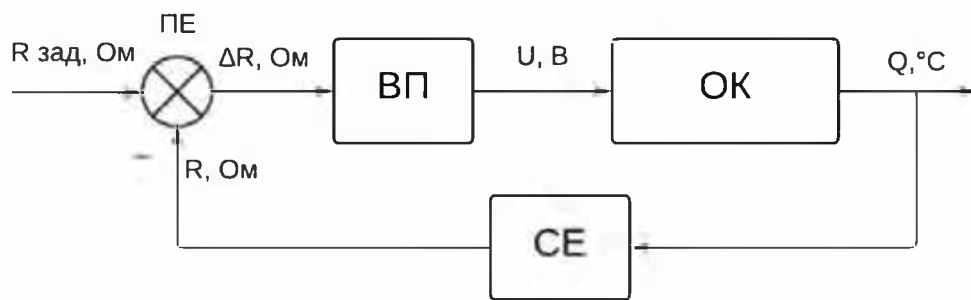


Рис.3.1. Структурно - функціональна схема САК
 Функціональна схема основної системи автоматичного регулювання (див

рис.3.1.) бродильного апарата є об'єктом керування (ОК). Вихідним параметром, що контролюється є температура. Первинним перетворювачем (СЕ) є датчик температури. Порівнюючим елементом виступає (ПЕ), вихідним сигналом якого є напруга управління U_y , що надходить до виконавчого механізму.

ЗП – Задаючий пристрій

ВП – Виконавчий пристрій

ОК – Об'єкт керування

СЕ – Сприймаючий елемент (датчик)

3.3. Вибір первинного вимірювального перетворювача та визначення його передатної функції

ПВП – первинний вимірювальний перетворювач. Він являє собою сприймаючий елемент.

Для успішного застосування вимірювальні перетворювачі повинні мати:

- високу статичну і динамічну точність роботи, що забезпечує формування вихідного сигналу з мінімальними спотвореннями;
- високу вибірковість — сенсор повинен реагувати лише на зміну тієї величини, для виміру якої він призначений;
- стабільність характеристик у часі;
- відсутність впливу навантаження у вихідному колі на режим роботи вхідного ланцюга;
- високу надійність при роботі в несприятливих умовах навколишнього середовища;
- повторюваність характеристик (взаємозамінність);
- просту і технологічну конструкцію;
- зручний монтаж та обслуговування;
- низьку вартість.

ПВП рекомендується підбирати таким чином, щоб межі його вимірювання охоплювали діапазон зміни контролюваної ним величини і були якнайближчими

до них, не забуваючи про необхідність забезпечення необхідної переважувальної здатності ПВП і про можливість його підключення до обраного електронного пристрою управління регулятора. При цьому особливу увагу необхідно приділяти швидкодії, чи інерційності вимірювального перетворювача, яка характеризується його постійною часу T .

Так, при обґрунтуванні вибору датчика температури в бродильному апараті необхідно в першу чергу звернути увагу на те, який діапазон зміни температури відповідно до технічних умов повинна забезпечити спроектована система регулювання.

Діапазон регулювання температури в бродильному апараті знаходиться в межах $+13...+16$ °С. Для цього діапазону можна вибрати межі термометра опору ТСМ145-50М, які складають $-50...+180$ °С. Для того, щоб датчик температури у процесі стабілізації температури в бродильному апараті до заданого рівня не вносив динамічну похибку вимірювання, його постійна часу датчика повинна бути меншою від постійної часу об'єкта керування.

Для вимірювання температури виберемо термометр опору ТСМ145-50М



Рис.3.2. Термометр опору

Термометри опору ТСМ145-50М призначені для температурних вимірювань твердих, рідких та газоподібних середовищ, які неагресивні до захисної арматури та матеріалу чутливого елемента (ЧЕ) датчика.

Інерційність ТСМ145-50М складає 10с. Оскільки постійна часу об'єкта керування вища, ніж даного датчика температури, то він задовольняє нас по технічним параметрам та не викличе похибки у вимірюваннях параметрів температури в обраному діапазоні.

Визначимо коефіцієнт передачі датчика температури:

$$K_{CE} = R_0 \cdot \alpha \quad (3.1)$$

де R_0 – опір при 0°C , даного датчика, $R_0 = 50 \text{ Ом}$.

α – температурний коефіцієнт опору для міді, $\alpha = 4.28 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

$$K_{CE} = 50 \cdot 4.28 \cdot 10^{-3} = 0.214.$$

Передатна функція термометра опору:

$$W_{CE}(s) = \frac{0.214}{10 \cdot s + 1}$$

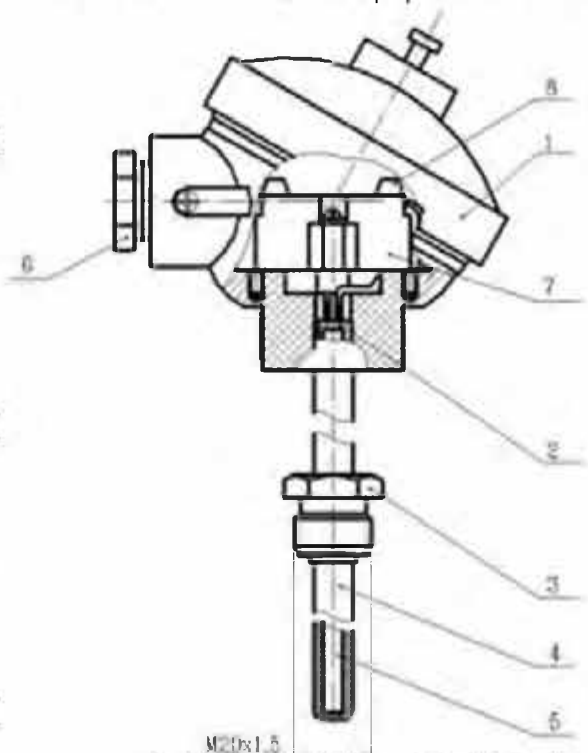


Рис.3.3. Конструктивна схема термометра опору

- 1 - корпус вимірювального перетворювача; 2 пробка; 3 - накидна гайка; 4 - термозонд; 5 - термочувливий елемент; 6 - кабельний ввід (або роз'єм 2РТТ); 7 - вимірювальний перетворювач; 8 - колодка вимірювального перетворювача.

Таблиця.3.1 Технічні характеристики термометра опору ТСМ145-50М

Номинальна статична характеристика (НСХ)	50М
Діапазон температур, що вимірюються, $^\circ\text{C}$	-50...+180

Клас допуску	В та С
Показник теплової інерції, с	10
Кількість чутливих елементів	1 або 2
Виконання сенсора відносно корпусу	ізолюваний
Виконання комутаційної головки	пластмасова, металева
Тип нарізного штуцера	Метрична різь, трубна різь
Матеріал захисної арматури	сталь 12Х18Н10Т
Робочий тиск, МПа	0,63
Ступінь захисту від пилу та вологи	IP65

3.4. Вибір регулюючого органу та виконавчого механізму.

Регулюючий орган – один із самих відповідальних елементів САК (від його працездатності багато в чому залежать надійність системи в цілому і надійність регулювання), безпосередньо діючих на об'єкт управління.

Регулюючий клапан, пристрій для регулювання температури, тиску, витрати і інших параметрів. Входить в автоматичні системи управління або регулювання і впливає на перебіг технологічних або теплоенергетичних процесів відповідно до отримуваної командної інформації. Встановлюється на магістральних і технологічних трубопроводах, технологічних апаратах, установках, резервуарах і тому подібне. Складається з регулюючого органу (власне клапана), який змінює перетин потоку, і виконавчого механізму – пневматичного приводу, який отримує командну інформацію від автоматичного регулювальника або приладу з дистанційним управлінням і передає її регулюючому органу.

По умовній пропускній спроможності розрізняють – для середніх, малих і мікровитрат, по умовному тиску – низького, середнього і високого тиску.

Випускають для роботи при температурі середовища від -225 до +450 °С.

По конструктивних ознаках відрізняються великою різноманітністю: одно- і двохсідельні, діафрагмові, прохідні, кутові, триходові і тому подібне. Найбільш

поширені двохсідельні з мембранно-пружинним виконавчим механізмом. Регулюючий орган має фланцеву прохідну конструкцію і складається з верхньої і нижньої кришок, плунжера і корпусу, в який укручено 2 сідла. Шток плунжера сполучною гайкою пов'язаний з штоком виконавчого механізму, закріпленим на верхній кришці регулюючого органу. Стандартний командний сигнал (під тиском повітря 0,02—0,1 Мн / см²) впливає на мембрану, яка передає зусилля на поворотну пружину механізму, внаслідок чого переміщається шток із затвором і змінюється прохідний перетин, а отже, і пропускна спроможність клапана.



Рис.3.4. Загальний вигляд клапана

Розрахунок клапана:

1. Визначаємо максимальну пропускну здатність РО.

$$K_v = Q_{max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{0.001}{0.1}} = 10 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \quad (3.2)$$

де $Q_{max} = 10 \text{ м}^3/\text{год}$ об'ємна витрата рідини, $\gamma = 0.1 \text{ кг}/\text{см}^3$ об'ємна маса води,

$\Delta P = P_1 - P_2$ перепад тиску на РО.

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 3 - 2.9 = 0.1 \text{ кг}/\text{см}^2 \quad (3.3)$$

де $P_1 = 3 \text{ кг}/\text{см}^2$ тиск перед регулюючим органом, $P_2 = 2.9 \text{ кг}/\text{см}^2$ тиск після регулюючого органу.

2. Визначаємо індекс в'язкості.

$$Z = \frac{420 \cdot Q_{max}}{\nu \cdot \sqrt{K_{y_{max}}}} = \frac{420 \cdot 10}{0.6531 \cdot \sqrt{100}} = 6.431 \cdot 10^3 > 1000, \quad (3.4)$$

де $\nu = 0.6531$ в'язкість води.

3. Обираємо регулюючий орган у вигляді клапана за наступними параметрами :

$$K_{y_{PO}} = 160 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad \text{і} \quad D_y = 80 \text{ мм.}$$

Перевіряємо виконання умови :

$$K_{y_{PO}} \geq 1.1 K_{y_{max}}$$

$$160 \text{ м}^3/\text{год} > 100 \cdot 1.1 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$160 \text{ м}^3/\text{год} > 110 \text{ м}^3/\text{год}$$

4. Знаходимо пропускну здатність лінії:

$$K_{y_{л}} = Q_{max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{л_{max}}}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{0.1}{0.4}} = 50 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad (3.5)$$

$$\Delta P_{л} = P_2 - P_3 = 2.9 - 2.5 = 0.4 \text{ кг/см}^2,$$

де $P_3 = 2.5 \text{ кг/см}^2$ тиск після лінії

5. Визначаємо відношення пропускних здатностей PO на лінії:

$$n = \frac{K_{y_{PO}}}{K_{y_{л}}} = \frac{160}{50} = 3.2. \quad (3.6)$$

6. Визначаємо перепад тиску на регулюючому органі

$$\Delta P_c = P_1 - P_3 = 3 - 2.5 = 0.5 \text{ кг/см}^2. \quad (3.7)$$

7. Витрати регулюючого середовища через PO:

$$Q_{po} = K_{y_{PO}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{po}}} = 160 \cdot \sqrt{\frac{0.1}{0.044}} = 241 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad (3.8)$$

8. Відносні витрати регулюючого середовища через PO:

$$\mu_{max} = \frac{Q_{max}}{Q_{po}} = \frac{100}{241} = 0.415, \quad (3.9)$$

$$\mu_{min} = \frac{Q_{min}}{Q_{po}} = \frac{50}{241} = 0.207, \quad (3.10)$$

де $Q_{min} = 50 \text{ м}^3/\text{год}$ об'ємна витрата рідини

9. Визначаємо відносний хід плунжера по графіках :

$$l_{max} \approx 0.1$$

$$\beta_{\min} \approx 0,05$$

10. Визначаємо відношення перепадів тиску на регулюючому органі до перепадів тиску по графіках:

$$\beta_{\min} \approx 0,43$$

$$\beta_{\max} \approx 0,65$$

11. Визначаємо максимальний перепад тиску на регулюючому органі:

$$\Delta P_{po\ max} = \beta_{\max} \cdot \Delta P_c = 0,65 \cdot 0,5 = 0,325 \text{ кг/см}^2 \quad (3.11)$$

$$\Delta P_{po\ min} = \beta_{\min} \cdot \Delta P_c = 0,43 \cdot 0,5 = 0,215 \text{ кг/см}^2 \quad (3.12)$$

На підставі характеристик регулюючого органу розрахуємо коефіцієнт передачі:

$$K_{po} = \frac{\sqrt{32}}{160} = 0,2.$$

Таким чином, визначено параметри регулюючого органу, як необхідні для обґрунтування вибору виконавчого механізму.

Таблиця 3.1. Технічні характеристики клапана

Номінальний діаметр, мм	200
Номінальний тиск, МПа (кгс/см ²)	1.6 (16)
Пропускна характеристика	лінійна
Робочий хід плунжера, мм	50
Умовна пропускна здатність K_{vy} , м ³ /год	250 400 630
Відносний витік в затворі, % от K_{vy}	0,1 при $\Delta P_{исп} = 0,4 \text{ МПа (4 кгс/см}^2)$
Робоче середовище	Вода, пара, повітря та ін. Рідкі і газоподібні середовища
Температура робочого середовища T , °С	Від мінус 15 до 300
Температура навколишнього середовища, °С	Від мінус 15 до 50
Вага клапана, кг	140

Виконавчі механізми – це пристрої, що призначені для здійснення переміщення регулюючого органу в системах автоматичного керування в відповідності до дії на нього керуючого сигналу.

Для вибору виконавчого механізму нам необхідно обрахувати залежність величини обертального моменту M_{BM} для переміщення плунжера РО:

$$M_{BM} = 2 \cdot (M_p + M_M)$$

де M_p – реактивний момент, обумовлений намаганням потоку речовини закрити заслінку;

M_M – момент опору в опорах. Для визначення обертального моменту M_{BM} нам необхідно визначити реактивний момент M_p і момент опору в опорах M_M .

$$M_p = 0.07 \cdot \Delta P_{po\ max} \cdot D_y^3$$

$$M_M = 0.75 \cdot \Delta P_{po\ min} \cdot D_y^2 \cdot \lambda$$

Де $\Delta P_{po\ max}$ – максимальний перепад тиску на РО;

$\Delta P_{po\ min}$ – мінімальний перепад тиску на РО;

λ – коефіцієнт тертя в опорах РО;

D_y - діаметр РО.

Момент обертання валу виконуючого механізму повинен бути не менший за момент, необхідний для відкриття заслінки.

$$M_H \geq M_{BM}$$

Розрахунок виконавчого механізму:

Визначаємо реактивний момент M_p і момент опору в опорах M_M

$$M_p = 0.07 \cdot \Delta P_{po\ max} \cdot D_y^3 = 0.07 \cdot (0.325 \cdot 10^4) \cdot (10^{-3} \cdot 80)^3 = 0.116 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_M = 0.75 \cdot \Delta P_{po\ min} \cdot D_y^2 \cdot \lambda = 0.75 \cdot (0.215 \cdot 10^4) \cdot (10^{-3} \cdot 80)^2 \cdot 0.15$$

$$= 1.548 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тоді момент виконавчого механізму буде дорівнювати:

$$M_{BM} = 2 \cdot (0.116 + 1.548) = 3.328 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевіряємо, чи задовольняє обраний виконавчий механізм задану нерівність:

$$M_H \geq M_{BM}$$

$$7.2 \geq 3.328.$$

У якості виконавчих механізмів я вибрав МЕО-16/10-025-93 через їхню надійність а також простоту у будові і економічність.

Отже передаточна функція виконавчого механізму має вигляд:

$$W_{\text{вм}} = \frac{K_{\text{вм}}}{60s} = \frac{1}{60s}$$

Еквівалентна передатна функція:

$$W_{\text{вп}}(s) = W_{\text{вм}} \cdot K_{\text{po}} = \frac{1}{60s} \cdot 0.2 = \frac{1}{300s}$$

$$W'_{\text{вп}}(s) = \frac{W_{\text{вп}}}{1 + W_{\text{вп}} \cdot K_{\text{зз}}} = \frac{1}{300 \cdot s + 10} = \frac{0.1}{30s + 1}$$

Інтегруюча ланка перетворюється в інерційну.



Рис. 3.5. Електричний виконавчий механізм типу МЕО

Таблиця 3.3. Технічні характеристики виконавчого механізму

Робочий хід, мм	32
Час повного закриття/відкриття, с	60
Номінальний повний хід вихідного валу	0.25 обороту
Напруга живлення	220, 380 В 50 Гц
Споживана потужність	Не більше 100 Вт
Тип електродвигуна	ДСТР 110-1,0-136
Ступінь захисту	IP54

НУБІП України

НУБІП України

**РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА
ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЇЇ РОБОТИ**

**4.1. Оцінка якості автоматичних систем за стандартними показниками
якості**

Створення структурної алгоритмічної схеми системи (4.1.).

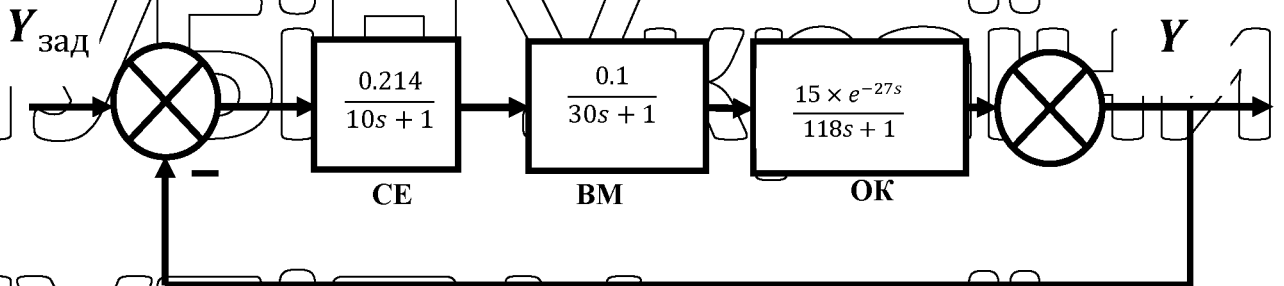


Рис. 4.1. Структурно – алгоритмічна схема САР

$K_0 = 15.$
 $T_0 = 118 \text{ с.}$
 $\tau_0 = 27 \text{ с.}$

**Визначення передаточних функцій системи автоматичного регулювання:
розімкненої системи, замкнутої системи за керуванням.**

А) Розімкненої системи ($f = 0$):

НУБІП України

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{0,214}{10s + 1} * \frac{0,1}{30s + 1} * \frac{15 * e^{-27s}}{118s + 1}$$

$$= \frac{0,214 * 0,1 * 15 * e^{-27s}}{(10 * 30 * 118)s^3 + (10 * 30 + 10 * 118 + 30 * 118)s^2 + (10 + 30 + 118)s + 1}$$

$$= \frac{0,321 * e^{-27s}}{35400s^3 + 5020s^2 + 158s + 1}$$

Б) Замкнутої системи за керуванням ($f=0$):

$$W_{\text{зам}}(s) = \frac{W_{\text{роз}}(s)}{1 + W_{\text{роз}}(s)} = \frac{K * e^{-ts}}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + 1 + K * e^{-ts}}$$

$$= \frac{0,321 * e^{-27s}}{35400s^3 + 5020s^2 + 158s + 1 + 0,321 * e^{-27s}}$$

$K=0,321$

Отримання формули та побудова АЧХ неперервної замкнутої системи. Визначення допустимого періоду дискретизації цифрового регулятора при заданій похибці квантування $Q=1\%$

При проектуванні цифрової системи керування виникає питання, які треба накладати обмеження на частоту квантування. При збільшенні частоти квантування точність керування цифровою системою збільшується, але при цьому зростає навантаження мікропроцесора. При зменшенні частоти квантування втрачається важлива інформація про сигнал, що може призвести до неможливості відтворення вихідного сигналу за дискретними вибірками.

Відомо, що найменша частота квантування повинна бути не меншою за $2\omega_c$, де за ω_c приймається найбільшу суттєву частоту у спектрі неперервного сигналу. Оскільки амплітуди високочастотних складових значно ослаблені, то при заданій точності відтворення сигналу ми можемо вважати, що він має обмежений спектр. Цю межу спектра ω_c визначають за формулою:

$$|W_{\text{зам.н.ч.}}| \leq Q_{\text{зад}} \quad (4.1)$$

Оскільки частота квантування $\omega_s = \frac{2\pi}{T}$, і повинна виконуватись нерівність $\omega_s \geq 2\omega_c$ то допустимий період квантування визначатиметься за формулою

Неперервний сигнал може бути описаний із заданою точністю своїми значеннями, вимірними у дискретні моменти часу з інтервалом $T_{ц}$. (4.2)

Нехай неперервна частина цифрової системи керування має передатну функцію:

Необхідно знайти допустимий період квантування, що забезпечує максимальну похибку відтворення первинного неперервного сигналу $\theta_{зад} = 1\%$.

Передатна функція неперервної частини замкненої системи:

Амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) неперервної частини замкненої системи:

Амплітудно-частотну характеристику неперервної частини замкненої системи знайдемо як модуль АФЧХ цієї системи:

Прирівняємо АЧХ до заданої похибки $A(\omega) = 0,01$ та у результаті розв'язання рівняння:

знайдемо найбільшу суттєву частоту у спектрі неперервного сигналу $\omega_c =$

0,081 1/с. Будуємо графік АЧХ неперервної частини системи за допомогою програми "Mathcad"

НУБІП України

$\omega := -1$
Given:

$$\frac{0.321}{\sqrt{(1.321 - 5020 \cdot \omega^2)^2 + (158 \cdot \omega - 35400 \cdot \omega^3)^2}} = 0.01$$

НУБІП України

Find(ω) = 0.081

Найбільша суттєва частота:

$$\omega_c = 0.081$$

Максимально допустимий період квантування, що забезпечує максимальну похибку $\theta_{\text{зад}} = 1\%$

НУБІП України

$$T_{\text{ц}} = \frac{\pi}{\omega_c} = \frac{3.14}{0.081} = 38.76 \text{ с.} \quad (4.3)$$

Синтез системи автоматичного регулювання за заданими показниками якості

Визначення параметрів ПІД-регулятора при налаштуванні системи на технічний оптимум

НУБІП України

Якщо присутній у функціональній схемі системи автоматичного регулювання виконавчий механізм або інші можливі елементи через велике значення постійної часу або через свої інтегруючі властивості мають значний вплив на частотні та динамічні характеристики системи, складність застосування графо-аналітичних методів синтезу регулятора може значно зрости. Тоді можна рекомендувати застосування аналітичних методів, один з яких пропонується у даному розділі.

НУБІП України

Передатна функція для ПІД регулятора, що подається у вигляді:

$$W_{\text{пер}}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s. \quad (4.4)$$

НУБІП України

Незмінна частина складатиметься з сприймаючого елемента з передатною функцією $W_{\text{СЕ}}(s) = \frac{0.214}{10s+1}$, виконавчого механізму з передатною функцією

$W_{\text{ВМ}}(s) = \frac{0.1}{30s+1}$ та об'єкта керування з передатною функцією

НУБІП України

$$W_{\text{ОК}}(s) = \frac{15 \cdot e^{-27s}}{118s+1}$$

Знайти параметри налаштування ПІД-регулятора

Передатна функція незмінної частини:

$$W_{\text{нп}}(s) = \frac{0.214 \cdot 0.1 \cdot 15 \cdot e^{27s}}{(10s + 1)(30s + 1)(118s + 1)}$$

$$\approx \frac{0.321}{(10s + 1)(30s + 1)(118s + 1)(27s + 1)}$$

У випадку ПІД-регулятора компенсуються дві постійні часу $T_1 \cong 118$ с. та $T_2 = 30$ с. Сумарна некомпенсована постійна часу тут є часом запізнення $T_{\mu} = T_0 + T_{CE} = 27 + 10 = 37$ с.

$$W_{\text{рег}}(s) = \frac{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}{K2T_{\mu}s} = \frac{T_1 + T_2}{K2T_{\mu}} + \frac{1}{K2T_{\mu}s} + \frac{T_1T_2}{K2T_{\mu}}s, \quad (4.5)$$

Параметри налаштування регулятора:

$$K_p = \frac{T_1 + T_2}{K2T_{\mu}} = \frac{118 + 30}{0.321 \cdot 2 \cdot 37} = 6.23;$$

$$K_i = \frac{1}{K2T_{\mu}} = \frac{1}{0.321 \cdot 2 \cdot 37} = 0.042;$$

$$K_d = \frac{T_1 \cdot T_2}{K2T_{\mu}} = \frac{118 \cdot 30}{0.321 \cdot 2 \cdot 37} = 149.028.$$

Передатна функція для ПІД регулятора:

$$W_{\text{рег}}(s) = 6.23 + \frac{0.042}{s} + 149.028s.$$

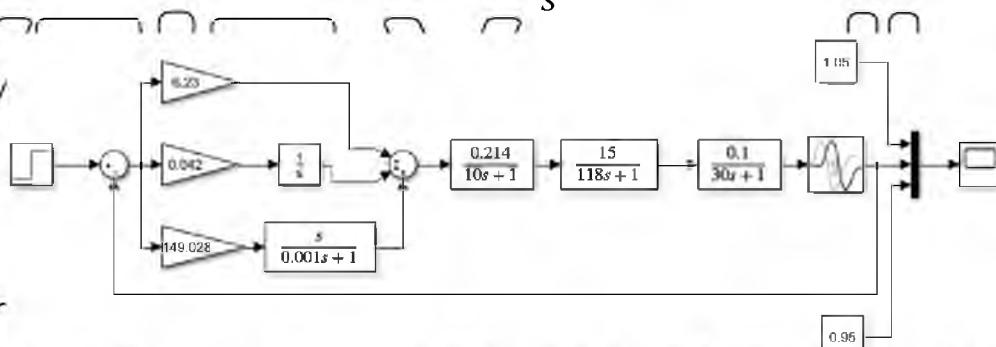


Рис. 4.2. Simulink-модель аналогової системи ПІД регулятора

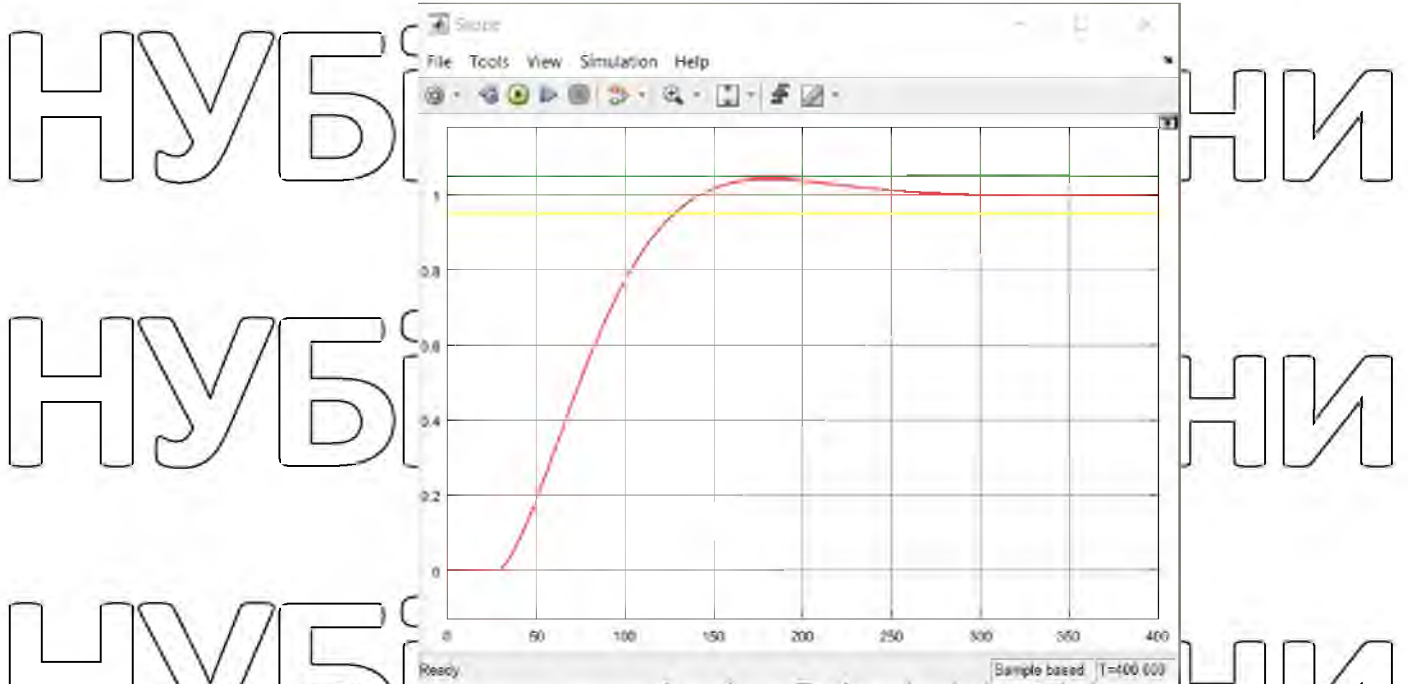


Рис. 4.3. Перехідний процес аналогової системи ПЧД регулятора

Показники якості аналогової системи:

- статична похибка $\delta = \frac{Y_{зад} - Y_{уст}}{Y_{зад}} \cdot 100\% = \frac{1-1}{1} \cdot 100 = 0\%$;

- час регулювання $t_p = 265$ с;

- перерегулювання $\sigma = \frac{Y_{max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1.02 - 1}{1} \cdot 100 = 2\%$;

- коливальність $n = 1$.

За період вантажування T беремо значення $T = \frac{T_n}{10} = 3.8$ с.

$$W_{per}(z) = K_p + \frac{K_i T (z+1)}{z(z-1)} + \frac{K_d (z-1)}{T \cdot z} \quad (4.6)$$

$K_p = 6.23$;

$\frac{K_i \cdot T}{z^2} = \frac{0.042 \cdot 3.8}{z^2} = 0.0819$;

$\frac{K_d}{T} = \frac{149.028}{3.8} = 39.212$.

Для визначення передаточної функції $W_n(z)$ застосовуємо пакет програм

MATLAB, використовуючи операції завдання передаточної функції неперервної

системи $w = tf([K_0], [T^2 \cdot T_0 \ T_0 \ T_0 \ 1])$ та Z-перетворення неперервної передаточної функції на дискретну $wz = c2d(w, T)$, де w – змінна, що отримала вираз неперервної

передаточної функції, T – крок квантування.

```
>> w=tf([0.321],[35400 5020 158 1],'OutputDelay',27)
w =
      exp(-27*s) * -----
                35400 s^3 + 5020 s^2 + 158 s + 1

Continuous-time transfer function:

>> bode(w)
>> wz=c2d(w,38.76)
wz =
      0.001653 z^3 + 0.04155 z^2 + 0.02027 z + 0.0003592
-----
      z^3 - 1.015 z^2 + 0.2184 z - 0.004101

Sample time: 38.76 seconds
Discrete-time transfer function.
```

Рис.4.4. Z-перетворення неперервної частини МАЦАВ

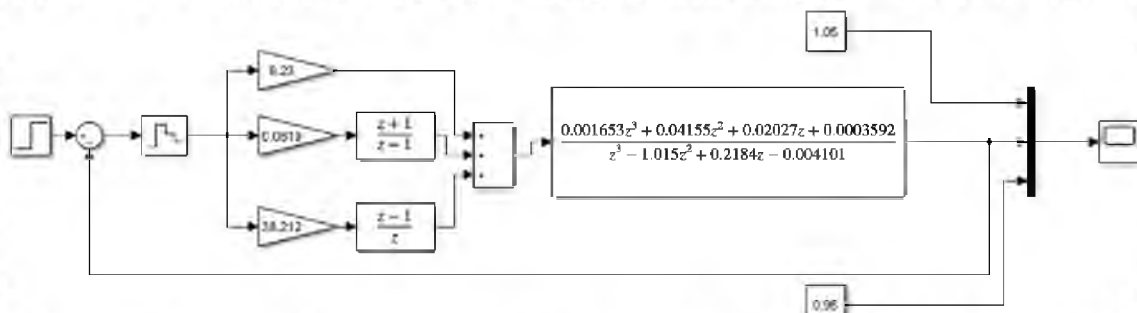


Рис.4.5. Simulink-модель цифрової системи з ПД-регулятором

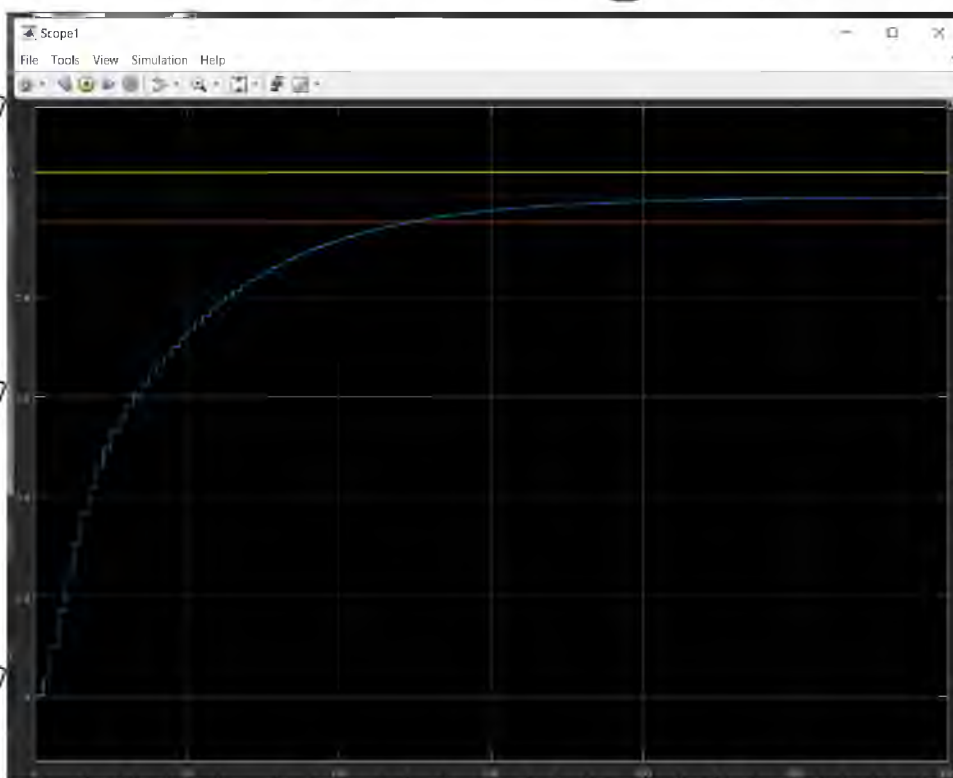


Рис.4.6. Перехідний процес цифрової системи ПІД регулятора

Показники якості цифрової системи з ПІД регулятором:

- статична похибка: $\delta = \frac{Y_{зад} - Y_{уст}}{Y_{зад}} \cdot 100\% = \frac{1-1}{1} \cdot 100 = 0\%$;

- час регулювання: $t_p = 250$ с ;

- перерегулювання: $\sigma = \frac{Y_{max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1-1}{1} \cdot 100 = 0\%$;

- коливальність $\eta = 0$.

Зробимо висновок, що система стійка, тому що в ній відсутні коливання $\eta = 0$.

Вибір керуючого пристрою

Вибираємо ОВЕН ПЛК-200 для регулювання та підтримки температури в бродильному апараті при виробництві пива. Зовнішній вигляд приладу показано на рис. 4.7.



Рис.4.7. Панель регулятора ОВЕН ПЛК-200

ОВЕН ПЛК200 це лінійка моноблочних контролерів для малих та середніх систем автоматизації з вбудованими аналоговими та дискретними входами/виходами (DI/DO/AI/AO). Контролери універсальні завдяки широкому спектру протоколів комунікації[17].

Особливості та переваги:

Висока продуктивність

- Великий обсяг пам'яті:
- ROM 512 Мбайт (NAND)

НУБІП України

- RAM 256 Мбайт (DDR3).
- RETAIN 64 Кбайт (MRAM).
- Процесор ARM® Cortex-A8 із частотою 800 МГц.

НУБІП України

- Операційна система Linux із RT-патчем.
- Підтримка швидких входів/виходів до 95 кгц на виділеному PRU.

НУБІП України

Ергономічний корпус

- Кріплення на стіну або DIN-рейку.
- Знімні клемники з невипадаючими гвинтами.
- Зручна система укладання кабелю.

НУБІП України

- Гумблер Старт/Стоп та роз'єм для MicroSD-карти під кришкою.

Комунікаційні можливості

- Ethernet дає низку переваг:
- висока швидкість опитування;

НУБІП України

- мультимайстерність;
- варіативна топологія мережі.
- Підтримка протоколів Modbus RTU/ASCII/TCP, OPC UA (Server), MQTT, NTP.

НУБІП України

- Вбудований Firewall.
- Підтримка Web-візуалізації CODESYS
- Web-інтерфейс для налаштування та діагностики контролера.
- Просте підключення до OwenCloud.

НУБІП України

НУБІП України

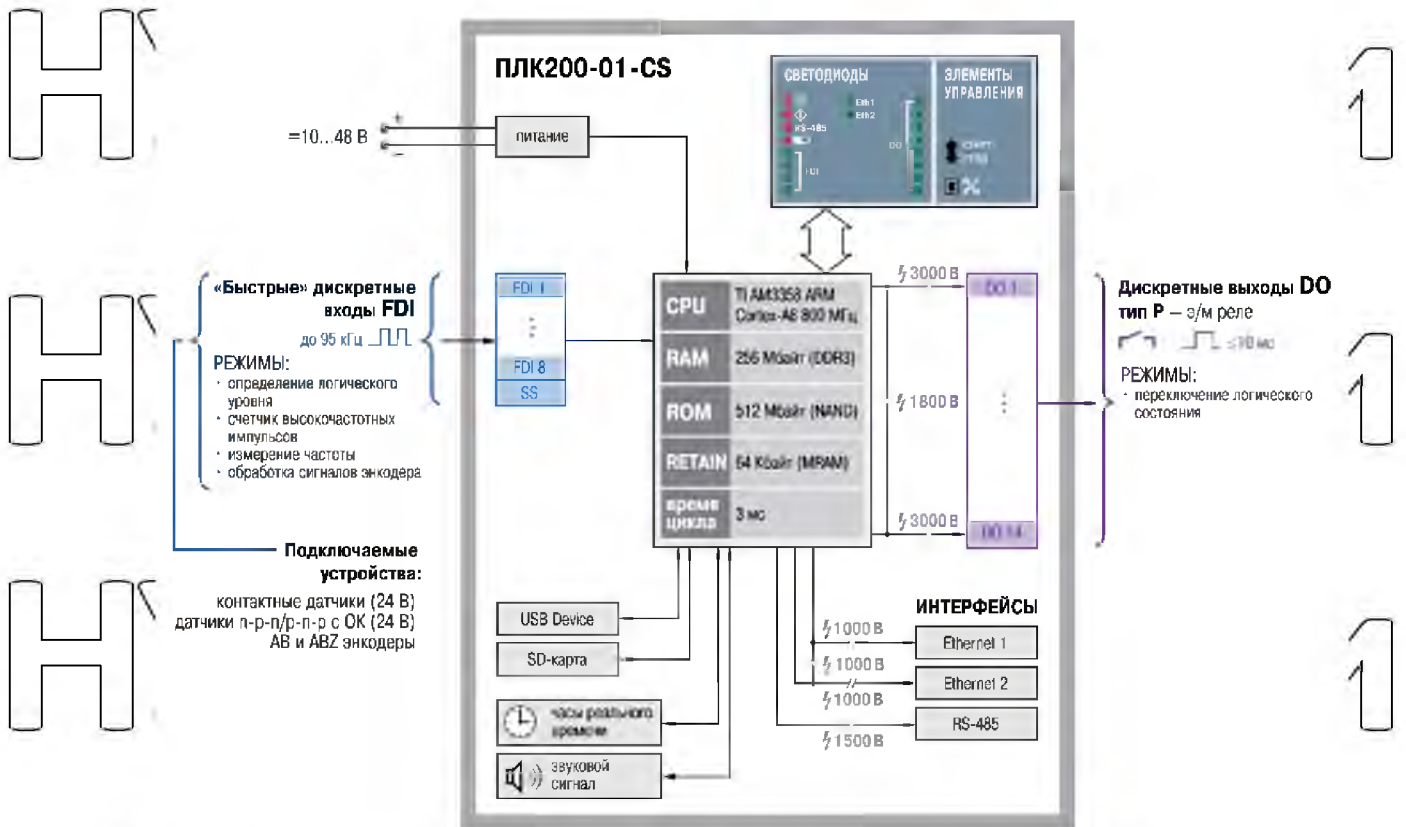


Рис. 4.9. Функціональна схема ОВЕН ПЛК 200-01-CS

Таблиця 4.1. Загальні технічні характеристики ОВЕН ПЛК 200

Параметр	Значення
живлення	
Напряг живлення	від 10 до 48 В (номінальне 24 В)
Споживана потужність, не більше	
- модифікація 01	13 Вт
- модифікація 02	12 Вт
- модифікація 03	10 Вт
- модифікація 04	10 Вт
Захист від переполусування	Є
Обслуговальні ресурси	
центральний процесор	RISC-процесор/Texas Instruments Sitara AM3358, 800 МГц
Об'єм флеш-пам'яті (тип пам'яті)	512 Мбайт (NAND) доступне для зберігання файлів та архівів
Об'єм оперативної пам'яті (тип пам'яті)	256 Мбайт (DDR3)
Об'єм Retain-пам'яті (тип пам'яті)	64 Кбайт (MRAM)
Час виконання перожиного циклу (стабілізованій)	3 мс

	Інтерфейси зв'язку Ethernet 100 Base-T
Кількість портів	2 × Ethernet 10/100 Мбіт/с (RJ45)
Промислові протоколи, що підтримуються*	Modbus TCP (Master/Slave) OPC UA (Server) MQTT
Підтримувані прикладні протоколи*	NTP FTP SSH HTTP HTTPS
Кількість портів	RS-485 1
Підтримувані протоколи*	Modbus RTU (Master/Slave); Modbus ASCII (Master/Slave); OБEH (Master)
Швидкість передачі	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с
Підтягуючі резистори	Є
Кількість портів	USB Device 1 × micro USB (RNDIS)
Підтримувані протоколи	CODESYS Gateway FTP SSH HTTP HTTPS
Накопичувачі, що підключаються	SD 1
Кількість роз'ємів	microSD
Підтримувані пристрої	4 ГБ (microSD) 32 ГБ (microSDHC) 512 ГБ (microSDXC)
Максимальна ємність	
Підтримувані файлові системи	FAT16, FAT32, ext4, NTFS (read only)
Годинник реального часу	
Похибка ходу, не більше:	
– за температури +25 °С	3 секунди на добу
– при температурі -40 °С та +55 °С	18 секунд на добу
Тип джерела живлення	Батарея CR2032
Термін роботи на одній батареї	5 років
Загальні відомості	
габаритні розміри	(82 × 124 × 83) ± 1 мм
Маса, не більше	0,6 кг
Ступінь захисту корпусу	IP20
Індикація на передній панелі	Світлодіодна
Будоване обладнання	Джерело звукового сигналу Двопозиційний тумблер СТАРТ/СТОП Сервісна кнопка

Середнє напрацювання на відмову**

60 000 год

Середній термін служби

8 років

НУБІП України

OwnCloud це є система для організації зберігання, синхронізації й обміну даними, розміщеними на зовнішніх серверах.

НУБІП України

Особливостями ownCloud є :

- Підтримка засобів для забезпечення загального доступу та синхронізація між різними мовинами;

- Шифрування передачі даних;

- Автоматичне резервне копіювання;

НУБІП України

- Доступ до сховища забезпечений за допомогою монтування мережевого розділу, за допомогою WebDAV, KDE KIO-Slaves, застосунки для мобільних телефонів (Android, Apple iOS) або через вебінтерфейс;

- Підтримка WebDAV дозволяє організувати доступ до даних з будь-яких операційних систем.

НУБІП України

- Система плагінів дозволяє користувачам створювати власні розширення з реалізацією додаткових функцій.

- Безпечний і простий механізм для організації спільного доступу до файлів різних користувачів.

НУБІП України

Через безкоштовний OPC-сервер здійснюється збір та передача даних з віддалених об'єктів у SCADA/MES-системи.

НУБІП України

НУБІП України

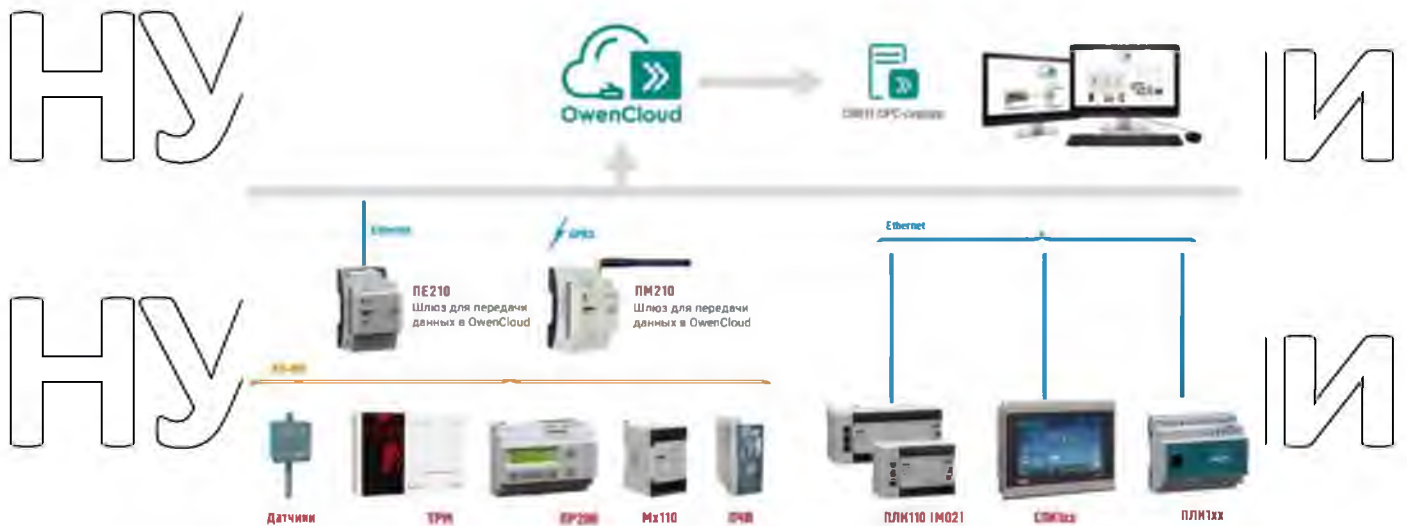


Рис.4.10. Інтеграція зі SCADA/MES

РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

5.1. Вибір електротехнічної апаратури.

5.1.1. Вибір електродвигуна.

Вибираємо електродвигун ДСТР 110-1-0-136 з наступними технічними характеристиками

$$P_{ед} = 100 \text{ Вт} ; I_{н} = 0,55 \text{ А} ; \eta_{н} = 55\% ; \cos\phi_{н} = 0,51.$$

5.1.2 Вибір автоматичного вимикача QF1:

Вибір автоматичного вимикача виконують за такими умовами:

- за типом або серією;
- за номіальною напругою за умовою:

$$U_{н.ав} \geq U_{м} , \quad (5.1)$$

де $U_{н.ав}$ - номіальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_{м}$ - номіальна напруга електромережі, В;

- за номіальним струмом за умовою:

$$I_{н.ав} \geq I_{н.дв} , \quad (5.2)$$

де $I_{н.ав}$ - номіальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{н.дв}$ - номіальний струм електродвигуна, А;

- за номіальним струмом теплового розчіплювача:

$$I_{нр} \geq 1,25 \cdot I_{н.дв} , \quad (5.3)$$

де $I_{нр.}$ - номінальний струм теплового розчіплювача автоматичного вимикача, А;

1,25 - коефіцієнт, враховуючий роздріб по струму спрацювання теплового розчіплювача;

по яким проходить струм, які знаходяться в середині корпуса, від потрапляння під корпус сторонніх твердих тіл і потрапляння в нього води, згідно ГОСТ 14254-69;

є) за кліматичним виконанням і категорією розміщення, згідно ГОСТ 11543-70 і ГОСТ 15150-69.

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF:

Для електродвигуна «ДСТР 110-1,0-136» з наступними технічними характеристиками:

$$P = 100 \text{ Вт}; I_{н} = 0,55 \text{ А}; \eta_{н} = 55\%; \cos\phi_{н} = 0,51.$$

Отже для вибору автоматичного вимикача QF1 використовуємо наступні дані:

$$U_{н.м.} = 380 \text{ В};$$

$$I_{н.} = I_{н.дв.} = 0,55 \text{ А};$$

$$I_{н.р.} = 0,55 \cdot 1,25 = 0,69 \text{ А};$$

Згідно розглянутих умов (1, 2, 3) здійснюємо вибір автоматичного вимикача.

Вибираємо автоматичний вимикач ПРК32-1 ДЕК з наступними технічними характеристиками $U_{н.ав.} = 660 \text{ В}; I_{н.ав.} = 1 \text{ А}; I_{н.р.} = 1 \text{ А}.$

$$690 \text{ В} > 380 \text{ В}; 1 \text{ А} > 0,55 \text{ А}; 1 \text{ А} > 0,69 \text{ А}.$$

Умови (1, 2, 3) виконуються отже автоматичний вимикач вибраний вірно

НУБІП аїни

НУБІП аїни



НУБІП аїни

Рис. 5.1. Автоматичний вимикач QF1

Таблиця 5.1 Технічні характеристики

Тип	Автоматичний вимикач
Виробник	IEK
Номінальна напруга частотою 50 Гц, В	690
Номінальний струм I_n , А	1
Максимальний струм спрацьовування теплового розчеплювача, А	1
Мінімальний струм спрацьовування теплового розчеплювача, А	0.63
Характеристики спрацьовування електромагнітного розчеплювача	C
Кількість фаз	3
Теплове реле	Так
Ступінь захисту вимикача	IP 20
Електрична зносостійкість, циклів не менше	6 000
Механічна зносостійкість, циклів не менше	20 000

Розмір В x Д x Ш, мм	81 x 90 x 44.5
Маса, кг	0,3
Діапазон робочих температур, °С	от -40 до +70 °С
Монтаж	DIN-рейка

Автоматичний вимикач QF2:

Обираємо Schneider Electric 11201 з наступними технічними характеристиками:

Номінальний струм: 6А

Номінальна напруга: ~ 230 В, 50 Гц

Крива відключення: С (5–10 кратна $I_{ном}$)

Здатність, яка відключає (стійкість автомата до току К30): 4,5 кА

Кількість фаз: 1

Кількість займаних модулів в щиті: 1 модуль

Перетин кабелю, що підключається: 1 ... 25 мм кв

Виконує електричне та механічне комутаційна здосостійкість: 10 000 циклів

Артикул: 11201

Виробник: Schneider Electric



Рис.5.2. Автоматичний вимикач QF2

5.1.3. Вибір засобу від перенапруг.

Обираємо обмежувач перенапруг ETI 002440395 ETITES.

НУБІГ



аїни

НУБІГ

аїни

Рис. 5.3. обмежувач перенапруг ЕТТ

Таблиця.5.2. Технічні характеристики

Виробник	ЕТТ
Тип пристрою	Розрядник
Клас захисту	Клас 2 (С)
Кількість полюсів	4Р
Мережа	3 - фазн
Напруга Uном	380В
Максимальне значення вхідної напруги	275В
Номинальний розрядний струм	20ка
Розрядний струм I _{max}	40ка
Захисне напруга U _p	1,5кВ
Ступінь пиловологозахисту	IP20
Діапазон робочих температур	від -40 до +70 °С
Розміри В x Г x Ш	90мм 72,7мм 71,2мм

5.1.4. Вибір теплового реле КК1

Теплові реле - це електричні апарати, призначені для захисту

електродвигунів від струмового перевантаження та перегрівання.

Номінальний струм теплового реле вибирають виходячи з номінального навантаження електродвигуна. Вибраний струм теплового реле становить (1,2 - 1,3) номінального значення струму електродвигуна (струму навантаження). Теплове реле спрацьовує при 20- 30% перевантаження протягом 20 хвилин.

Постійна часу нагрівання електродвигуна залежить від тривалості струмового перевантаження. При короткочасної перевантаження в нагріванні бере участь тільки обмотка електродвигуна і постійна нагріву 5 - 10 хвилин. При тривалому перевантаженні в нагріванні бере участь вся маса електродвигуна і постійна нагріву 40-60 хвилин.

Вибираємо теплове реле ІЕК РТІ – 1304.рис(5.4.).



Рис.5.4. Теплове реле

Таблиця.5.3. Технічні характеристики

Виробник	ІЕК
Номінальна напруга, В	230-660
Номінальна напруга ізоляції, В	660
Частота, Гц	50
Діапазон реле, А	0.4 – 0.63
Ступінь захисту	IP20

5.1.5. Вибір електромагнітного пускача КМ1, КМ2

Електромагнітні пускачі призначені для дистанційного пуску, зупинки та

реверсу трифазних асинхронних двигунів, а також вони можуть використовуватись для автоматичного керування електродвигунами та іншим електрообладнанням. Вибір електромагнітного пускача виконують за наступними умовами:

а) за типом або серією;

б) за номінальною напругою за умовою:

$$U_{н.мп.} \geq U_{м.}, \quad (5.4)$$

де $U_{н.мп.}$ - номінальна напруга магнітного пускача, В;

$U_{м.}$ - номінальна напруга електромережі, В;

в) за номінальним струмом за умовою:

$$I_{н.мп.} \geq I_{н.}, \quad (5.5)$$

де $I_{н.мп.}$ - номінальний струм магнітного пускача, А;

$I_{н.}$ - номінальний струм навантаження, А.

г) за номінальною напругою котушки електромагнітного пускача за умовою:

$$U_{к.мп.} \geq U_{кк.}, \quad (5.6)$$

де $U_{к.мп.}$ - номінальна напруга котушки магнітного пускача, В;

$U_{кк.}$ - напруга кола керування, В;

д) за ступенем захисту;

е) за кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Вихідні дані для вибору електромагнітного пускача КМ1, КМ2:

$$U_{н.мп.} = 380\text{В}; I_{н.дв.} = 0.55\text{А}; U_{к.к.} = 220\text{В}$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір пускача електродвигуна.

Вибираємо електромагнітний пускач КМ1-10910 із наступними технічними характеристиками: $U_{н.мп.} = 380\text{В}; I_{н.мп.} = 9\text{А}; U_{к.к.} = 220\text{В}$

$$660\text{В} \geq 380\text{В}; 9\text{А} > 0.55\text{А}; 220\text{В} = 220\text{В}.$$

НУБІП України

Н

Н



Рис.5.5. Електромагнітний пускач КМ1, КМ2

Таблиця.5.4. Технічні характеристики

Виробник	ІЕК
Номинальний струм, А	9
Номинальна напруга, В	220/380/660
Напруга ізоляції, В	660
Номинальна напруга втушки, В	220
Комутаційна здатність, млн. Циклів	15
Частота струму, Гц	50 – 60
Основні контакти:	3НО
Додаткові контакти:	1НО
Висота, мм	75
Ширина, мм	45
Глибина, мм	80
Маса, кг	0.340
Ступінь захисту	IP20

Двопозиційний перемикач SA1

- за напруга($U_n > U_t$), $U_n \geq 220$;

- за струмом($I_n > I_n.t$), $I_n \geq 0.55$

Згідно приведених умов обираємо LAY5-BD25 з наступними технічними характеристиками $U_n.зап. = 660$ В, $I_n.зап. = 10$ А

Н

Н



Рис.5.6. Двопозиційний перемикач SA1

Таблиця.5.5. Технічні характеристики

Тип обладнання:	Перемикач
Тип кнопки (перемикача):	Поворотний, з фіксацією, з прапорцем
Номінальна робоча напруга:	660 В
Номінальний робочий струм:	10 А
Частота струму:	50 Гц
Рід струму:	DC, AC
Кількість положень:	2
Положення перемикача:	I, 0
Електрична зносостійкість:	0.1 млн циклів В-О
Механічна зносостійкість:	0.6 млн циклів В-О
Діапазон робочих температур:	- 10 до + 40 ° C
Ступінь захисту:	IP40
Габаритні розміри:	68 × 39,5 × 29,5 мм

Кнопки SB1, SB2, SB3.

Враховуючи напругу схеми керування в 220 В, обираємо кнопки IEK SB-7.



Рис.5.7. Кнопки IЕК SB-7 (Пуск,Стоп)

Сигналізаційні лампи HL1, HL2, HL3.

Для світлової сигналізації в колі керування виберемо сигнальні лампи AD16DS 220В з підсвічуванням світлодіодною матрицею на 220 В.



Рис.5.8. Сигналізаційні лампи HL1, HL2, HL3

5.2. Вибір проводів та кабелів

Переріз струмопровідної жили проводу, шнура або кабелю вибирають, виходячи з умов гранично допустимого його нагрівання та достатньої механічної міцності. Під час визначення кількості проводів, які прокладають в одній трубі (або жил багатожилкового провідника), нульовий робочий провід чотирипровідної системи трифазного струму (або заземлюючу жилу) не враховують.

Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають за

тривало допустимим струмом:

$$I_{тр.доп.} \geq I_{роз} \quad (5.7)$$

де $I_{роз}$ - розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Для відгалужень до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі

робочі струми беруть їх номінальні струми, які визначаються за формулами:

а) для однофазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{U_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.8)$$

б) для трифазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.9)$$

в) для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим

ротором:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cdot \eta_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.10)$$

Розрахунковий струм магістралей, від яких живиться кілька споживачів,

здобувають за формулою:

$$I_{м.роз.} = K_o \cdot \sum I_{ном(роз)} \quad (5.11)$$

де K_o - коефіцієнт одночасності роботи споживачів електроенергії.
 $\sum I_{ном(роз)}$ - сума номінальних всіх (розрахункових) сил струму, А

Монтаж в щиті будемо здійснювати за допомогою одного типу проводу.

Провід вибиратимемо за найбільшим струмом. Найбільший тривало допустимий струм протікатиме по проводі №1, $I_{ном.} = 10$ А. Тому провід вибираємо так щоб виконувалась умова: $I_{тр.доп.} \geq I_{роз.}$, де $I_{роз.} = 10$ А. Провід вибираємо залежно від

їх поперечного перерізу і способу прокладання. Найбільш підходящим проводом являється **НВ-1(1х1)**, Площа поперечного перерізу $S=0.5$ мм² ($I_{тр.доп.} = 10$ А).

Кабель живлення електродвигуна ДСТР 110-1,0-136:

$$P_{ед} = 100 \text{ Вт}; I_{н} = 0.55 \text{ А}; \eta_{д} = 55\%; \cos\phi_{д} = 0.51.$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.51 \cdot 55\%} = 0.55 \text{ A} \quad (5.12)$$

Вибираємо **ВВГнг 4x1,5**, площа поперечного перерізу $S=1.5 \text{ мм}^2$.
Кабель до датчика ВК1.

Вибираємо **КВВГ(2x1)**, площа поперечного перерізу $S=1 \text{ мм}^2$

Монтаж в щиті будемо здійснювати за допомогою одного типу дроту. Провід вибираємо залежно від їх поперечного перерізу і способу прокладання. Найбільш підходящим проводом являється **ПВ-1(1x1)**, Площа поперечного перерізу $S=0.5 \text{ мм}^2$.

Вибір кабелю для живлення шафи керування

Для живлення шафи керування вибираєм кабель **ВВГнг 4x2** з мідними жилами, з полівінілхлоридною ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці, перерізом силових жил 2 мм^2 .

5.3. Розрахунок надійності схеми автоматичного управління

При проектуванні схем автоматичного керування необхідно розробляти такі схеми, які володіли б заданими технічними характеристиками і забезпечували відповідну ступінь надійності в процесі їх експлуатації.

Надійність визначають як властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах.

Розрахунок надійності схеми при проектуванні носить оціночний характер із-за невисокої точності початкових даних.

Визначається інтенсивність відмов схеми автоматичного керування λ_{Σ} , $1/\text{год}$, за формулою:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (5.13)$$

де $\sum_{i=1}^n \lambda_i$ - сума інтенсивності відмов усіх елементів, що входять до схеми керування (окрім електродвигуна), $1/\text{год}$.

Для зручності значення інтенсивності відмов схеми автоматичного керування виконуємо табличним методом.

Значення інтенсивності відмов елементів схеми автоматичного управління приведено у таблиці 1.

Таблиця.5.7. Визначення значення інтенсивності відмов схеми автоматичного управління

Назва елементів	Кількість однотипних елементів	Інтенсивність відмов елемента $10^{-6}, 1/\text{год.}$	Результуюча інтенсивність відмов, $10^{-6}, 1/\text{год.}$
Автоматичний вимикач	2	0,161	0,322
Магнітний пускач	2	0,25	0,5
Теплове реле	1	0,400	0,400
Лампи	3	0,3	0,9
Кнопки «Пуск» та «Стоп»	2	0,063	0,126
Електродвигун	1	5,24	5,24
Пакетний перемикач	1	0,175	0,175

$$\lambda_{\Sigma} = 10.913 \cdot 10^{-6} 1/\text{год}$$

Визначається час напрацьовування на відмову $T_{\text{напр.}}$, год., за формулою

$$T_{\text{напр}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \quad (5.14)$$

де λ_{Σ} - інтенсивність відмов схеми автоматичного керування, $1/\text{год.}$

$$T_{\text{напр.}} = 1/10.913 \cdot 10^{-6} = 91634 \text{ год.}$$

Визначається вірогідність безвідмовної роботи схеми $P(t)$, за формулою

$$P(t) = e^{-k\lambda_{\Sigma}t_x} \quad (5.15)$$

де k - поправочний коефіцієнт, який враховує вплив зовнішнього середовища;

λ_{Σ} - інтенсивність відмов схеми автоматичного керування, $1/\text{год.}$;

t_x - час роботи, для якого визначаються параметри надійності, год.

Згідно довідкової літератури приймаємо для стаціонарних установок $K=10$
і $t_x=1000$ год

$$P(t) = e^{-10.913 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0.897$$

Щоб підвищити надійність розглядуваної застосуємо метод навантаженого резервування. Резервувати будемо не всю схему, а лише її частину, що складається із елементів K1 та K2 (до уваги беруться контакти, котушки цих елементів).

На підставі попередньої формули маємо

$$p_3(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \quad (5.16)$$

де $p_1(t)$ - імовірність безвідмовної роботи схеми, що резервується; $p_2(t)$ - те саме, але тієї частини схеми, що резервуванню не підлягає.

Аналізуючи схему, знаходимо:

$$p_2(t) = e^{-1 \cdot (0.161 + 0.175 + 0.126 + 0.25 + 0.9 + 10 \cdot 0.25) \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0.96$$

Тоді

$$p_1(t) = \frac{p_3(t)}{p_2(t)} = \frac{0.96}{0.96} = 1 \quad (5.17)$$

Пам'ятаючи, що навантажене резервування - це паралельне з'єднання однотипних елементів, матимемо:

$$1 = 1 - (-e^{-1 \cdot \lambda_1 \cdot 10^4 \cdot m})$$
$$m = \frac{\log(1-1)}{\log(-e^{-1 \cdot 7.051 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \cdot m})} \quad (5.18)$$

де $\lambda_1 = (0.161 + 0.4 + 5.24 + 0.5) + 3 \cdot 0.25) \cdot 10^{-6} = 7.051 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ - сумарна інтенсивність відмов елементів тієї частини схеми, що підлягає резервуванню.

Отже система при експлуатації буде працювати досить надійно, так як показники вірогідності безвідмовної роботи знаходяться в встановлених межах (від 0,955 до 0,99).

5.4. Розробка SCADA - системи

SCADA (або від англ. Supervisory Control And Data Acquisition - моніторинг та збір даних) - складний програмний комплекс призначений для збору, обробки та зберігання інформації в режимі реального часу.

SCADA складається з багатьох окремих модулів. Основними з них є:

- інтерфейс користувача;
- web server;
- модулі збору інформації;
- модулі обробки інформації;
- архівування;
- генератор табличних звітів;
- генератор графіків.

Основні функції SCADA-системи:

- підвищена надійність через автоматизацію;
- відмова від ручного збору даних на користь автоматизованого;
- моніторинг системи і тривожні повідомлення дозволяють оператору швидко виявити проблему і усунути її джерело;
- більший відсоток несправностей можна усунути в автоматичному режимі, не посилаючи на віддалений об'єкт співробітників компанії;
- потужний аналітичний інструментарій, що дозволяє аналізувати і діагностувати системи. Завдяки такому інструменту можна підвищити ефективність техобслуговування і виявити ділянки, рекомендовані або негайно потребують модернізації;
- збереження даних про роботу системи за весь час її функціонування дозволяє виводжувати інформацію, аналізувати її та застосовувати для подальшого підвищення ефективності;

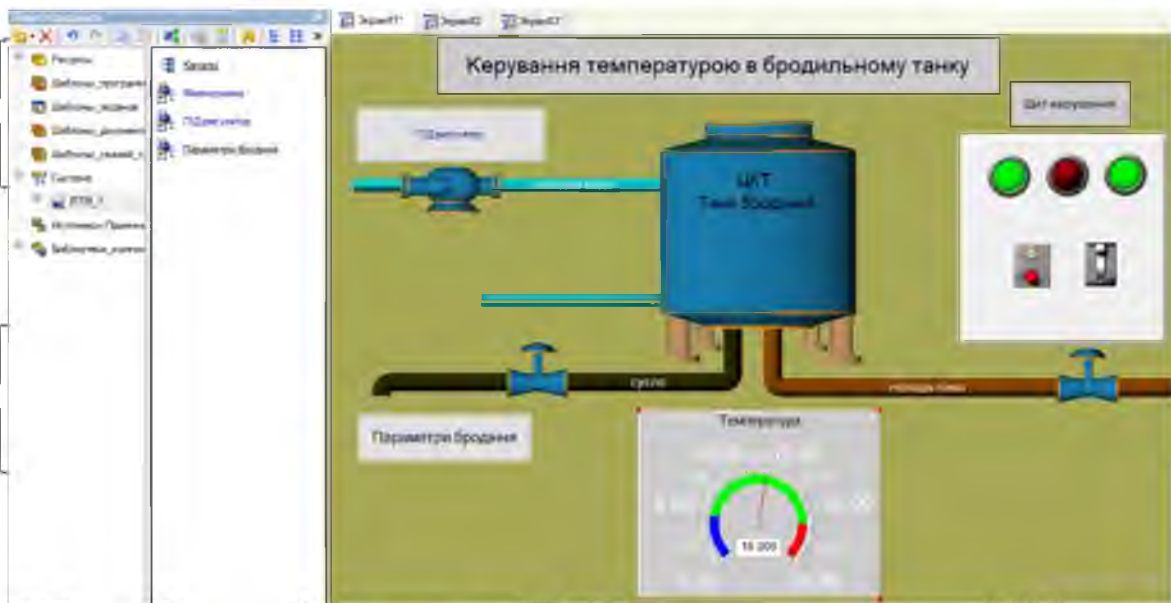


Рис.5.9 Мнемосхема бродильного танка

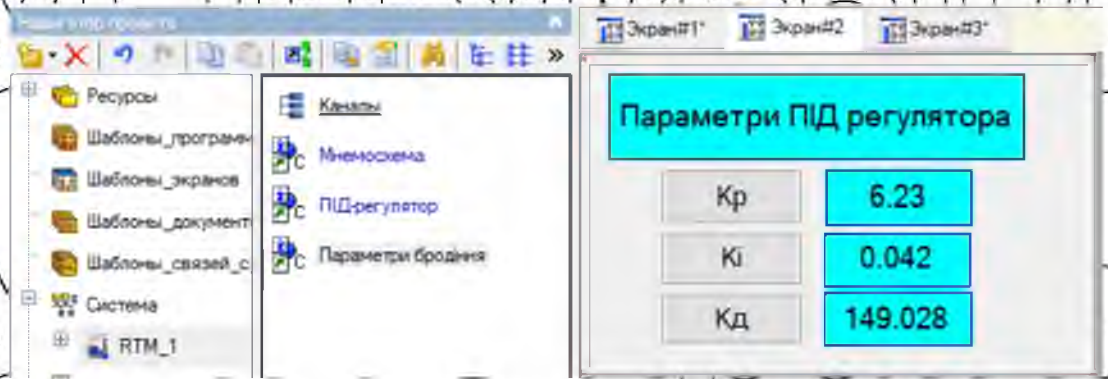
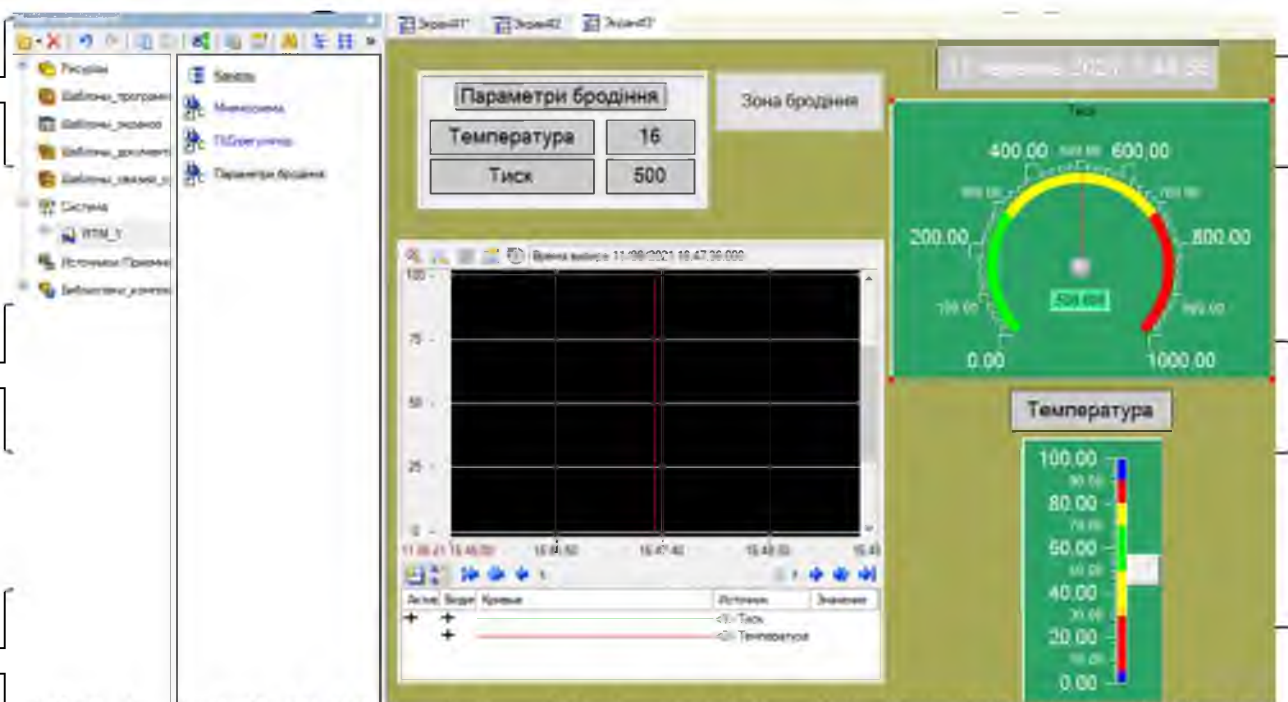


Рис.5.10. Экран параметров ПИД-регулятора



5.5. Програмне забезпечення ПЛК

Проект програми ПЛК_200_01 для програмованого логічного контролера ПЛК200 складено у середовищі Codesys v2.3. Конфігурацію вхідних та вихідних сигналів подано на рис. (5.12).

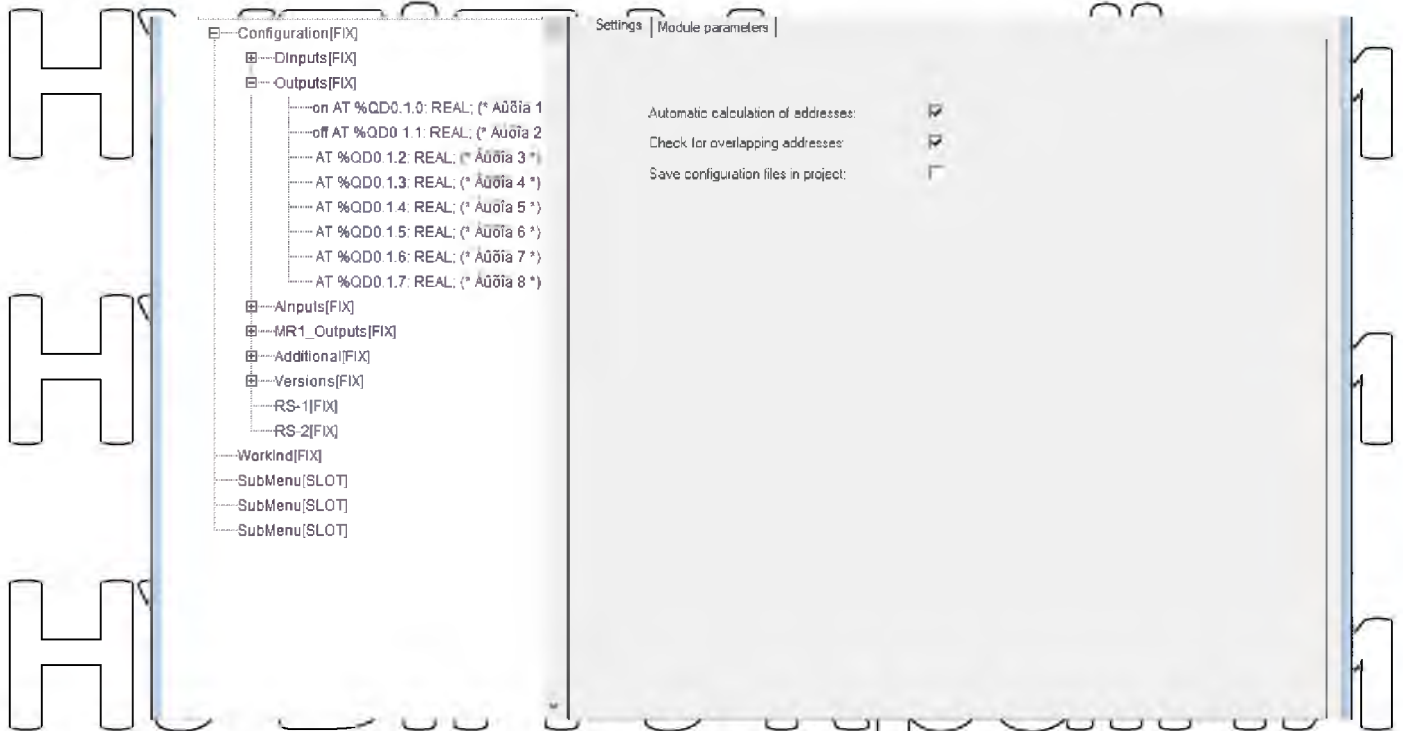


Рис.5.12. Конфігурація ПЛК

Проект складається з двох програм:

- PLC_PRG (рис. 5.13.) на мові ST (Структурований текст), де забезпечено отримання значення температури по аналогових входах (AI-1, AI1-D).

- PID_reg (рис. 5.14.) на мові CFC (Послідовні функціональні схеми), що реалізую функцію ПІД-регулювання за допомогою функціонального блоку

APID_VALVE з бібліотеки Pid_Reg2.lib. Функціональний блок SET_APID_VALVE цієї ж бібліотеки задає параметри регулятора для функціонального блоку APID_VALVE.

```

PLC_PRG (PRG-ST)
0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003   Buffer: ARRAY [0..255] OF BYTE;
0004   compl: BOOL;
0005   port_opened: BYTE := 0;
0006   Init: BOOL;
0007   Settings: COMSETTINGS;
0008   enabl: BOOL; (* Nôai diaiôe aeiéó *)
0009   err: INT; (* líad míeéèè *)
0010   Exception: BYTE;
0011   DataSize: WORD;
0012   master1: BYTE := 1;
0013   TimeOut: TIME := T#50ms; (* ôásiáóò *)
0014   Exception: BYTE;
0015   DataSize: WORD;
0016   master1: BYTE := 1;
0017   t: DWORD; (* Çíiá aey líáðçáç, çí-eeúeéç *)
0018   A: WORD := 0; (* E"-eéúíeé *)
0019   ptr_D: POINTER TO BYTE;
0020   x: WORD; (* lðí-eòarâ çíá-aiiy *)
0021   d: REAL; (* lðí-eòarâ çíá-aiiy *)
0022   ptr_D: POINTER TO BYTE;
0023   Dii: WORD;
0024   D: BOOL;
0025 END_VAR

```

```

0001 i := 1 + 1;
0002 IF (t MOD 1000) = 0 THEN
0003   A := A + 1;
0004   IF A > 9999 THEN A := 0; END_IF
0005 END_IF
0006 COM_SERVICE1 (Enable := (port_opened = 0), Settings := Settings,
0007 Task := OPEN_TSK);
0008 IF COM_SERVICE1 ready THEN
0009   port_opened := 2;
0010 END_IF
0011 IF port_opened = 2 THEN
0012   get3_modbus (
0013   Enable := enabl,
0014   TimeOut := TimeOut (* Oaéíáóò T # 50ms *)
0015   Buffer := Buffer, (* áðóáð aaleóó *)
0016   Complete => compl,
0017   Exception => err,
0018   ByteCnt => DataSize);
0019   IF compl THEN
0020     master1 := 2;
0021     IF err = 0 THEN
0022       ptr_D := ADR(d);
0023       ptr_D^ := buffer[1];
0024       ptr_D := ptr_D + 1;
0025       ptr_D^ := buffer[0];
0026       ptr_D := ptr_D + 1;
0027       ptr_D^ := buffer[3];
0028       ptr_D := ptr_D + 1;
0029       ptr_D^ := buffer[2];
0030     END_IF
0031   END_IF
0032   Fi := D;
0033   IF enabl = FALSE THEN enabl := TRUE; END_IF
0034   IF err <> 0 THEN enabl := FALSE; END_IF
0035 END_IF

```

Рис. 5.13. Функціональний блок для обробки даних з датника

НУБІП України

НУБІП України

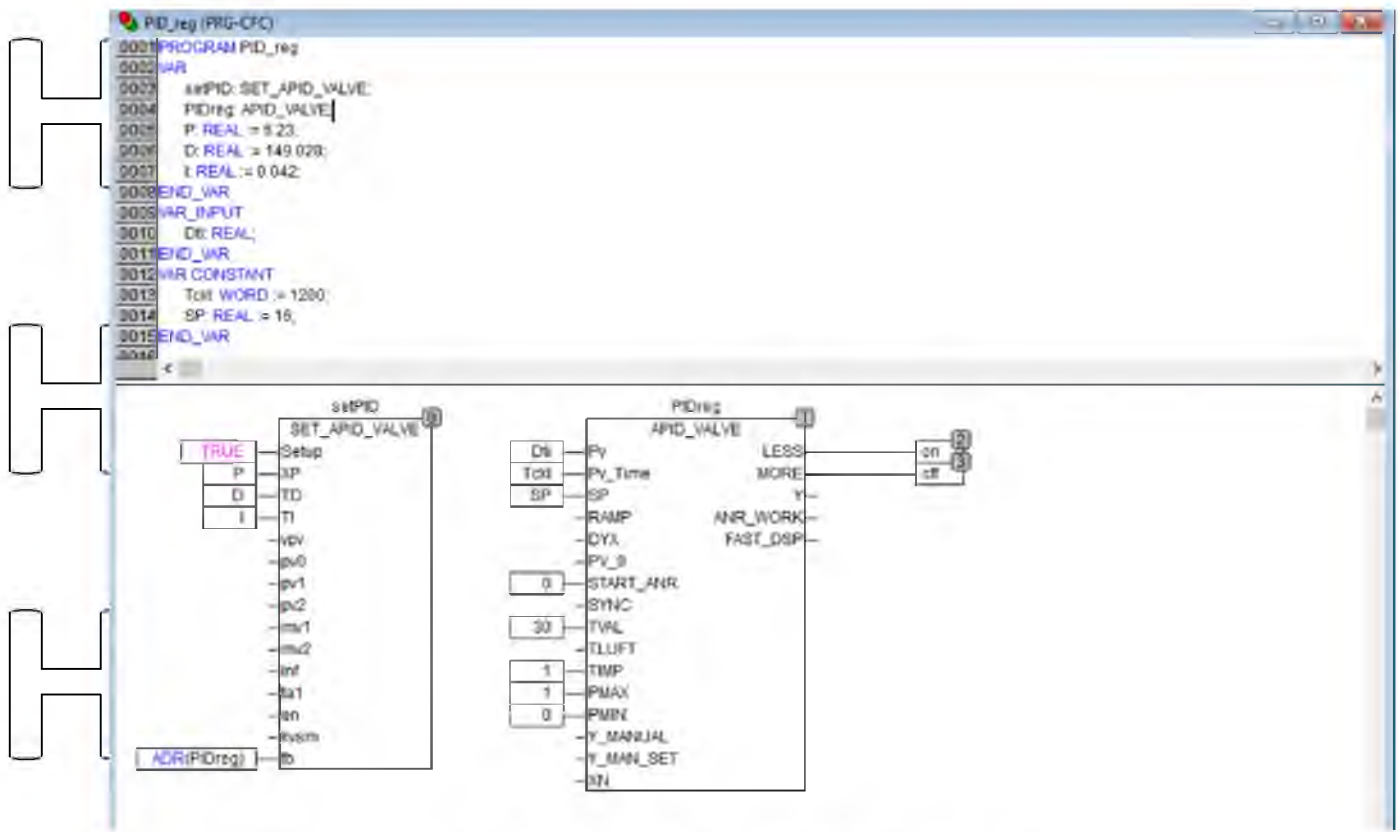


Рис.5.14. Програма ПІД – регулятора

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБГРУНТУВАННЯ

Нова техніка, технології, зокрема інноваційні, засоби автоматизації, розроблювані і впроваджені у виробництво, повинні давати корисний результат.

Він може бути економічним, що виявляється в зниженні витрат підприємства на виробництво і підвищення прибутку, а також соціальним, екологічним та ін.

При впровадженні проекту підприємство несе разові витрати, пов'язані з розробкою проекту, а також із придбанням і встановленням необхідного устаткування, засобів програмного забезпечення і ін.

Головною метою автоматизації технологічних процесів є покращення ефективності праці, поліпшення якості продукції, що випускається, створення умов для оптимального використання всіх ресурсів виробництва.

Автоматизація повинна забезпечити оптимальне проходження технологічного процесу та максимальний виробничий ефект при найменших затратах праці, матеріалів та енергії. У зв'язку з цим будь-який проект автоматизації в цілому та прийняті в ньому технічні рішення повинні бути економічно обгрунтовані.

Економічна ефективність автоматизації - основний критерій якості функціонування автоматизованого об'єкту. Цільова функція автоматичних і автоматизованих систем управління - отримання максимальної величини технологічної складової прибутку за рахунок досягнення основних техніко-економічних показників виробництва на рівні або вище їх нормованих значень.

В наш час основою збільшення ефективності роботи виробництва є модернізація агропромислових підприємств, а також повна заміна старих засобів автоматизації на сучасні - нові, на базі мікропроцесорної техніки. Модернізація здійснюється шляхом розробки та впровадження науково-технічної продукції - автоматизованих систем управління технологічними процесами виробництв з використанням ефективних і надійних засобів автоматизації світового рівня.

Фактори підвищення економічної ефективності автоматизації у харчовій

промисловості дуже різноманітні. У сучасних умовах домогтися економічної ефективності автоматизації тільки за рахунок зменшення чисельності обслуговуючого персоналу в ряді випадків не вдається, тому що сучасні заводи, цехи, відділення, ділянки обслуговуються порівняно малою кількістю людей.

Тому до факторів підвищення економічної ефективності можна віднести наступні: підвищення якості продукції, зниження витрат сировини і різних видів енергії, скорочення відходів виробництва, підвищення ритмічності виробництва, підвищення продуктивності праці, збільшення обсягу продукції, що випускається, поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу за рахунок виключення робіт на шкідливих, небезпечних для життя і здоров'я людей ділянках виробництва.

Таблиця.6 1. Вартість технічних засобів автоматизації

№	Найменування	К-сть, од.	Ціна за 1 од. грн.	Ціна сумарна, грн.
1	Контролер ПЛК200 ОВЕН	1	18000	18000
2	Перемикач режиму роботи LAY5-BD25	1	150	150
3	Автоматичний вимикач ПРК32-1 ІЕК	1	1200	1200
4	Автоматичний вимикач ВА 47-100 1р	1	550	550
5	Обмежувач перенапруг ЕТІ	1	2300	2300
6	Теплове реле ІЕК РТІ-1304	1	250	250
7	Електромагнітний пускач КМИ-10910	2	500	1000
8	Кнопки ІЕК SB-7	3	40	120

9	Сигналізаційні лампи AD16DS	3	36	108
10	Датчик температури TCM145-50M	1	290	290
11	Виконавчий механізм MEO-16	1	3000	3000
12	Клапан VFS2 DN25	1	15000	15000
13	Шафа MultiMount	1	2500	2500
				44 468

Використанням засобів автоматичного керування і контролю приводить до підвищення продуктивності праці та знижує собівартість продукції, термін окупності.

Загальним показником ефективності капітальних вкладень є зведені

розрахункові витрати, які враховують витрати річної експлуатації та частку капіталовкладень, що припадає на один рік.

Зведені витрати визначаються за формулою:

$$B_{зв} = C + E_n \cdot K, \quad (6.1)$$

де $B_{зв}$ – зведені витрати, грн./рік; C – річні експлуатаційні витрати, грн./рік; K – капітальні витрати, грн.; E_n – нормальний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, рік⁻¹ ($E_n = 0,15$).

Річні експлуатаційні витрати на оплату праці персоналу визначаються відповідно до посадових окладів згідно тарифного розряду працівника.

Прийmemo ці витрати в розмірі $C_3 = 80$ грн/год [17].

Вартість енергоресурсів визначаємо, виходячи із кількості спожитої електроенергії та поточних тарифів для виробничих цілей (на 2023 рік 2,64 грн./кВт·год.)

$$C_e = P \cdot \Gamma_{річн.} \cdot 2,64 \text{ грн.} \quad (6.2)$$

Інші прямі витрати приймають рівними 1 % від загальної суми експлуатаційних витрат.

Таким чином:

$$C = C_3 + C_a + C_{пр} + C_e \quad (6.3)$$

Відрахування на амортизацію:

$$C_a = 0,14 \cdot K = 0,14 \cdot 60219 = 8430 \text{ грн.} \quad (6.4)$$

Поточний ремонт:

$$C_{пр} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot 60219 = 10839 \text{ грн.} \quad (6.5)$$

Вартість енергоресурсів:

$$C_e = 11,1 \cdot 5000 \cdot 2,64 = 146520 \text{ грн.} \quad (6.6)$$

Оплата праці робітників:

$$C_3 = 12 \cdot 15000 = 180000 \text{ грн.} \quad (6.7)$$

Річні експлуатаційні витрати:

$$C = 180000 + 8430 + 10839 + 146520 = 345789 \text{ грн.} \quad (6.8)$$

Також при розрахунку капітальних вкладень необхідно врахувати:

- придбання необхідних технічних засобів автоматизації (K_3);
- торгівельно-транспортні витрати ($K_{тг}$);
- монтаж ТЗА (K_m);
- проведення електричної проводки ($K_{пр}$);
- інші витрати (K_i).

Загальна вартість технічних засобів автоматизації складе: $K_3 = 44468$ грн.

Витрати торгівельно-транспортні: $K_{тг} = 0,11 \cdot 44468 = 4891$ грн.

Витрати на монтаж технічних засобів автоматизації: $K_m = 0,17 \cdot 44468 = 7560$ грн.

Витрати на прокладку електричної проводки: $K_{пр} = 60 \cdot 30 = 1800$ грн.

Інші витрати: $K_i = 1500$.

Сума капітальних вкладень становить:

$$K = K_3 + K_{тг} + K_m + K_{пр} + K_i \quad (6.9)$$
$$K = 44468 + 4891 + 7560 + 1800 + 1500 = 60219 \text{ грн.}$$

Розраховуємо зведені витрати:

$$B_{зв} = C + E_n \cdot K \quad (6.10)$$

$$B_{зв} = 345789 + 0,15 \cdot 60219 = 354822 \text{ грн.} \quad (6.11)$$

Прибуток визначимо за формулою:

НУБІП України

$$p = \Delta C_3 + \Delta C_e, \quad (6.12)$$

де ΔC_3 – прибуток за рахунок економії заробітної плати, ΔC_e – прибуток за рахунок економії електроенергії.

Тоді:

$$p = 180000 + 146520 = 326520 \text{ грн.} \quad (6.13)$$

НУБІП України

Термін окупності запропонованого підходу визначають за формулою:

$$T_{ok} = \frac{K}{p} = \frac{60219}{326520} = 2 \text{ місяця} \quad (6.14)$$

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи була досліджена та вдосконалена система автоматичного керування температурою у бродильному апараті за допомогою комплексу технічних засобів ОВЕН, проведений докладний огляд і аналіз особливостей технологічного процесу бродіння пива. Було створено математичну модель бродильного апарату для регулювання температури, яка була розглянута як об'єкт керування, та визначені її характеристики і передаточна функція. Для керування цим об'єктом використовувався ПІД-алгоритм керування.

Для регулювання температури в бродильному апараті був обраний контролер ОВЕН ПЛК-200. Проведено дослідження амплітудно - фазо частотних характеристик. Застосовуючи метод компенсації постійних часу, були розраховані оптимальні налаштування регулятора.

Дослідивши перехідну характеристику визначили такі показники якості: час регулювання $t_r = 250$ с, перерегулювання $\sigma = 0$ %, коливальність $n = 0$, статична похибка $\delta = 0\%$. Ці показники задовольняють технічним вимогам регулювання температурою в бродильному апараті.

Було вдосконалено комп'ютерно інтегровану систему керування температурою у бродильному апараті за допомогою хмарного сервіса OwenCloud та SCADA-системи.

В економічному аспекті продемонстрована обґрунтованість впровадження цієї системи на практиці, оскільки період окупності системи становить 2 місяці.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматика и автоматизация производственных процессов / И.И. Мартиненко,

Б.П. Головинский, Р.Д. Проценко, Т.Ф. Резниченко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 335 с.

2. Методичні вказівки до розробки випускної бакалаврської роботи для студентів напрямку підготовки 6.050202 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (Лисенко В.П., Решетюк В.М., Мірошник В.О.)

3. Сайт ОВЕН — [Електронний ресурс] <https://oven.ua/>

4. Автоматизація дрижджового відділення пивзаводу — [Електронний ресурс] <https://sector-t.com/portfolio/avtomatizaciya-drizhdzhovogo-viddilemnya-pivzavodu/>.

5. Автоматизація виробничих процесів : підручник / О.І. Черевко, Л.В. Кіптела,

В.М. Михайлов, О.Є. Загорупько ; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. — Харків, 2014. — 186 с.

6. Відомості про циліндро-конічні бродильні танки — [Електронний ресурс] <https://milesta.ru/cylindrical-conical-fermentation-tanks>.

7. Способи зброджування пивного сусла — [Електронний ресурс]

<https://theib.info/technologie/1359175-sposobi-zbrodzhuvannya-pivnogo-susla/>.

8. Ферментація сусла — [Електронний ресурс]

https://www.mdpi.com/journal/fermentation/special_issues/wort.

9. Кип'ятіння сусла — [Електронний ресурс] [https://www.express-](https://www.express-eco.ru/solutions/pishevaya/filtratsiya_piva)

[eco.ru/solutions/pishevaya/filtratsiya_piva](https://www.express-eco.ru/solutions/pishevaya/filtratsiya_piva).

10. Подрібнення солоду — [Електронний ресурс]

http://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_18/page4.html.

11. Технологія пивоваріння — [Електронний ресурс]

<https://en.wikipedia.org/wiki/Brewing>.

12. Нарцисс, Людвиг Краткий курс пивоварения / Л. Нарцисс; при участии В.

Бака; пер. с нем. А. А. Куреленкова. — СПб.: Профессия, 2017. — 640 с.

13. Мартиненко И.И., Лисенко В.Ф. Проективання систем автоматички. — М.:

Агропромиздат, 1991

14. Автоматизована система виготовлення пива — [Електронний ресурс]

https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00524417_0.html.

15. Лазарева Т. Я. Основы теории автоматического управления: Учебное

пособие / 2-е изд. перераб. и доп. [Текст] / Т. Я. Лазарева, Ю. Ф. Мартемьянов.

Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. — 352 с.

16. [Електронний ресурс] <https://ru.wikipedia.org>.

17. Beer fermentation processes - [Electronic resource]

<https://ua.waikun.com/articles/osoblivosti-tehnologichnogo-procesu-pivovarnnja.php>.

18. Beer fermentation processes - [Electronic resource]

<https://pidru4niki.com/12411224/tovaroznavstvo/formuvannya-yakosti-piva-protsesi-virobnitstva>

19. Beer fermentation processes - [Electronic resource]

https://www.siebelinstitute.com/courses/specialized-lectures?gad=1&gclid=CjwKCAjw15eqBhBZEiwAbDomEmUwKDuD0rWfNMejXqR-khtVvTU9DdwsNPk2dcWVWwOF6KcM0y9XPhoClrwQAvD_BwE.

20. Beer fermentation processes - [Electronic resource]

<https://www.czechminibreweries.com/production/technology-fermentation-maturation-process/>.

21. Beer fermentation processes - [Electronic resource]

https://www.hembeerequipment.com/support/knowledge/the-brewing-process.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCC0iAr8qBhD3ARIsAe-buOpFgVLbcODLruHkOM1orJzv6luUzZeH8dGbnlkbAFJa8OhqfxawZwaAK3EA

[Lw. wCB.](#)

22. Beer fermentation processes - [Electronic resource]

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S09780128152713000130>.

23. Beer fermentation processes - [Electronic resource] <https://grainfather.com/beer-fermentation-process/>.

24. Beer fermentation processes - [Electronic resource]

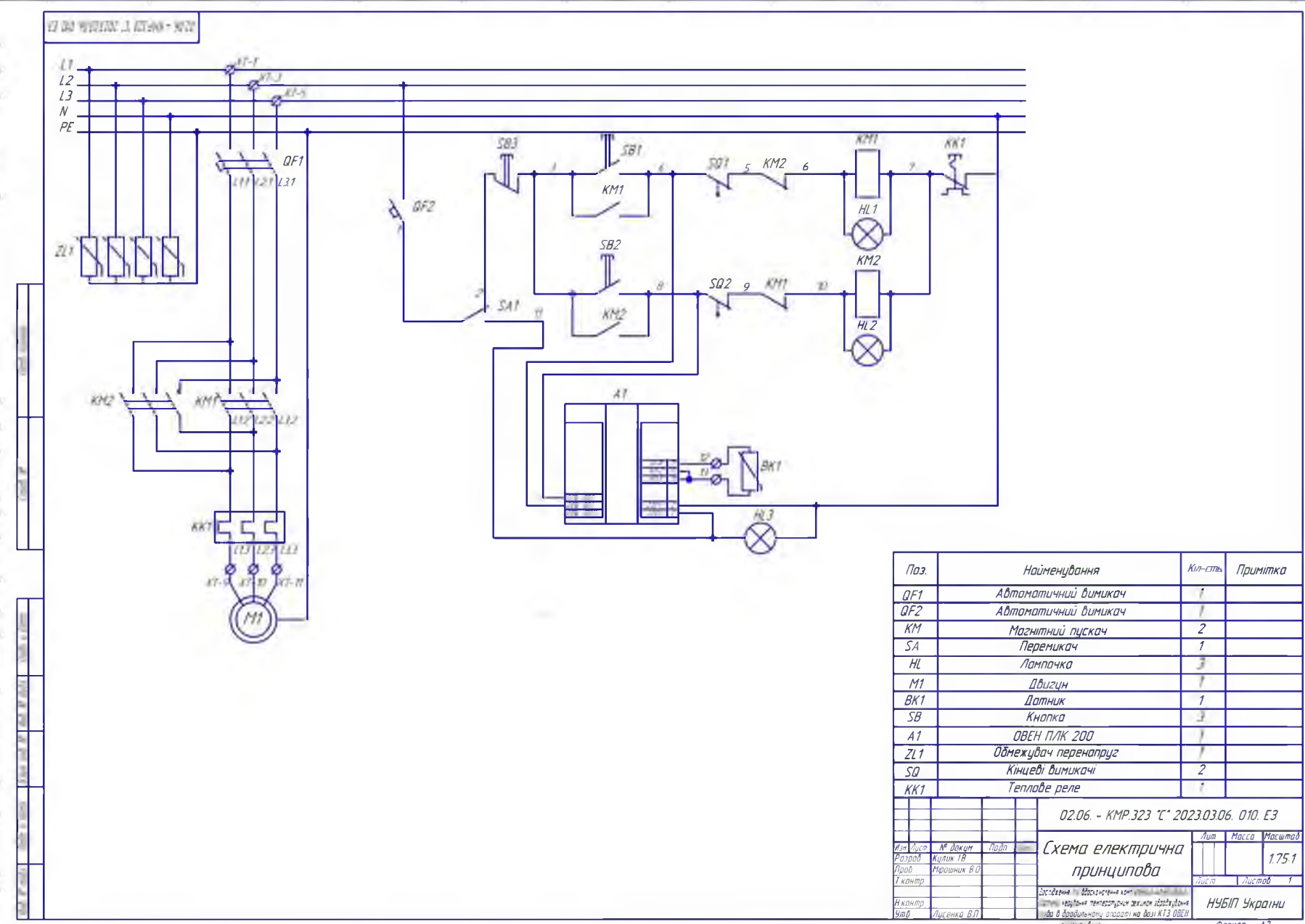
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7456055/>.

25. Beer fermentation processes - [Electronic resource]

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-023-04365-z>.

ДОДАТОК А

Фрагмент електрична принципова схема



Поз.	Найменування	Кіл-сть	Примітка
QF1	Автоматичний вимикач	1	
QF2	Автоматичний вимикач	1	
KM	Магнітний пускач	2	
SA	Перемикач	1	
HL	Лампочка	3	
M1	Двигун	1	
BK1	Датчик	1	
SB	Кнопка	3	
A1	ОВЕН ПЛК 200	1	
ZL1	Обмежувач перенапруг	1	
SQ	Кінцеві вимикачі	2	
KK1	Теплове реле	1	

02.06. - КМР.323 "С" 2023.03.06. 010. ЕЗ

**Схема електрична
принципова**

Лист	Маса	Масштаб
1		1:1
Лист	Листів	1

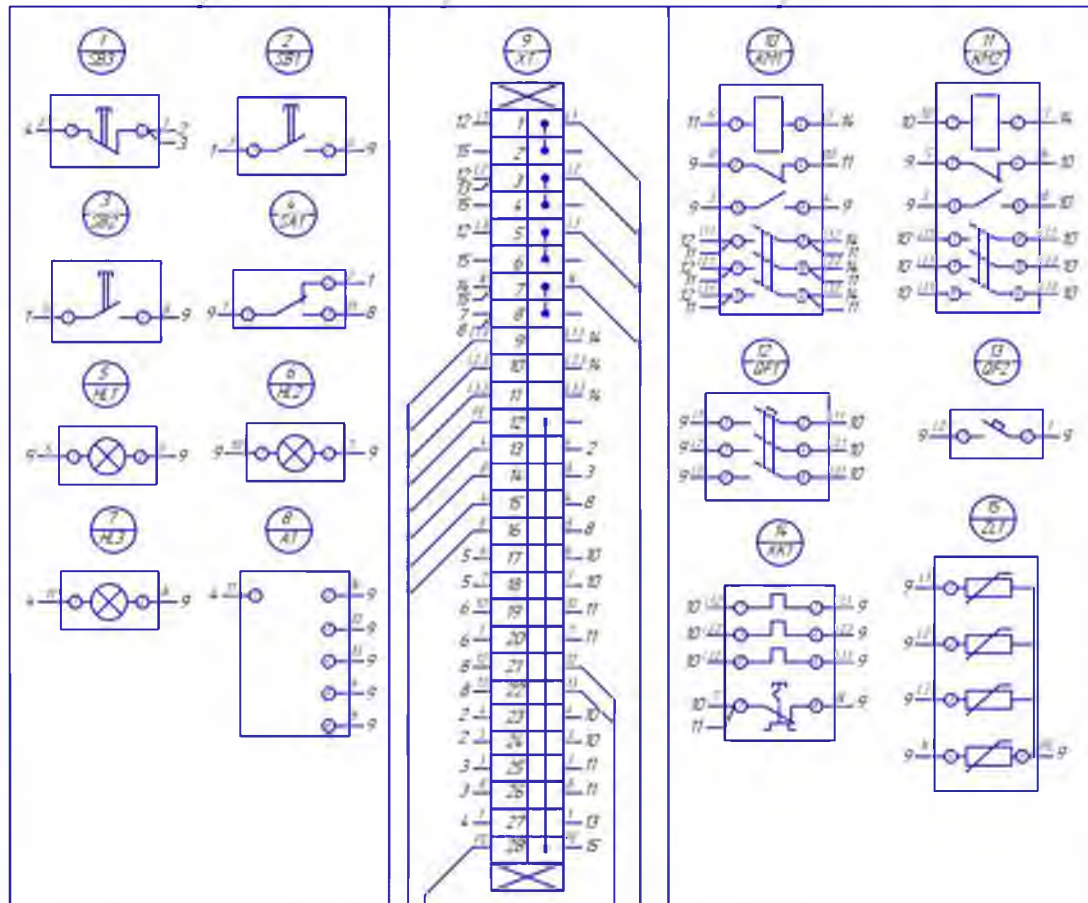
Зроблено в Миколаївській області
 на заводі "Термостат" м. Миколаїв
 в цеху №10 за адресою: м. Миколаїв, вул. Кітківська, 10
 НУБІП України

02.06 - КМР.323 "С" 2023.03.06. 010 Е4

Передня панель

Ліва бічна панель

Задня панель



До щита живлення
Датчик ВК1

До двигуна М1 та кінцевих вимикачів SQ1, SQ2

Поз.	Найменування	Кіл-сть	Примітка
QB1	ПРК32-1 ІЕК	1	
QB2	ВА63 1Р 6 А	1	
KM1	КМИ-10910	1	
KM2	КМИ-10910	1	
SA1	LAY5-B025	1	
HL1	AD16DS	1	
HL2	AD16DS	1	
HL3	AD16DS	1	
M1	ДСТР 110-10-136	1	
BK1	ТСМ145-50М	1	
SB1	ІЕК SB-7	1	
SB2	ІЕК SB-7	1	
SB3	ІЕК SB-7	1	
A1	ОВЕН ПЛК 200	1	
KK1	ІЕК РТ1 - 1304	1	
ZL1	ЕТ1 002440395 ЕТІТЕС	1	

02.06. - КМР.323 "С" 2023.03.06. 010 Е4

Лист	Маса	Масштаб
		1:1
Схема електрична з'єднань		
НУБІП України		
Формат А2		

Схема електрична з'єднань

00

ДОДАТОК В

Схема електричних підключень

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

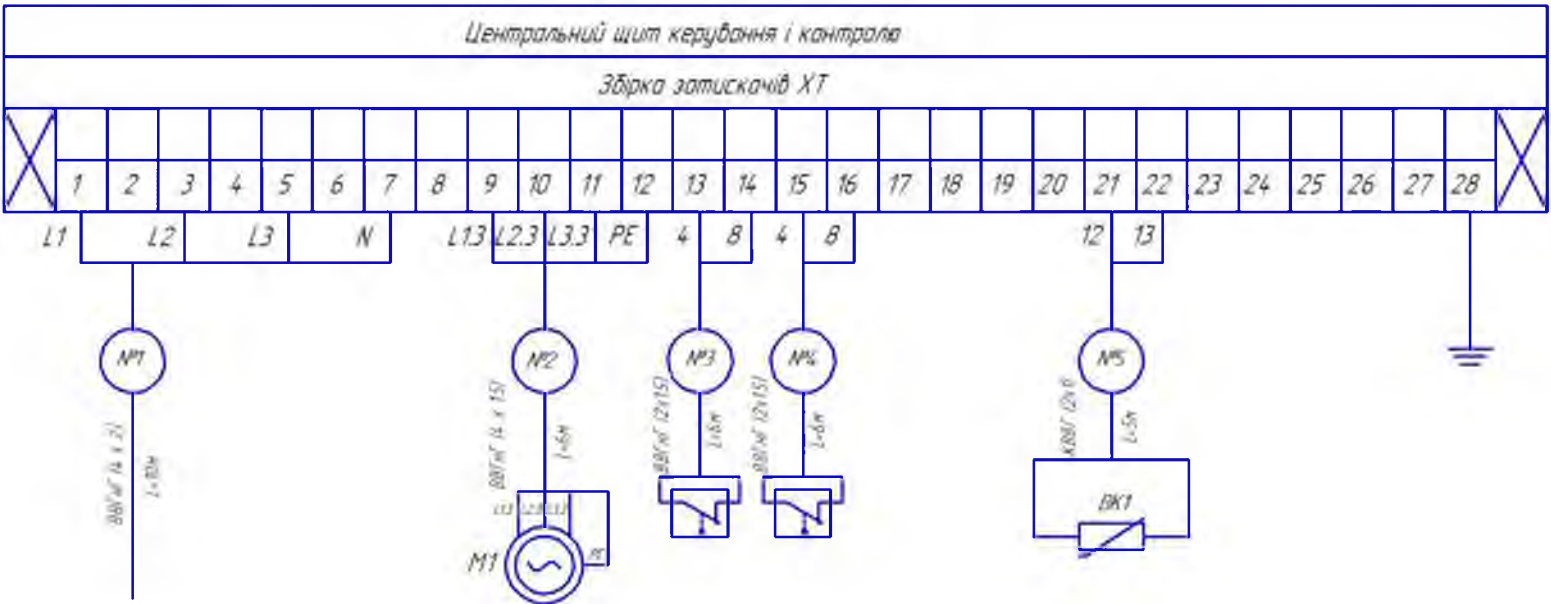
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

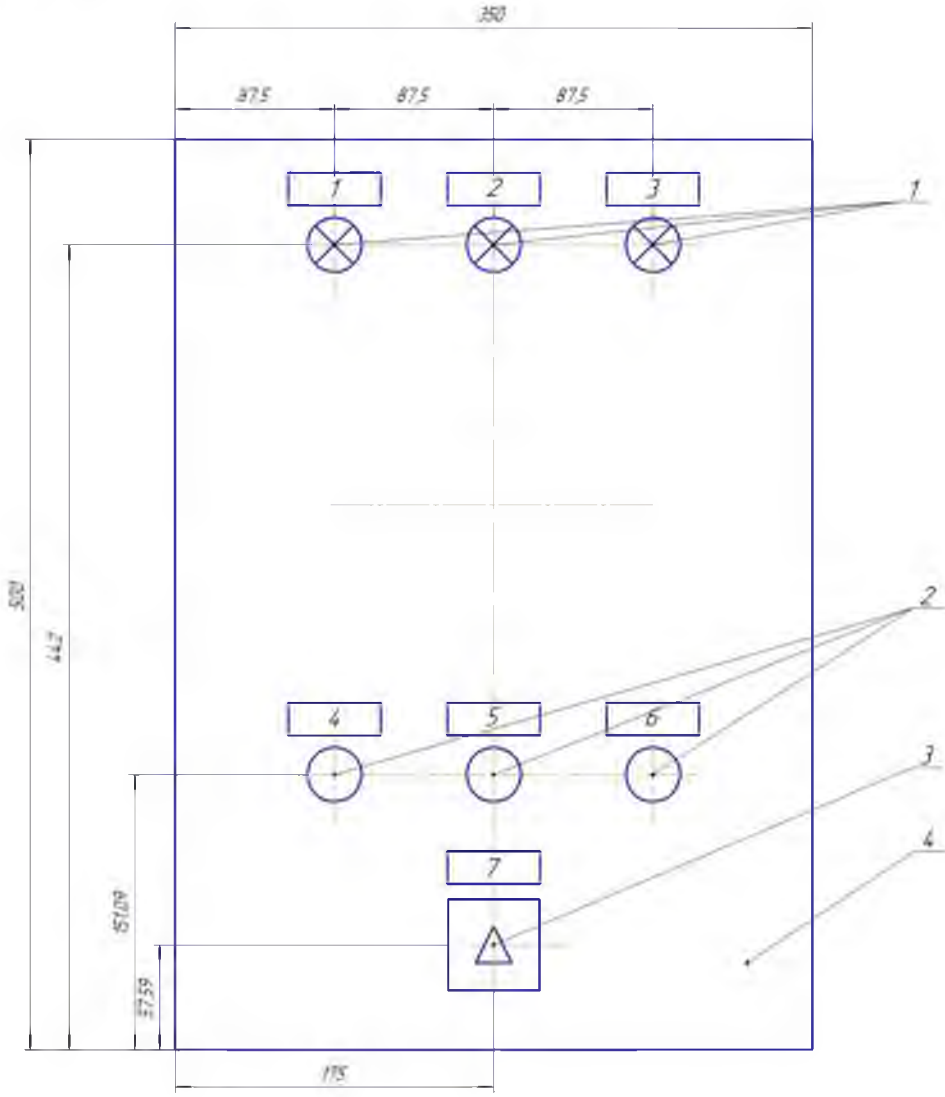
02.06 - КМР.323 "С" 2023.03.06. 010. Е5



Назва обладнання	Щит живлення	Електропривід клапану	Датчик температури
Тип	L1 L2 L3 N	ДСТР 110-1,0-136	ТСМ145-50М

02.06. - КМР.323 "С" 2023.03.06. 010. Е5			
Изм.	Лист	№ докум.	Підп.
Разроб.	Кирик І.В.		
Проб.	Мірошник В.О.		
Т контр.			
Н контр.			
Утв.	Лисенко В.П.		
Схема електричних підключень			
Лист		Маса	Масштаб
Лист		Листов	1
Дослідження та вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурним режимом збройованого пива в зброяльному апараті на базі КТЗ ОВЕН		НУБІП України	
Копіював		Формат А3	

95 000 00000000 00 00000000 - 0000



Поз.	Найменування	Примітка
1	Сигнальні лампи HL1, HL2, HL3	
2	Кнопки SB1, SB2, SB3	
3	Двопозиційний перемикач SA1	
4	Щит шафний	

Поз.	Текст в рамках	Примітка
1	Живлення	
2	Відкрита заслінка	
3	Закрита заслінка	
4	Стоп	
5	Відкриття заслінки	
6	Закриття заслінки	
7	Ручний/Автоматичний режим	

02.06 - КМР.323 Ч 2023.03.06 010 ЕБ

Лист	Масга	Масштаб
		1:1

Зовнішній вигляд щита керування

НУБІП України

Зовнішній вигляд щита керування 00