

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра Автоматизації технологічних, електромеханічних
і робототехнічних систем



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему «Автоматизація процесу керування вирощуванням дріжджів»

Здобувача Шершун В.В.
(прізвище, ініціали)
IV курсу групи А-40

Керівник доцент Левінський В.М.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти:
доцент Левінський В.М.
(посада, прізвище та ініціали)
доцент Світий І.М.
(посада, прізвище та ініціали)

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 04 червня 2026 р., протокол № 7

В. о.завідувач(ка) кафедри АТЕіРС _____ О.М. Жигайло
(назва кафедри) (підпис) Підпис (ПІБ)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	<u>Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування ім. П.М. Платонова</u>
Кафедра	<u>Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u>
Спеціальність	<u>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС
_____ І.М. Світій

«05» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Шершун Владислав Володимирович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування вирощуванням дріжджів».
2. Керівник кваліфікаційної роботи Левінський Валерій Михайлович, к.т.н., доцент. Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 743-03 від 31.12.2025 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт.
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):

Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.

Розділ 2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.

Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів автоматичного регулювання, порівняльний аналіз САР.

Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.

Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.

Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.

Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і налагодчика САК.

Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділи 2, 3	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світій І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		

1.

. Дата видачі завдання « 09 » січня 2026 р.

7

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	«24» березня 2026 р.	
Розділ 2	«31» березня 2026 р.	
Розділ 3	«10» квітня 2026 р.	
Розділ 4	«15» квітня 2026 р.	
Розділ 5	«23» квітня 2026 р.	
Розділ 6	«30» квітня 2026 р.	
Розділ 7	«08» травня 2026 р.	
Розділ 8	«22» травня 2026 р.	

Здобувач Шершун В.В.

Керівник роботи Левінський В.М.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач Шершун В.В. _____
 Прізвище, ініціали Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Шершуна В.В. «Автоматизація процесу керування вирощуванням дріжджів» викладена на 139 сторінках, кількість таблиць - 20 , рисунків – 133, додатків - 2, джерел з переліку посилань - 8.

Ключові слова: автоматизація, об'єкт керування, система автоматичного керування, імітаційне моделювання, оптимальний параметричний синтез, програмований логічний контролер, АРМ оператора, принципова електрична схема.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом вирощування дріжджів.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування виробництва, які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контурів САР, зниження числа аварійних ситуацій, покращення взаємодії з оператором-технологом.

Методи дослідження – методи теорії автоматичного керування, ідентифікації об'єкту керування, імітаційного моделювання.

Отримані результати – розроблені алгоритми керування, які забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації регульованих змінних як в перехідних, так і в сталих режимах роботи САР; алгоритми пуску і зупинки обладнання; програми для ПЛК, що реалізують ці алгоритми; розроблені інтерфейси АРМ оператор-технолога і наладчика САР; фрагменти документації технічного забезпечення системи керування.

ЗМІСТ

Перелік умовних позачень, символів і одиниць	6
Вступ.....	7
1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.....	8
2. Розробка концептуальної моделі об'єкта керування, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання	23
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз сар.....	46
4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.....	68
5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі	78
6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	90
7. Розробка Scada для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	100
8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці.....	114
Висновки	129
Список посилань	132
Додатки.....	133

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І ОДИНИЦЬ

АК – алгоритм керування;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

АСК ТП – автоматизована система керування технологічним процесом;

ВМ – виконавчий механізм;

КП – керуючий пристрій;

ОК – об'єкт керування;

ПК – персональний комп'ютер;

САК – система автоматичного керування;

САР – система автоматичного регулювання.

ВСТУП

Дріжджі використовуються при виготовленні хлібо-булочних виробів, в кондитерському та консервному виробництві. Технологічний процес вирощування дріжджів потребує автоматичного регулювання ряду параметрів, основним з яких є температура дріжджевої суспензії в апараті.

Тому розробка САР температури є актуальною задачею, якій і присвячена дана кваліфікаційна робота.

1. ОПИС ДІЛЯНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЙОГО АГРЕГАТИВ ТА ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ НИМИ. ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ І КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ МОДЕРНІЗАЦІЇ САК

1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів

1.1.1. Дріжджі – це одноклітинні мікроорганізми з класу грибів цукроміцетів. Кожна дріжджова клітина складається приблизно на 67 % з води і на 33 % з сухого компонента. В останньому – близько 37-50 % білків і 35-40 % вуглеводів. Також у ньому є трохи сирого жиру (1,2-2,5 %) і зольних речовин (до 10 %). Дріжджі використовують у хлібопекарстві для розпушування тіста, а також у кондитерському та консервному виробництві. Їх застосовують також для отримання вітамінів, лікарських препаратів і поживних середовищ. Сукупність ферментів, що входять до складу дріжджів, спричиняє спиртове бродіння всередині тіста, виділяється діоксид вуглецю, який, піднімаючись, і забезпечує розпушення [1].

Дріжджове виробництво засноване на здатності дріжджових клітин (мікроорганізмів) рости і розмножуватися. Виробничий процес на всіх ключових стадіях передбачає безперервне насичення повітрям поживного середовища. Процес вирощування дріжджів складається із наступних основних етапів: приготування живильного середовища; вирощування матових та товарних дріжджів; виділення товарних дріжджів із дріжджової суспенсії; формування та пакування пресованих дріжджів; сушіння дріжджів.

Основний матеріал, який використовується для виготовлення дріжджів – відхід цукробурякового виробництва: бурякова меляса та бражка на її основі. Також задіюються вода, мінеральні солі й ростові активатори. Під час вирощування дріжджовими грибами з меляси засвоюються амінокислоти.

Крім основної сировини – меляси – дріжджовиробництво потребує застосування низки додаткових речовин, зокрема N, K, P, Mg, ростових сполук, питної води і повітря. Сірчана кислота регулює кислотність середовища під час культивування дріжджів і сприяє очищенню засівних дріжджів від інфекцій бактеріальної природи.

Повітря у чималих дозах потрібне для аерації рідкого середовища, яке бродить. Оскільки воно може містити різні мікроорганізми, його необхідно фільтрувати і охолоджувати.

Технологічні стадії створення хлібопекарських дріжджів на дріжджових заводах [1]:

√ Приготування поживного середовища - меляси. З неї видаляють небажані домішки, а натомість в неї вводять потрібні для життєдіяльності мікробіоти речовини. Для стимуляції росту – кукурудзяний екстракт (6 % від обсягу меляси). Також тут актуальне застосування солей, що містять фосфор і азот.

√ Вирощування посівного матеріалу (маткових дріжджів). Значні виробничі обсяги обумовлюють багатостадійність культивування: 3 стадії – в лабораторних умовах, ще 3 – в цеху чистої культури. Важливий момент – велика стерильність. Спочатку висів поміщають в пробірки, де вже є сто мілілітрів субстрату, і залишають там на 18-34 години при t 26-30 °C. Потім розмноження відбувається в аналогічній обстановці, але вже в колбі з 700 мл того ж субстрату.

Стадії в цеху чистої культури такі:

ЧК-1. Мелясне сусло з поживними солями вносять в дріжджоростильну установку 3,5 м³. Розмноження здійснюють при t 33 °C і рН 4,5 протягом 15-17 годин з безперервною аерацією. Підсумок – 100 кг дріжджів 75 % вологості.

ЧК-2. Сукупність 3 % мелясного розчину + стерильна вода поміщають в апарат 15 м³, доводячи обсяги цукру до 3-3,5 %. Після цього вносять 10 % розчин солей і приступають до аерації. Далі настає черга залучення дріжджів,

здобутих на стадії ЧК-1. В міру цукрозастосування додається мелясний розчин, р-чини солей, а також підвищується швидкість подачі повітря. Триває весь процес дев'ять годин при $t\ 33\ ^\circ\text{C}$.

ЧК-3. Процес аналогічний до попереднього пункту і здійснюється в апаратах великих об'ємів (до $50\ \text{м}^3$).

√ Вирощування товарних дріжджів. Виробничий процес передбачає дві стадії реалізації зазначеного пункту: вирощування засівної культури і безпосередньо товарних дріжджів. Засівна культура виробляється в дріжджоростильних установках об'ємом $40\text{-}50\ \text{м}^3$. У них поміщають $16,5\ \%$ дріжджів, створених на стадії ЧК-3, водорозбавлену мелясу $1:17$, вводять розчин солей при $t\ 30\ ^\circ\text{C}$ і $\text{pH}\ 4,5\text{-}5$. Процес здійснюється протягом 11 годин з отриманням у результаті дріжджів $65\ \%$ від маси меляси, які витрачаються на засів в апаратах до $120\ \text{м}^3$.

Товарні дріжджі вирощуються в 2 періоди: накопичувальний і відбірковий. Час першого – близько семи годин, поки не заповниться робочий об'єм. Після цього настає час другого. З апарату без перерви якась частина «начинки» перенаправляється до відбіркової установки з одночасним поданням до дріжджоростильного апарату суслу, водної складової і соляних розчинів. Сукупна тривалість циклу – $12\text{-}20$ годин і навіть більше. Температурний режим – $30\ ^\circ\text{C}$, pH – $4,5$. Меляса розбавляється $1:17$. Вихід дріжджів – $75\ \%$ від обсягу меляси цукристістю $46\ \%$.

√ Виділення дріжджів з рідини (дріжджової суспензії). Щоб зберегти активність ферментів дріжджів, після висаджування і завершення процесу дозрівання їх потрібно оперативно вийняти з культурального середовища. Роблять це на сепараторах в 3 етапи. Спочатку виконують фільтрацію дріжджового молока на вакуум-фільтрах барабанної конфігурації. Далі з пастоподібної маси шляхом пресування утворюють брикети. Потім відбувається упаковка в спец. етикетований папір і негайне розміщення в

холодильник для зберігання не більш як чотири доби при t 0-4 °С і відносній вологості 62-96 %.

√ Сушка дріжджів. Попит на сушені дріжджі пояснюється більш тривалим терміном зберігання – до 5 місяців. Сушаться дріжджі при м'якому температурному режимі, як правило при 30-40 °С, не більше, інакше може втратитися їх життєздатність, якість може незворотно погіршитися. Сушать подрібнені в спеціальній дріжджоформувальній машині до форми гранул або вермішелі три-чотири години, поки вологість не досягне показника 7-8 %. Потім їх охолоджують до 15-16 °С і упаковують. Температура зберігання сушених дріжджів – 15 °С.

Хлібопекарські дріжджі виготовляють за наступною машинно-апаратурною схемою (рис. 1.1). Із збірника 1 меляса насосом 2 направляється в розсиропник 3, в якому вона розбавляється гарячою водою (90 °С), витримується 30 хв і подається на кларифікатор 5, де звільняється від механічних домішок.

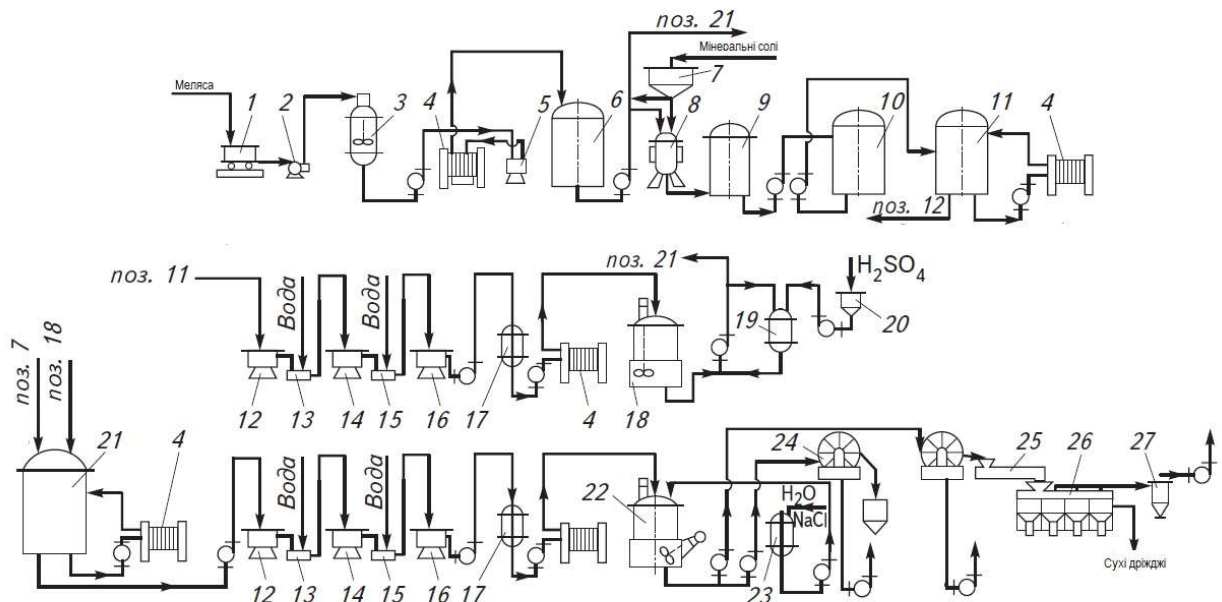


Рис. 1.1 Машинно-апаратурна схема
виготовлення дріжджів

Освітлене сусло нагрівають до 120 °С в пластинуатом теплообміннику 4, витримують 30 с, охолоджують до 80 °С і направляють у припливний збірник 6, звідки подають до дріжджоростільних апаратів: 8 — попередній дріжджоростільний апарат; 9, 10, 11 — дріжджоростільні апарати відповідно I, II та III стадії матових дріжджів. Освітлення та стерилізація здійснюються в безперервному режимі.

Мінеральні солі (діамонійфосфат, сірчаноокислий магній та ін.) розчиняють у баці 7 і направляють в апарати для розмноження дріжджів 8 і 21 в строго певних кількостях.

Вирощування хлібопекарських дріжджів складається із наповнення матових та товарних дріжджів. Матовані дріжджі чистої культури готують у кількості, що забезпечує посів безпосередньо в товарний апарат 21, і зберігають у вигляді дріжджового молока при температурі 2 °С. Меред посівом в товарний апарат 21 матові дріжджі піддають обробці при рН 1,8 ... 2,0 протягом 30 хв. Товарні дріжджі отримують за періодичною схемою без відборів середовища.

Вирощені матові та товарні дріжджі виділяють із дріжджової суспенсії, промивають холодною водою і згущують в сепараторах 12, 14, 16 — відповідно I, II, III ступені матових і товарних дріжджів. Дріжджове молоко після III ступеня сепарації матових та товарних дріжджів збирається до збірки 17, звідки прямує до збірників 18 та 22 — відповідно матового та товарного дріжджового молока. Для промивання дріжджів використовують спеціальні промивні баки 13 і 15. Кислотну обробку матових дріжджів перед засівом проводять у збірнику 19, в який з мірника 20 дозується сірчана кислота.

Остаточне виділення товарних дріжджів із дріжджового молока відбувається у вакуум-фільтрі 24, попередньо обробленому розчином кухонної солі із збірки 23. Пилоподібна фракція вловлюється в циклоні 27.

Пресовані дріжджі формуються в бруски і упаковуються у формово-пакувальному автоматі.

1.1.2. Розглянемо опис конструкції технологічного агрегату й особливостей його експлуатації.

Із всієї лінії (див. рис. 1.1) виділимо товарний апарат 21 для детального аналізу. Наприклад, для вирощування товарних дріжджів можна застосувати апарат італійської фірми "Прес-індустрія". Цей апарат (рис. 1.2,а) встановлений на опорній рамі 14, в нижньої частини містить штуцери для подачі стиснутого повітря 12, для виведення продукту 13, а також люк 1. Охолоджене дріжджова суспензія подається через штуцер 11, встановлений в середній частині апарату.

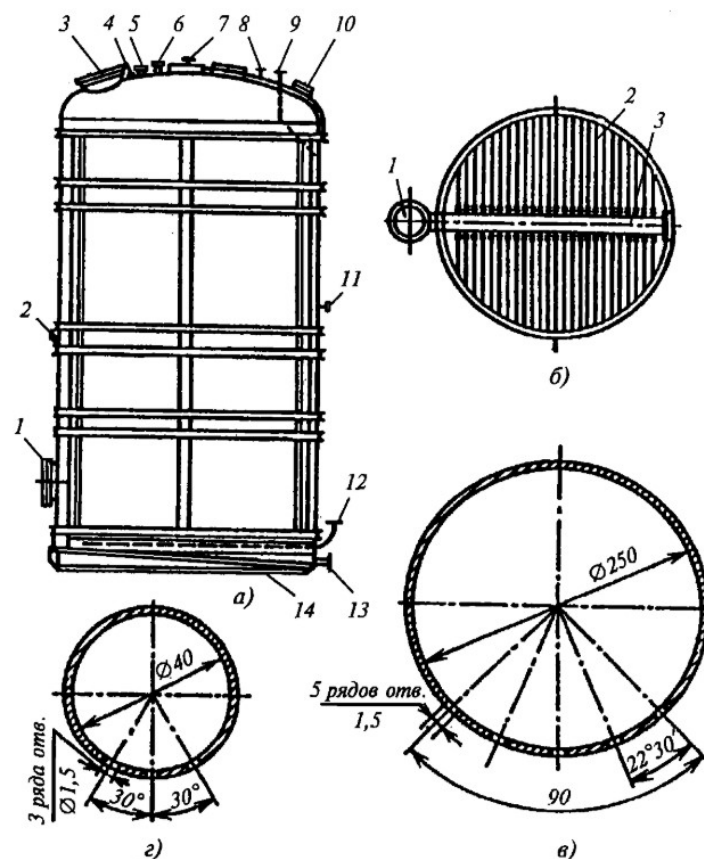


Рис. 1.2 Дріжджоростильний апарат фірми "Прес-індустрія"

а) загальний вид; б) схема аспіраційної системи;

в) розміщення отворів в колекторі; г) розміщення отворів в барботажних трубках

Тут також знаходиться патрубок 2 для установки датчиків температури і рН. На верхній кришці апарату розміщені люк 3 і оглядове вікно 10, а також патрубок 4 для установки датчиків регулятора та сигналізатора рівня та штуцери: для подачі аміачної води 5, для подачі олеїнової кислоти 6, для кріплення мийної головки 7, для подачі засівних дріжджів 8 і для подачі живильного середовища, води, пари, розчинів діаммонійфосфату та сірчаної кислоти 9.

Плоске днище апарату має ухил. Апарат оснащений трубчастою аераційною системою (рис. 1.2б), перфоровані трубки 3 якої кріпляться до колектору 3, що з'єднаний з трубопроводом 1. У колекторі також є отвори діаметром 1,5 мм для виходу повітря, звернені вниз із кроком по довжині колектора 50 мм. Таке розташування отворів унеможливорює застій рідини в системі аерації і створює зручності для її миття.

У дріжджоростильному апараті в процесі життєдіяльності дріжджів виділяється значна кількість теплоти. Якщо цю теплоту не відводити з апарату, то температурні умови для розмноження дріжджів стануть несприятливими, тому дріжджоростильні апарати обладнають системами охолодження. Дріжджова суспензія охолоджується при проходженні через виносний пластинчастий теплообмінник із площею поверхні теплообміну 100 м² за допомогою насоса (рис. 1.3).

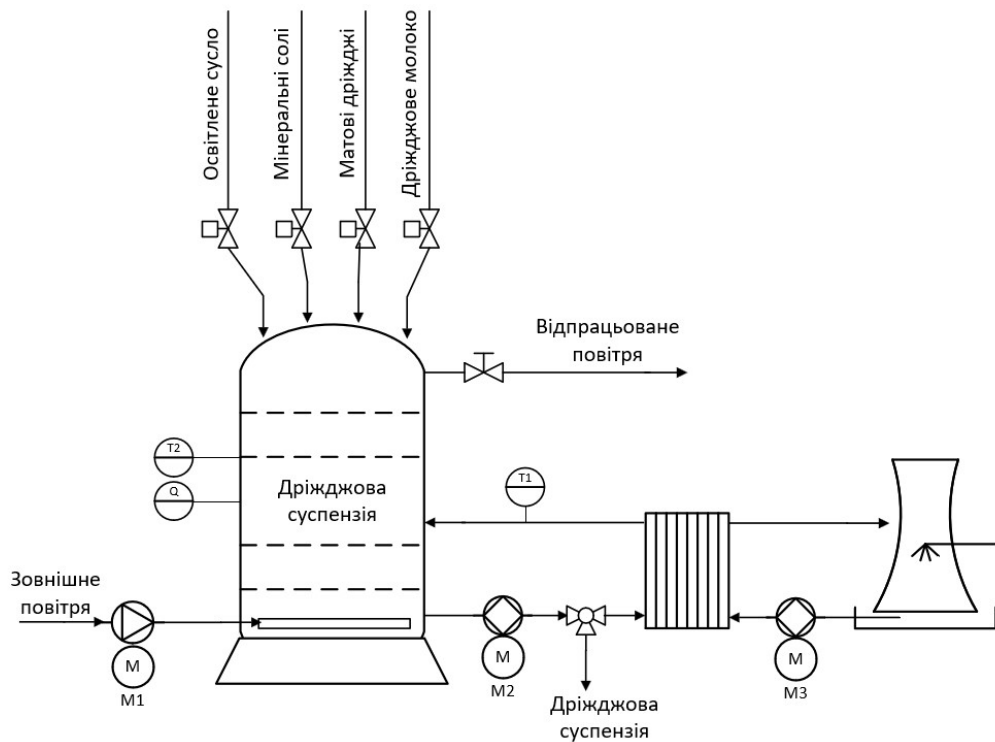


Рис. 1.3 Схема технологічного процесу вирощування товарних дріжджів в дріжджоростильному апараті

В якості холодоагенту застосовується вода, яка циркулює від теплообмінника до градирні.

1.1.3. Сформулюємо у загальному виді умови, при яких можливо й доцільно реалізовувати розглянутий технологічний процес. Метою будь-якого технологічного процесу, зокрема й процесу вирощування дріжджів, є одержання заданих продуктів із заданими показниками якості. І, звичайно, даний технологічний процес доцільно реалізовувати в тому випадку, якщо в результаті його проведення підприємство мінімізує економічні витрати. А для цього необхідно, щоб виконувалися деякі умови. Для вирощування дріжджів вони наступні:

- продуктивність апарату за зміну, не повинна бути менше, ніж за паспортом;
- питомі витрати енергії на процес не повинні перевищувати нормативних значень;

- режими роботи технологічного устаткування не повинні виходити за гранично- припустимі;
- шкідливий вплив технологічного процесу на людину й природу не повинен перевищувати нормативних значень;
- порушення режимів ведення технологічного процесу й роботи устаткування, яке приводить до аварійних ситуацій, переростання яких в аварію приводить до значних економічних втрат або навіть до катастрофічних наслідків, повинні бути рідкими явищами й повинні бути передбачені заходи щодо попередження таких ситуацій.

Для ТП вирощування хлібопекарних дріжджів найкращими параметрами вважаються: температура дріжджевої суспензії а апараті на рівні 30 °С, рівень кислотності рН=5.

1.1.4 Проведемо параметризацію схеми технологічного процесу та охарактеризуємо на якісному рівні параметри процесу і їх взаємозалежності. Параметризована схема технологічного процесу є графічним відображенням руху й перетворення матеріальних і енергетичних потоків. Кожний потік і процес характеризується набором параметрів, які відображають їх властивості й умови перетворення потоків. Параметризацію схеми вирощування дріжджів проведемо на базі рис. 1.3 шляхом нанесення параметрів на схему.

- Z - степінь налипання солей на поверхні теплообмінника [%].

1.1.5. Розглянемо нормативи ведення технологічного процесу роботи технологічного агрегату. Основу нормативів становлять три основні регламенти: технологічний, експлуатаційний, техніко-економічний і екологічний.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті процесу копчення риби виходить продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналів технологічних параметрів. Для ТП вирощування дріжджів технологічний регламент – T_s , Q_s – температура і кислотність дріжджевої суспензії в апараті [°C], [%]. Зважаючи на учбовий рівень роботи, в подальшому будемо розглядати в якості технологічного регламенту лише T_s ;

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного устаткування. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від експлуатаційних параметрів даного технологічного об'єкта. Для ТП вирощування дріжджів експлуатаційний регламент- I – струм споживання електроприводів [A];

Техніко-економічний і екологічний регламент – визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних або граничнооприпустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. Для ТП вирощування дріжджів -техніко-економічний і екологічний регламент - F_{pv} , T_{pv} , Q_{pv} – витрати, температура і якість відпрацьованого повітря [куб.м/год], [°C], [%].

1.1.6. Допуски на відхилення поточних значень регламентованих параметрів діляться на тривалі й короточасні. Припустимі відхилення визначають зону незначних відхилень, посередині якої значення параметра можна вважати близьким до нормативного, тому ці відхилення не ліквідують. Короточасні припустимі відхилення параметрів перевищують зону незначимих відхилень і приводять до зниження ефективності процесу, тому

вони припустимі тільки протягом обмеженого часу, який задається й входить у регламент. Вихід параметрів за зону короткочасно припустимих відхилень свідчить про відхилення в технологічному процесі або в експлуатації устаткування, які можуть привести до браку продукції або аварії.

Для ТП вирощування дріжджів для параметра T_s – температура дріжджевої суспензії в апараті [°C] короткочасні відхилення становлять 4 °C на протязі 100 сек. Якщо температура T_s збільшиться більше допустимого, то виникне брак продукції.

Для Q_s – кислотності дріжджевої суспензії в апараті [%] короткочасні відхилення становлять 3% на протязі 100 сек. Їх рівень не можна збільшувати вище допустимого. В противному разі може виникнути брак продукції.

Враховуючи учбовий рівень задачі керування процесом вирощування дріжджів, будемо розглядати лише обмеження по температурі дріжджевої суспензії в апараті 4 °C від номінального рівня $T_s=30$ °C.

Табл. 1.3 Таблица регламентів

№	Найменування параметрів	Позначення	Одиниця виміру	Номинальні значення	Припустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі	Короткочасні	
					величина	величина	час, сек
1	Температура дріжджевої суспензії	T_s	°C	30	±1	±2	100

1.1.7. Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних внаслідок зміни умов, у яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами й можуть бути згруповані по деяких ознаках.

Сировинні параметри характеризують дріжджеву суспензію, яка подається на зрощення, - W_s , Q_s – вага і кислотність суспензії [куб.м/год], [%];

Енергетичні параметри характеризують властивості енергоносіїв. Для даного процесу до них відносяться: F_v , T_v – витрати, температура охолоджуючої води [куб.м/год], [°C]; V – напруга електроживлення [В]; F_p , T_p , P_p , M_z – витрати, температура, тиск і вологість зовнішнього повітря [куб.м/год], [°C], [Па], [%]; F_{so} , T_{so} – витрати, температура охолодженої дріжджевої суспензії [куб.м/год], [°C].

Механічні параметри технологічного устаткування характеризують стан його робочих органів. До них відносяться: - Z - степінь налипання солей на поверхні теплообмінника [%]; U_1 – керуюча дія на зміну частоти обертання насоса подачі охолоджуючої води [%хро].

1.1.8. Проведемо подальшу формалізацію опису взаємозв'язків між параметрами технологічного процесу, яка досягається за рахунок переходу до параметричної схеми технологічного процесу. При цьому ті параметри, які відображають мету функціонування, тобто регламентовані, будуть вихідними, а параметри, що відбивають умови функціонування об'єкта – вхідними.

Параметрична схема технологічного процесу вирощування дріжджів в апараті представлена на рис. 1.6.

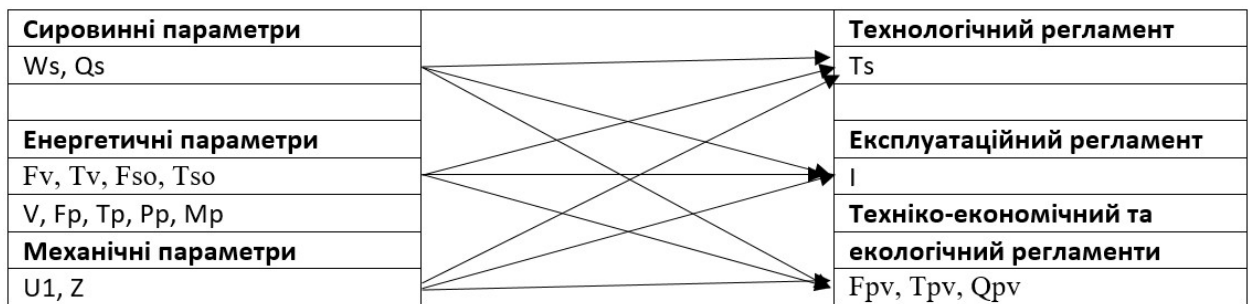


Рис. 1.5 Параметрична схема технологічного процесу вирощування дріжджів

1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП

1.2.1. Спочатку дамо оцінку існуючого рівня реалізації функції регулювання для технологічних та експлуатаційних параметрів. Технологічний параметр T_s – температура дріжджевої суспензії в апараті

потребує автоматичного регулювання через те, що при розмноженні дріжджів зростає температура суспензії, також може змінюватись температура зовнішнього повітря. Тому параметр T_s стабілізується на заданому значенні за рахунок зміни витрат холодної води, яка надходить до теплообмінника – керуюча дія U_1 . На підприємстві ця функція виконується автоматично без участі людини-оператора локальним регулятором, який є в складі штатної системи керування апарата.

При модернізації системи керування пропонується від ПІД-регулювання перейти до побудови системи підвищеної динамічної точності, яка б враховувала температуру дріжджевої суспензії на виході із теплообмінника.

1.2.2. Оцінемо існуючий рівень реалізації функції логічного (логіко-програмного) управління. Логічне управління апаратом передбачає перехід від початкового неробочого стану до робочого стану, тобто реалізацію функції технологічного пуску. Умовами для його здійснення є достані рівні напруги і частоти електроживлення, а також наявність компонентів, які завантажуються в апарат. При пуску послідовно у часі треба відкрити клапани подачі цих компонентів, а потім подати сигнали управління на електроприводи вентилятора аспірації, циркуляційного насоса і насоса подачі охолоджуючої води. При цьому САР температури в апараті потрібно перевести з ручного в автоматичний режим роботи.

Технологічна зупинка апарата передбачає перевід САР температури в ручний режим, перемикання триходового клапана для розвантаження суспензії, послідовного у часі вимикання електроприводів.

На підприємстві ці функції логічного управління оператор здійснює вручну.

1.3 Проведемо аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК.

Потенційним джерелом підвищення ефективності виробництва товарних дріжджів є зменшення рівня браку продукції. Це зумовлено тим, що збільшення температури суспензії в апараті вище регламенту може привести до пригнічення розмноження дріжджів.

Другим потенційним джерелом підвищення ефективності виробництва пари є реалізація алгоритмів автоматичного пуску та зупинки апарату. Тоді він буде запускатися в роботу швидше, ніж при ручному пуску оператором. А це відповідно приведе до збільшення циклів завантаження апарату і зросте об'єм випуску продукції.

2. РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ, СТРУКТУРНА ТА ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЙОГО КОМПОНЕНТІВ, ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ У СЕРЕДОВИЩІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання

2.1.1. На рівні окремого технологічного процесу система керування повинна реалізовувати наступні цілі: координувати роботу технологічного устаткування, на якому реалізується процес; виконувати технологічні, експлуатаційні та техніко-економічні регламенти.

Для вирішення завдань управління необхідна наявність керуючих впливів, які є входними змінними (координатами) об'єкта керування (ОК) (див. рис. 1.5). Для задач регулювання такими керуючими (регулюючими) впливами, насамперед, є дії, які цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме - положення регулюючих органів. Кількість регулюючих впливів має дорівнювати кількості регульованих змінних.

Для процесу вирощування дріжджів управляючим впливом U_1 є частота обертання електропривода насоса, який подає охолоджуючу воду до теплообмінника.

Після того, як визначені керуючі впливи, всі інші входні змінні віднесемо розряд неконтрольованих збурень f_n , тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату.

При моделюванні ОК детерміновану складову цих збурень зазвичай адитивно прикладають до керуючого впливу, а стохастичну складову – до регульованої змінної.

З урахуванням наведених вище визначень, складемо структурну (координатну) схему об'єкту керування. Вона є черговим і останнім етапом

формалізації подання технологічного процесу як ОК і по суті є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК.

Структурна схема процесу вирощування дріжджів наведена на рис. 2.1.

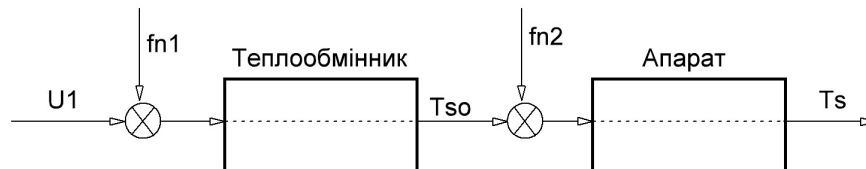


Рис. 2.1. Структурна схема процесу вирощування дріжджів як об'єкту регулювання

На схемі:

$U1$ – керуюча дія, тобто положення регулюючого органу, який змінює частоту обертання електропривода насоса подачі охолоджуючої води [%хро];

Ts – температура дріжджевої суспензії в апараті [°C];

Tso – температура дріжджевої суспензії на виході із теплообмінника [°C];

$fn1$ - вектор неконтрольованих збурень [%хро];

$fn2$ - вектор неконтрольованих збурень [°C].

Таким чином, ОК складається із моделей теплообмінника і апарату вирощення дріжджів, має один канал керування $U1$ - Tso , зумовлений зміною витрат охолоджуючої води в теплообмінник, і проміжний канал Tso - Ts , зумовлений впливом охолодженої суспензії з вихода теплообмінника на її температуру в апараті Ts . Вхідна змінна $U1$ доступна для цілеспрямованої зміни, що дозволить провести активні експерименти по ідентифікації властивостей каналів $U1$ - Tso , $U1$ - Ts .

2.1.1 Математичні моделі ОК можна поділити на статичні та динамічні. Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відбивають взаємозв'язок між регульованою змінною і керуючим впливом в статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних складових цих змінних.

Динамічні моделі ОК описують зміни у часі регульованої змінної, які виникають в результаті змін у часі керуючої дії.

Виходячи з фізичної суті теплових процесів, що протікають в ОК, відомо, що статична характеристика - залежність температури дріжджевої суспензії в апараті T_s в від зміни керуючої дії U_1 , нелінійна.

Однак також відомо, що в системах стабілізації для компенсації впливу збурень на регульовану змінну ОК керуючу дію достатньо змінювати у досить вузькому діапазоні, наприклад (40%...60%), а відповідно, і діапазон зміни регульованої змінної буде незначним. Тому в таких діапазонах реальну нелінійну статичну характеристику можна замінити лінійною залежністю. Ця заміна носить назву «лінеаризація статичної характеристики ОК». Завдяки цьому процеси в ОК можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями.

2.1.2. Кінцевим результатом ідентифікації математичної моделі статички є установлення функціональної залежності виду $y = \Phi(\bar{x})$ на основі експериментальних даних, де $\bar{x} \in \{ \bar{u}, \bar{f} \}$ – вхідні змінні ОК.

Значення y , отримані в результаті експерименту, завжди мають випадкову складову, обумовлену дією некерованих і неконтрольованих змінних, похибками вимірювання y та $\bar{x}$. У цьому випадку залежність $y^M = \hat{y} = \Phi(\hat{\bar{x}})$ визначається з використанням статистичних ("усредняющих") методів, і вона називається регресією, регресійною залежністю або рівнянням регресії.

У теорії експерименту вхідні змінні ОК називають факторами, а регульовані координати – відгуком. Відповідно до цієї термінології експеримент, проведений для ідентифікації моделі, де функція залежить від однієї змінної, називають однофакторним, а функція багатьох змінних – багатофакторним.

Експерименти для отримання математичних моделей статички можуть бути пасивному або активними (як і при отриманні моделей динаміки). Для

отримання моделі статички ОК по каналу U1-Ts, U1-Tso будемо використовувати активний експеримент, оскільки в даному випадку керуючий вплив U1 доступний для зміни.

Для проведення активного експерименту необхідно попередньо провести його планування на об'єкті для реалізації обраного методу та відображення результатів натурного або уявного експериментів у вигляді оцінок статичних характеристик.

Суть планування експерименту полягає у виборі діапазонів зміни факторів, кроку збільшення факторів, послідовності їх зміни та числа повторів цих змін.

А. Діапазони зміни факторів в експерименті фактично визначає діапазон, де отримана модель може коректно використовуватися. Тому вони повинні відповідати реальним діапазонам зміни змінними, обумовлених факторами.

Б. Крок факторів повинен бути такими, щоб при перекритті необхідного діапазону їх зміни кількість дослідів не була б занадто великою або малою – найчастіше рекомендується 3...6 дослідів.

В. Кількість повторів (для компенсації випадкової складової) визначається інтенсивністю випадкових складових у вхідних і вихідних змінних ОК, кількістю факторів (цілеспрямовано змінюваних вхідних змінних) витратами часу та інших обставин. Кількість повторів приймається рівною 3...5. У деяких випадках повторів можна не робити взагалі.

Г. Послідовність зміни факторів особливо при їх великій кількості доцільно вибрати такою, щоб рандомизувати експеримент, тобто додати випадкові властивості ходу експерименту. Це можна зробити за рахунок запланованої заздалегідь випадкової зміни послідовності зміни факторів і, можливо, величин їх збільшень. Така організація експерименту дозволить “не пропустити” особливостей властивостей об'єкту, що при однакових з'єднаннях факторів при повторах можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Для отримання статичної характеристики ОК застосуємо уявний активний однофакторний експеримент, змінюючи керуючий вплив U_1 і реєструючи значення температур T_s , T_{so} після закінчення перехідних процесів.

Результати цього уявного експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1. Аналіз інформації по результатах експерименту зводиться до підбіру структури математичної моделі статичної та її параметрів.

Таблиця 2.1.
Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ пп	U_1 , %х.р.о.	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_{so}, ^\circ\text{C}$
1	20	36	30
2	30	34	28
3	40	32	26
4	50	30	24
5	60	28	22
6	70	26	20
7	80	24	18

Структурна ідентифікація моделей статичної зводиться до вибору виду рівняння регресії $T_s=f(U_1)$, $T_{so}=f(U_1)$. Для проведення параметричної ідентифікації моделі статичної ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів, який реалізований в програмі Curve Fitting Tool.

Спочатку в програмі Matlab створюємо m-файл, в який вносимо дані з табл. 2.1 (див. рис. 2.2).

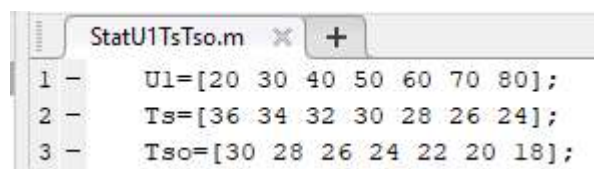


Рис. 2.2 Створення m-файлу за даними табл. 2.1

Далі на вкладці APPS знаходимо і запускаємо застосунок Curve Fitting, вносимо до нього із робочого простору Workspace спочатку вектори U1, Ts і отримуємо графік залежності і рівняння статичної характеристики ОК по каналу U1 – Ts, а саме

$$Ts = p1 \cdot U + p2 = -0,2 \cdot U1 + 40$$

В даному випадку $p1=K_o$ коефіцієнту передачі ОК по каналу керування, а $p2=Ts_0$ значенню температури Ts при $U1=0\%$ хро.

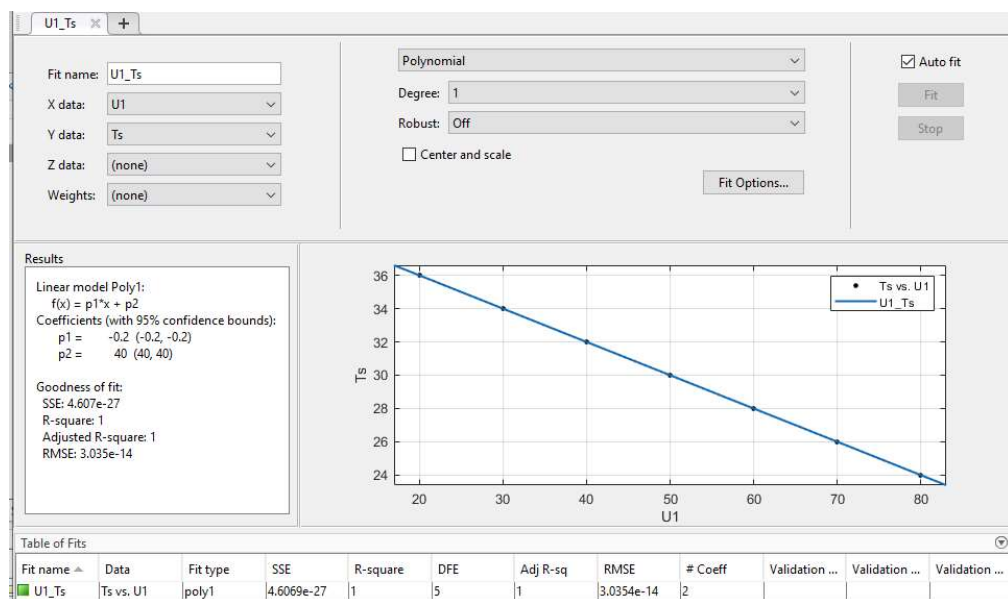


Рис. 2.3 Результати обробки експериментальних даних по каналу U1-Ts в програмі Curve Fitting Tool

Далі аналогічно вносимо із робочого простору Workspace вектори U1, Tso і отримуємо графік залежності і рівняння статичної характеристики ОК по каналу U1 – Tso, а саме

$$Tso = p1 \cdot U + p2 = -0,2 \cdot U + 34$$

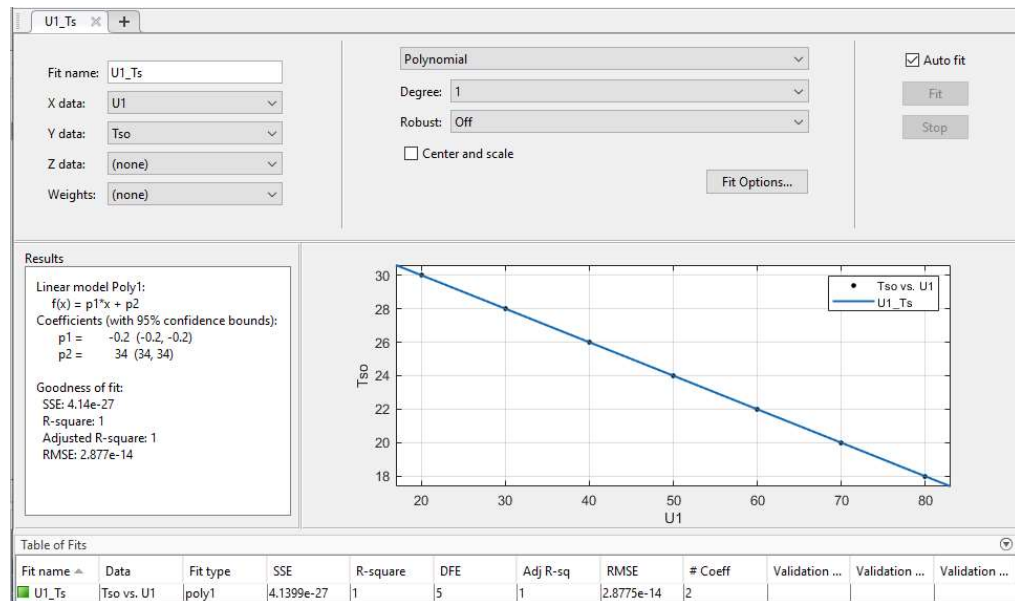


Рис. 2.4 Результати обробки експериментальних даних по каналу U-Tso в програмі Curve Fitting Tool

Як видно з рис. 2.3, 2.4 отримані моделі статичних характеристик є лінійними. Середньоквадратична помилка RMSE відгуків моделей у порівнянні з експериментальними даними не перевищує $3,03 \cdot 10^{-14}$, тому можна вважати, що моделі адекватні експериментальним даним, отриманим на уявному ОК.

2.2. Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання

2.2.1. Перед початком експериментів доцільно на основі апріорних даних, виходячи з фізичної суті об'єкту, попередньо оцінимо властивості каналів, динамічні моделі яких підлягають ідентифікації. Для технологічного процесу вирощування дріжджів за каналом управління ОК має властивість самовирівнювання, тому що технологічний процес є тепловим. Збільшення керуючої дії U_1 приведе до зменшення як температури T_s , так і температури T_{so} .

Обираючи математичні моделі динаміки ОК по цим каналам у вигляді диференціальних рівнянь, слід відзначити, що порядок цих рівнянь апріорі

невідомий. Тому для опису динаміки ОК можна використати диференційні рівняння першого та другого порядку з запізнюючим аргументом часу, як найбільш прості.

Коефіцієнти цих рівнянь будемо вважати незмінними у часі, оскільки фізичні властивості коптельні в процесі одного циклу коптіння продукту змінюються незначимо.

На основі висновків про найбільш загальні властивості каналів ОР проведемо структурну ідентифікацію математичних моделей динамічних властивостей каналів регулювання. Для цього використаємо поєднання моделей типових динамічних ланок у вигляді передатних функцій, а саме ланки запізнення з інерційною ланкою першого порядку та ланки запізнення з інерційною ланкою другого порядку:

$$W(s) = \frac{k \cdot \exp(\tau \cdot s)}{T \cdot s + 1} ; \quad W(s) = \frac{k \cdot \exp(\tau \cdot s)}{(T \cdot s + 1)^2}. \quad (2.1)$$

де k – коефіцієнт передачі, T – постійна часу, τ – час запізнення є параметрами моделі ОК, s – оператор диференціювання.

2.2.2 Для проведення ідентифікації параметрів (2.1) по каналу $U1-Ts$, $U1-Tso$ проведемо активний експеримент. В якості вхідної дії $U1(t)$ оберемо ступінчасту дію, що доцільно з розуміння простоти організації цієї дії, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів.

Створимо план активного експерименту в такій послідовності:

1. За допомогою зміни керуючої дії домагаємося таких значень регульованої змінної, щоб вона перебувала б в околиці номінальних значень. Для нашого ОК значенням $U1 = 50 \text{ \%х.р.о.}$ будуть відповідати значення регульованої змінної $Ts = 30^{\circ}\text{C}$ (див. табл. 2.1).

2. Чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів, при яких вихідна змінна перестане змінюватися.

3. Змінимо керуючу дію $U1$ ступінчастим чином на $10\%\text{х.р.о.}$,

відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідних змінних T_s , T_{so} до настання нового сталого режиму.

5. Повертаємо U_1 у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідного процесу в каналі та настання сталого режиму.

Такий план активного експерименту проводиться на реальному ОК, в якому процеси протікають у неперервному часі і мають властивість багаторазового диференціювання. Ці процеси можна описати диференціальними рівняннями високого порядку, який априорі невідомий.

В нашому випадку будемо використовувати віртуальний ОК, реалізований в програмі Simulink середовища Matlab. Для віртуального ОК по каналам керування можна обрати передатну функцію виду:

$$W(s) = \frac{kv \cdot \exp(\tau v \cdot s)}{(T_{1v} \cdot s + 1)^n \cdot (T_{2v} \cdot s + 1)^m} \quad (2.2)$$

яка буде певним чином відображати властивості реального ОК. Наприклад, оберемо в якості моделі по каналу керування віртуального ОК, модель представлену на рис. 2.4. В даному випадку $n=3$, $m=2$.

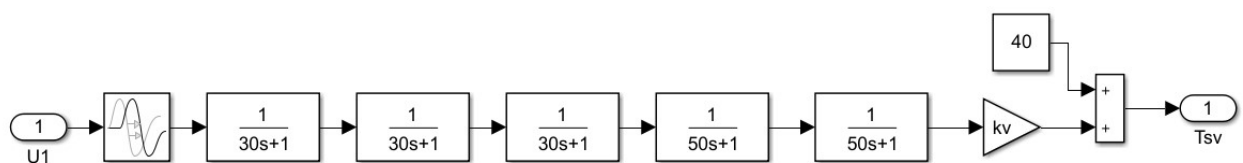


Рис. 2.5 Модель віртуального ОК по каналу U_1 - T_{sv}

Параметри цієї моделі визначим у m-файлі, як на рис. 2.6.

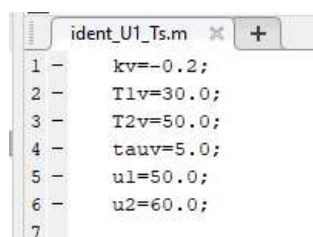


Рис. 2.6 Визначення параметрів моделі віртуального ОК по каналу U_1 - T_{sv} в m-файлі

Проведемо моделювання моделі віртуального ОК по каналу U1-Tsv для отримання перехідної характеристики на стрибок $U1 = 50\% \rightarrow 60\%$. Схема моделювання представлена на рис. 2.7, а результати – на рис. 2.8.

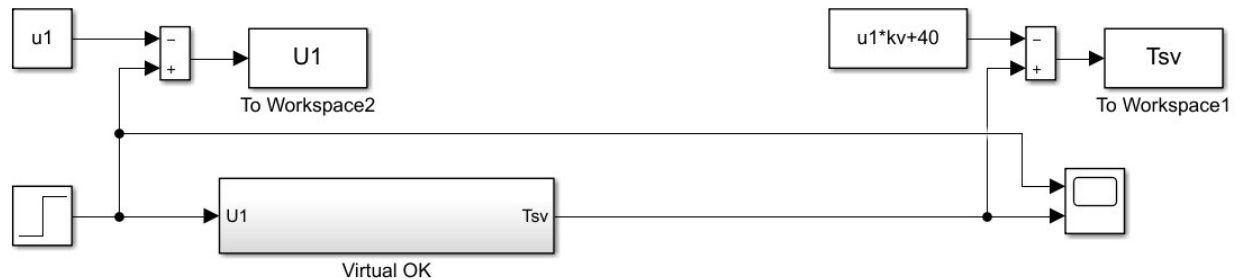


Рис. 2.7 Схема моделювання віртуального ОК по каналу U1-Tsv

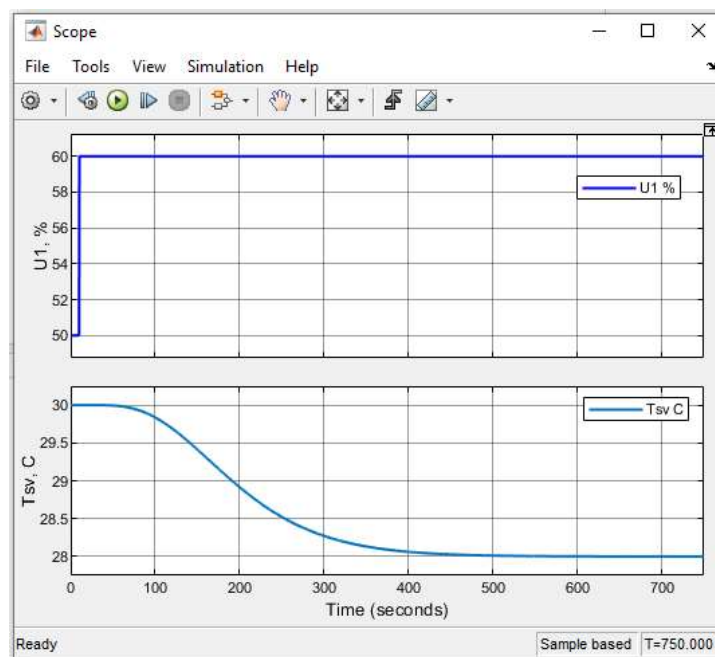


Рис. 2.8 Результати моделювання віртуального ОК по каналу U1-Tsv

Оскільки динамічні властивості каналу U1-Tso менш інерційні у порівнянні із каналом U1-Tsv, тому модель ОК по каналу U1-Tso оберемо з параметрами, як на рис. 2.9

```

ident_U1_Ts.m
1 - kv=-0.2;
2 - T1v=5.0;
3 - T2v=10.0;
4 - tauv=2.0;
5 - u1=50.0;
6 - u2=60.0;

```

Рис. 2.9 Приклад визначення параметрів моделі віртуального ОК по каналу U1-Tso в m-файлі

Проведемо моделювання моделі віртуального ОК по каналу U1-Tso для отримання перехідної характеристики на стрибок $U1 = 50\% \rightarrow 60\%$. Схема моделювання представлена на рис. 2.10, 2.11, а результати – на рис. 2.12.

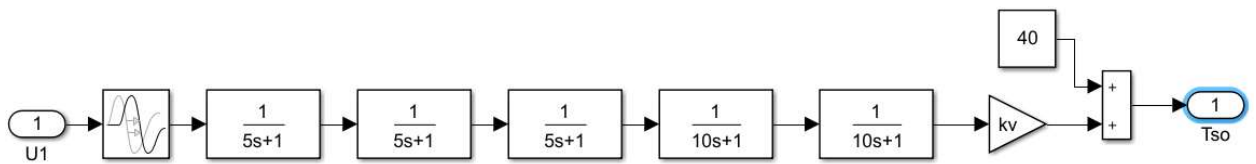


Рис. 2.10 Приклад моделі віртуального ОК по каналу U1-Tso

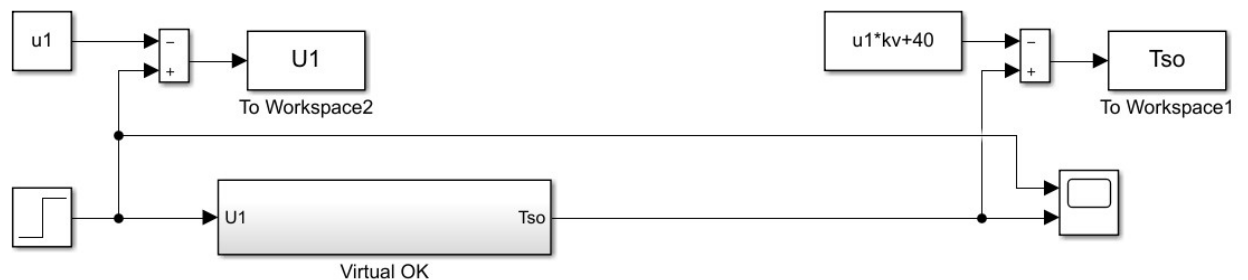


Рис. 2.11 Схема моделювання віртуального ОК по каналу U1-Tso

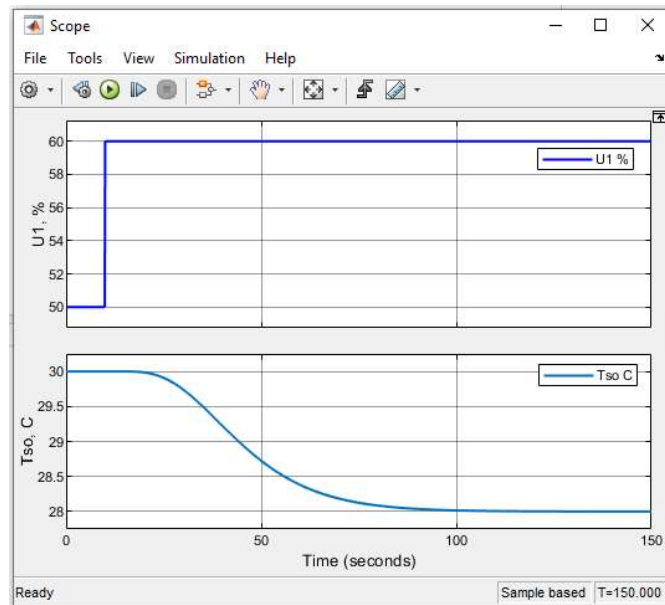


Рис. 2.12 Результати моделювання віртуального ОК по каналу U1-Tso

За результатами активних експериментів можна зробити висновок, що віртуальний ОК по каналам управління U1 -Tsv, U1-Tso має властивість самовирівнювання і, відповідно проведена раніше структурна ідентифікація залежностями (2.1) є коректною.

2.2.3 Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (k), сталу часу (T) і час запізнення (τ). Коефіцієнт передачі по каналам U1-Ts, U1-Tso вже був визначений в п.2.1.2.

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати програму System Identification, кнопка виклику якого розташована на вкладці APPS Matlab. Вхідними даними для нього є файли U1(t), Tsv(t), Tso(t) із робочого середовища Workspace, які формуються в Simulink-моделі і зберігають U1(t), Tsv(t) з нульовими початковими значеннями (див. рис. 2.7).

Для завантаження цих файлів в програму System Identification натискаємо на випадаючий список Import data і обираємо варіант Time-Domain Signals Заповнюємо позиції у вікні Import data за прикладом рис. 2.9.

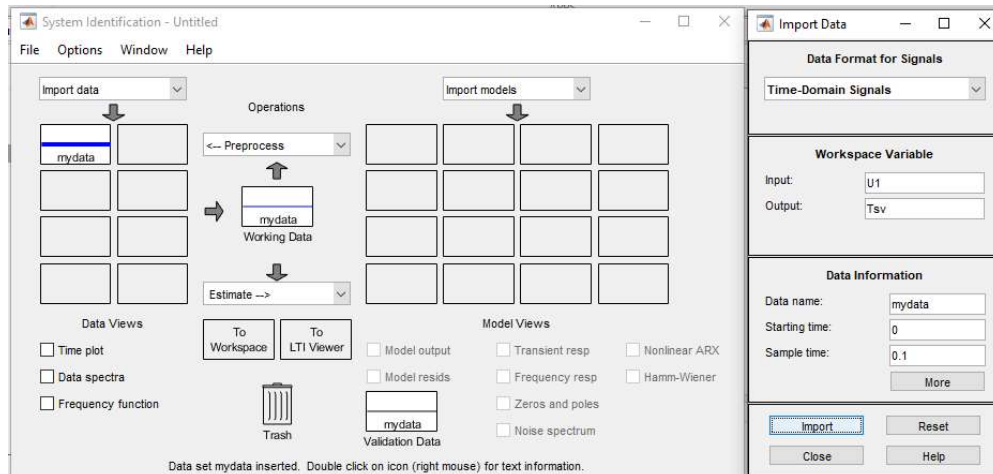


Рис. 2.13 Приклад вікна програми System Identification

Далі у вікні System Identification у випадяючому списку Estimate обираємо варіант представлення моделей ідентифікації даних Process Models.

У вікні Process Models (див. рис. 2.10) обираємо модель ОК по каналу U-Tsv у вигляді передатної функції 1-го порядку, вказуємо відомий коефіцієнт передачі $K=-0.2$ та діапазон зміни часу $T_d [0 \dots 200]$ сек. і натискаємо на кнопку Estimate. Обчислені значення постійної часу T_{p1} та часу запізнення T_d виводяться у відповідних позиціях.

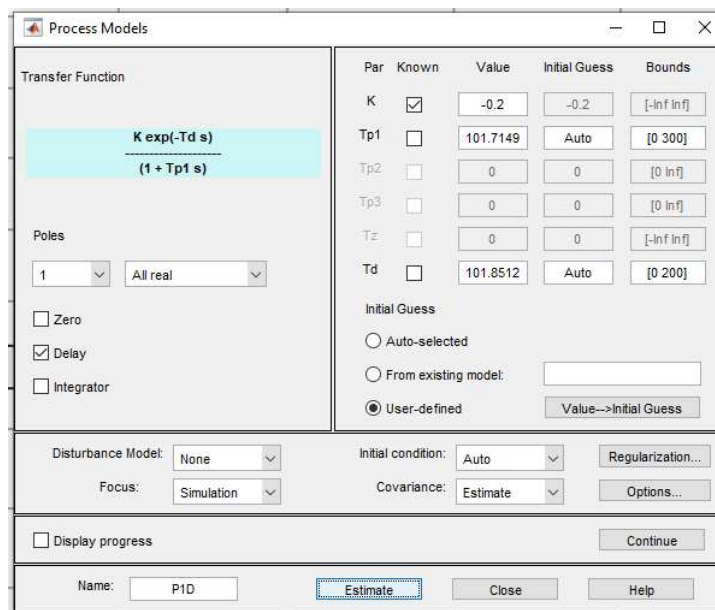


Рис. 2.14 Вигляд вікна Process Models з даними для 1-го порядку моделі ОК по каналу U1-Tsv

Потім обираємо варіант моделі 2-го порядку і отримуємо її параметри.

The screenshot shows the 'Process Models' dialog box. The 'Transfer Function' section displays the formula $\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$. The 'Poles' section shows '2' for the order and 'All real' for the type. The 'Disturbance Model' is set to 'None' and 'Focus' is 'Simulation'. The 'Name' field contains 'P2D'. The 'Estimate' button is highlighted.

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☒	-0.2	-0.2	[-Inf Inf]
Tp1	☐	71.5106	Auto	[0 200]
Tp2	☐	70.9921	Auto	[0 200]
Tp3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	0	0	[-Inf Inf]
Td	☐	65.2874	Auto	[0 100]

Initial Guess options:
☐ Auto-selected
☐ From existing model:
☒ User-defined (Value-->Initial Guess)

Initial condition: Auto, Regularization...
 Covariance: Estimate, Options...
☐ Display progress, Continue
 Name: P2D, Estimate, Close, Help

Рис. 2.15 Вигляд вікна Process Models з даними для 2-го порядку моделі ОК по каналу U1-Tsv

Аналогічно завантажуюмо в програму System Identification файли з результатами експерименту по каналу U1-Tso та отримуємо параметри моделей 1-го та 2-го порядків.

The screenshot shows the 'Process Models' dialog box. The 'Transfer Function' section displays the formula $\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + T_{p1} s)}$. The 'Poles' section shows '1' for the order and 'All real' for the type. The 'Disturbance Model' is set to 'None' and 'Focus' is 'Simulation'. The 'Name' field contains 'P1D'. The 'Estimate' button is highlighted.

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☒	-0.2	-0.2	[-Inf Inf]
Tp1	☐	19.0866	Auto	[0 100]
Tp2	☐	0	0	[0 Inf]
Tp3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	0	0	[-Inf Inf]
Td	☐	19.2891	Auto	[0 50]

Initial Guess options:
☐ Auto-selected
☐ From existing model:
☒ User-defined (Value-->Initial Guess)

Initial condition: Auto, Regularization...
 Covariance: Estimate, Options...
☐ Display progress, Continue
 Name: P1D, Estimate, Close, Help

Рис. 2.16 Вигляд вікна Process Models з даними для 1-го порядку моделі ОК по каналу U1-Tso

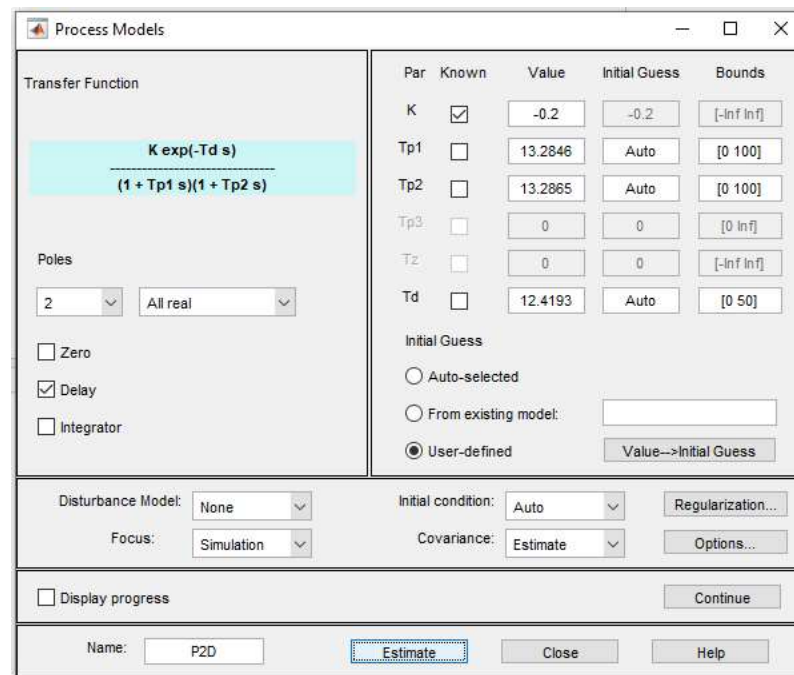


Рис. 2.17 Вигляд вікна Process Models з даними для
2-го порядку моделі ОК по каналу U1-Tso

Записуємо отримані параметри моделей ОК по каналам U1-Tsv, U1-Tso
в табл. 2.2.

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
U1-Tsv	$W_o^{U1-Tsv}(s) = \frac{-0,2 \cdot \exp(-101,8s)}{101,7s + 1}$	$W_o^{U1-Tsv}(s) = \frac{-0,2 \cdot \exp(-65,3s)}{(71,5s + 1) \cdot (71,0s + 1)}$
U1-Tso	$W_o^{U1-Tso}(s) = \frac{-0,2 \cdot \exp(-19,3s)}{19,1s + 1}$	$W_o^{U1-Tso}(s) = \frac{-0,2 \cdot \exp(-12,4s)}{(13,3s + 1) \cdot (13,3s + 1)}$

2.3. Проведемо ідентифікацію математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання. Для цього спочатку проаналізуємо фізичну суть, можливі діапазони зміни та частотні властивості моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання. Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція регулюваної змінної на них. Діапазон зміни детермінованої складової

неконтрольований збурень доцільно прив'язувати до фізичного діапазону зміни керуючої дії. З теорії автоматичного керування відомо, що фізичний діапазон зміни керуючої дії лежить у межах $0...100\% \text{ x.p.o.}$, тому діапазон зміни детермінованої складової неконтрольованих збурень оберемо приблизно $10...15\%$ від діапазону зміни керуючої дії.

На практиці дуже часто прагнуть використовувати найбільш прості моделі детермінованої складової неконтрольований збурень. У таких умовах в якості моделі детермінованої складової $f_n(t)$ приймають модель ступінчастої дії, прикладеної до входу ОК. Ступінчасте збурення є одним з найбільш несприятливих з обмежених по величині дій на ОК (з погляду виникаючих у САК динамічних відхилень і тривалості виникаючих перехідних процесів).

Для ТП вирощування дріжджів оберемо значення детермінованих складових $f_{n1} = 10\% \text{ x.p.o.}$, а $f_{n2} = 2^\circ \text{C}$.

Модель випадкової складової неконтрольованих збурень отримаємо за допомогою формуючого фільтру, на який діє сигнал з виходу генератора псевдобілого шуму. В якості формуючого фільтру використаємо фільтр низької частоти (ФНЧ) Батерворта. Вибір частоти зрізу цього фільтру залежить від спроможності системи автоматичного керування подавляти вплив неконтрольованих збурень на регульовану змінну. Частотні властивості САР по каналу керування $U1-Ts$ нам поки невідомі. Тому оберемо частоту зрізу ФНЧ, виходячи із фізичних уявлень про частотні характеристики САР, а потім в розділі 3 даної роботи перевіримо коретність нашого вибору.

2.4. Реалізуємо математичні моделі в середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання Matlab/Simulink та проведемо з ними комп'ютерні експериментів для обґрунтування адекватності цих моделей об'єкту-оригіналу, тобто в нашому випадку віртуальному об'єкту.

2.4.1. Щоб була можливість порівняти реакцію віртуального ОК по каналам $U1-Tsv$, $U1-Tso$ та моделей (2.1) на однакову вхідну дію від елементів Step, складемо імітаційні моделі ОК по цим каналам та проведемо з ними

експерименти з отримання перехідних характеристик (рис. 2.18, 2.19).

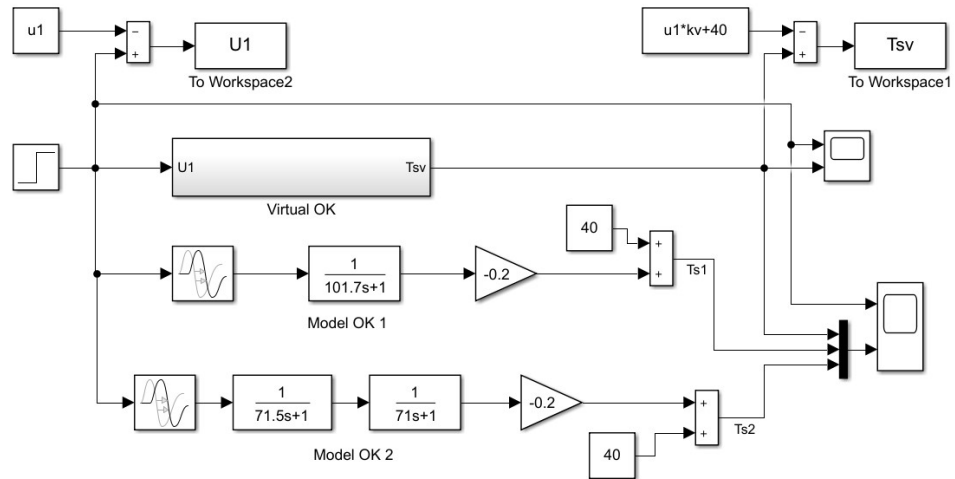


Рис. 2.18 Схема моделювання віртуального ОК по каналу U1-Tsv та його спрощених варіантів

Результати моделювання представлені на рис. 2.20, 2.21. Вони свідчать, що зміни у часі виходів спрощених моделей 1-го порядку та 2-го порядку коректно відображають реакцію виходу віртуальної моделі ОК по каналу на стрибкоподібні зміни вхідної дії.

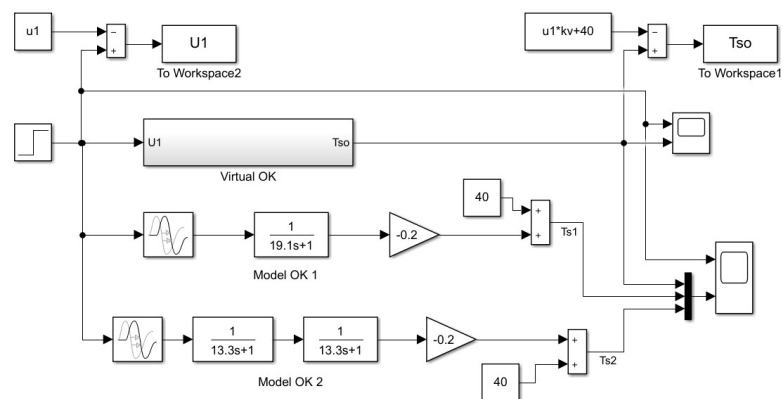


Рис. 2.19 Схема моделювання віртуального ОК по каналу U1-Tso та його спрощених варіантів

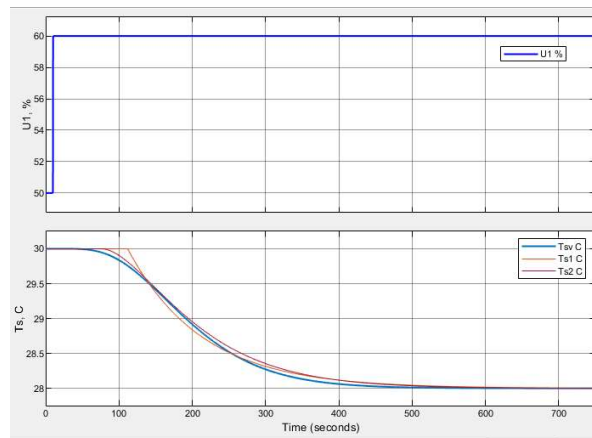


Рис. 2.20 Схема моделювання віртуального ОК по каналу U1-Tsv та його спрощених моделей (2.1)

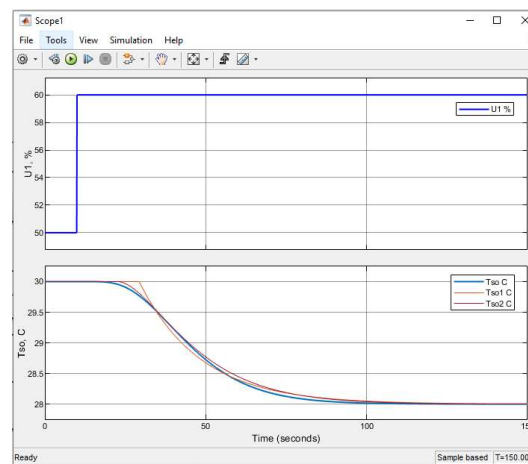


Рис. 2.21 Схема моделювання віртуального ОК по каналу U1-Tso та його спрощених моделей (2.1)

Це дає підставу вважати, що отримані спрощені моделі ОК адекватно описують поведінку віртуального ОК по каналам U1-Tsv, U1-Tso у часі.

2.4.2 Складемо схему моделювання випадкової складової fns неконтрольованого збурення і проведемо з нею експерименти (див. рис.2.22, 2.23). Частота зрізу для ФНЧ встановлена на рівні 0,01 рад/с.

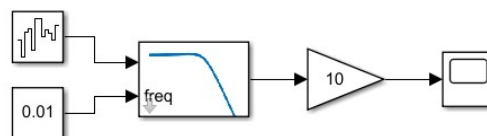


Рис. 2.22 Схема моделювання випадкової складової fns неконтрольованого збурення

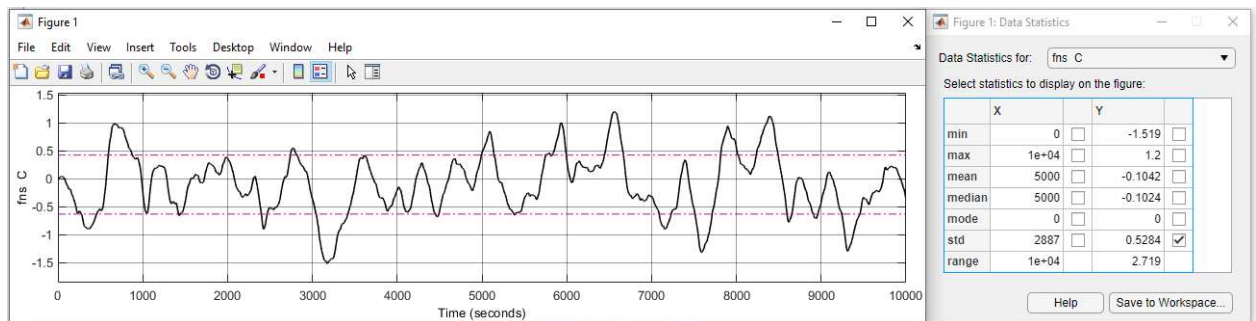


Рис. 2.21 Результати моделювання випадкової складової fns неконтрольованого збурення

Середньоквадратичне відхилення сигналу $fns(t)$ складає $0,528\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.4.3. Для отримання повної моделі ОК треба спочатку визначити модель ОК по каналу Tso-Ts. Прийнемо її структуру у вигляді

$$W(s) = \frac{k \cdot \exp(\tau \cdot s)}{(T \cdot s + 1)^2}$$

Оскільки нам відомі моделі по каналам U1-Ts, U1-Tso, то параметри для моделі по каналу Tso-Ts будуть наступні: коефіцієнт передачі $k=1,0$; $\tau=65,3-12,4=52,9$ с. Щоб визначити значення параметру T, зберемо наступну пошукову модель (рис.2.22), задавши початкове значення $T=T1=50$.

Пошук T1 проведемо методом оптимізації критерія Krit, який характеризує помилку відхилення у виходах моделей.

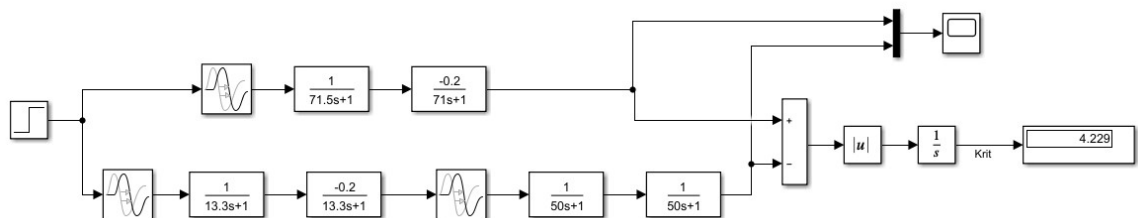
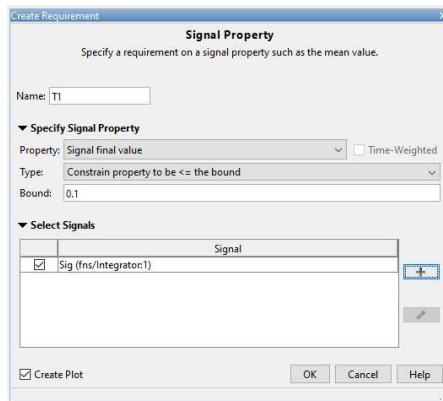
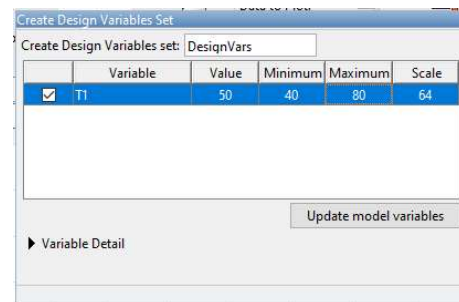


Рис. 2.22 Схема моделювання пошуку параметра T1

Для цього кроку скористаємося програмою Response Optimazer, кнопка виклику якого знаходиться на вкладці APPS Simulink (див. рис.2.24). Спочатку налаштуємо в програмі сигнал для пошуку T1 та його можливі діапазони змін.



а)



б)

Рис. 2.23 Налаштування: а) сигналу для пошуку; б) діапазони змін

Далі проведемо пошукові дії за допомогою програми Response Optimazer

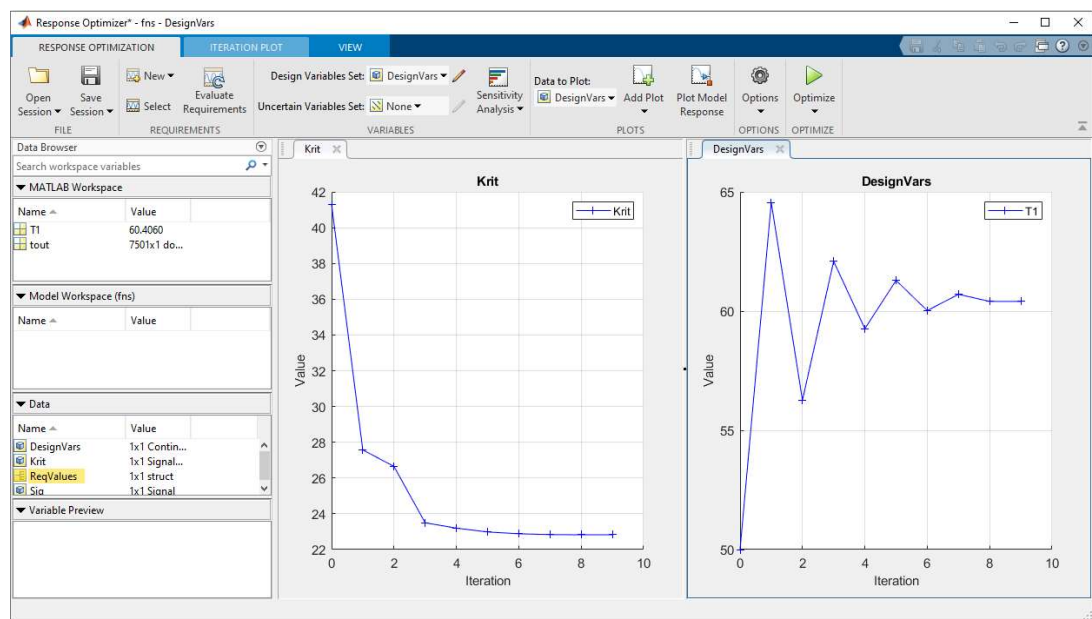


Рис. 2.24 Вікно програми Response Optimazer

В результаті отримуємо оптимальне значення параметру $T1=60,4$. Моделювання з таким параметром по схемі на рис. 2.22 дало наступні результати

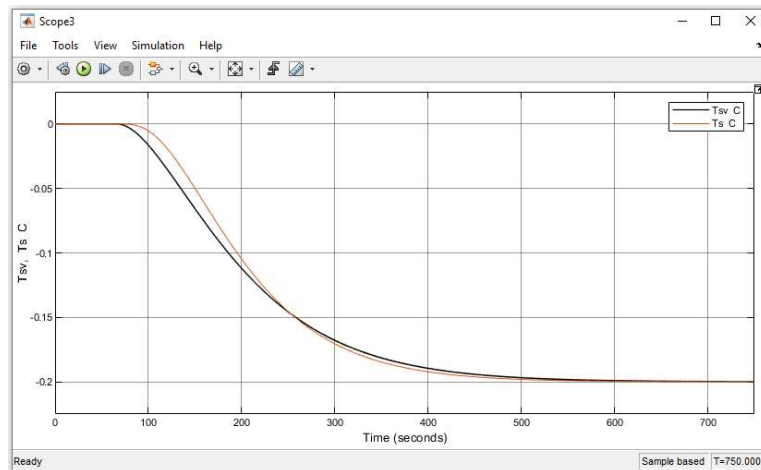


Рис. 2.25 Результати моделювання по моделі на рис. 2.22

2.4.4. Щоб отримати повну модель ОК, залишилось звести в одну модель імітаційні моделі, отримані в п. 2.4.2 та 2.4.3. Така модель включає канали перетворення U_1 - T_{so} , T_{so} - T_s ОК та модель випадкової складової f_{ns} неконтрольованого збурення f_{ns} (див. рис. 2.22).

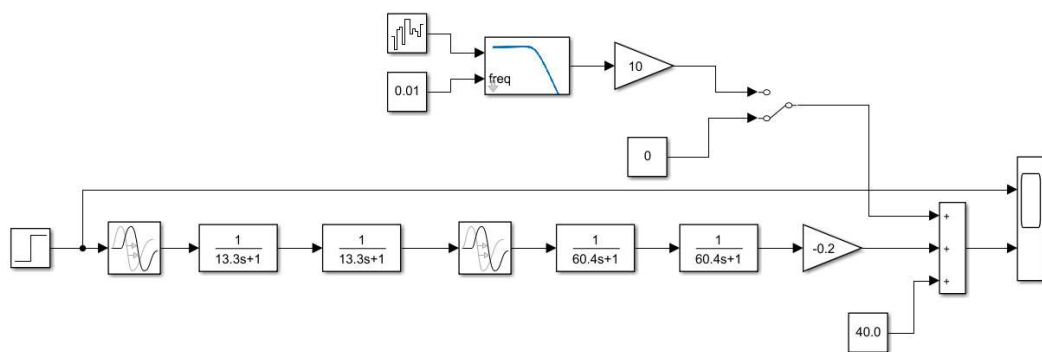


Рис. 2.26 Повна модель ОК

Результати моделювання повної моделі ОК при дії детермінованого впливу $U_1(t)$ та суми впливів $U_1(t)+f_{ns}(t)$ наведені на рис. 2.27, 2.28.

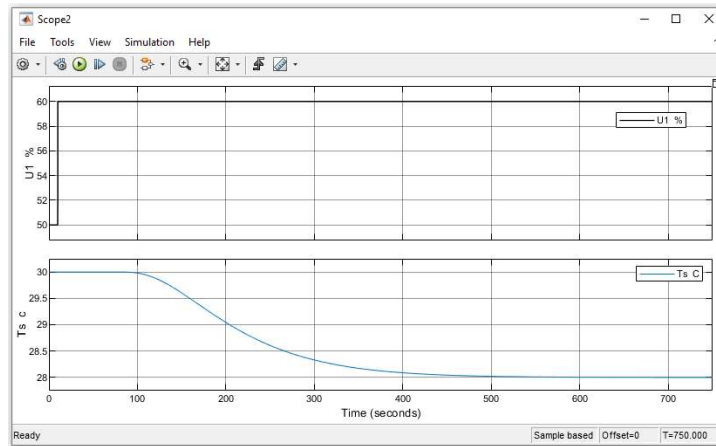


Рис. 2.27 Результати моделювання повної моделі ОК по каналу U1-Ts при зміні керуючого впливу U1

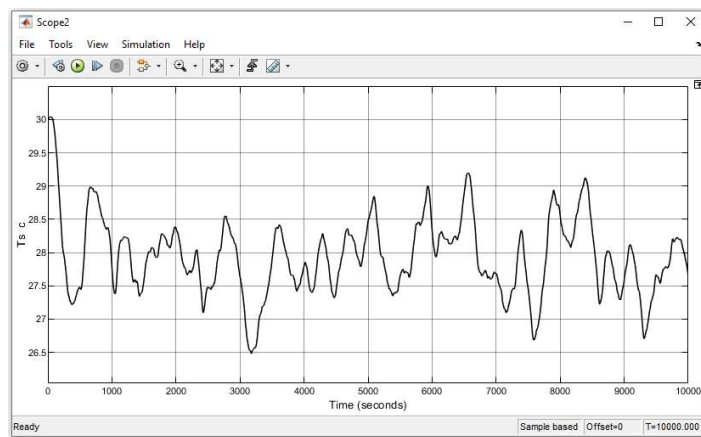


Рис. 2.28 Результати моделювання повної моделі ОК по каналу U1-Ts при дії U1 на випадкової складової fns неконтрольованого збурення

Повна модель ОК буде у подальшому використана при синтезі і аналізі САР.

Висновки:

У ході цієї частини роботи було встановлено, що дріжджовирощувальний апарат як об'єкт керування має статичні властивості. Ідентифікація моделей каналів ОК, доступних для цілеспрямованої дії, проводилася методом активного експерименту із віртуальним ОК з нанесенням на вхід каналу 10%-ї ступінчастої дії. Для параметричної ідентифікації моделей першого і другого

порядку каналу управління застосовувалась програма System Identification.

Для реалізації моделей неконтрольованого збурення були використані генератор псевдобілого шуму та фільтр низької частоти, у якого було встановлено певну частоту зрізу.

Відтворення отриманих моделей у середовищі імітаційного моделювання здійснювалося в програмі SIMULINK/MATLAB і підтвердило їх адекватність експериментальним даним.

1. РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

3.1.1. Дріжджевирощувальний апарат як об'єкт керування можна віднести до ОК періодичної дії, тому що технологічний процес вирощування дріжджів передбачає завантаження компонентів суспензії в апарат і підтримання її температури та кислотності. Після закінчення вирощування дріжджева суспензія розвантажується з апарату і процес повторюється.

В подальшому будемо розглядати регульовану змінну – температуру дріжджевої суспензії $T_s(t)$ на етапі вирощування дріжджів, коли її потрібно стабілізувати на номінальному рівні T_{sz} .

Вимоги до статичної і динамічної точності підтримання температури доцільно задати у вигляді регламентних зон. Відповідно до нормативів ведення технологічного процесу (див. табл. 1.1) технологічний параметр $T_s(t)$ повинен підтримуватися у сталому режимі роботи апарату на рівні $T_{sz}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. В перехідних режимах припустимі короточасні відхилення до $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 400 с. Регламентна зона за параметром $T_s(t)$ наведена на рис. 3.1.

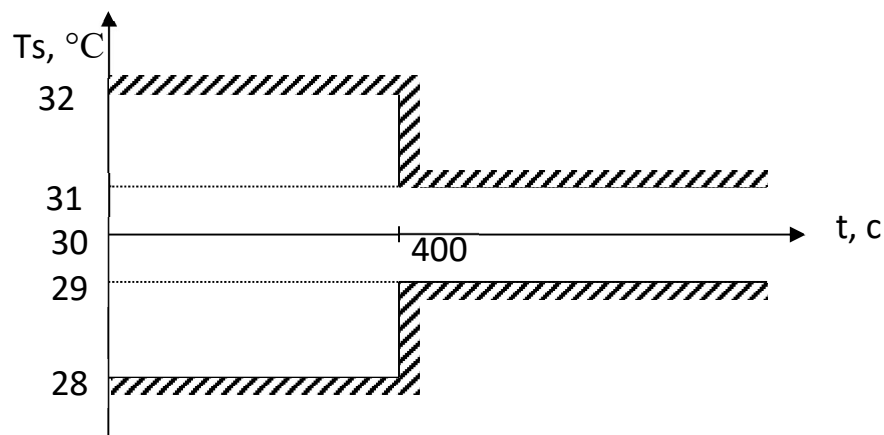


Рис. 3.1 Регламентна зона за параметром $T_s(t)$

Як видно з регламентів за параметром $T_s(t)$, для процесу вирощування дріжджів пред'являються вимоги до відхилень параметрів як в перехідних, так і в сталих режимах, оскільки саме недотримання цих регламентів може призвести до виникнення аварійної ситуації і економічних збитків. Тому в якості інтегрального критерію ефективності роботи САР по регулюванню температури дріжджевої суспензії в апараті застосуємо інтегральний модульний критерій.

$$J = \int_0^{t_M} [(\Delta T_s(t))] \cdot dt \quad (3.1)$$

де t_M - час моделювання;

$\Delta T_s(t)$ – відхилення температури $T_s(t)$ від заданого значення T_{sz} .

Цей критерій забезпечує не лише точність стабілізації, але й стійкість САР, що важливо для нашого ОК.

3.1.2. При виборі і обґрунтуванні принципу побудови системи автоматичного регулювання температури дріжджевої суспензії в апараті врахуємо, що для САР процесу вирощування дріжджів доступною є інформації про бажаний стан ОК, тобто T_{sz} , а також інформація про поточний стан ОК – $T_s(t)$. Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу $U_1(t)$ є достатнім для реалізації замкнутого принципу керування. Цей принцип дозволяє компенсувати як контрольовані, так і неконтрольовані збурення в САР, що актуально для регулювання температури T_s . Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР базової структури.

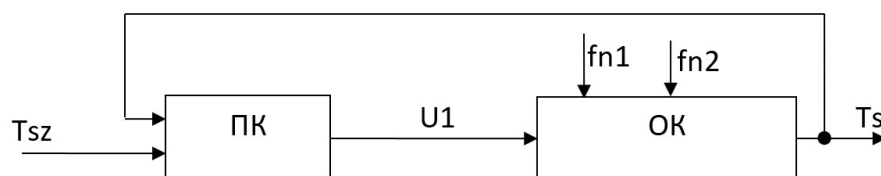


Рис. 3.2 Узагальненої структурна схема САР базової структури
з замкнутим принципом керування

3.1.3 Конкретизуємо базову структурну схему САР і можливі алгоритми регулювання.

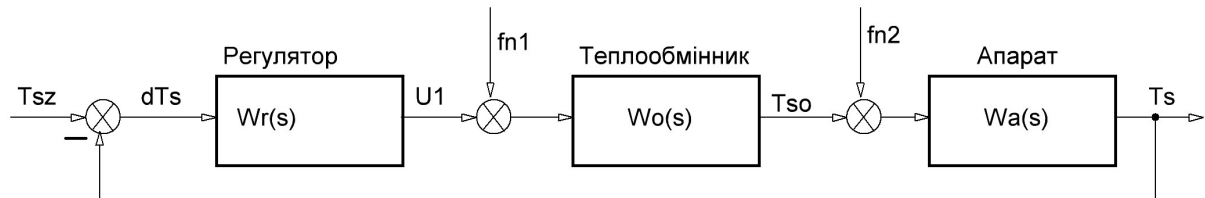


Рис. 3.3 – Структурна схема САР температури базової структури:

$W_r(s)$ – передатна функція регулятора температури;

$W_o(s)$ – передатна функція ОК (теплообмінник);

$W_a(s)$ – передатна функція ОК (апарат);

T_{sz} – задане значення регульованої змінної;

dT_s – помилка регулювання;

U_1 – керуюча дія регулятора;

fn_1 – неконтрольоване збурення;

fn_2 – неконтрольоване збурення;

T_s – регульована змінна.

Зробимо вибір декількох альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання, запишемо їх рівняння і передатні функції.

У інженерній практиці при управлінні технологічними процесами у більшості випадків використовують типові алгоритми регулювання або регулятори. До них відноситься пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ), і пропорційно -інтегрально - диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання. Для цих алгоритмів розроблені інженерні методики їх налагодження.

Для процесу вирощування дріжджів в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання вибираємо пропорційно - інтегральний (ПІ) і пропорційно - інтегрально - диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

$$u(t) = kr \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{iz}} \int_0^t \Delta y(t) dt \right) + u_0$$

Передатна функція ПІ-регулятора

$$W_r(p) = kr \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{iz} \cdot s} \right) \quad (3.2)$$

Рівняння руху ПІД-регулятора

$$u(t) = kr \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{iz}} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_{pr} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0$$

Передатна функція ПІД-регулятора

$$W_r(p) = kr \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{iz} \cdot s} + \frac{T_{pr} \cdot s}{0.2 \cdot T_{pr} \cdot s + 1} \right) \quad (3.3)$$

Налагоджувальні параметри, які підлягають визначенню за інженерними методиками наступні:

kr – коефіцієнт передачі регулятора;

T_{iz} – час ізодрому;

T_{pr} – час упередження.

3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

3.2.1 Розрахуємо початкові наближення налагоджувальних параметрів регуляторів. Для цього скористаємося методикою Копеловіча А.П. Обираємо варіант коливального перехідного процесу в САР з $R_{\pi} = 20\%$ та параметри статичного ОК по каналу U1-Ts для моделі 1-го порядку: $k_o = -0,2^\circ\text{C}/\%\text{хро}$; $\tau_o = 101,8$ с; $T_o = 101,7$ с.

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора для каналу ОК «U1-Ts»:

$$kr = \frac{0,8 \cdot T_o}{k_o \cdot \tau_o} = \frac{0,8 \cdot 101,7}{-0,2 \cdot 101,8} = -4 \frac{\%\text{хро}}{^\circ\text{C}}$$

$$T_{iz} = 2,5 \cdot \tau_o = 2,5 \cdot 101,81 = 254 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІД-регулятора для каналу ОК «U1-Ts»:

$$kr = \frac{1,0 \cdot T_o}{k_o \cdot \tau_o} = \frac{1,0 \cdot 101,7}{-0,2 \cdot 101,8} = -5 \frac{\% \text{хро}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{iz} = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 101,8 = 204 \text{ с}$$

$$T_{pr} = 0,5 \cdot \tau_o = 0,5 \cdot 101,8 = 50 \text{ с}$$

3.2.2. Розробимо структурні схеми і програми цифрового імітаційного моделювання САР при детермінованих вхідних впливах, проведемо комп'ютерні експерименти з оптимізації параметрів регуляторів та оцінимо результати моделювання.

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором, яка складена в програмі Simulink, приведена на рис. 3.4.

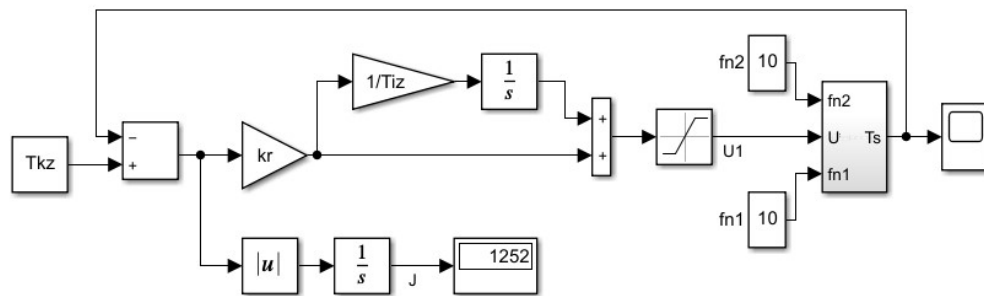


Рис. 3.4 Структурна схема моделювання САР с ПІ-регулятором

Вона включає до свого складу схему моделювання об'єкту керування.

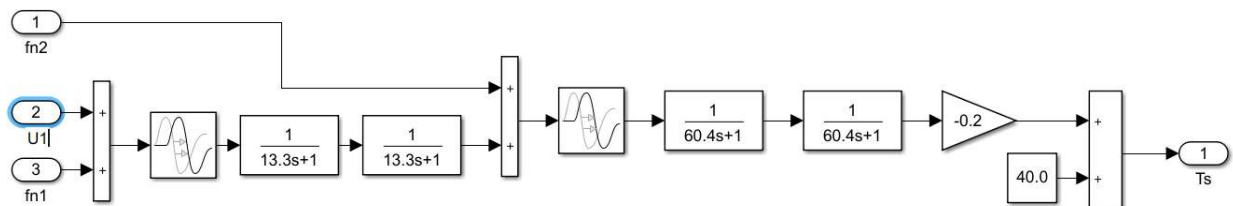


Рис. 3.5 Структурна схема моделювання ОК

Результати моделювання САР з ПІ-регулятором з початковими наближеннями його параметрів при дії на ОК детермінованого неконтрольованого збурення $fn1=fn2=0 \rightarrow 10\%$ наведені на рис. 3.8а.

Далі проводимо пошук оптимальних параметрів ПІ-регулятора, які мінімізують критерій (3.1). Для виконання цього кроку скористаємося

застосунком Response Optimazer, кнопка виклику якого знаходиться на вкладці APPS Simulink.

Перед запуском оптимізації, треба налаштувати параметри сигналу критерія оптимізації у вікні, що з'являється при натисканні на кнопку New (див. рис.3.6а), а також обирати параметри регулятора та діапазони їх зміни у вікні, що з'являється при натисканні на випадаючому списку Design Variables Set (див. рис. 3.6б).

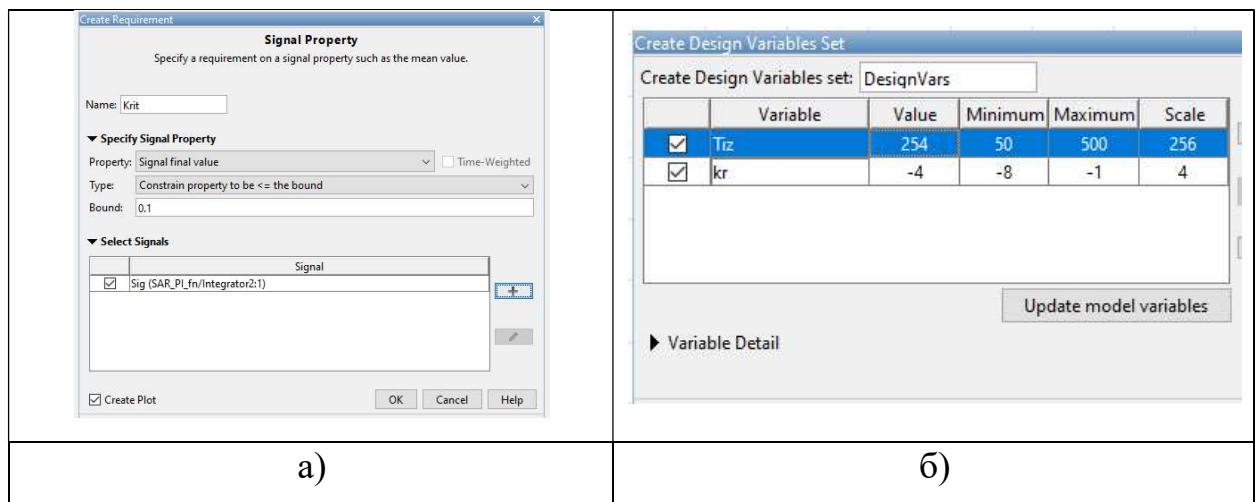


Рис. 3.6 Вибір параметрів оптимізації:

а) критерія; б) налаштувань регулятора

Потім запускаємо процес оптимізації кнопкою Optimize і отримуємо результати, представлені на рис. 3.7.

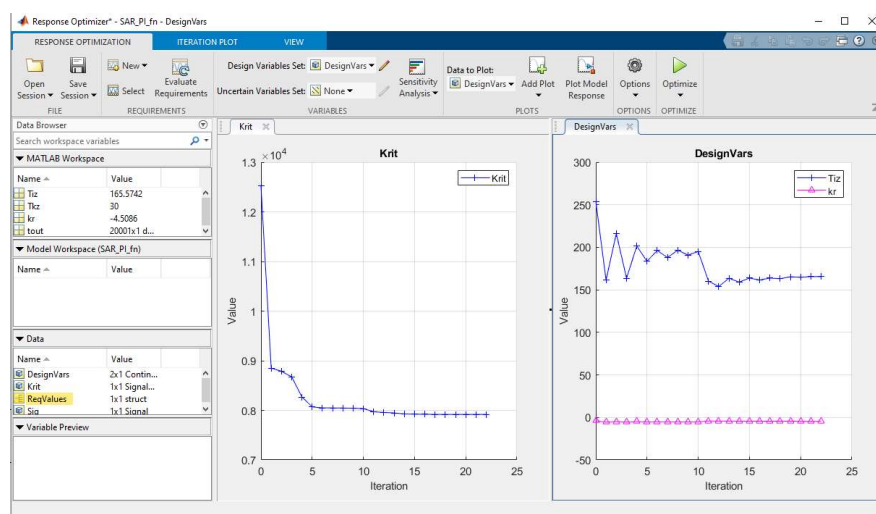


Рис.3.7 – Вигляд вікна оптимізації налаштувань ПІ – регулятора

Отримавши оптимальні параметри ПІ-регулятора $kr = -4,5 \text{ \%}/\text{C}$ $T_{iz} = 165,6 \text{ с}$, повторно проведемо моделювання САР. Результати моделювання наведені на рис. 3.8б.

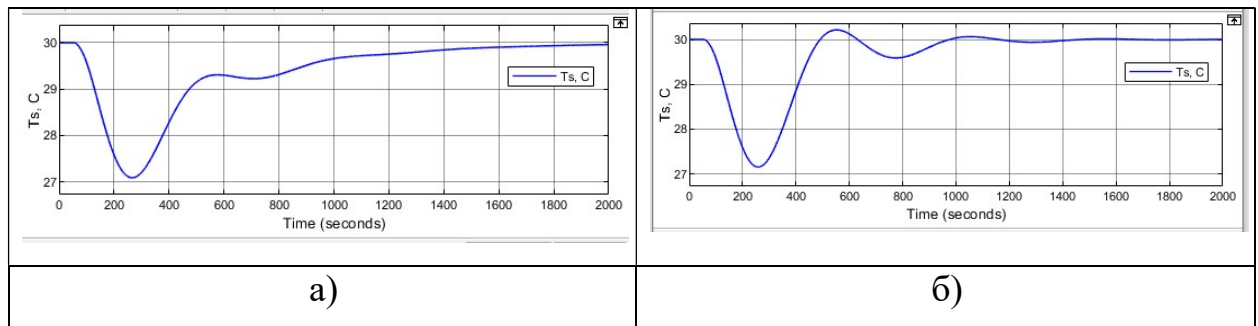


Рис. 3.8 Перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

Таблиця 3.1

Результати порівняння показників якості
САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники		Критерій
	$\Delta T_s \text{ max}$	$T_{пп}, \text{ с}$	
До оптимізації	2,9	440	1252
Після оптимізації	2,8	400	792

Для оптимального параметричного синтезу САР процесу вирощування дріжджів з ПІД – регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис.3.9.

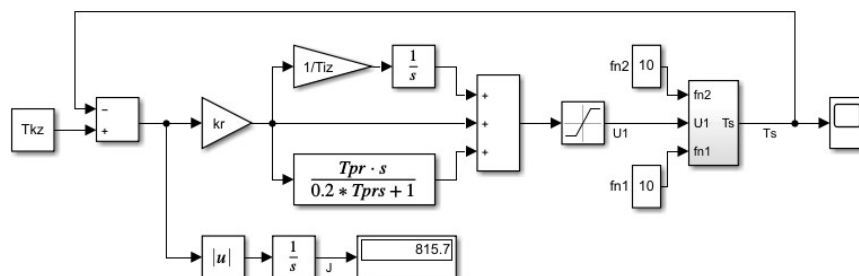
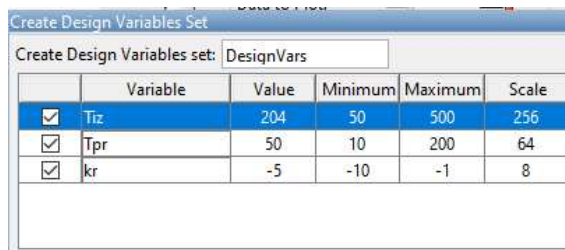


Рис. 3.9 Структурна схема моделювання САР с ПІД-регулятором

Результати моделювання САР з ПІД-регулятором з початковими наближеннями його параметрів при дії на ОК детермінованого неконтрольованого збурення $f_n=0 \rightarrow 10\%$ наведені на рис. 3.12а.

Далі проводимо пошук оптимальних параметрів ПІД-регулятора, які мінімізують критерій (3.1). Вибір параметрів налаштувань регулятора показаний на рис. 3.10, а результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведено на рис.3.11.



	Variable	Value	Minimum	Maximum	Scale
☒	Tiz	204	50	500	256
☒	Tpr	50	10	200	64
☒	kr	-5	-10	-1	8

Рис. 3.10 Вибір параметрів налаштувань регулятора

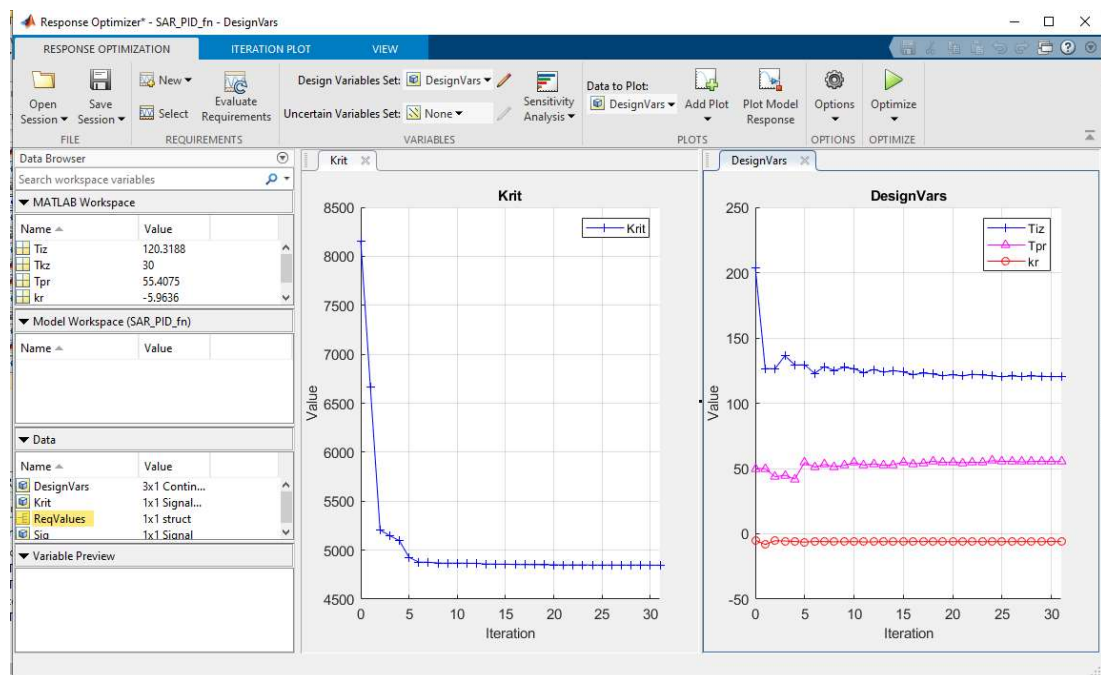


Рис.3.11 – Результат оптимізації налаштувань ПІД – регулятора

Отримавши оптимальні параметри ПІД-регулятора $kr=-5,96 \text{ \%}/\text{C}$, $Tiz=120,3\text{с}$, $Tpr=55,4\text{с}$ сповторно проведемо моделювання САР. Результати моделювання наведені на рис. 3.12б.

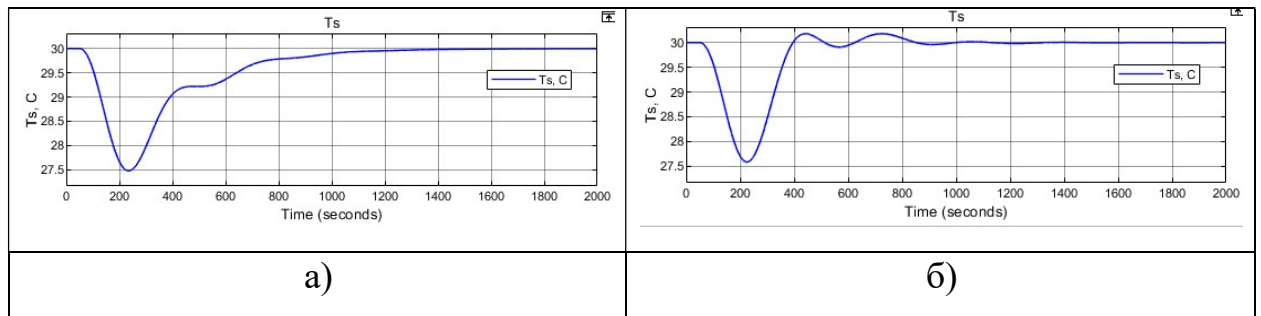


Рис. 3.12 Перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямим показниками якості. Результати порівняння зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Результати порівняння САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники		Критерій
	$\Delta T_s \max$	$T_{пп}, c$	
До оптимізації	2,65	400	816
Після оптимізації	2,45	330	486

Для проведення порівняльного аналізу САР з оптимально налаштованими параметрами ПІ- і ПІД-регуляторів проведемо їх моделювання по структурній схемі, наведій на рис. 3.13.

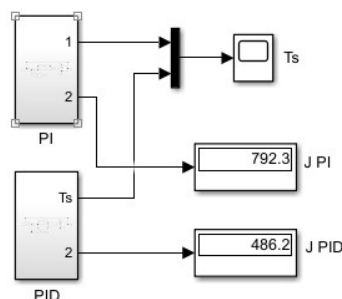


Рис. 3.13 Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.14 і в таблиці 3.3.

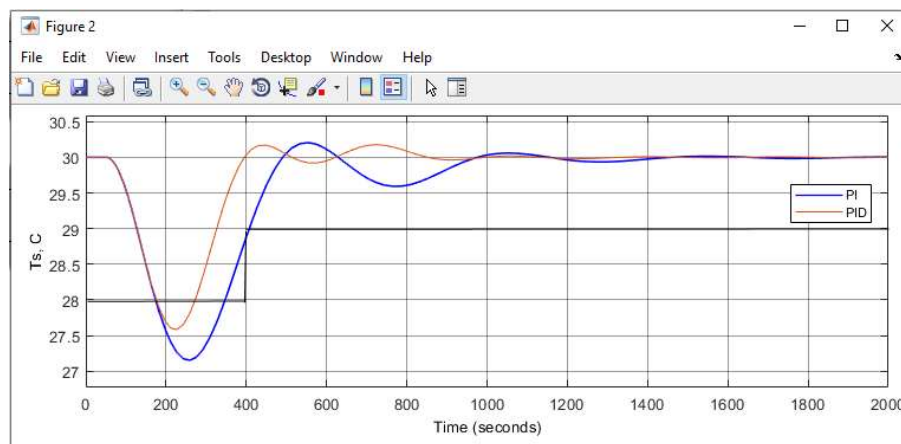


Рис. 3.14 Результати порівняння варіантів САР з ПІ- та ПІД регуляторами

Таблиця 3.3 Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники		Критерій
	$\Delta T_s \max$	$T_{пп}, c$	
ПІ	2,8	400	792
ПІД	2,45	330	486

Як видно з рис. 3.14 та табл. 3.3, САР з ПІД регулятором має кращі показники якості, ніж САР з ПІ-регулятором, однак обидв і САР порушують регламентну зону.

3.2.3. Проведемо дослідження впливу випадкової складової $fns(t)$ неконтрольованого збурення на регульовану змінну в САР з ПІ- і ПІД регулятором за схемами на рис. 3.15. Для цього встановлюємо нульові значення постійних складових неконтрольованих збурень $fn1=fn2=0$ і додаємо модель випадкової складової $fns(t)$ до схеми в моделі ОК, як показано на рис. 3.16.

Результати моделювання САР з ПІ- і ПІД-регуляторами при дії випадкової складової $fns(t)$ неконтрольованого збурення на регульовану змінну представлені на рис. 3.17, 3.18.

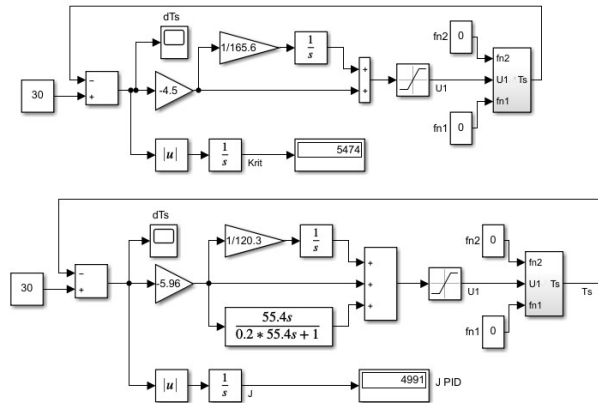


Рис. 3.15 Схеми моделювання САР з ПІ- і ПІД регуляторами при дії випадкової складової $fns(t)$ неконтрольованого збурення

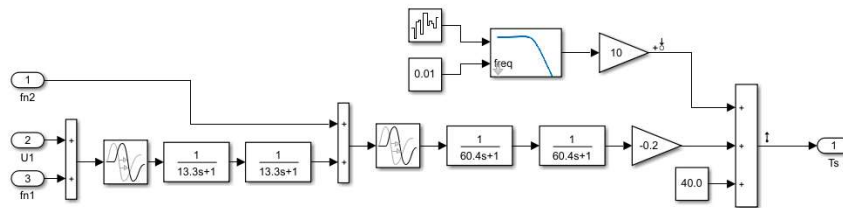


Рис. 3.16 Схема моделі ОК при дії $fns(t)$

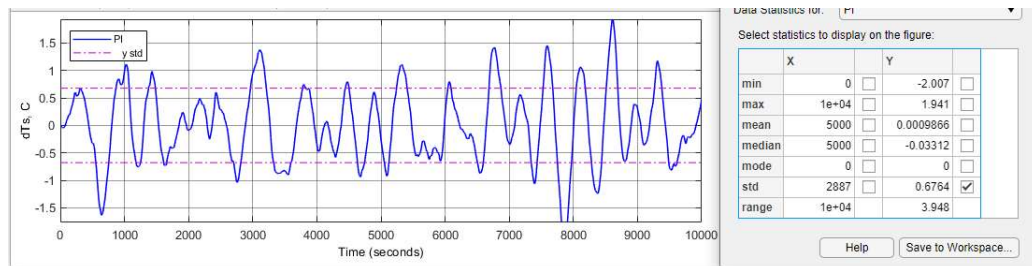


Рис. 3.17 Результати моделювання САР з ПІ-регулятором при дії $fns(t)$

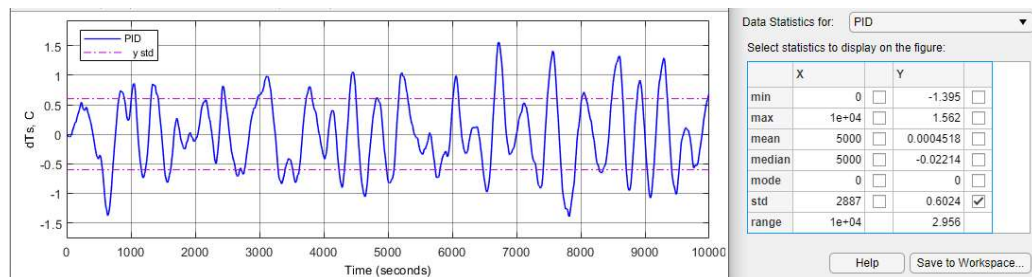


Рис. 3.18 Результати моделювання САР з ПІД-регулятором при дії $fns(t)$

Як видно з рисунків 3.17,3.18, САР з ПІД- регулятором ефективніше подавляє вплив випадкової складової $fns(t)$ неконтрольованого збурення на регульовану змінну оскільки статистичний показник середньо-квадратичного відхилення $Ts(t)$ від заданого значення $Tsz=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ складає $std=0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. У САР з ПІ-регулятор цей показник складає $std=0,67\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Визначимо діапазон частот, в якому САР з ПІД-регулятором здатна компенсувати вплив збурень на за рахунок зміни керуючої дії $U1(t)$. Для цього скористаємося програмою Frequency Responce, яку можна викликати на вкладці APPS програми Simulink шляхом натискання на відповідну кнопку.

У вікні, що з'являється при цьому, вибираємо тестовий сигнал у вигляді синусоїди із змінною частотою, який буде діяти на САР, і формуємо його параметри (див. рис. 3.19, 3.20).

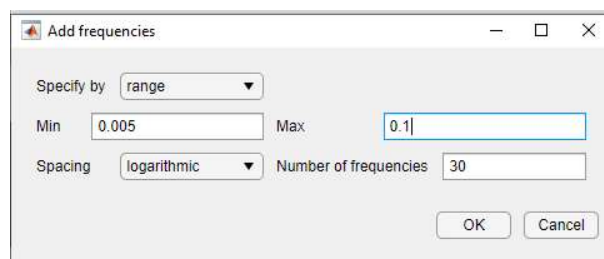


Рис. 3.19 Приклад вибору діапазону частот тестового сигналу

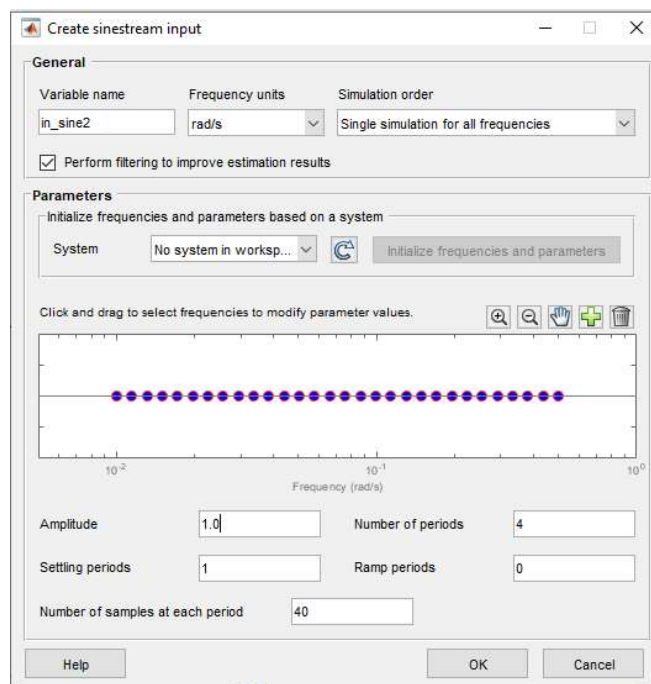


Рис. 3.20 Приклад вибору параметрів тестового сигналу

Точки прикладання тестового сигналу (тип сигналу Input Perturbation) та знімання інформації (тип сигналу Output Measurement) показані на схемі моделювання ОК (див. рис. 3.16).

Після формування тестового сигналу натискаємо на кнопку Bode у вікні програми Frequency Response і отримуємо АЧХ і ФЧХ каналу U_1 - T_s для САР з ПД-регулятором.

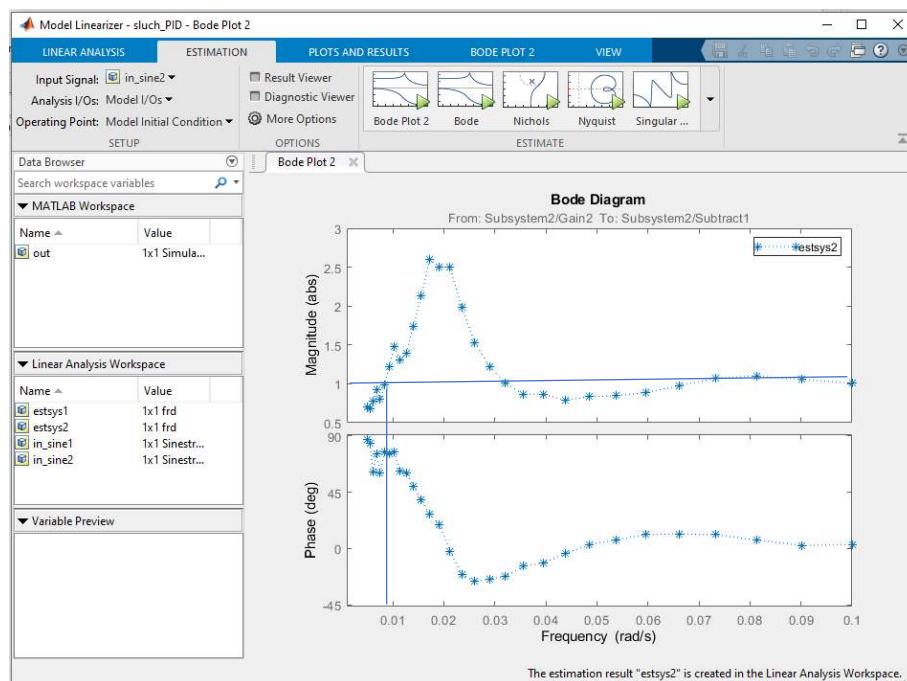


Рис. 3.21 Результат моделювання САР з ПД регулятором в програмі Frequency Response – залежності АЧХ і ФЧХ

З рис. 3.21 видно, що САР з ПД-регулятором здатна подавляти вплив збурень на регульовану змінну $T_k(t)$ лише в діапазоні $0 \dots 0,01$ рад/с, коли коефіцієнт в передачі керуючої дії $U_1(t)$ на $T_s(t)$ менший за одиницю.

Таким чином, можна зробити висновок, що формування випадкової складової $fns(t)$ неконтрольованого збурення за допомогою ФНЧ з частотою зрізу $f_z=0,01$ рад/с зроблено коректно, адже ця частота потрапляє в робочий діапазон частот ПД-регулятора.

3.2.4. Проаналізуємо грубість САР до варіацій параметрів ОК. Слід зазначити, що внаслідок нестационарності ОК, параметри каналів, наприклад,

запізнення, можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. Це може бути викликано, наприклад, відкладанням солей в теплообміннику і на внутрішній поверхні труб, по яким рухається дріжджева суспензія.

Дослідження САР на грубість будемо проводити з імітаційними моделями в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень 10% х.р.о. Структурна схеми моделювання для аналізу САР з ПІД-регуляторами на грубість наведено на рис. 3.22.

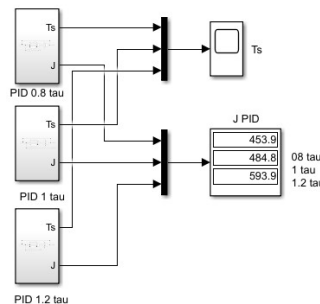


Рис. 3.22 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІД-регулятором на грубість

Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість наведено на рис. 3.23. Як видно з результатів, САР з ПІД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації запізнення в каналах регулювання ОК дає згасаючі перехідні процеси. Також в умовах дії збурень $fn1(t)$, $fn2(t)$ детермінованого характеру перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором виходять за рамки регламентних зон.

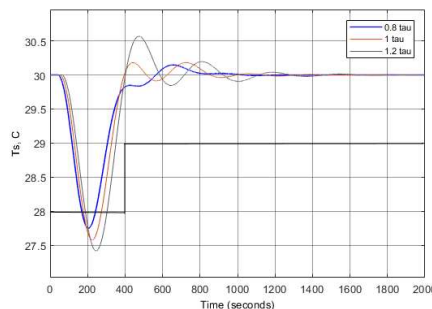


Рис. 3.23 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором в умови дії детермінованих неконтрольованих збурень

3.3. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз

3.3.1. Об'єкт керування, який розглядається, являє собою розподілені в просторі технологічні агрегати - апарат і теплообмінник (див. рис. 2.26). У цьому випадку для вимірювання доступна не тільки вихідна змінна об'єкта T_s , але й «внутрішня» («проміжна») змінна T_{so} . Важливим фактором тут є те, що зміни T_{so} , які викликані змінами збурень $fn1$, проявляються раніше, ніж зміниться вихідна змінної T_s від дії цих же збурень. Таким чином, з'являється можливість розглянути варіант підвищення динамічної точності системи за рахунок попереджуючої реакції керуючого пристрою на збурення $fn1$. Сам пристрій в даному випадку буде складатися з двох регуляторів – внутрішнього контуру і головного контуру.

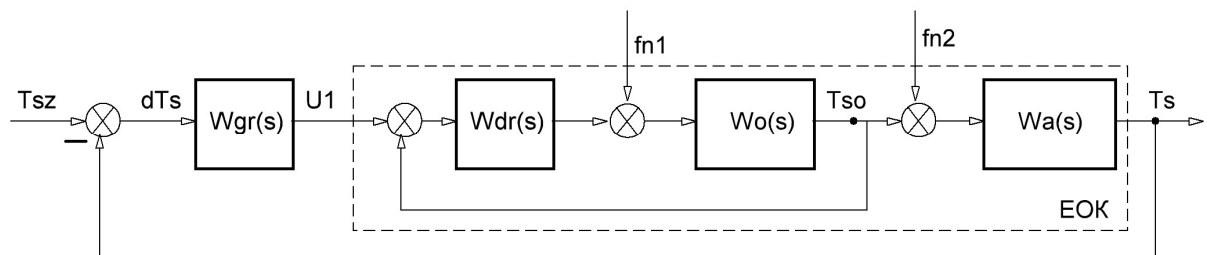


Рис.3.24 Структурна схема каскадної САР

Така структура системи називається каскадною. Зовнішній контур називають головним, внутрішній контур – допоміжним.

3.3.2. Оберемо структури і параметри регуляторів внутрішнього $W_{dr}(s)$ і головного $W_{gr}(s)$ контурів. В якості внутрішнього регулятора доцільно застосувати ПІ-алгоритм (3.2), а в якості головного – ПІД-алгоритм (3.3).

Розрахуємо початкові налаштування параметрів ПІ-регулятора для каналу ОК «U1- T_{so} »:

$$kr = \frac{0,8 \cdot T_o}{k_o \cdot \tau_o} = \frac{0,8 \cdot 19,1}{1,0 \cdot 19,3} = 0,8 \frac{\% \text{хро}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{iz} = 2,5 \cdot \tau_o = 2,5 \cdot 19,3 = 48 \text{ c}$$

Оскільки головний регулятор $W_{gr}(s)$ взаємодіє із еквівалентним об'єктом керування (ЕОР), то спочатку потрібно розрахувати параметри цього об'єкту. Відповідно до рекомендацій [2, 3]:

Оскільки допоміжний регулятор є пропорційно-інтегральним, то внутрішній контур САР за каналом завдання буде астатичним. А значить його коефіцієнт передачі $k_o=1$. Тоді коефіцієнт передачі ЕОР буде

$$k_{EOP}=1 \cdot k_a=1 \cdot (-0,2)=-0,2 \text{ \%хро/}^{\circ}\text{C}.$$

$$\text{Час запізнення ЕОР } \tau_{EOP}=\tau_o+\tau_a=19,3+52,9=72,2 \text{ с.}$$

$$\text{Постійна часу ЕОР } T_{EOP}=0,5 \cdot T_o+T_a=0,5 \cdot 19,1+60,4=70 \text{ с.}$$

Розрахунок початкових параметрів ПІД-регулятора для каналу ОК «U1-Ts»:

$$kr = \frac{1,0 \cdot T_{EOP}}{k_o \cdot \tau_{EOP}} = \frac{1,0 \cdot 70}{-0,2 \cdot 72,2} = -4,8 \frac{\text{\%хро}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$Tiz = 2 \cdot \tau_{EOP} = 2 \cdot 72,2 = 144 \text{ с}$$

$$Tpr = 0,5 \cdot \tau_o = 0,5 \cdot 72,2 = 38 \text{ с}$$

3.3.3. Для оптимального параметричного синтезу САР підвищеної динамічної точності (ПДТ) процесу вирощування дріжджів з будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис.3.25.

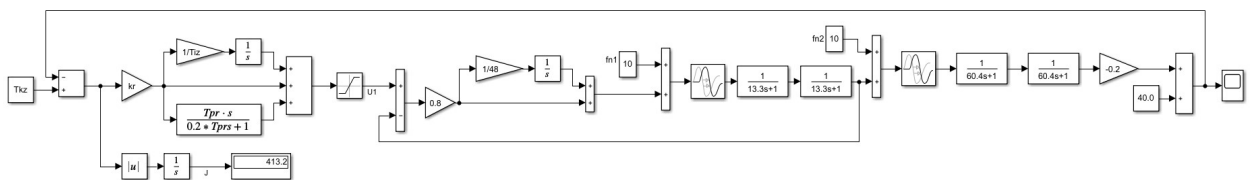


Рис. 3.25 Структурна схема моделювання САР ПДТ

Результати моделювання САР ПДТ з початковими наближеннями його параметрів при дії на ОК детермінованих неконтрольованих збурень $fn1=fn2=0 \rightarrow 10\%$ наведені на рис. 3.28а.

Далі проводимо пошук оптимальних параметрів ПІД-регулятора, які мінімізують критерій (3.1). Вибір параметрів налаштувань регулятора показаний на рис. 3.10, а результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведено на рис.3.11.

Create Design Variables set: DesignVars

	Variable	Value	Minimum	Maximum	Scale
☒	Tiz	144	50	350	256
☒	Tpr	32	10	150	32
☒	kr	-4.8	-10	-1.0	8

Рис. 3.26 Вибір параметрів налаштувань регулятора

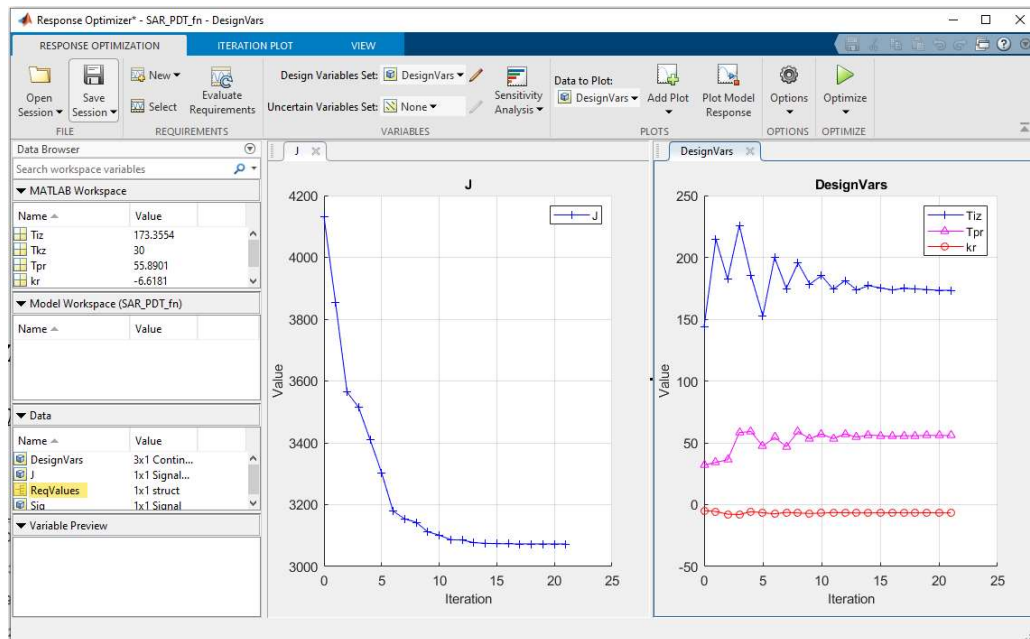


Рис.3.27 – Результат оптимізації налаштувань ПД – регулятора САР ПДТ

Отримавши оптимальні параметри ПД-регулятора $kr = -6,62 \text{ \%}/\text{C}$, $Tiz = 173,35 \text{ c}$, $Tpr = 55,9 \text{ c}$ сповторно проведемо моделювання САР. Результати моделювання наведені на рис. 3.186.

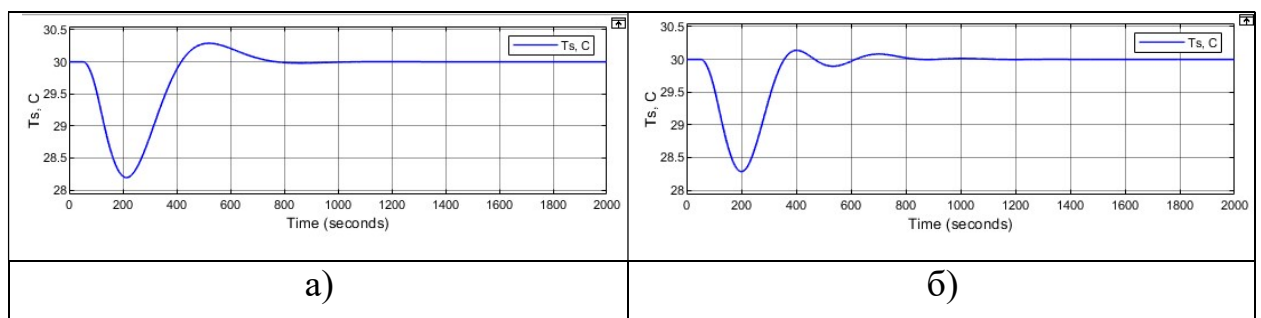


Рис. 3.28 Перехідні процеси в САР ПДТ до і після оптимізації

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямим показниками якості. Результати порівняння зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.4

Результати порівняння САР ПДТ до і після оптимізації

САР ПДТ	Прямі показники		Критерій
	$\Delta T_s \max$	$T_{пп}, c$	
До оптимізації	1,8	330	413
Після оптимізації	1,7	275	307

3.3.4. Проведемо дослідження впливу випадкової складової $fns(t)$ неконтрольованого збурення на регульовану змінну в САР ПДТ за схемою на рис. 3.29. Для цього встановлюємо нульові значення постійних складових неконтрольованих збурень $fn1=fn2=0$ і додаємо модель випадкової складової $fns(t)$ до схеми в моделі ОК.

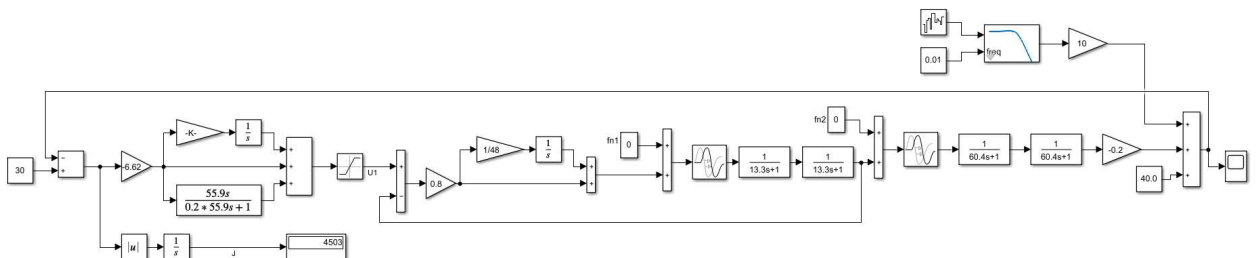


Рис.3.29 Схема моделювання САР ПДТ

при дії випадкової складової $fns(t)$ неконтрольованого збурення

Результати моделювання САР ПДТ при дії випадкової складової $fns(t)$ неконтрольованого збурення на регульовану змінну представлені на рис. 3.30.

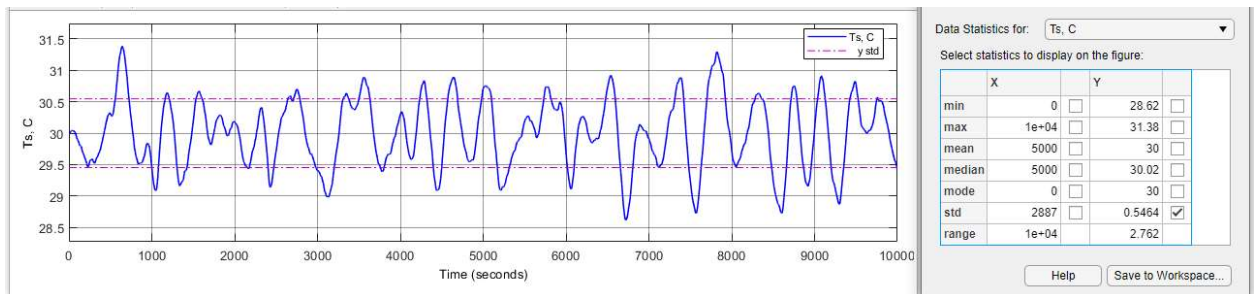


Рис. 3.30 Результати моделювання CAP ПДТ
при дії випадкової складової $fns(t)$

Порівнюючи рис.3.18 і 3.30, можна зробити висновок, що CAP ПДТ забезпечує більш якісну стабілізацію F_s F_{sz} , оскільки показник середньоквадратичного відхилення в CAP ПДТ $std=0,5464$ °C менший, ніж в CAP з ПІД-регулятором $std=0,6024$ °C.

3.3.5. Проаналізуємо грубість CAP ПДТ до варіацій параметрів ОК. Дослідження CAP на грубість будемо проводити з імітаційними моделями в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень 10% х.р.о. Структурна схеми моделювання для аналізу CAP ПДТ на грубість наведена на рис. 3.31.

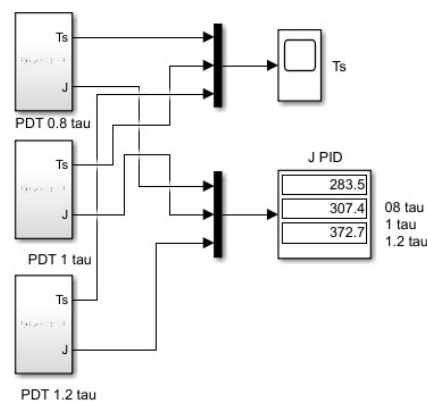


Рис. 3.31 - Структурна схема моделювання
для аналізу CAP ПДТ на грубість

Результати оцінки САР ПДТ на грубість наведено на рис. 3.32. Як видно з результатів, САР ПДТ є грубою, оскільки в умовах варіації запізнення в каналах регулювання ОК дає згасаючі перехідні процеси. Також в умовах дії збурень $fn1(t)$, $fn2(t)$ детермінованого характеру перехідні процеси в САР ПДТ не виходять за рамки регламентних зон.

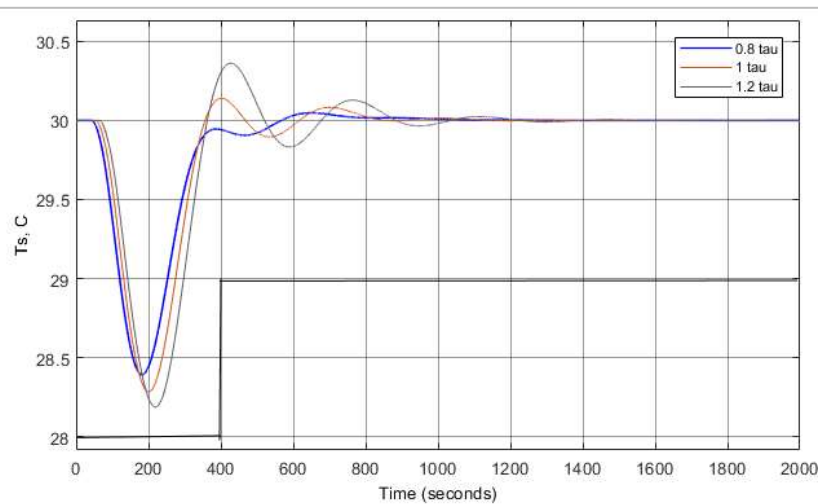


Рис. 3.32 - Аналіз на грубість САР ПДТ в умови дії детермінованих неконтрольованих збурень

3.3.6. Для проведення порівняльного аналізу САР з оптимально налаштованими параметрами ПДТ- і ПІД-регуляторів проведемо їх моделювання по структурній схемі, наведій на рис. 3.33.

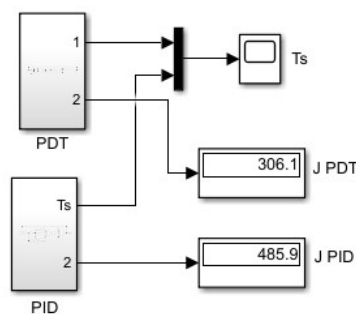


Рис. 3.33 Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.34 і в таблиці 3.5.

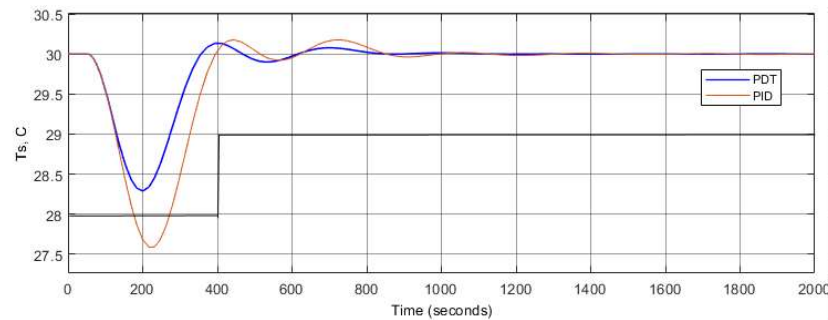


Рис. 3.34 Результати порівняння варіантів САР ПДТ з САР базової структури з ПІД регулятором

Таблиця 3.5 Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники		Критерій
	$\Delta T_s \max$	$T_{пп}, c$	
ПДТ	1,7	275	307
ПІД	2,45	330	486

Як видно з рис. 3.34 та табл. 3.5, при дії детермінованих неконтрольованих збурень $f_{n1}=f_{n2}=0 \rightarrow 10\%$ САР ПДТ має кращі показники якості, ніж САР базової структури з ПІД-регулятором, і не порушує регламентних зон.

ВИСНОВОК

В результаті виконання розділу роботи були набуті практичні навички у постановці та вирішенні комплексу завдань по синтезу ефективних алгоритмів керування для системи автоматичного регулювання та їх аналізу з позиції задоволення вимог регламентів проведення технологічного процесу вирощування дріжджів.

Була розроблена САР базової структури за принципом замкнутого керування, яка отримує інформацію про поточний стан об'єкта. Переваги даного принципу: можна забезпечити високу точність стабілізації

регульованої змінної при дії на об'єкт керування неконтрольованих збурень. Властивості об'єкта необхідно знати тільки по каналу керування.

Зважаючи на властивості об'єкту керування, був зроблений висновок про доцільність розгляду структурних схем САР тільки з ПІ - і ПІД-регуляторами, причому під час моделювання САР з ПІД-регулятором показала кращі показники якості.

В результаті синтезу САР підвищеної динамічної точності була запропонована каскадна структура системи керування, показники якості якої мають більш високу динамічну точність в порівнянні з САР базової структури. Відповідно, така структура САР може бути рекомендована до впровадження.

4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ АГРЕГАТОМ

4.1. Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логіко-програмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій

Дріжджевирощувальний апарат як технологічний агрегат входить складовою частиною в ділянку, де здійснюється ряд технологічних операцій (див. рис. 1.1). В самому апараті здійснюється розмноження матових дріжджів до кількості товарних, яке здійснюється завдяки споживанню освітленого сусла, мінеральних солей, матові дріжджі та дріжджевого молока та кисню із повітря (рис. 4.1).

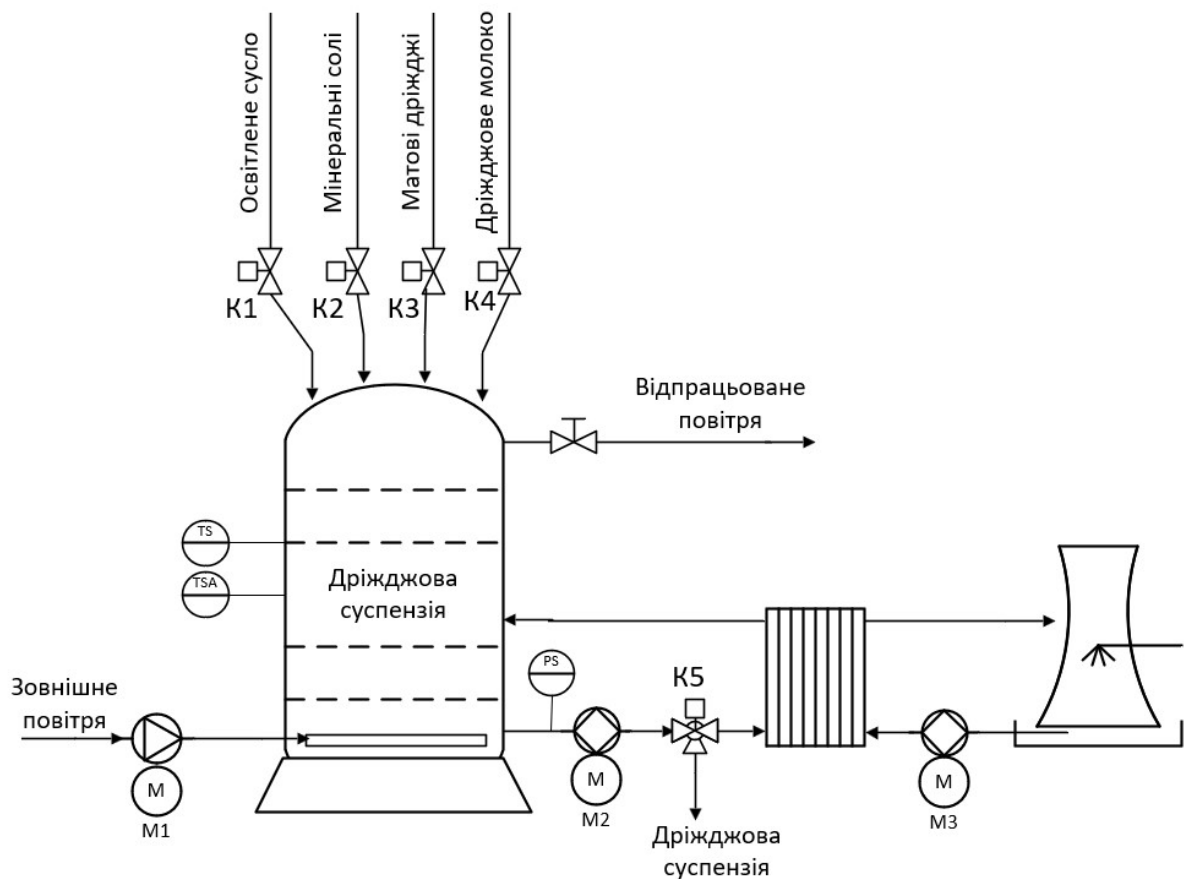


Рис. 4.1 Схема руху сировини і повітря в апараті

Стабілізацію температури дріжджевої суспензії в апараті здійснює САР, як описано в розділі 3. Функції оператора-технолога при автоматичному регулюванні зводяться до спостереження за значеннями регульованої змінної та коригуванні заданого значення для САР.

Процеси технологічного пуску та зупинки апараті не є автоматичними, бо вони здійснюються оператором-технологом, який може вмикати і вимикати електроприводи М1, М2, М3 і електромагнітні приводи клапанів К1, К2, К3, К4, К5 по місцю на щиті керування.

Модернізація технічних засобів системи логічного керування апараті полягає в застосуванні ПЛК та панелі оператора, що дасть змогу оператору вмикати і вимикати пристрої дистанційно.

Оператор може припуститися помилки, наприклад через втому, і тому доцільно створити алгоритми і програми для автоматичного пуску та зупинки апараті, які будуть виконуватись в ПЛК без його участі.

4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату при технологічному пуску, технологічній зупинці, блокуванню передаварійних ситуацій та при аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис

Для формалізації спочатку опишемо стадії ТП словами, а потім складемо схеми алгоритмів функціонування.

Для здійснення технологічного пуску необхідно:

- із початкового стану, коли всі електроприводи вимкнені, перейти в стан завантаження і подати в апарат освітлене сусло, мінеральні солі, матові дріжджі, дріжджеве молоко у кількостях, які дозуються на інших ділянках ТП;
- подати в апарат повітря для живлення дріжджів;
- із ростом температури дріжджевої суспензії в апараті здійснити її охолодження;
- стабілізувати температуру дріжджевої суспензії на рівні 30 °С на протязі 11 годин.

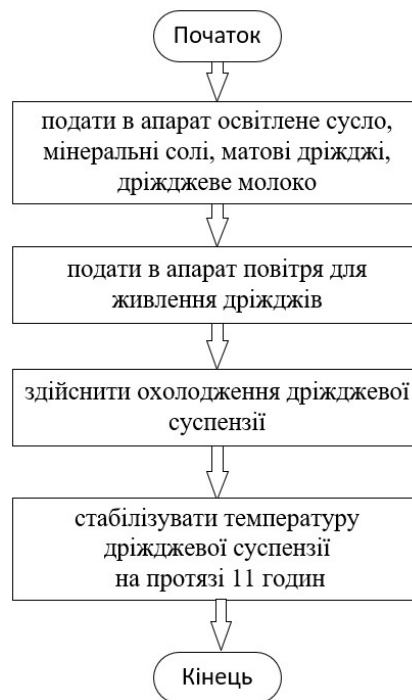


Рис. 4.2 Алгоритм функціонування при пуску апарату

Для здійснення технологічної зупинки необхідно:

- припинити подачу повітря в апарат;
- припинити стабілізацію температури дріжджевої суспензії;
- вивантажити дріжджеву суспензію із апарату.



Рис. 4.3 Алгоритм функціонування при зупинці апарату

Передаварійна ситуації в апараті пов'язана із підвищенням температури дріжджевої суспензії вище допустимого рівня. В для запобігання аварії необхідно вивантажити дріжджеву суспензію із апарату. Це дозволить уникнути браку продукції.

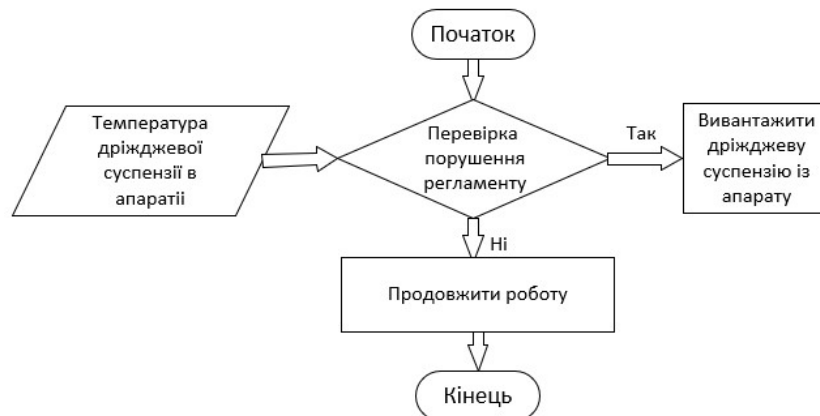


Рис. 4.4 Алгоритм функціонування при блокуванні передаварійної ситуації апараті

4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: технологічним пуском та зупинкою, блокування передаварійних ситуацій та аварійної зупинки технологічного агрегату у вигляді блок-схем та їх опис

Технологічний пуск апараті слід здійснювати в наступній послідовності:

- увімкнути соленоїди клапанів K1, K2, K3, K4 для подачі компонентів дріжджевої суспензії;
- увімкнути електропривод M1 вентилятора подачі повітря;
- якщо температура суспензії в апараті більше 25 °С, увімкнути електроприводи M2, M3 для охолодження суспензії;
- перевести регулятор температури з ручного в автоматичний режим роботи, встановивши задане значення $T_z=30^{\circ}\text{C}$;
- стабілізувати температуру дріжджевої суспензії 11 годин.

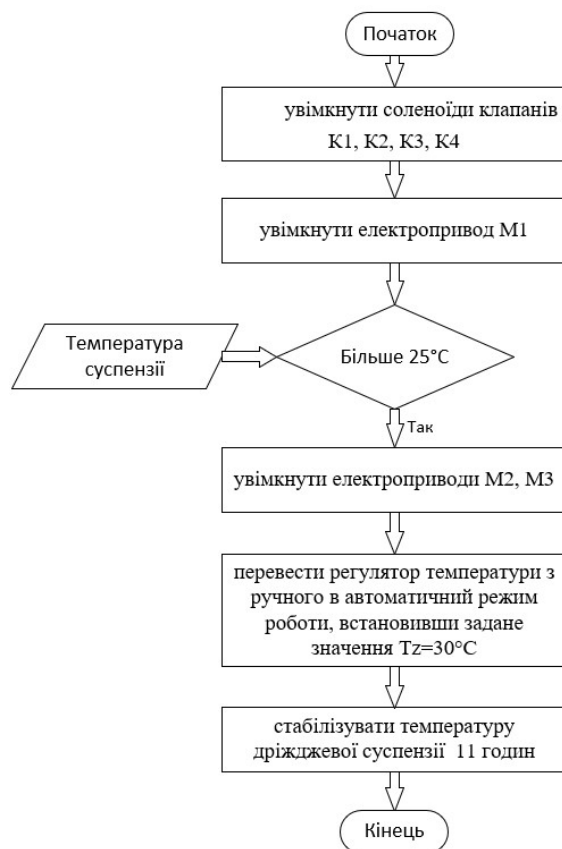


Рис. 4.5 Алгоритм керування при пуску апарату

Технологічну зупинку апараті слід здійснювати в наступній послідовності:

- вимкнути соленоїди клапанів K1, K2, K3, K4 для подачі компонентів дріжджевої суспензії;
- вимкнути електропривод M1 вентилятора подачі повітря;
- перевести регулятор температури з автоматичного в ручний в режим роботи, встановивши задане значення $T_z=20^{\circ}\text{C}$
- вимкнути електропривод M3 циркуляційного насосу води;
- увімкнути соленоїд клапану K5 для вивантаження дріжджевої суспензії;
- після падіння тиску перед циркуляційним насосом суспензії M2 вимкнути його;
- вимкнути соленоїд клапану K5.

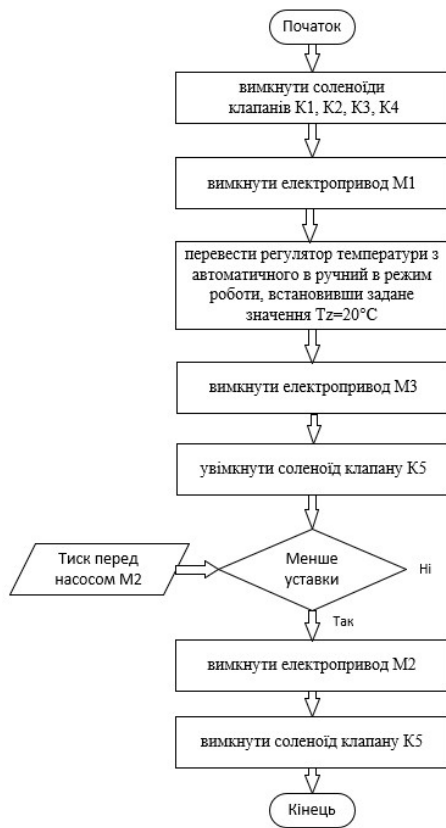


Рис. 4.6 Алгоритм керування при зупинці апараті

Блокування передаварійних ситуацій слід здійснювати в наступній послідовності:

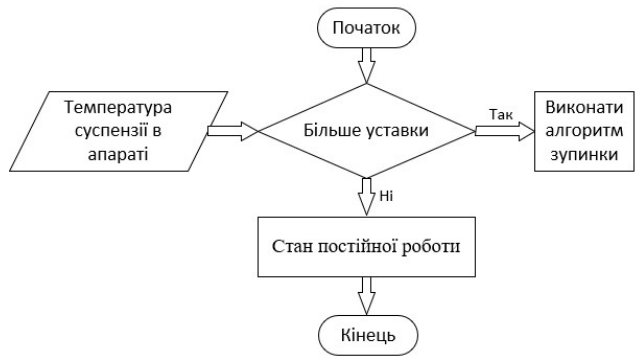


Рис. 4.7 Алгоритм керування при блокуванні передаварійних ситуацій в апараті

4.4. Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічним агрегатом та її опис

Для дослідження системи логічного керування (СЛК) дріжджевирущувального апарату оберемо моделювання із застосуванням програм Simulink та Stateflow середовища Matlab.

В моделі Simulink (рис. 4.8) СЛК імітується блоком Chart, який входить до складу бібліотеки Stateflow, вхідні сигнали від датчиків-реле і сигнал початку роботи Start імітуються блоками Step та Compare, а команди про вмикання електроприводів з виходів Chart подаються на багатоконпонентний осцилограф Scope. Імена і тип сигналів налаштовуються в підпрограмі Model Explorer, яку можна викликати з меню View Simulink (рис. 4.9).

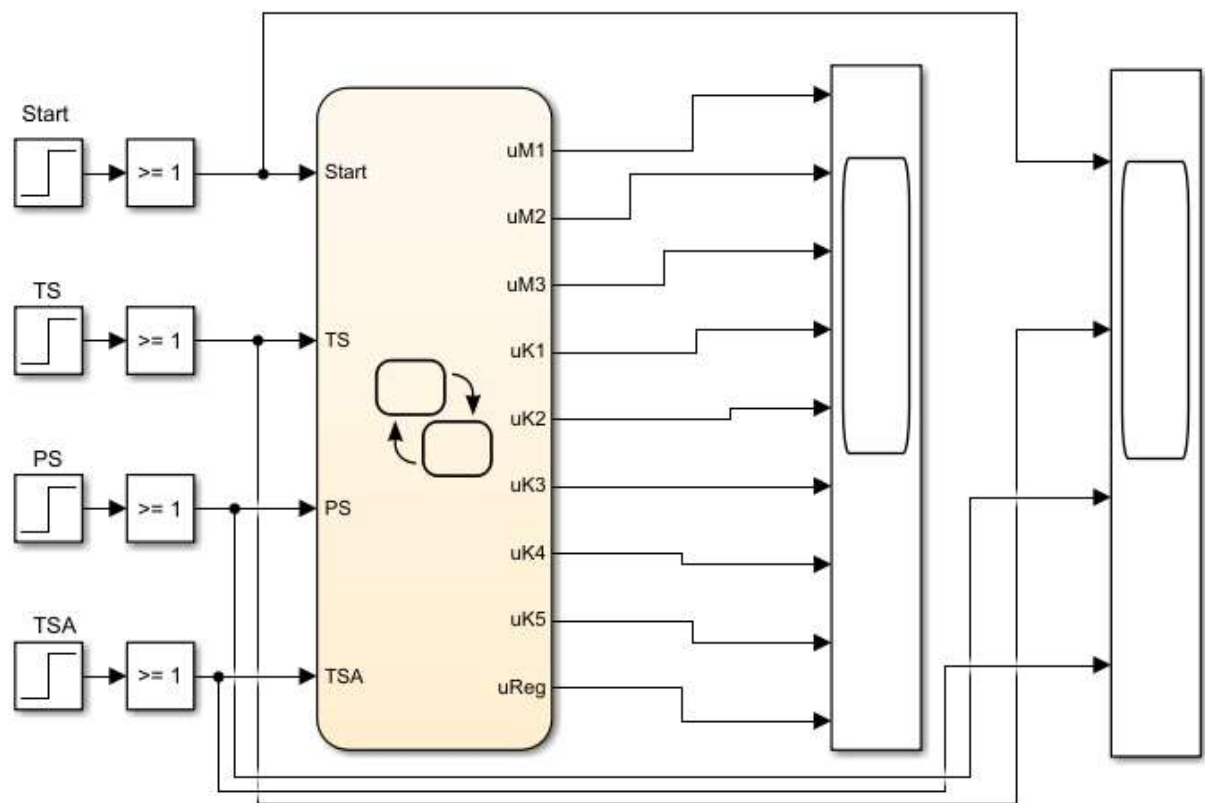


Рис. 4.8 Схема моделювання СЛК в програмі Simulink

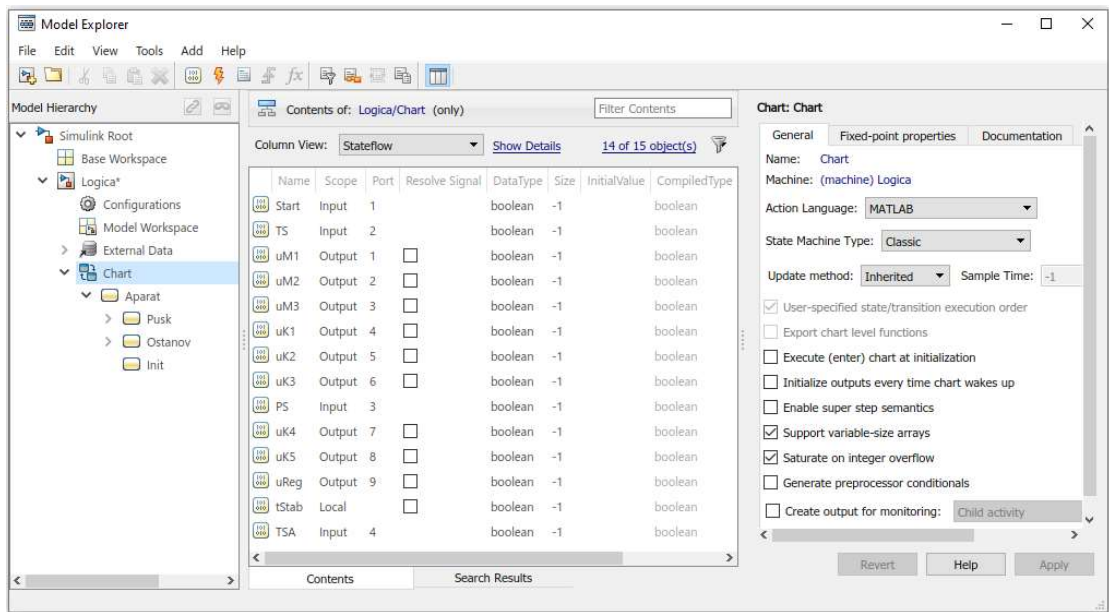


Рис. 4.9 Приклад налаштування імен і типів вхідних і вихідних сигналів чату в програмі Model Explorer

В головному чаті Aparat додаємо підчати Init, Pusk, Ostanov, які відповідають станам СЛК і пов'язуємо їх між собою умовними зв'язками-подіями, умови виконання яких записані поруч з ними (рис. 4.10).

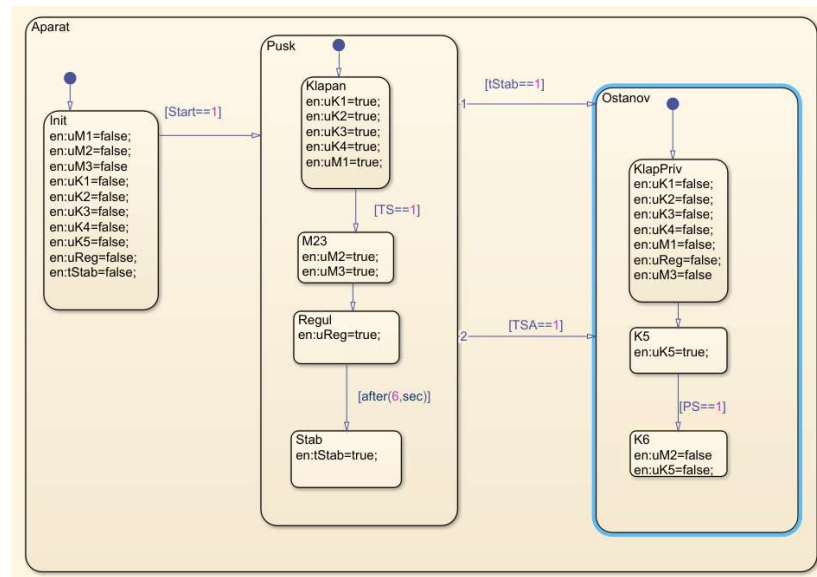


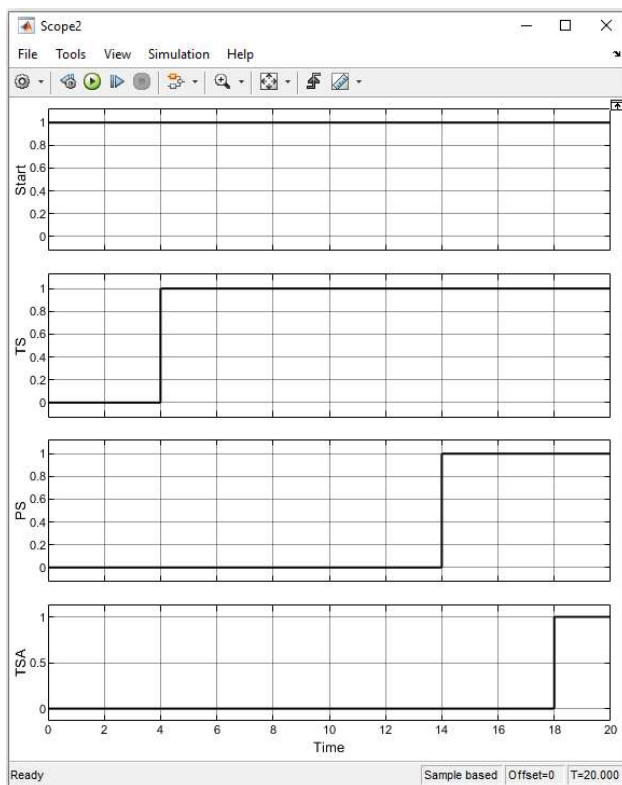
Рис. 4.10 Вигляд Chart Aparat

Підчат Init виконується першим, оскільки має на вході подію по замовчуванню Default Transition. Перехід від нього до підчату Pusk

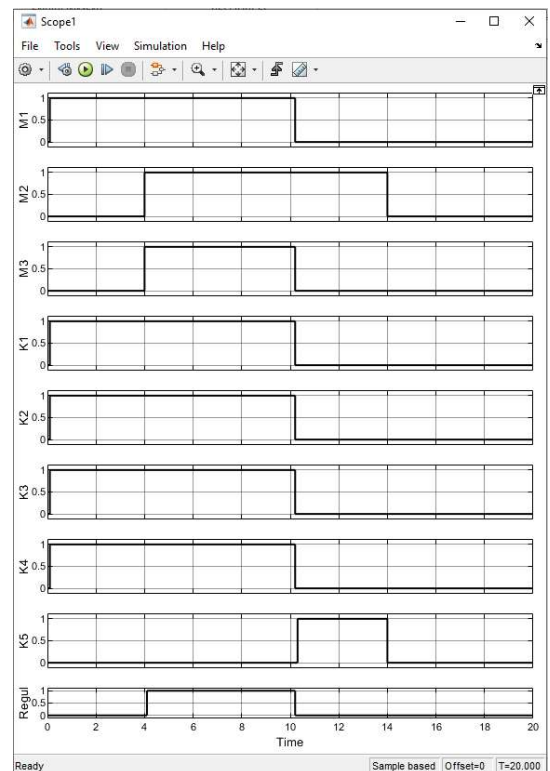
здійснюється при умові $Start==1$, тобто коли надійшла команда від оператора Start. Перехід від підчату Pusk до підчату Ostanov можливий при виконанні умови $[tStab==1]$. В підчатах Pusk і Ostanov стан внутрішніх підчатів Klapap, M23, Regul, Stab, KlapPriv, K5, K6 перемикається в заданій послідовності із необхідними затримками у часі, які були реалізовані завдяки застосуванню функції $after(n, sec)$. При вході в кожен із цих підчатів виконується команда $en:uXX=true$ або $en:uXX=false$, яка змінює значення вихідних командних змінних блоку Chart Koptil.

4.5. Імітаційне моделювання системи логічного керування

Результати моделювання СЛК в програмі Simulink, представлені на рис. 4.11, 4.12 показують, що система керування працює коректно.



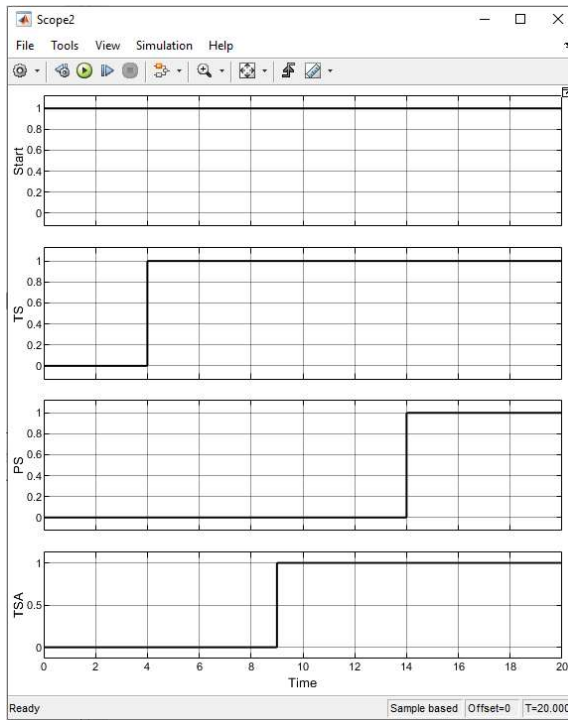
а)



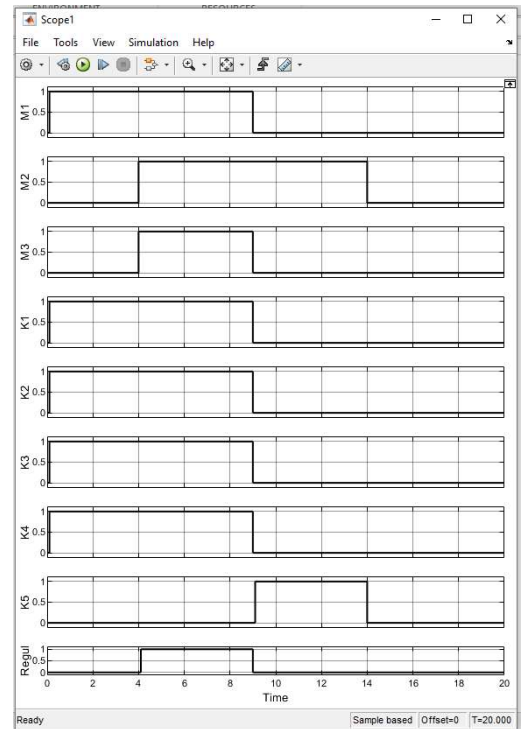
б)

Рис. 4.11 Зміни у часі при нормальному режимі роботи:

а) вхідних логічних змінних; б) керуючих дій



а)



б)

Рис. 4.11 Зміни у часі при аварії на 9-й секунді:

а) вхідних логічних змінних; б) керуючих дій

4.6 Висновки за розділом

В результаті виконання розділу для даного технологічного процесу були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки системи логічного керування (СЛК) електроприводами дріжджевирощувального апарату. Для дослідження СЛК апарату обране моделювання із застосуванням програм Simulink та Stateflow середовища Matlab. Результати моделювання СЛК в програмі Simulink показують, що система керування працює коректно як в нормальному режимі, так і в передаварійному.

5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ, РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення

5.1.1 Характеристики виробничих приміщень, де розташовуються технологічне обладнання та технічні засоби автоматизації: дріжджевирощувальний апарат знаходяться опалювальному приміщенні цеху. Зважаючи на відсутність в технологічному процесі чинників, які можуть викликати вибух або пожежу, то цю ділянку можна віднести до пожежо- та вибухобезпечної.

Датчики, регулюючі органи та виконавчі механізми системи керування розміщуються безпосередньо на апараті та трубопроводах, по яким подається освітлене сусло, розчини солей, маточні дріжджі, дріжджеве молоко та повітря. Інше технічне обладнання та АРМ оператора-технолога доцільно розмістити в окремому приміщенні з температурою 18 - 25 °С та вологістю 60 - 80%.

Визначимо класифікацію приміщення, де розміщується дріжджевирощувальний апарат. У відповідності з «Правилами улаштування електроустановок» це приміщення можна віднести до категорії «вологе приміщення, в якому відносна вологість повітря є більше ніж 60 %, але не перевищує 75 %».

Щодо небезпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

а) приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку;

б) приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з умов, що створює підвищену небезпеку:

- 1) вологості або струмопровідного пилу;
- 2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);
- 3) високої температури;
- 4) можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, які мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщений дріжджевиросчувальний апарат, слід віднести до приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом, оскільки наявні пункти 2 і 4.

5.1.2 Датчики САР контактують з наступними речовинами:

- дріжджова суспензія з температурою 20...30 °С;
- зовнішнє повітря з температурою 20...30 °С.

Регулюючі клапани контактують з наступними речовинами:

- дріжджова суспензія з температурою 20...30 °С;
- освітлене сусло, розчини солей, маточні дріжджі, дріжджеве молоко з температурою 20...30 °С.

Виконавчі механізми, які встановлені на клапанах, контактують з наступними речовинами:

- з матеріалами клапанів та навколишнім повітрям цеху з температурою 25...30 °С.

5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання

5.2.1 Для виміру температури дріжджової суспензії в апараті та в трупопроводі застосовані датчики температури JUMO 902820/50-термоперетворювач опору (Pt100) фірми JUMO з вбудованим нормуючим перетворювачем dTRANS T03 В Type 707031 - аналоговий вихід 4-20 мА

пропорційний температурі 50...100 °С (під замовлення). Живлення перетворювача 24В DC, ступінь захисту IP 68, Ex version II 1/2 G Ex ia IIC T1...T6 Ga/Gb (див. рис. 5.1, рис. 5.2).



a)

Технічні характеристики:

902820/50		Screw-in RTD temperature probe with thermowell DIN 43772, form 4	
(2) Operating temperature (additional versions upon request)			
x	150	-200 to +600 °C (wire-wound temperature sensor)	
x	386	-50 to +260 °C (thin film temperature sensor)	
x	402	-50 to +400 °C (thin film temperature sensor)	
x	415	-50 to +600 °C (thin film temperature sensor)	
(3) Measuring insert (additional versions upon request)			
x	1001	1× Pt100 in 3-wire circuit	
x	1003	1× Pt100 in 2-wire circuit	
x	1011	1× Pt100 in 4-wire circuit	
x	2001	2× Pt100 in 3-wire circuit	
x	2003	2× Pt100 in 2-wire circuit	
x	2011	2× Pt100 in four-wire circuit (only in conjunction with terminal head 321)	
(4) Tolerance class according to DIN EN 60751:2009 / IEC 60751:2008 (additional versions upon request)			
x	1	Class B (standard) (-50 to +500 °C)	
x	2	Class A (-30 to +300 °C)	
x	3	Class AA (0 to 150 °C)	
(5) Protection tube diameter D in mm (additional versions upon request)			
x	24	Ø 24 mm reduced to Ø 12.5 mm	
(6) Thermowell dimensions (insertion length/total length)			
x	205	65 mm/140 mm (previously form D1 according to DIN 43767)	
x	325	125 mm/200 mm (previously form D2 according to DIN 43767)	
...			
(7) Thermowell material			
x	26	Stainless steel 1.4571 (operating temperature 600 °C)	

b)

Рис.- 5.1. Датчик температури JUMO 902820/50:

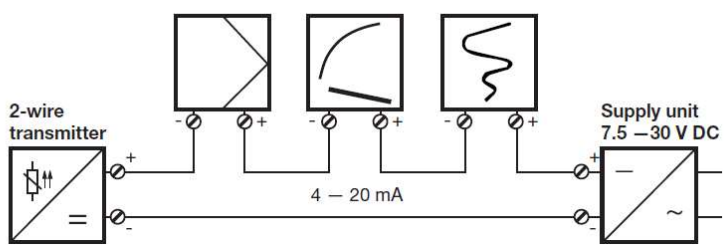
а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики



a)

Технічні характеристики:

Controller Indicator Recorder



b)

Рис.5.2.- Вбудований перетворювач температури (4/20 мА) dTRANS T03 В
Type 707031:

а) зовнішній вигляд; б) схема підключення

5.2.2 Для виміру тиску дріжджової суспензії перед циркуляційним насосом застосоване реле тиску 611GE у вибухобезпечному виконанні



а)

Технічні характеристики:

- NEMA: 4, 13
- Стійко до впливу погодних умов
- Для моделі 611GE, 611VE:
 - вибухозахищене, сертифіковане U.L. та CSA - дивись примітку
 - NEMA: 4, 7, 9, 13.

Діапазон температур довкілля:
-34 0 -+71 0 C (-30 0 F -+160 0 F)
струм комутації 11 А

б)

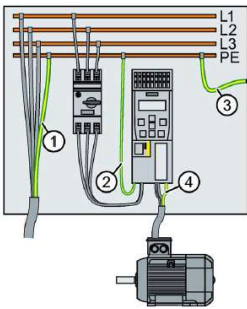
Рис.- 5.3. Реле тиску 611GE:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

5.3.1. Для зміни витрат охолоджуючої води за рахунок зміни частоти обертання насосу використаємо перетворювач частоти SINAMICS G120C

Rated output power	Rated output current	Article No. SINAMICS G120C PN (PROFINET, EtherNet/IP)	
Based on a low overload		Without filter	With filter
22 kW	43 A	6SL3210-1KE24-4UF1	6SL3210-1KE24-4AF1



① Protective conductor for line feeder cables
② Protective conductor for inverter line feeder cables
③ Protective conductor between PE and the electrical cabinet
④ Protective conductor for motor feeder cables

Рис. 5.4 Зовнішній вигляд та схема підключення живлення SINAMICS G120C

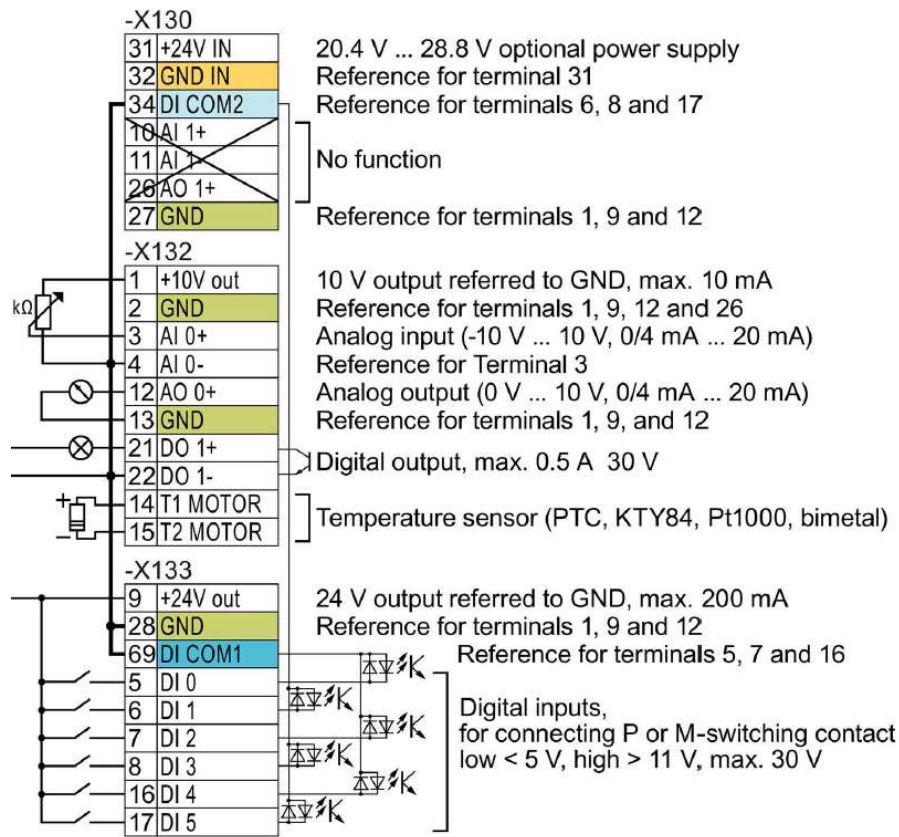


Рис. 5.5 Схема підключення клем входів і виходів SINAMICS G120C

5.3.2. Для переривання потоків освітленого сусла, розчинів солей, маточних дріжджів, дріжджевого молока використовуємо електромагнітні клапани CEME 8617, сигнал керування 0-220 V AC.



© 2017 Watton LLC, Kyiv, Ukraine

Технічні характеристики:

Дія
сервокерування
Виконання нормально закритий
Пропускна здатність K_v 22 м³/год
Мінімальний диференціал тиску 0,3 бар
Максимальний диференціал тиску 10 бар;
живлення 230 V AC
ступінь захисту IP 54;

Рис. 5.6 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики
клапану CEME 8617

5.3.2. Для електроприводу вентилятора застосований автомат захисту двигуна Schneider Electric GV3P65 потужністю 15 кВт



Технічні характеристики:
 номінальний струм 65 А;
 струм короткого замикання
 (AC) 50-60 Hz 240 V [kA] 50;

Рис. 5.7 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики автоматичного вимикача Schneider Electric GV3P65

5.3.3 Для електроприводу вентилятора застосований контактор Schneider Electric LC1E65M5 потужністю 15 кВт



Технічні характеристики:
 номінальний струм 65 А;
 номінальна робоча напруга 1000 В;
 номінальна робоча напруга катушки 220 В
 ;

Рис. 5.8 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики контактора Schneider Electric LC1E65M5

Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24В DC, 6А, LED (RXM4AB2BDPVS) служить для розмноження сигналів та гальванічного розподілу.

5.4. Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі

5.4.1 Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи.

Виконавши аналіз системи автоматизації вирощування дріжджів за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.

Табл. 5.1 Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Температура суспензії в апараті	A	I	4...20 mA DC
2	Температура суспензії після теплообмінника	A	I	4...20 mA DC
3	Сигнал стану авт.вимикача M1	D	I	24 V DC
4	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
5	Сигнал перемикача режиму M1	D	I	24 V DC
6	Сигнал стану авт.вимикача M2	D	I	24 V DC
7	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
8	Сигнал перемикача режиму M2	D	I	24 V DC
9	Сигнал стану авт.вимикача M3	D	I	24 V DC
10	Сигнал стану контактора M3	D	I	24 V DC
11	Сигнал перемикача режиму M3	D	I	24 V DC
12	Сигнал тиску перед циркуляційним насосом	D	I	24 V DC
13	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
14	Сигнал керування M2	D	O	24 V DC
15	Сигнал керування M3	D	O	24 V DC
16	Сигнал керування клапаном K1	D	O	24 V DC
17	Сигнал керування клапаном K2	D	O	24 V DC
18	Сигнал керування клапаном K3	D	O	24 V DC
19	Сигнал керування клапаном K4	D	O	24 V DC
20	Сигнал керування клапаном K5	D	O	24 V DC
21	Сигнал керування частотним перетворювачем	A	O	4...20 mA DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 1, DI – 10, DO – 8

5.4.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

В системі автоматизації ПЛК та допоміжне устаткування розташовуються в одному приміщенні компактно, тому виберемо централізовану схему розміщення модулів системи керування.

Систему керування будемо розробляти на базі контролера S7-1500 фірми Siemens. Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у настінній шафі зі ступенем захисту не менш IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні.

Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання, а не з розширеним температурним діапазоном, які дорожче.

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролера, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд (рис. 5.12).

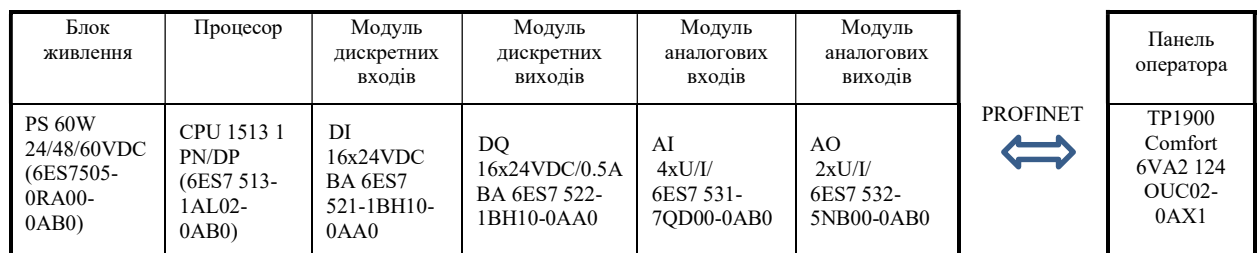


Рис. 5.9 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

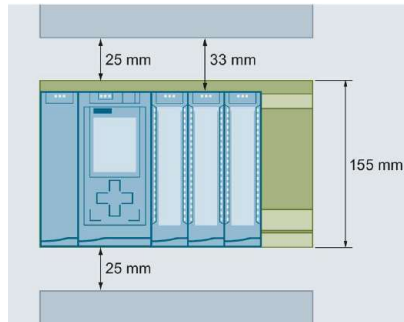


Рис. 5.10 Рекомендації з монтажу Simatic S7-1500 у шафі

Центральний процесор CPU 1513 1 PN без вбудованих каналів вводу-виводу, орієнтований на рішення стандартних завдань автоматичного керування. Дозволяє використовувати в системі локального вводу-виводу весь спектр сигнальних, технологічних та комунікаційних модулів S7-1500.

Article number	6ES7513-1AL02-0AB0	Work memory	
General information		• integrated (for program)	300 kbyte
Product type designation	CPU 1513-1 PN	• integrated (for data)	1.5 Mbyte
HW functional status	FS01	Load memory	
Firmware version	V2.5	• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	32 Gbyte
Engineering with		Backup	
• STEP 7 TIA Portal configurable/integrated as of version	V15	• maintenance-free	Yes
Configuration control		CPU processing times	
via dataset	Yes	for bit operations, typ.	40 ns
Display		for word operations, typ.	48 ns
Screen diagonal [cm]	3.45 cm	for fixed point arithmetic, typ.	64 ns
Control elements		for floating point arithmetic, typ.	256 ns
Number of keys	8	CPU-blocks	
Mode buttons	2	Number of elements (total)	2 000; Blocks (OB, FB, FC, DB) and UDTs
Supply voltage		DB	
Type of supply voltage	24 V DC	• Number range	1 ... 60 999; subdivided into: number range that can be used by the user: 1 ... 59 999, and number range of DBs created via SFC 86: 60 000 ... 60 999
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V	• Size, max.	1.5 Mbyte; For non-optimized block accesses, the max. size of the DB is 64 KB
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V	FB	
Reverse polarity protection	Yes	• Number range	0 ... 65 535
Mains buffering		• Size, max.	300 kbyte
• Mains/voltage failure stored energy time	5 ms	FC	
• Repeat rate, min.	1/s	• Number range	0 ... 65 535
Input current		• Size, max.	300 kbyte
Current consumption (rated value)	0.7 A	OB	
Current consumption, max.	0.95 A	• Size, max.	300 kbyte
Inrush current, max.	1.9 A; Rated value	• Number of free cycle OBs	100
I_{Pt}	0.02 A ² ·s	• Number of time alarm OBs	20
Power		• Number of delay alarm OBs	20
Infeed power to the backplane bus	10 W	• Number of cyclic interrupt OBs	20; With minimum OB 3x cycle of 500 µs
Power consumption from the backplane bus (balanced)	5.5 W	• Number of process alarm OBs	50
Power loss		• Number of DPV1 alarm OBs	3
Power loss, typ.	5.7 W	• Number of isochronous mode OBs	1
Memory		• Number of technology synchronous alarm OBs	2
Number of slots for SIMATIC memory card	1	• Number of startup OBs	100
SIMATIC memory card required	Yes		

Рис. 5.11 Технічні дані CPU 1513 1 PN

Для вводу дискретних сигналів обраний модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)

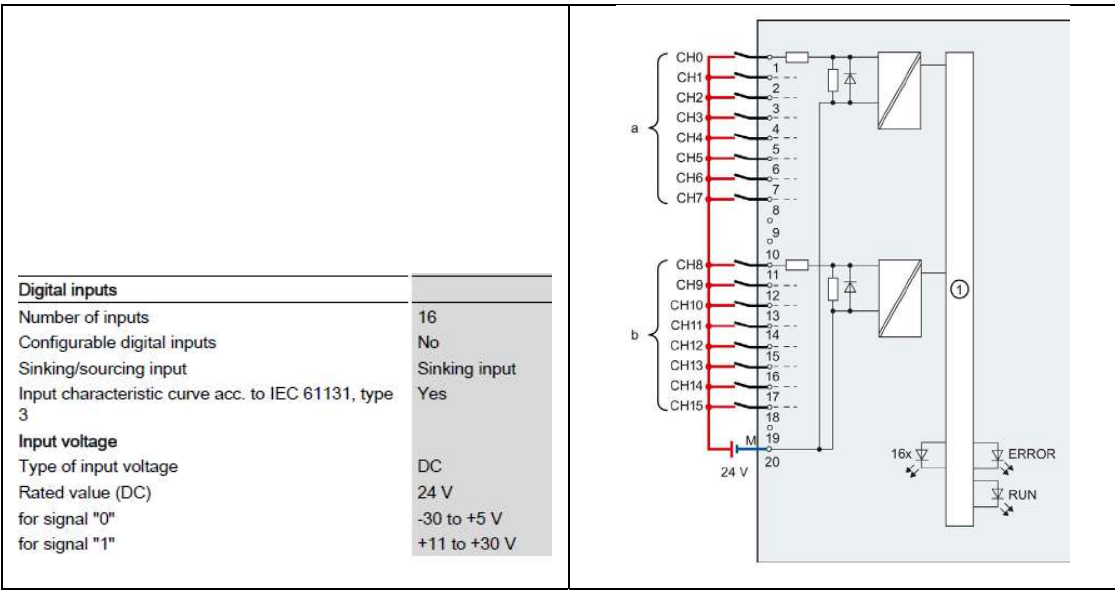


Рис. 5.12 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

Для виводу дискретних сигналів обраний модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)

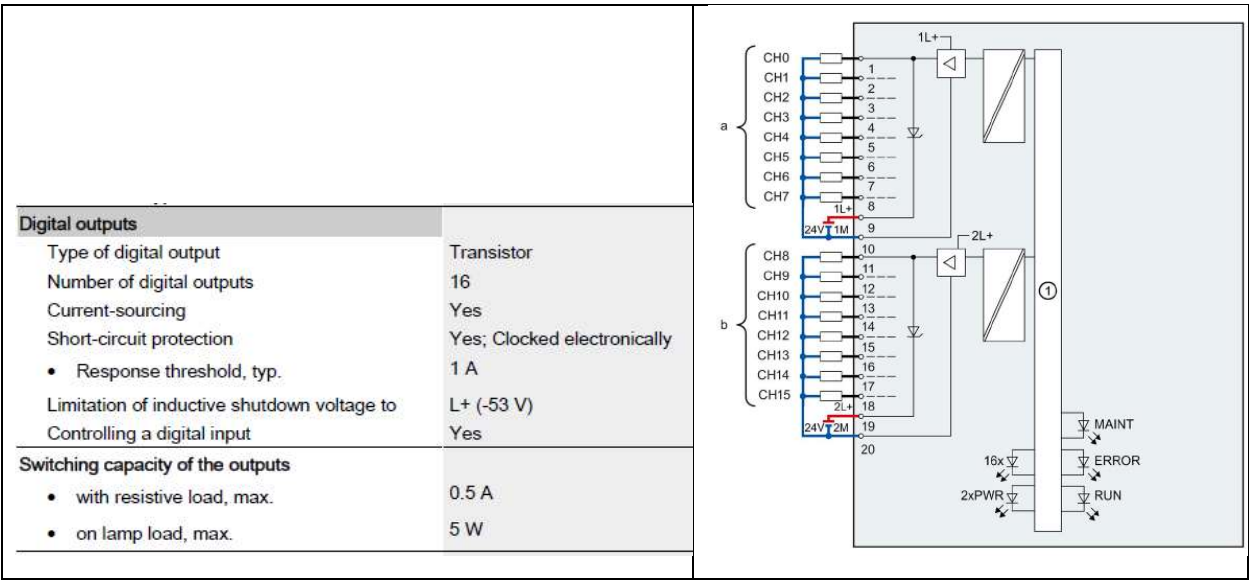


Рис. 5.13 Технічні характеристики та схема підключень

DQ 16x24VDC/0.5A BA

Для вводу аналогових сигналів обраний модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00-0AB0).

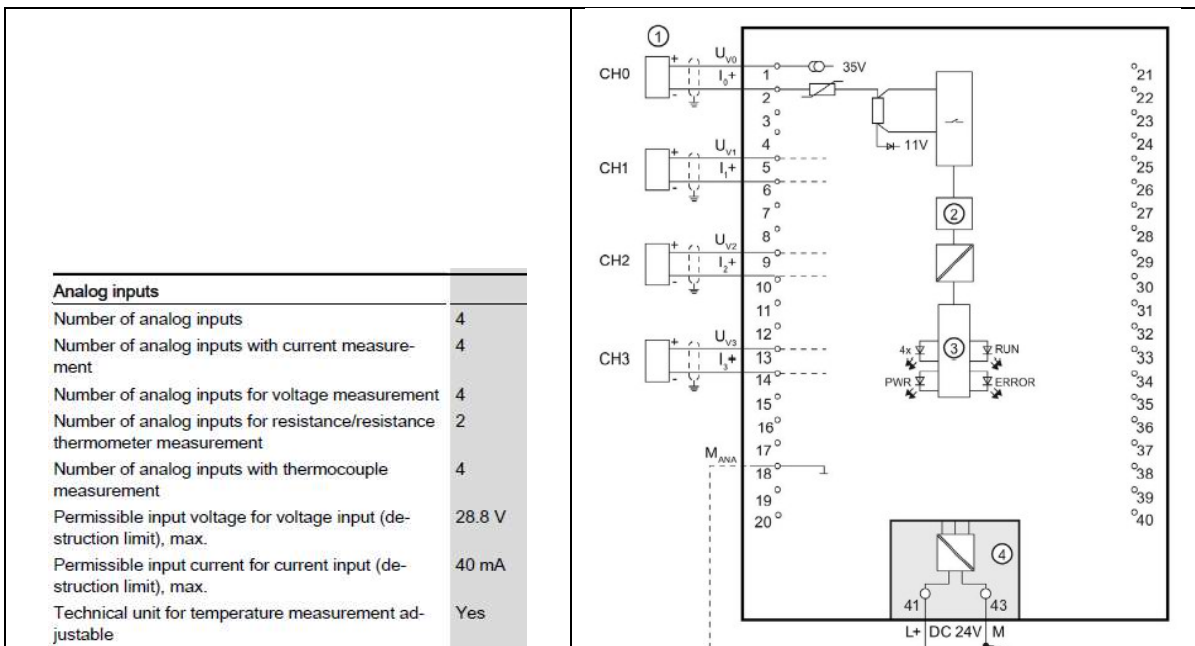


Рис. 5.14 Технічні характеристики та схема підключень датчиків сили струму до входів 6ES7 531-7QD00-0AB0

Для виводу аналогових сигналів обраний модуль АО 2xU/I/6ES7 532-5NB00-0AB0

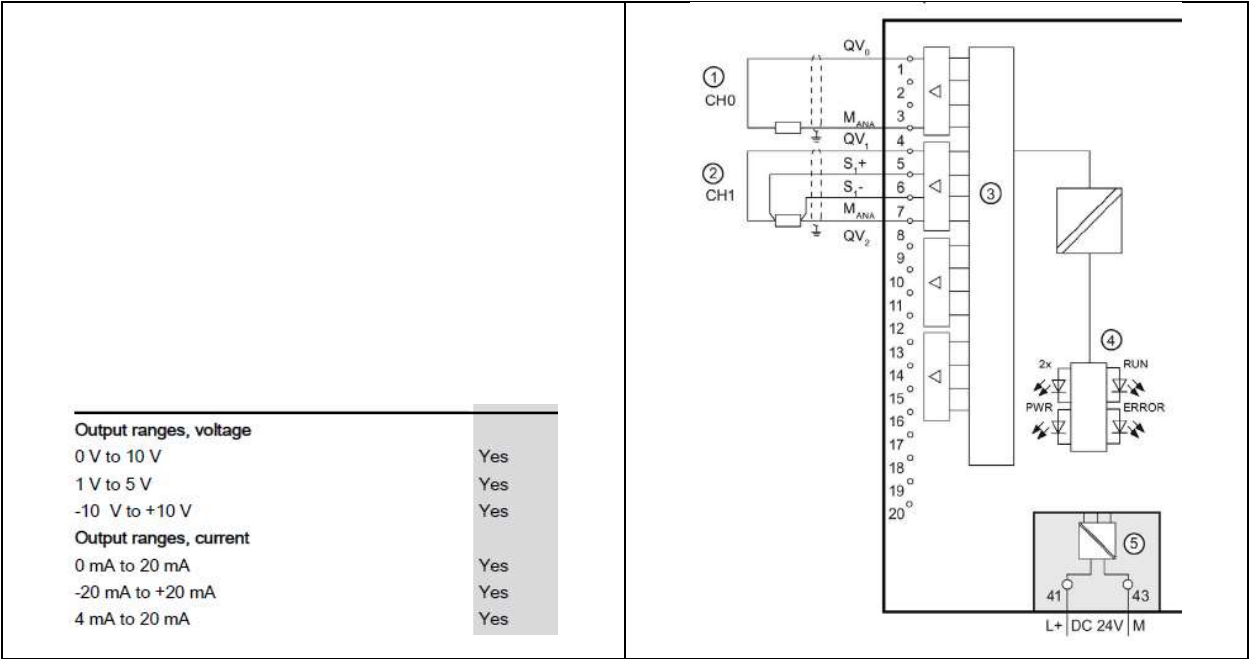


Рис. 5.15 Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7 532-5NB00-0AB0

Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом вирощування дріжджів. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК

Розробку інтелектуальної частини технічних засобів системи керування проведемо у наступній послідовності:

- спочатку здійснимо програмне конфігурування модулів вводу/виводу контролера, тобто встановимо в них такі типи і рівні сигналів, які б відповідали типу і рівням сигналів від датчиків;
- далі розробимо програми логічного керування та регулювання, алгоритми яких були створені і протестовані в попередніх розділах.

6.1 Програмне конфігурування контролера

У середовищі TIA Portal створюємо проект і додаємо до його складу обрані контролер CPU 1513-1 PN та панель оператора TP1900 Comfort.

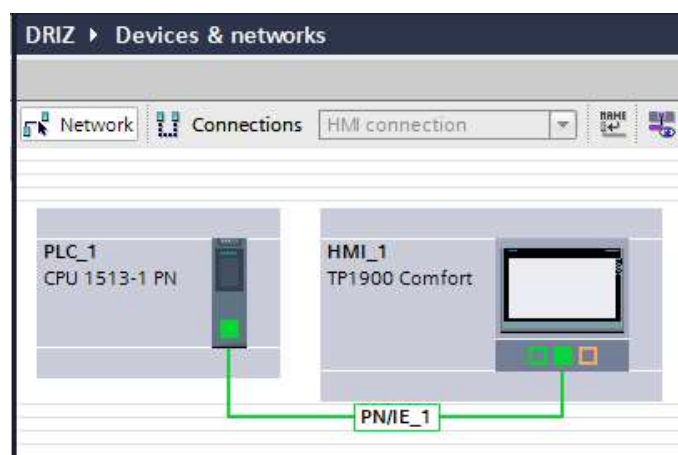


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту

Виконуємо конфігурування обраного контролера і модулів ПЗО. Для цього необхідні модулі вводу/виводу перетягуємо в поле редагування із Hardware catalog, присвоюємо імена фізичним входам і виходам (рис. 6.2). Визначаємо у властивостях модулів тип сигналів та діапазони їх зміни (рис. 6.3).

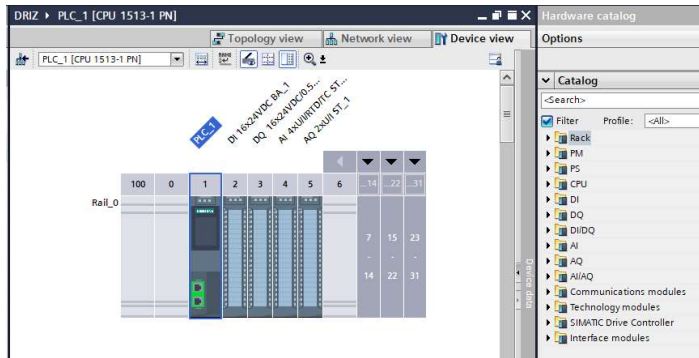


Рис. 6.2 Конфігурування контролера і модулів ПЗО

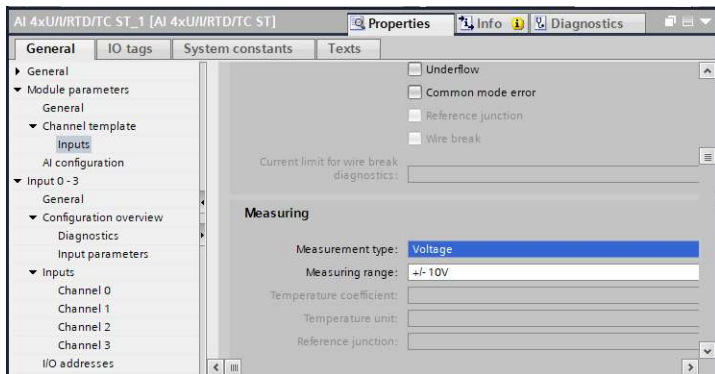


Рис. 6.3 Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни

Остаточне визначення імен входів/виходів проводимо в таблиці тегів в розділі PLC tags програми.

DRIZ > PLC_1 [CPU 1513-1 PN] > PLC tags > Default tag table [103]

Tags User constants System constants

Default tag table

	Name	Data type	Address	Retain	Access...	Write...	V...
15	bOpenK1	Bool	%I0.0		☒	☒	☒
16	bCloseK1	Bool	%I0.1		☒	☒	☒
17	bOpenK2	Bool	%I0.2		☒	☒	☒
18	bCloseK2	Bool	%I0.3		☒	☒	☒
19	bOpenK3	Bool	%I0.4		☒	☒	☒
20	bCloseK3	Bool	%I0.5		☒	☒	☒
21	bOpenK4	Bool	%I0.6		☒	☒	☒
22	bCloseK4	Bool	%I0.7		☒	☒	☒
23	bForwardM1	Bool	%I1.0		☒	☒	☒
24	bForwardM2	Bool	%I1.1		☒	☒	☒
25	bForwardM3	Bool	%I1.2		☒	☒	☒
26	bOpenK5	Bool	%I1.3		☒	☒	☒
27	bCloseK5	Bool	%I1.4		☒	☒	☒
28	Input14	Bool	%I1.5		☒	☒	☒
29	Input15	Bool	%I1.6		☒	☒	☒
30	Input16	Bool	%I1.7		☒	☒	☒
31	bOnK1	Bool	%Q0.0		☒	☒	☒
32	bOnK2	Bool	%Q0.1		☒	☒	☒
33	bOnK3	Bool	%Q0.2		☒	☒	☒
34	bOnK4	Bool	%Q0.3		☒	☒	☒
35	bOnM1	Bool	%Q0.4		☒	☒	☒
36	bOnM2	Bool	%Q0.5		☒	☒	☒
37	bOnM3	Bool	%Q0.6		☒	☒	☒
38	bOnK5	Bool	%Q0.7		☒	☒	☒

Рис. 6.4 Приклад вікна таблиці тегів

6.2 Розробка програмного забезпечення

Створювати програми для ПЛК будемо із застосуванням функціональних блоків бібліотеки Siemens Open Library (SOL).

6.2.1. За допомогою миші перетягуємо з бібліотеки SOL в наш проект теги та необхідні функціональні блоки.

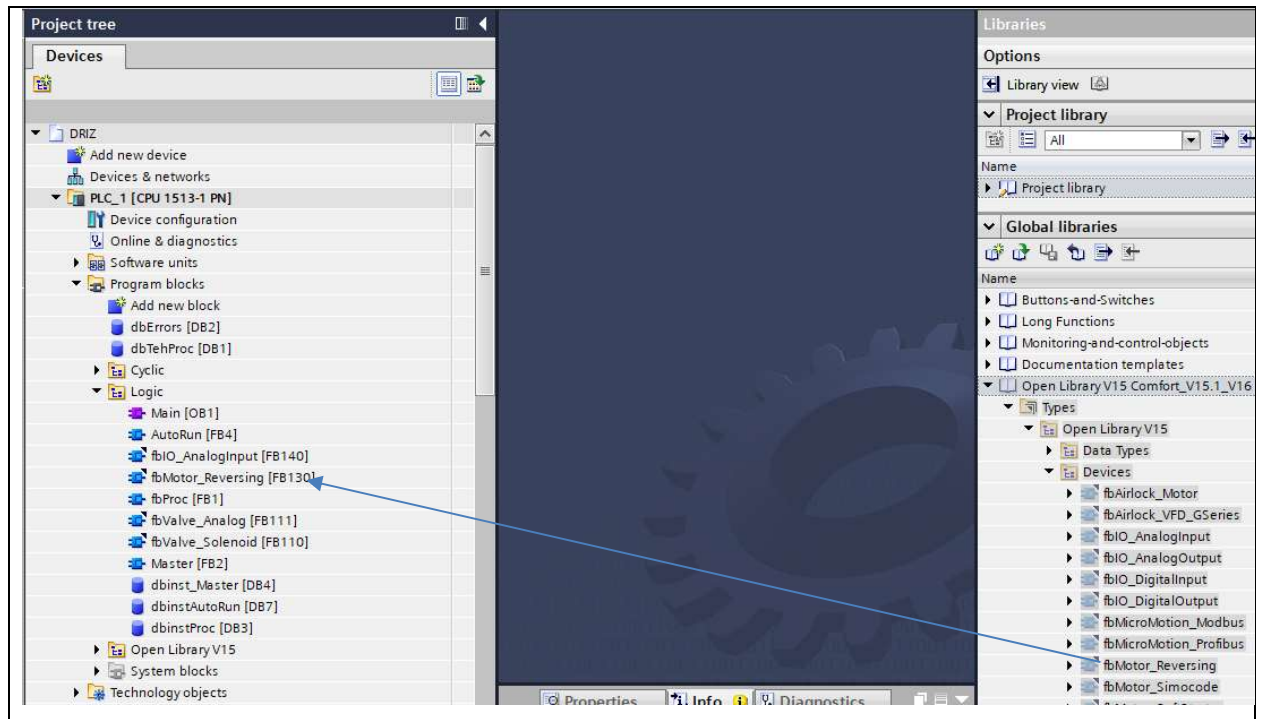


Рис. 6.5 Приклад додавання бібліотечних тегів та функціональних блоків
FB Motor-Reversing, FB Valve_Analog, FB Valve_Solenoid

Використовуючи типи даних бібліотеки SOL, створюємо два глобальних блоки даних dbTehProc, dbErrors, які необхідні для організації обміну інформацією між PLC-1 та HMI-1. В цих блоках визначаємо імена змінних та обираємо для них необхідні типи даних (рис. 6.6).

6.2.2 Створюємо підпрограми логічного керування. Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме клапанів K1-K5, електроприводів M1, M2. Визначаємо локальні змінні fbProc (рис. 6.7), а потім створюємо код програми шляхом застосування готових

функціональних блоків бібліотеки SOL, до входів і виходів яких підключаємо необхідні змінні із dbTehProc, dbErrors та таблиці тегів (рис. 6.8).

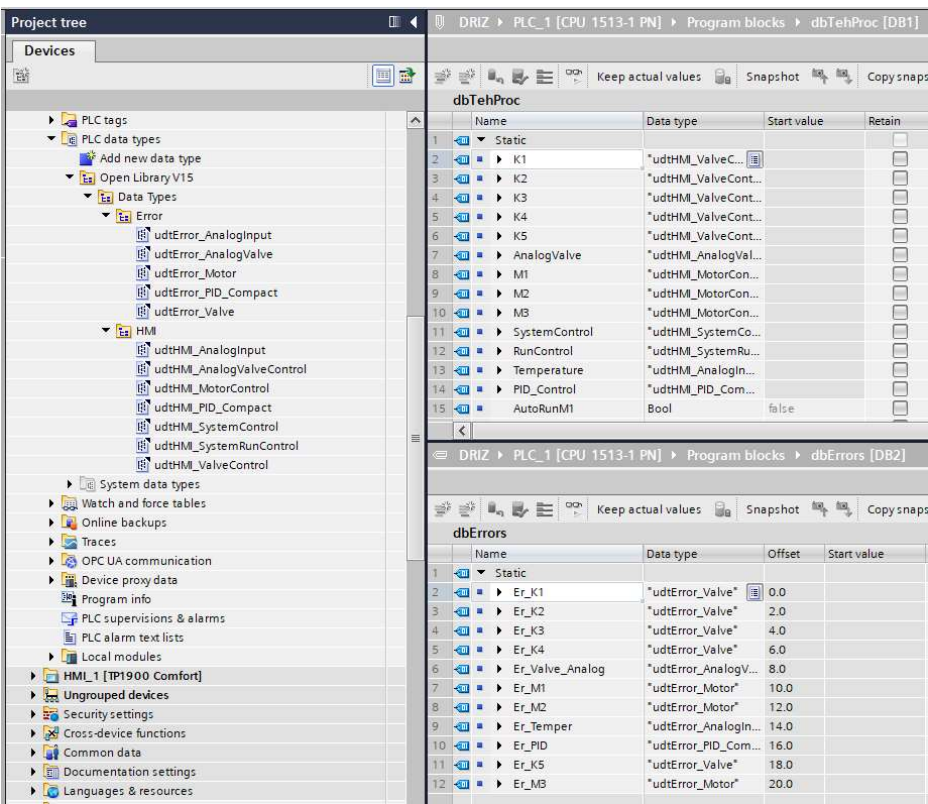


Рис. 6.6 Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

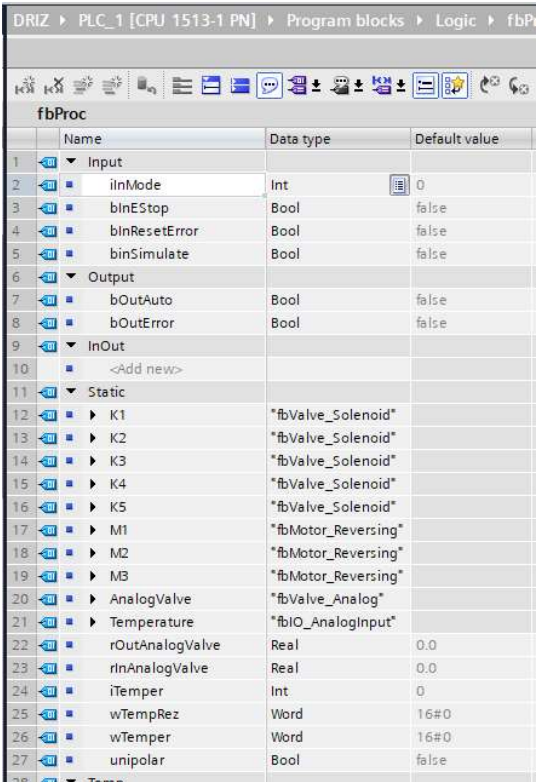


Рис. 6.7 Інтерфейс fbProc

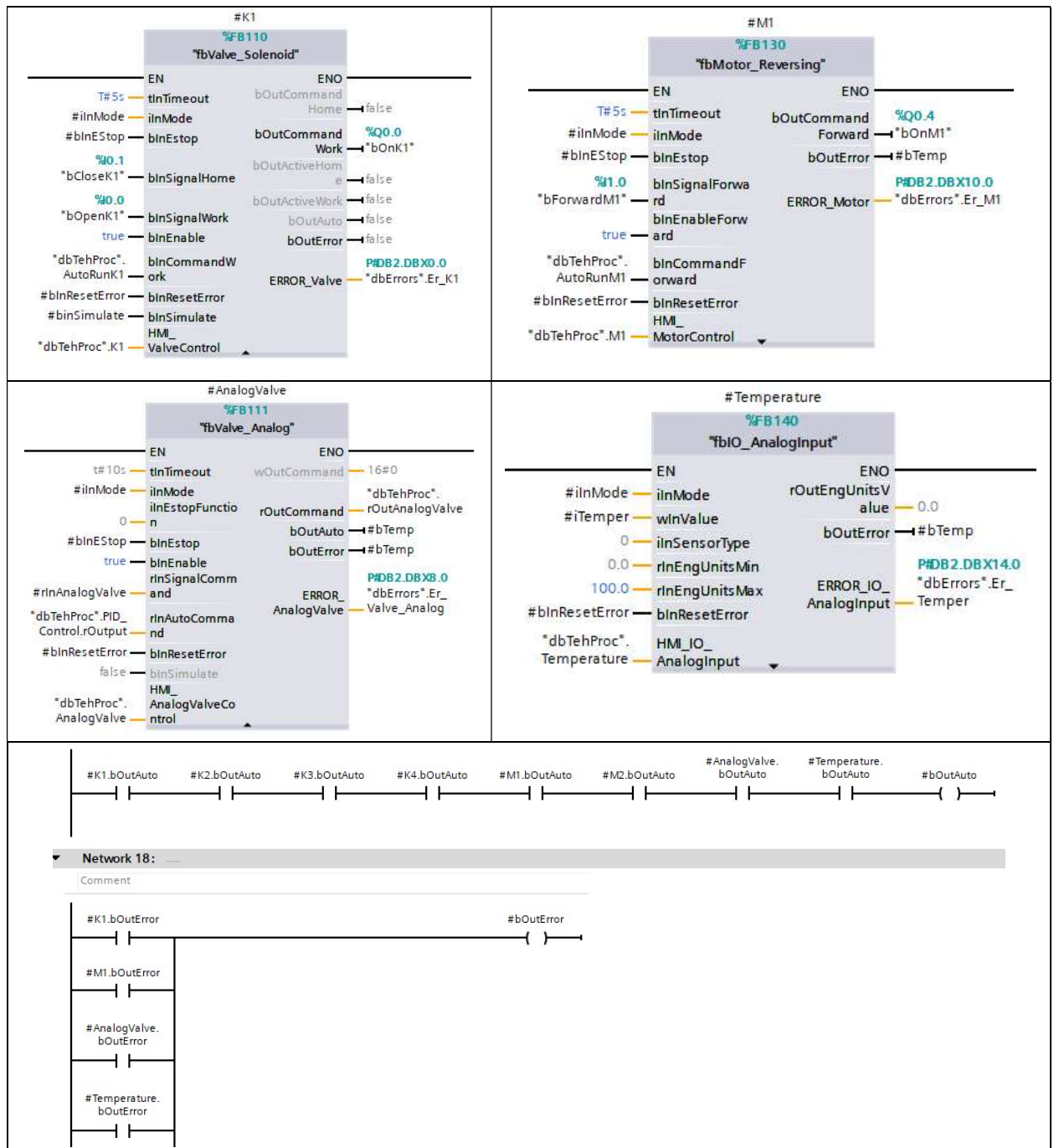


Рис. 6.8 Фрагменти підпрограми fbProc

Далі створюємо підпрограму автоматичного пуску та зупинки обладнання fbAutoRun, яка базується на алгоритмах, розроблених у розділі 4. Спочатку визначаємо інтерфейс підпрограми (рис. 6.9), а потім за допомогою виклику змінних dbTehproc.AutoRun здійснюємо алгоритм автоматичного пуску і зупинки системи (рис. 6.10).

DRIZ ▸ PLC_1 [CPU 1513-1 PN] ▸ Program blocks ▸ Logic ▸ Aut

AutoRun

	Name	Data type	Default value
1	▼ Input		
2	bInEnableStart	Bool	false
3	bInNotError	Bool	false
4	▼ Output		
5	bOutAutoRunning	Bool	false
6	▼ InOut		
7	<Add new>		
8	▼ Static		
9	bAutoRun	Bool	false
10	bAutoStop	Bool	false
11	bPID	Bool	false
12	bOstanov	Bool	false
13	bM1	Bool	false
14	bM2	Bool	false
15	bK1_K4	Bool	false
16	bK5	Bool	false
17	Timer1	IEC_TIMER	
18	Timer2	IEC_TIMER	
19	Timer3	IEC_TIMER	
20	Timer4	IEC_TIMER	

Рис. 6.9 Інтерфейс fbAutoRun

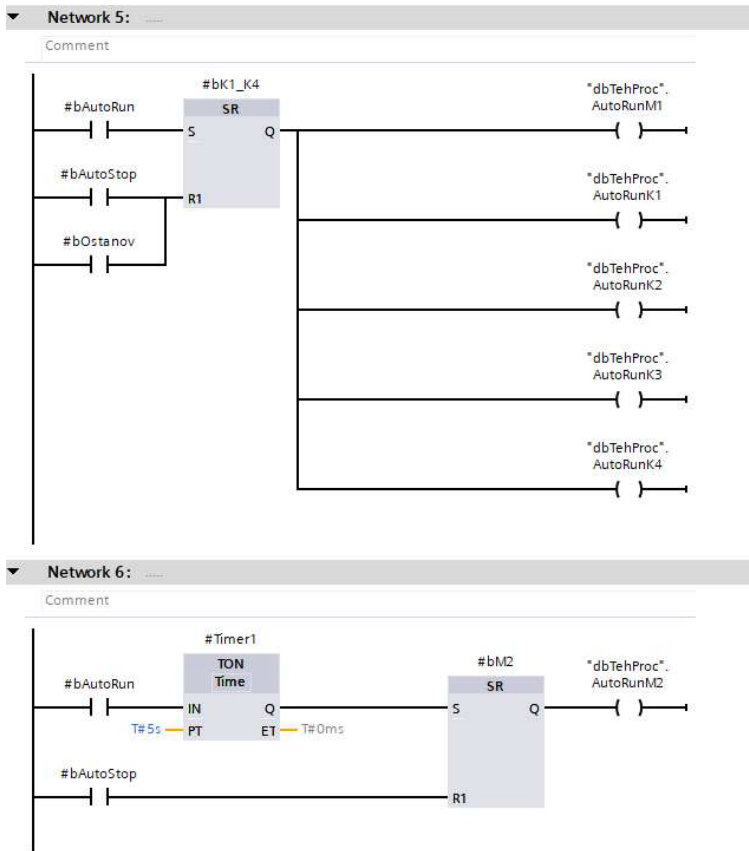


Рис. 6.10 Фрагмент програми fbAutoRun

Виклик на виконання підпрограм fbProc та fbAutoRun здійснюється в програмі Master.

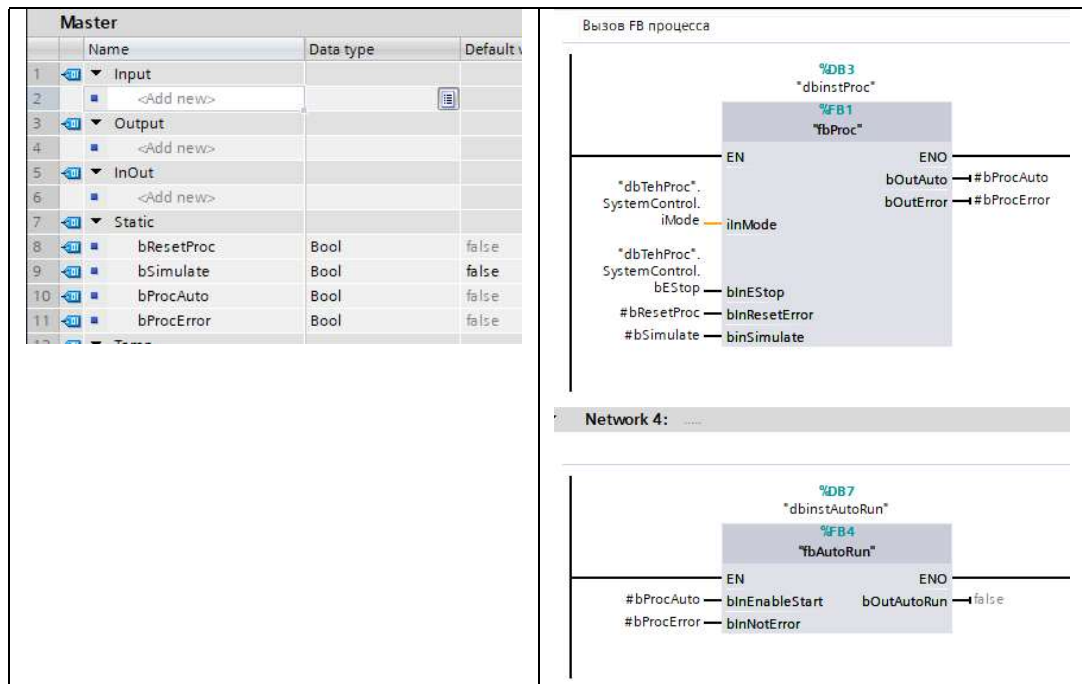


Рис. 6.11 Интерфейс та текст програми Master

6.3 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК

Модель САР реалізована у функціональному блоці fbSAR, розрахунок якого виконується кожну 0.1 сек в організаційному блоці Cyclic interrupt OB30. Необхідність використання саме організаційного блока OB30 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSsm_Lagging і FB LSim_PT1), що формують модель ОК, і типових регуляторів fbPID_Compact.

Спочатку визначаємо інтерфейс підпрограми fbSAR (рис. 6.12), а потім створюємо її код (рис. 6.13, 6.14). Параметри інерційних ланок вносимо у вигляді констант, значення яких відповідають моделі ОК із розділу 2.

Figure 10 illustrates a network with 10 nodes, organized into a hierarchical structure. The nodes are labeled as follows:

- Top Row:** #Ap2n1, #Ap2n5, #Ap2n2
- Second Row:** #Ap2n3, #Ap2n4, #Ap2n6
- Bottom Row:** #Ap2n7, #Ap2n8, #Ap2n9

Each node is represented by a box containing its name and a list of inputs and outputs. The inputs and outputs are connected by lines, showing the flow of information between nodes. The network is labeled "Network 3:" and "Mozems OK".

The screenshot shows the 'PID_Regulator' block in the Simulink library. The block is light blue with a title bar containing the text '#PID_reg' and '%F8196'. The main area is divided into two sections: 'b1bPID_Compact*' and 'ERROR_PID'. The 'b1bPID_Compact*' section has inputs for 'EN', 'iMode', 'bEstop', 'rPID_SP', 'rInInput', 'xdInInputPER', 'rInMenuValue', 'bInMenuEnable', 'iPID_mode', 'bStart_PID', and 'HMI_PID'. The 'ERROR_PID' section has inputs for 'bOutAuto', 'bOutError', 'diOutErrorCode', and 'PIDB2.DBX16.0'. The outputs are 'ENO', 'bTemp', 'bTemp', 'diTemp', 'PIDB2.DBX16.0', and 'Er_PID'.

Input/Output	Signal Name	Variable Name
EN	ENO	
bOutAuto	bTemp	
bOutError	bTemp	
diOutErrorCode	diTemp	
PIDB2.DBX16.0	PIDB2.DBX16.0	
Er_PID	Er_PID	
iMode		
diOutError		
bEstop		
binEstop		
inEstopFunction		
0		
rPID_SP		
rInSetPoint		
rInInput		
xdInInputPER		
rInMenuValue		
bInMenuEnable		
16#0		
0.0		
false		
iPID_mode		
bStart_PID		
HMI_PID		
bInResetError		
%DB6		
dbPID_Compact		

Рис. 6.14 – Фрагмент підпрограми fbSAR, що реалізує ПІД-регулятор
Налаштування параметрів ПІД-регулятора проводимо через його блок даних, що знаходяться в розділі Technology objects в дереві каталогу проекту.

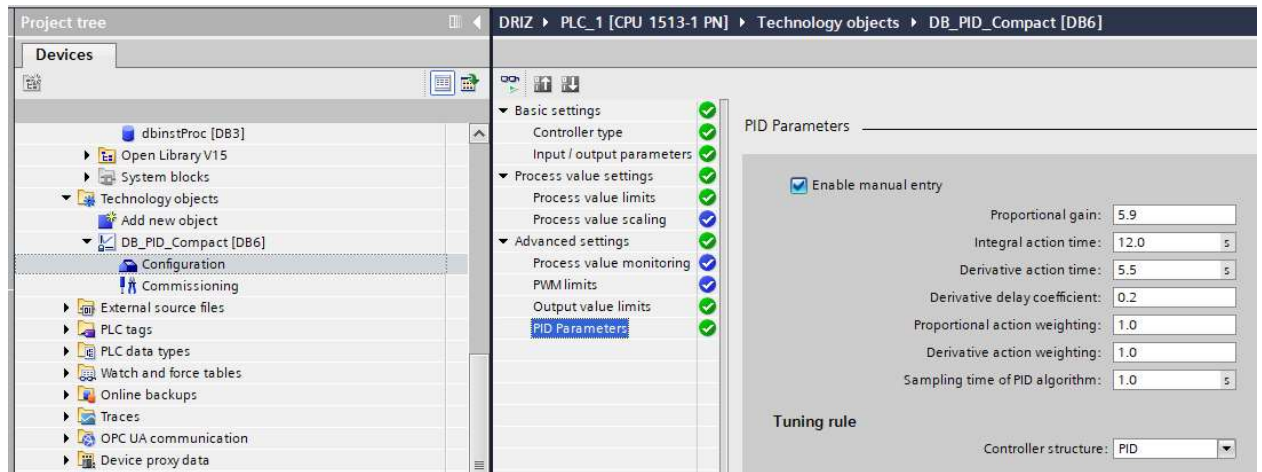


Рис. 6.15 Приклад налаштування параметрів ПІД-регулятора

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM, в яку завантажуються розроблений проект.



Рис. 6.16 Вигляд вікна програми PLCSIM

Результати тестування підтвердили, що програми коректно відтворюють алгоритми керування. На рисунку 6.16 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.

Висновок

В результаті виконання даного розділу були вивчені основні характеристики контролерів фірми Siemens сімейства S7-1500 та принципи їх програмування.

Отримано навички використання документації виробника, правильного вибору необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання.

7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК

7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування

Для організації зв'язку вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET.

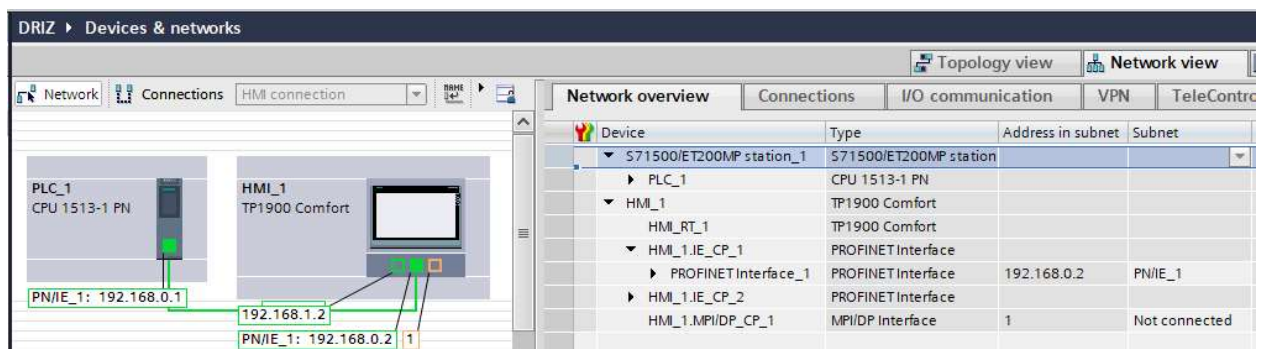


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

Конфігурування панелі оператора TP 1900 Comfort виконуємо в розділі HMI_1/Runtime settings дерева каталогу проекту.

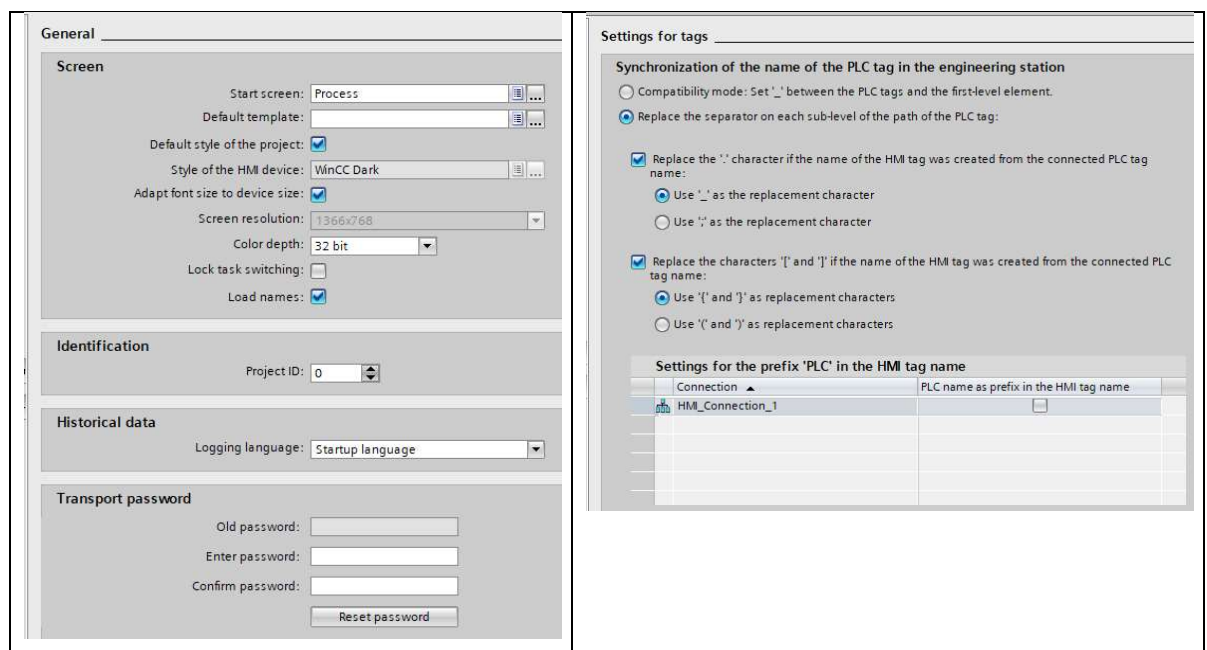


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

Щоб пов'язати між собою теги ПЛК та НМІ, створюємо таблицю НМІ-тегів Default tag table, куди за допомогою миші перетаскуємо складові блоку даних ПЛК dbTechProc.

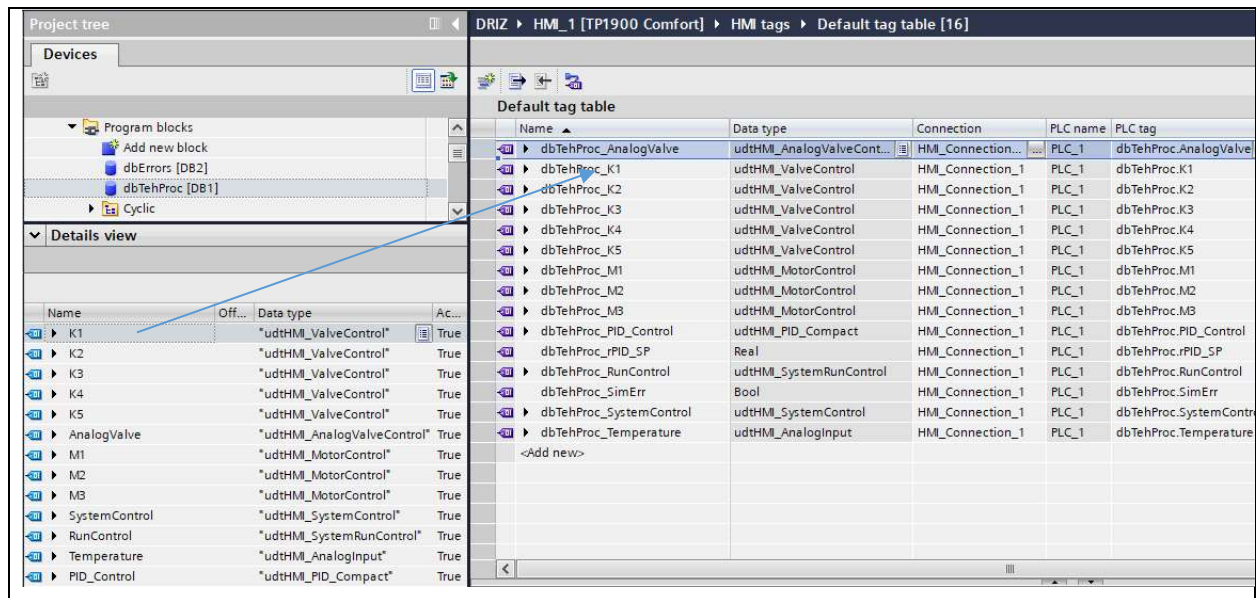


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці НМІ-тегів

В подальшому завдяки цьому взаємозв'язку зміни в змінних ПЛК будуть відображатися в елементах НМІ.

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

Структура екранів автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-технолога повинна містити в собі екрани для керування процесом вирощування дріжджів:

- екран схеми установки для управління технологічним процесом;
- екран для спостереження за регульованими змінними;
- екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічного агрегату.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

екран схеми установки надає функції управління виконавчими механізмом та електродвигунами, як в автоматичному режимі, так і в ручному;

екран для спостерігання за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіками в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регулятора;

екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити повідомлення про несправності, а також переглядати повідомлення, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.

Шаблон екранів розглядається як основа для інших екранів.

Шаблон екранів Template_1 створюється в розділі Screen Management дерева каталогу проекту в розділі НМІ командою Add new template. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону будуть присутні на всіх екранах, які входять в проект.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Він включає елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, прізвище розробника проекту. Для їх створення із розділу Toolbox проекту використаємо інструменти редагування Text field та Data/Time field, які за допомогою миші встановимо на екрані шаблону.

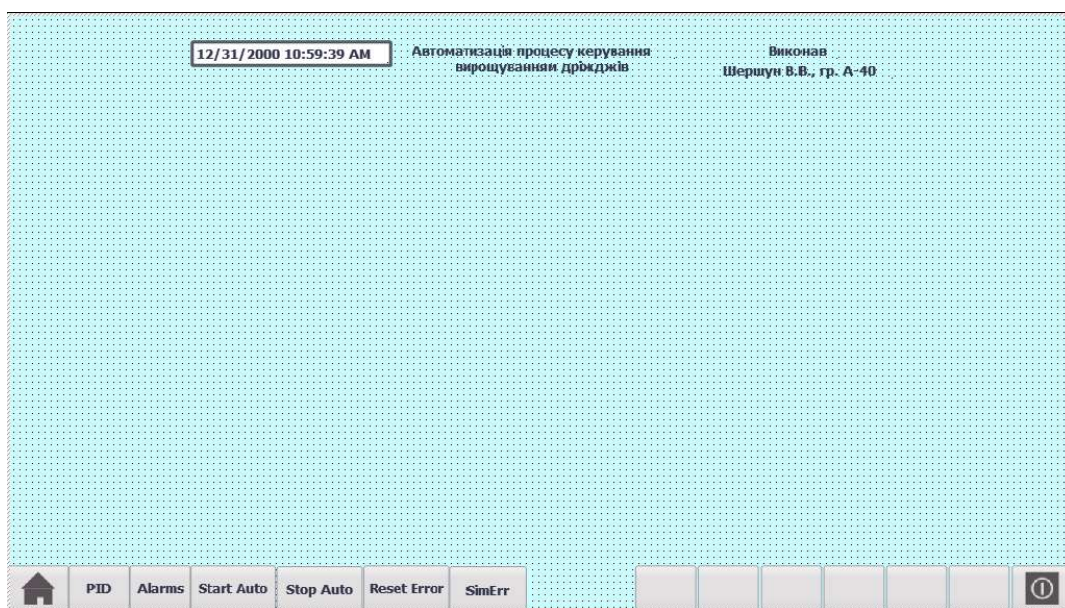


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. За допомогою миші перемістимо інструмент редагування Button із розділу Toolbox на екран шаблону. Для перемикання вікон використовуються спеціальна системна функція ActivateScreen, яку слід пов'язати із властивістю Events кожної кнопки, вказавши ім'я екрану, на який треба перемкнутися.

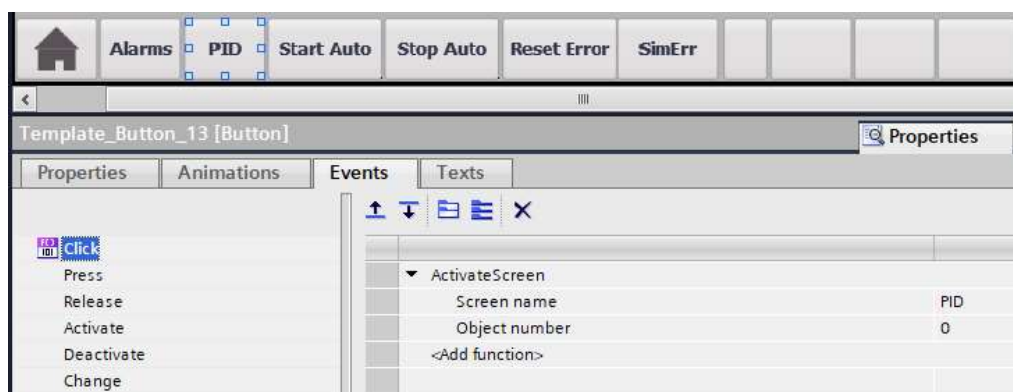


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

Щоб у оператора-технолога була можливість керувати обладнанням, для кожної одиниці обладнання спочатку за допомогою команди Add new pop-up screen створюємо пусті спливаючі вікна Pop-up screens, а потім заповнюємо їх відповідними зображеннями з розділу бібліотеки SOL (див. рис. 7.6).

У властивостях Properties кожного спливаючого вікна на вкладці Interface встановлюємо взаємозв'язок із тегом HMI, який буде забезпечувати динамізацію зображення вікна та можливість керування оператором станом електроприводів та клапанів, а також на вкладці Events вказуємо системну команду ShowPopupScreen (див. рис. 7.7).

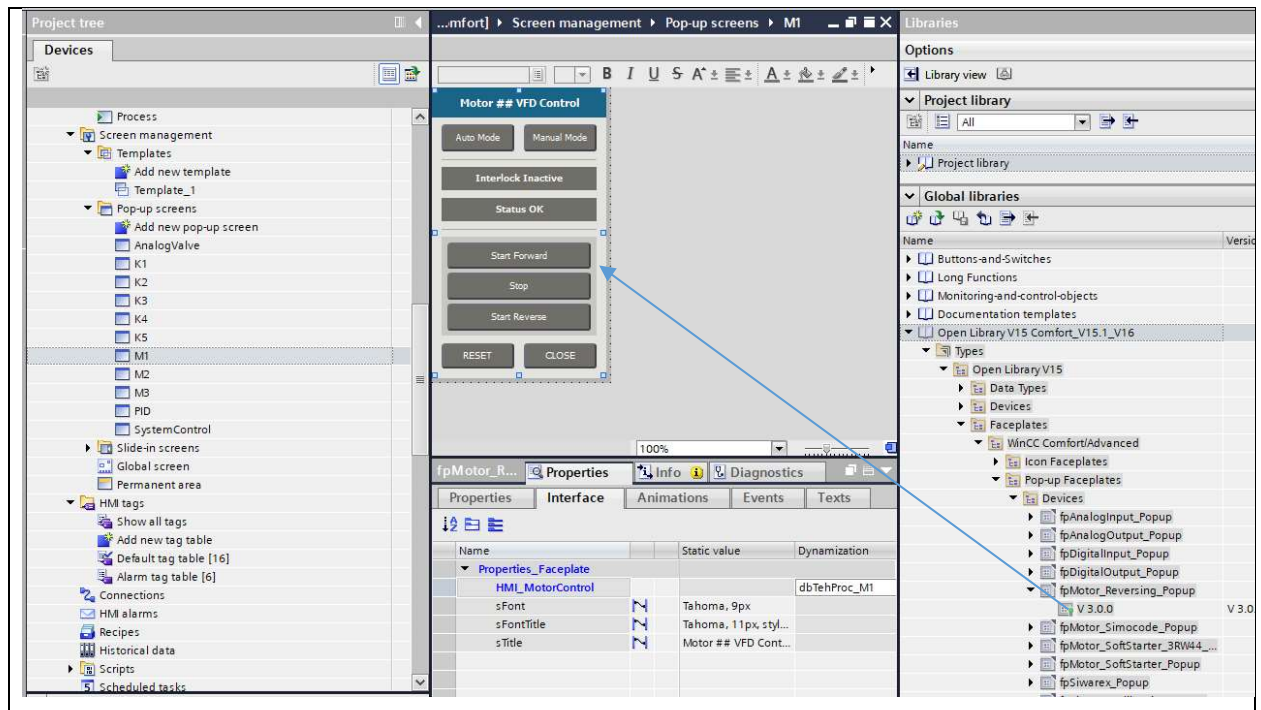


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для керування електроприводом

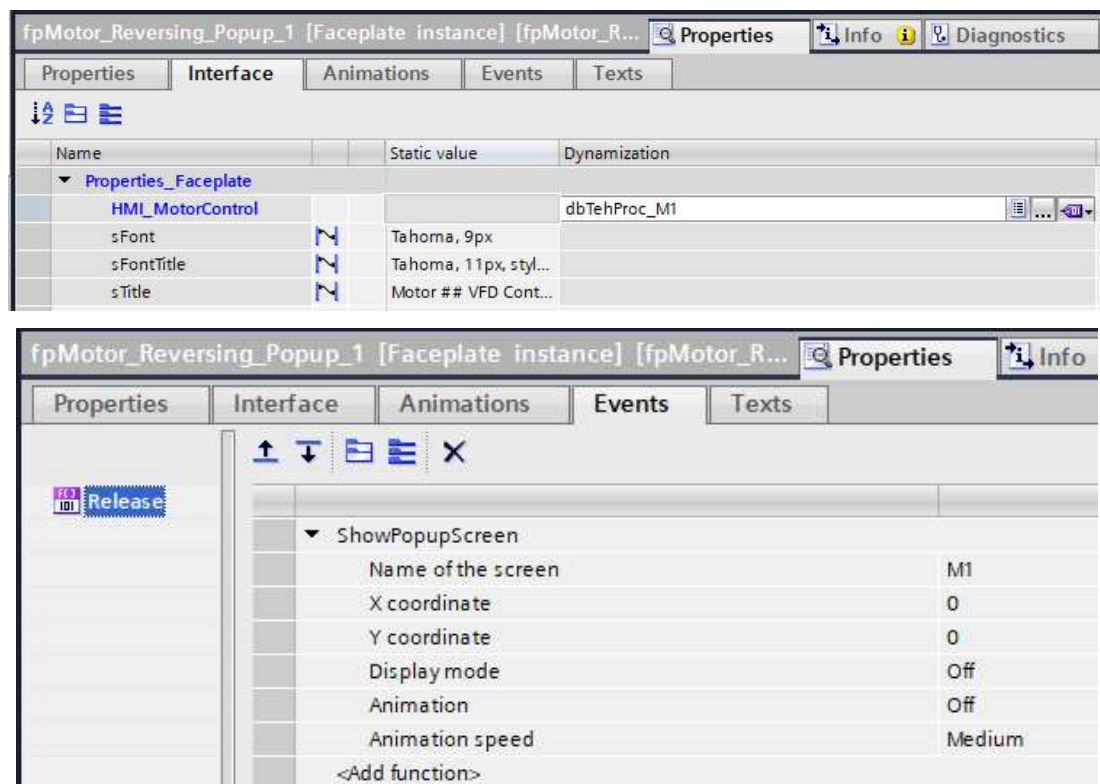


Рис. 7.7 Приклад визначення параметрів вспливаючого вікна

Основний екран Process містить схематичне зображення системи вирощування дріжджів з нанесеними на нього елементами відображення і управління. Зображення створено в графічному редакторі TIA Portal з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і управління дозволять оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи. Для цього на проекцію екрану Process переносимо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання.

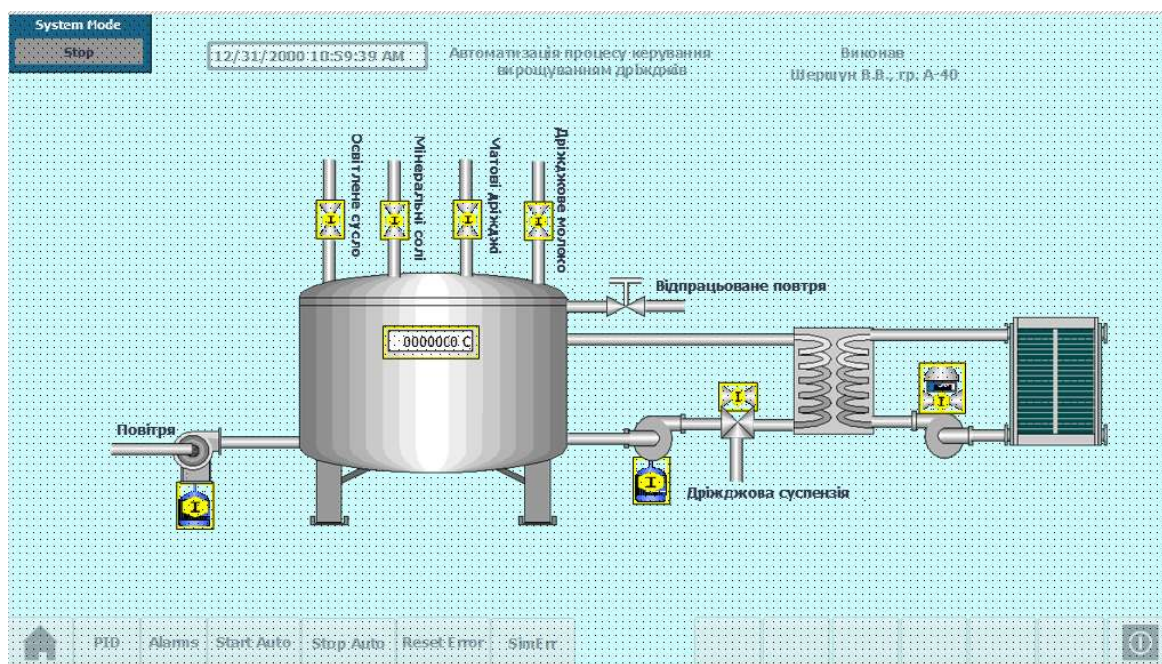


Рис. 7.8 Екран схеми установки Process

Кожну піктограму (Faceplate instance) пов'язуємо із відповідним тегом та спливаючим вікном. Натискання на зображення піктограми забезпечить відкривання зображення відповідного спливаючого вікна конкретної одиниці обладнання, оскільки у властивості Events піктограми вписано виконання системної функції ShowPopupScreen (рис. 7.9).

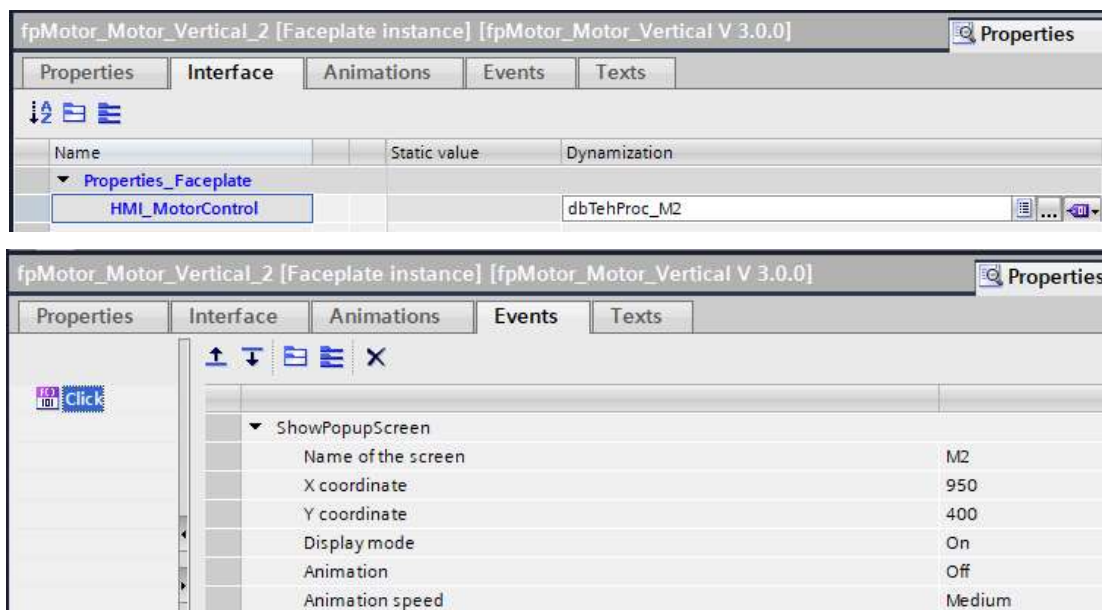


Рис. 7.9 Приклад налаштування піктограми електроприводу

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів та налаштування параметрів ПІД-регулятора в проекті передбачений екран PID (рис. 7.10), який може бути використаний наладчиком САК.

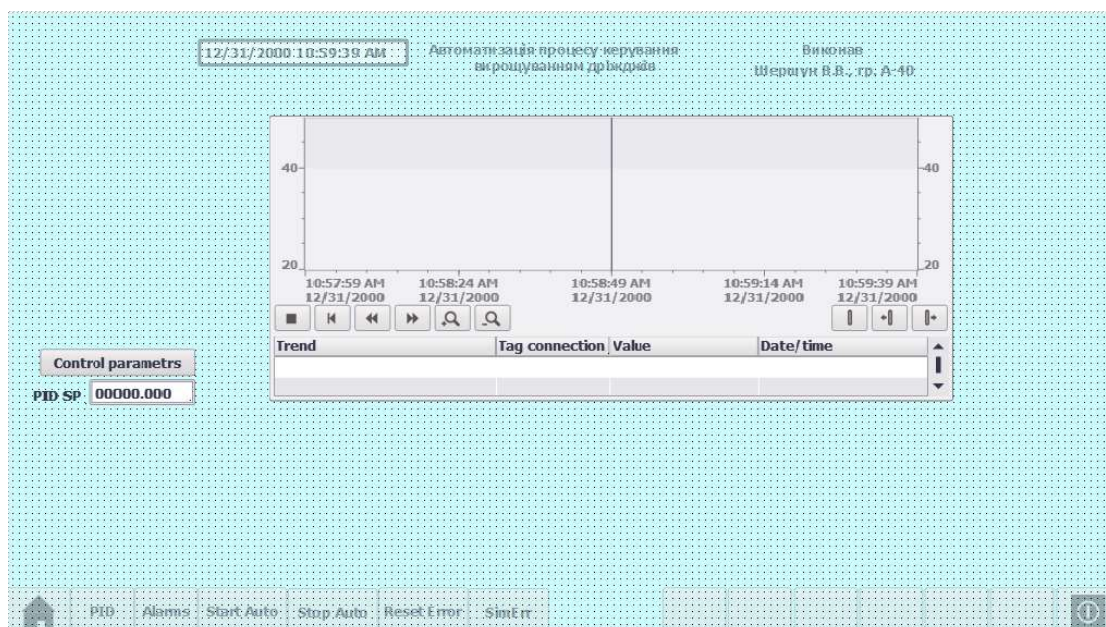


Рис. 7.10 Екран графіків

Для побудови графіків зміни температури дріжджевої суспензії в апараті використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки TIA Portal. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.11.

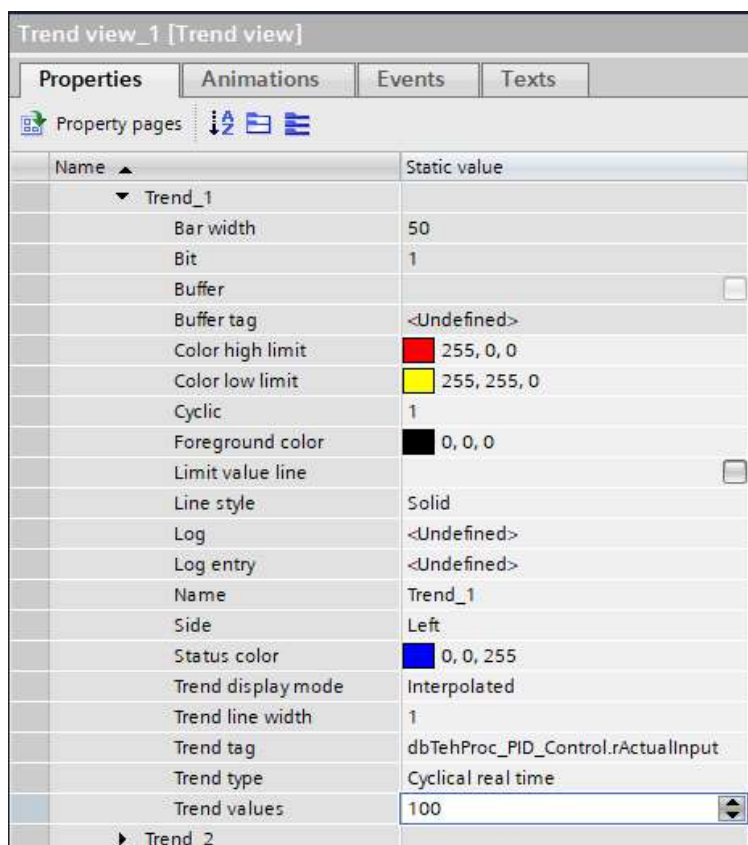


Рис. 7.11 Вікно налаштування елементу Trend

Виклик спливаючого вікна налаштування параметрів ПІД-регулятора здійснюється натисканням кнопки Control parametrs на екрані.

Змінити задане значення контуру регулювання можна за допомогою вікна вводу/виводу PID SP.

Налаштування цих елементів відображення показано на рис. 7.12.

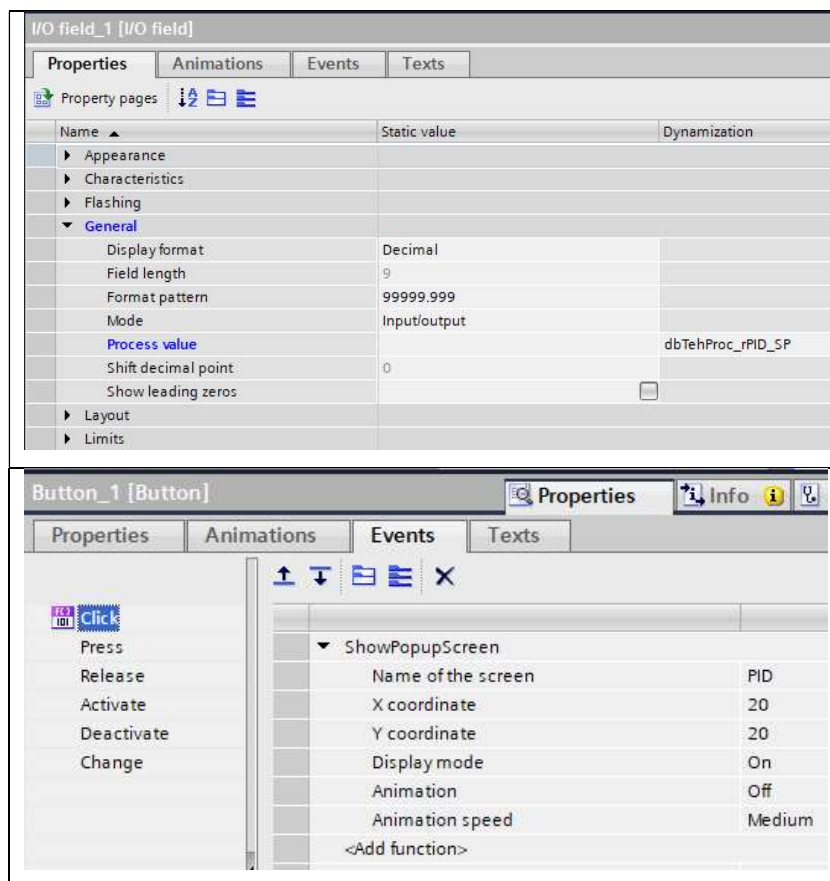


Рис. 7.12 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про передаварійний стан технологічного процесу і виникнення подій (Alarm) з обладнанням установки в проекті створена система повідомлень. Вона включає повідомлення від програми користувача і системні повідомлення операційної системи (ОС) ПЛК. Повідомлення від програми, розділяються на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стани та заносяться в архів.

В програмі користувача в ПЛК функціональні блоки, які обслуговують одиницю обладнання, формують інформацію про події в 16-бітному слові (тип Word). Кожному виду несправності відповідає певний біт. Ці слова потім збираються в програмі ПЛК в окремий блок даних dbErrors.

Далі теги з цього блоку даних пов'язуємо з 16-бітними тегами НМІ (рис. 7.13).

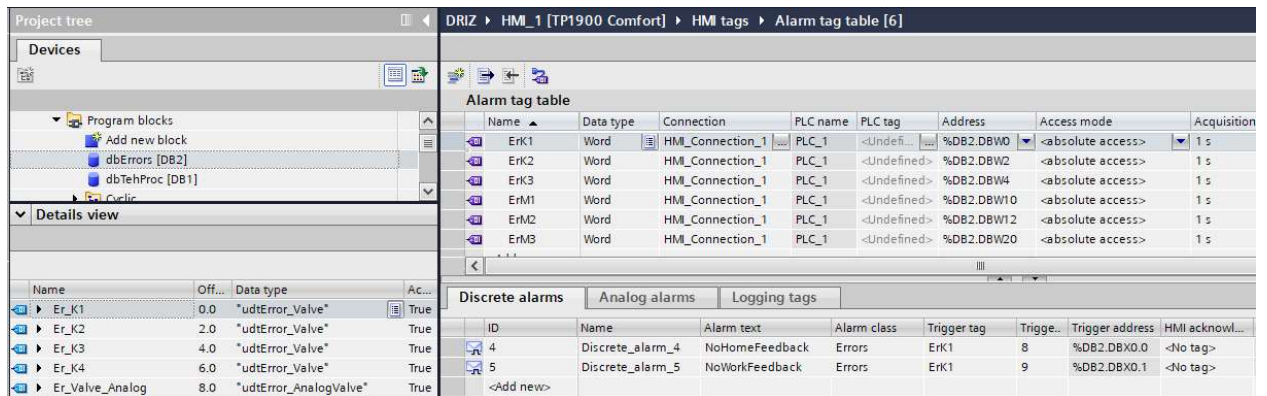


Рис. 7.13 Приклад прив'язки тегів dbErrors з НМІ-тегами

Кожний біт НМІ-тега з Alarm tag table сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.13). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text).

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms.

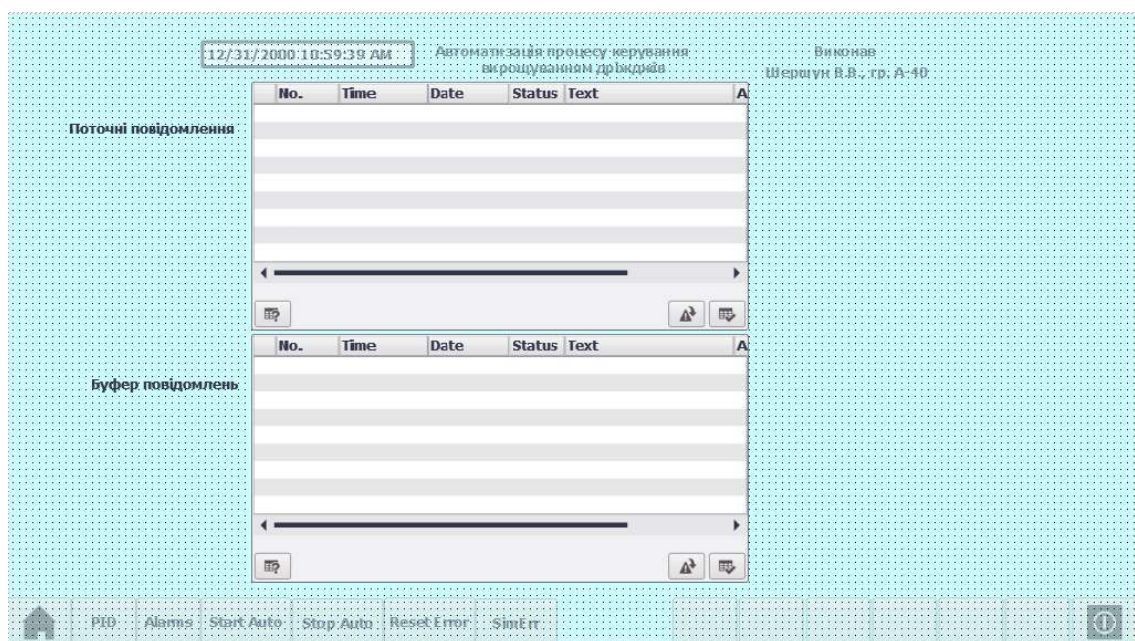


Рис. 7.14 Екран Alarms повідомлень про несправності

Вивід повідомлень на екран виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень.

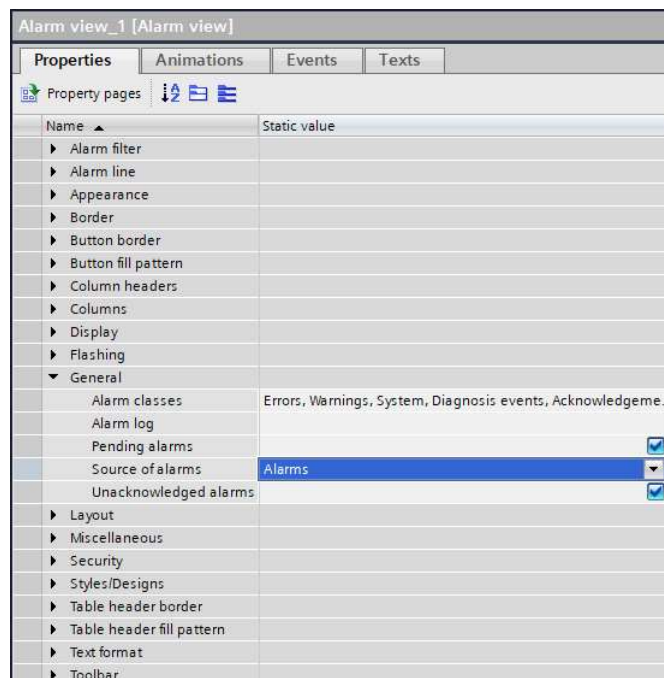


Рис. 7.15 Налаштування властивостей елементу Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.5 Тестування системи керування.

Тестування проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовищі якої завантажуюємо частину проекту PLC_1 після його компіляції.

Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі Win CC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюємо частину проекту HMI_1.

В залежності від вимог виробництва оператор має змогу налаштувати систему на режими: стоп, ручний, автоматичний, індивідуальний.

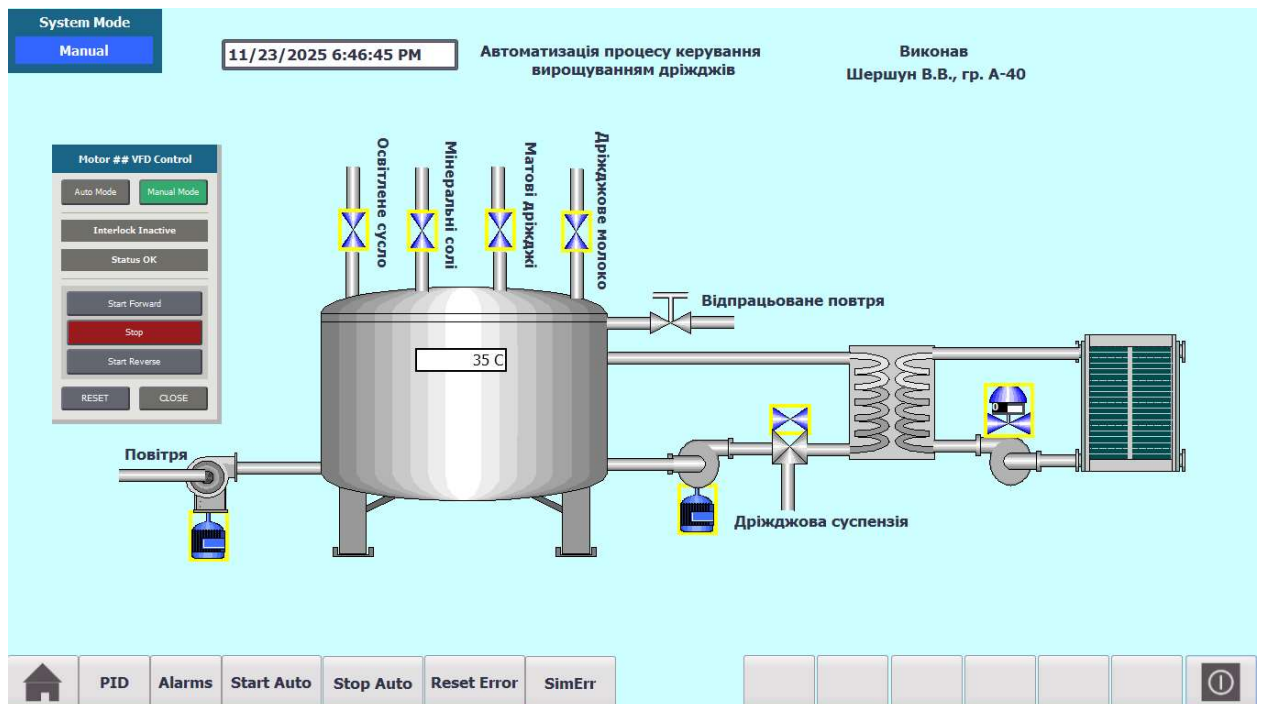


Рис. 7.16 Схема установки в ручному режимі

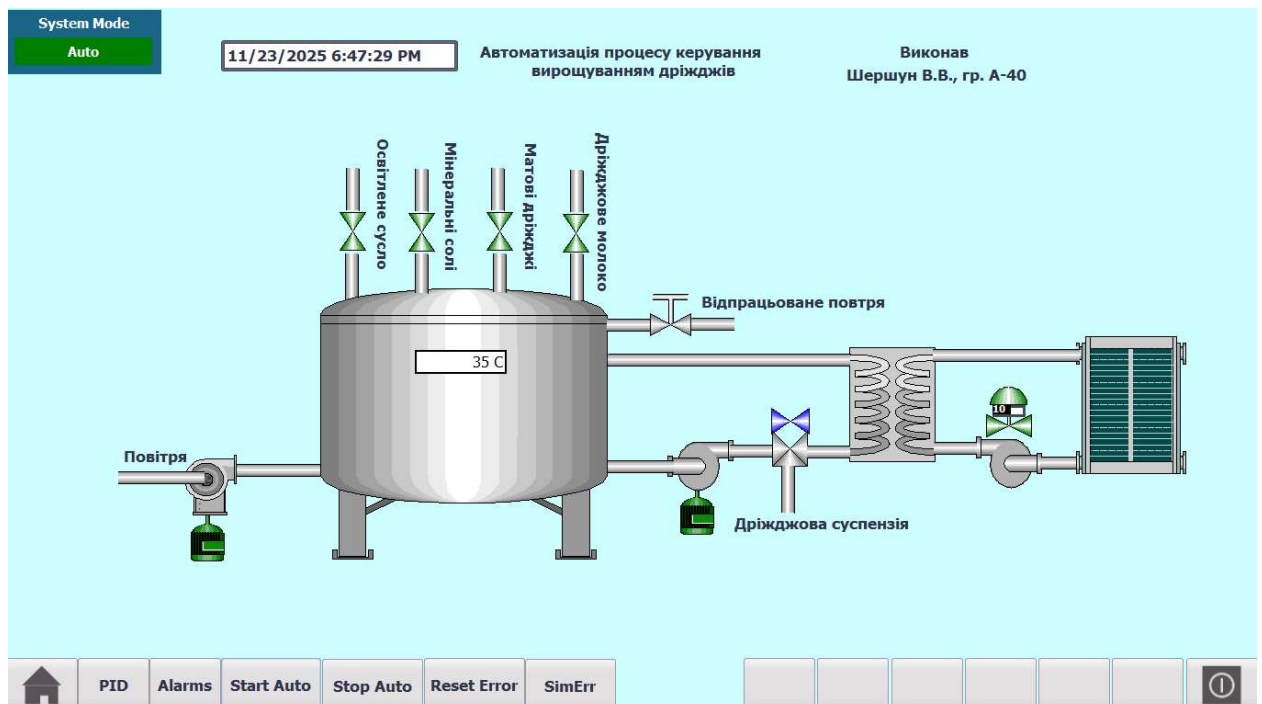


Рис. 7.17 Схема установки в автоматичному режимі

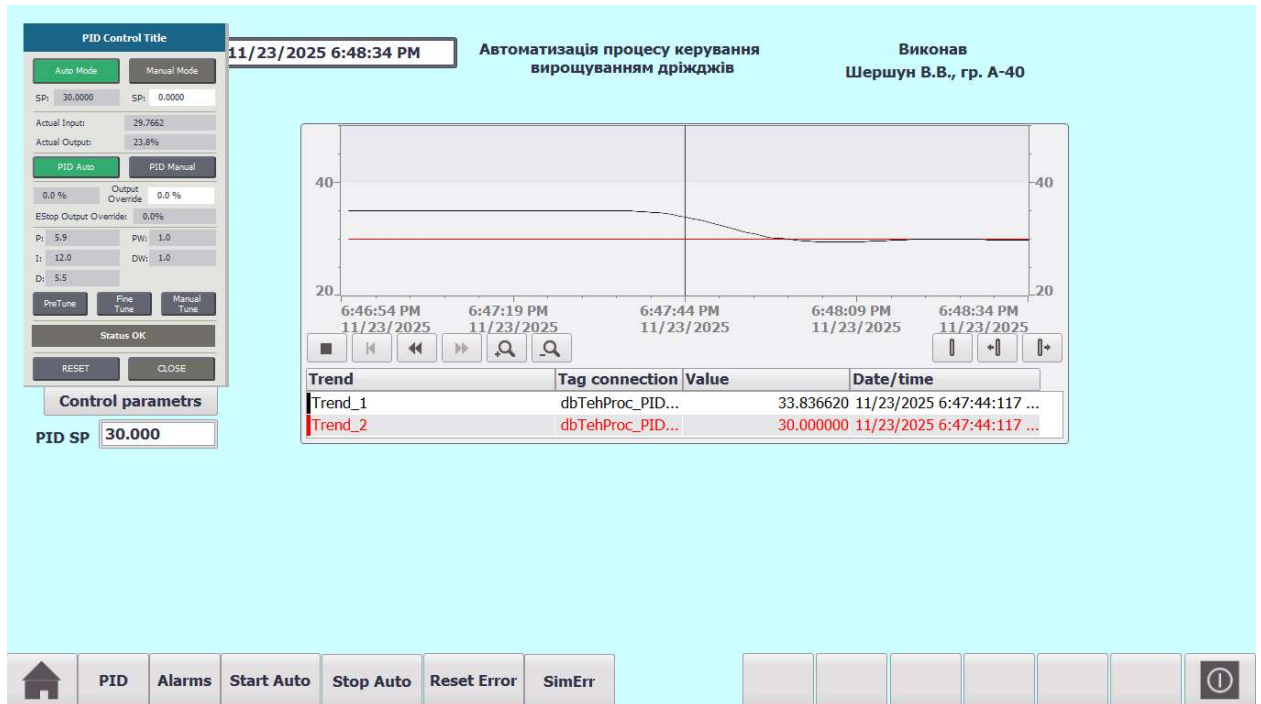
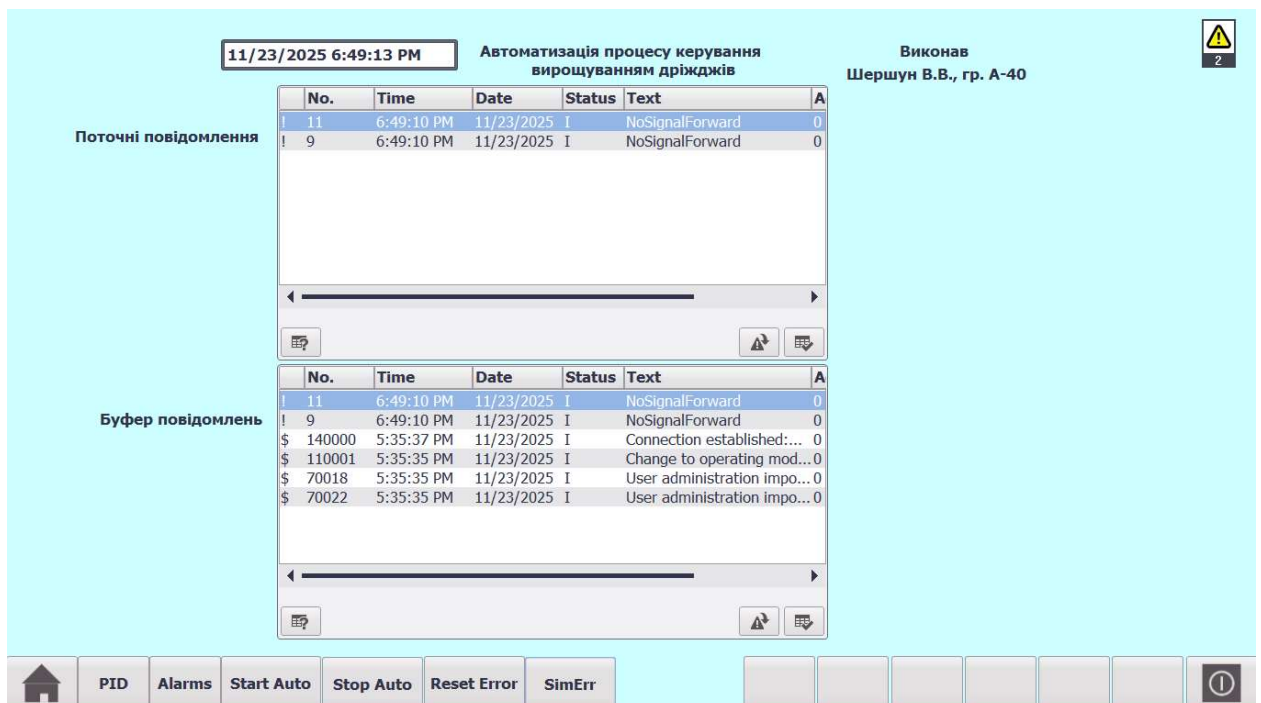


Рис. 7.18 Екран PID в тестовому режимі

Рис. 7.19 ЕкранAlarms в тестовому режимі
при імітації несправності

Висновок: у цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом вирощування дріжджів. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування, які може використати в своїй роботі наладчик САК.

Тестування системи в цілому продемонструвало її роботоспроможність у всіх режимах роботи.

8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень

Основна вимога до ефективного процесу вирощування дріжджів полягає в підтримці температури дріжджевої суспензії в апараті, що сприяє швидкому зростанню і розмноженню дріжджів.

За результатами вибору комплексу технічних засобів і відповідно до складеної технічної структури системи керування розроблено комплект її проектної документації. Комплект включає наступні документи:

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему (ПЕС) керування електроприводу;
- 3 – ПЕС живлення;
- 4 – схему мережевих зв'язків;
- 2 – ПЕС підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – ПЕС підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – ПЕС підключення до блоку аналогових входів ПЛК;
- 5 – ПЕС підключення до блоку аналогових виходів ПЛК.

Текстові:

- попередній перелік обладнання до всіх графічних документів;
- пояснювальна записка до проекту.

Елементи керування та живлення електроприводів встановлюються в силовій шафі на DIN-рейку 35 мм. Шафа оператора знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі шафи оператора встановлюють ПЛК та елементи живлення до нього, а на фасадній двері – панель оператора. Таке технічне рішення дозволяє зменшити вплив

струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора.

Центральний процесор CPU 1513, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсом PROFINET.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1500 та CPU монтуються на DIN-рейку 35 мм в шафі оператора. Вони використовуються для отримання інформації з датчиків безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми для підтримки регламентних значень регульованих змінних, а також передачі даних на панель оператора. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по мережам PROFINET;
- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу та виходу – модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00-0AB0) та модуль AO 2xU/I/6ES7 (532-5NB00-0AB0);
- опитування стану дискретних входів - модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та вивід із дискретних виходів сигналів керування - модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0).

Взаємодія контролера і панелі оператора здійснюється по мережі PROFINET. Для керування застосовується панель оператора TP1900 Comfort (6VA2 124 OUC02-0AX1), на якій встановлена система виконання SCADA WinCC Comfort, що призначена для оперативного контролю, сигналізації, реєстрації параметрів.

8.2 Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ ISO 14617-6:2018 «Графічні умовні позначки для схем. Частина 6. Функціївимірювання та керування». Функції автоматичного

регулювання й логіко-програмного керування, виконує ПЛК сумісно з панеллю оператора. Всі використані датчики вхідних сигналів обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20мА DC), вихідні аналогові сигнали також струмові (4...20мА DC) і сприймаються виконавчими механізмами.

Розглянемо перелік контурів контролю й керування, які наведені на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

- 1 – 5 керування та контроль стану клапанами QV1-QV4 і TV54;
- 6 – 7 – керування та контроль стану ЕД М1, М2;
- 8 - 9 – регулювання температури дріжджевої суспензії в апараті;
- 10 - контроль критичної температури дріжджевої суспензії в апараті;
- 11 – контроль тиску дріжджевої суспензії в апараті.

Реалізована функція передпускової сигналізації, та функція інтерфейсного зв'язку ПЛК панеллю оператора.

У контурах 1 - 7 керування приводами передбачені функції місцевого керування, які реалізуються за рахунок технічних засобів, що розміщені у силовій шафі, функції дистанційного керування з панелі оператора та функції автоматичного керування у часі по програмі в ПЛК.

У контурах 8, 9 реалізована система регулювання температури дріжджевої суспензії в апараті. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем ТУ/8 пропорційний температурі сигнал струму 4...20 мА DC подається на регулятор ТІRC/8, який формує сигнал заданого значення для регулятора ТС/9, який сприймає сигнал від датчика температури з уніфікованим перетворювачем ТУ/9 та формує керуючий вплив у вигляді струму 4...20 мА DC, що подається на частотний перетворювач SC/9. Регулятори програмно реалізовані в ПЛК. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної НІС/8, які реалізовані в панелі оператора.

В контурі 10 сигнал від датчика-реле температури дріжджевої суспензії в апараті TS/10 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функції індикації, сигналізації та аларму TISA цієї температури.

В контурі 11 сигнал від датчика-реле тиску дріжджевої суспензії PS/11 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функцію індикації і сигналізації PIS/11 цього тиску.

У додатку А наведені схема автоматизації та перелік приладів та засобів, які використані в цій схемі.

8.3. Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом

Всі компоненти схеми розміщуються в силовій шафі SS. Дана ПЕС забезпечує місцеве і дистанційне керування. Живлення електропривода M1 здійснюється від мережі типу TN через автомат захисту електродигуна Q1, клеми контактора KM1, кабель W2 та вимикач OB-Q1.

Місьцеве керування електроживленням котушки контактора KM1 здійснюється від фази L1 завдяки використанню автоматичного вимикача Q2, кнопки Стоп S2 та кнопки Пуск S4. Перемикання в дистанційний режим здійснює перемикач S3. Керуючий сигнал від модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) контролера формує проміжне реле K2, яке своїм контактом здійснює електроживлення котушки KM1.

Стани KM1, S3, K1 у вигляді сигналів 24 V DC подаються до дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0).

8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення

Дана схема забезпечує живлення модулів ПЛК і панелі оператора. Всі її компоненти розміщуються в силовій шафі SS. Живлення здійснюється від фази L1 через автоматичний вимикач Q4 та блок безперебійного живлення

UPS. До його виходів через автоматичні вимикачі Q6, Q7 підключені два джерела живлення G1, G2 220 V AC/ 24 V DC, які забезпечують напругу живлення для модулів ПЛК і панелі оператора. Вихідні ланки G1, G2 захищені від режиму «короткого замикання» запобіжниками F2, F3.

Освітлення в шафі забезпеує лампа Н2, яка отримує живлення від фази L1 через кнопку S7. В шафі передбачена розетка REC1, яка отримує живлення від фази L1 через диференційний вимикач Q5.

8.5. Розробка принципів електричних схем підключення до модулів ПЛК

До дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) по кабелях W5, 6 що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування. По кабелям W1, W9, що підключаються до клем SA-X1, передається сигнал від датчиків-реле температури TS/10 і тиску PS/11.

На дискретних виходах модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W4, 5, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами M1, M2. Також до виходу модуля дискретних виходів по кабелям W3, 9, 15, 16, 17 що підключаються до клем SA-X1, підключаються проміжні реле QV1... QV5, для керування відповідними відсічними клапанами.

Модуль аналогових входів AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00-0AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W10, 11, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики температури дріжджевої суспензії з уніфікованим виходом 4...20 mA DC TV8, TV9.

Модуль аналогових виходів АО 2хU/I/6ES7 (532-5NB00-0AB0) розміщується на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. Аналоговий вихід цього модуля формує сигнал 4...20 mA DC, які за допомогою кабелю W6, що підключаються до клем SA-X1, передає сигнал керування на частотний перетворювач SC/9.

У додатку Б наведені ПЕС підключення до модулів ПЛК та перелік приладів, що в них використані.

8.6 Охорона праці

В цьому підрозділі проідентифікуємо потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що можуть виникнути при експлуатації установки. Наведемо їх гранично-допустимі концентрації з посиланням на нормативні акти, в яких вони встановлені, та зазначимо наслідки від їх впливу. Зведемо дані у таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1.	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	21-24 °C	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2.	Підвищена або знижена рухливість повітря	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання, перегрів організму
3.	Підвищена або знижена вологість повітря	65-75%	Ревматичні, алергічні, захворювання

4.	Недостатня освітленість робочої зони	КПО -1,2%,Е – 200 лк.	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
----	---	-----------------------	---

Таблиця 8.2 (продовження) – Характеристика потенційно небезпечних
та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
5.	Підвищений рівень шуму на робочому місті	80 дБА	Захворювання органів слуху
6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 ⁻² /112 дБ (локальна вібрація)	Захворювання нервової системи
7.	Статичні перевантаження	-	Стан втоми
8.	Прямий і відбитий відблиск монітора	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
9.	Знижена контрастність	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
10.	Підвищений рівень електромагніт-ного випромінювання	10 Вт/м ²	Біохімічні зміни в організмі

11.	Підвищений рівень іонізації повітря	n+: 1500-3000 одиниць/см ³ ; n-: 3000-5000 одиниць/см ³	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
-----	-------------------------------------	---	---

Таблиця 8.2 (закінчення) – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
12.	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м ³ ; оксид азоту – 5 мг/м ³ ; бензол – 15/5 мг/м ³ ; ксилол – 50 мг/м ³ ; толуол – 50 мг/м ³ ; оксид вуглецю – 20 мг/м ³ .	Біохімічні зміни в організмі
13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
14.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
15.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

Категорії приміщень об'єкту автоматизації були визначені в розділі 5.

АРМ оператора передбачає роботу з панеллю оператора, за допомогою якої він спостерігає за роботою установки, а також має можливість керувати установкою в дистанційному або автоматичному режимі. На екрані панелі всі

прилади установки мають свої умовні позначення та мають можливість змінювати колір при зміні стану. При появі аварії чи блокуванні в установці, інженер має можливість побачити місце, в якому з'явилася аварія, та усунути помилку.

Так як автоматизоване робоче місце розташоване у приміщенні, забезпечується відповідність усіх елементів робочого місця:

- площа на одне робоче місце становить, 10,0 м², а об'єм - 25,0 м³;
норма: площа – 6,0 м², об'єм - 20,0 м³.
- інженер сидить за стандартним столом на м'якому кріслі;
- ЖК монітор відображає всю необхідну інформацію;
- трудові операції виконуються виключно на робочому місці;
- на робочому місці добре освітлення, вікно знаходиться з правого боку, на столі знаходиться світильник.

Визначимо категорію робіт за ступенем важкості. Оператор АРМ виконує роботу в положенні сидячі, що пов'язане з постійним спостереженням (таблиця 8.3).

Таблиця 8.3 – Виробниче приміщення, період року, категорія роботи, що виконується, температура, відносна вологість, швидкість руху повітря

№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
1	Операторський пункт	Теплий	Легка 1а	23-25	40-60	0,1

№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
2	Операторський пункт	Холодний	Легка 1а	23-25	40-60	0,1

Зорову роботу, яку на АРМ виконує оператор , відповідає наступним розрядам: Б-2 (робота з дисплеєм), А-2 (робота з документами). Забезпечення нормованих значень КПО та освітлення на АРМ оператор досягається за рахунок:

- бокового одностороннього розташування вікон;
- фарбування стелі та стін приміщення у світлі кольори;
- планове очищення скла віконних проїомів;
- застосування систем комбінованого освітлення.

Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення наведені у таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення

№	Виробниче приміщення	Вид освітлення	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд та підрозряд зорової роботи	КПО, %	Освітленість, лк
1	Операторський пункт	Бічне, одностороннє	0,30-0,5	Б-2	1	400

На кожному технологічному об'єкті для забезпечення нормальної експлуатації засобів автоматизації повинні бути затверджені робочі експлуатаційні інструкції та виконавчі схеми електричних і трубних з'єднань апаратури. Перелік інструкцій і схем затверджується головним інженером підприємства.

Пуск і експлуатація технологічного та енергетичного обладнання з несправними та відключеними КВПіА, системою технологічної захистів і пристроями необхідними для експлуатації обладнання в режимі ручного керування, забороняються. У процесі пуску і зупинки устаткування в режимі ручного керування необхідно стежити за проходженням відповідних операцій за показаннями контрольно-вимірювальних приладів. При порушенні встановленої послідовності, тривалості операцій і відхиленні параметрів від заданих слід негайно зупинити обладнання і повернути його в початковий стан.

Реле й засоби захисту, пристрої технологічної автоматики, а також прилади, за якими ведеться контроль за роботою обладнання повинні бути опломбовані. При необхідності проведення будь-яких робіт на панелях, в щитах і ланцюгах захисту і електроавтоматики умови ввімкненого основного обладнання слід вжити заходів обережності проти помилкових дій в результаті помилок персоналу. Виконання цих робіт без виконавчих схем (по пам'яті), а також без заданих обсягів і послідовностей операцій забороняється. Після проведення робіт у вторинних ланцюгах слід перевірити справність цих ланцюгів і правильність їх приєднання шляхом випробування пристрою (схеми) в дії безпосередньо або побічно.

Безпека обслуговуючого персоналу і сторонніх осіб повинна забезпечуватися шляхом застосування належної ізоляції, дотримання відповідних відстаней до струмоведучих частин або шляхом їх закриття, огороження застосування блокування апаратів, заземлення або занулення

корпусів електроустаткування і елементів електроустановок, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

Монтажні ремонтні роботи в електричних мережах і пристроях або поблизу них, також роботи по приєднанню і від'єднанню проводів повинні проводитися тільки при знятій напрузі.

Засоби автоматизації з джерелами електроенергії, які знаходяться під напругою або на які в будь-який момент може бути подана напруга, вважаються чинними електроустановками і на них поширюються правила по техніки безпеки. Слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками, викрутки, кліщі, плоскогубці та ін. широко застосовуються при роботах без зняття напруги в електроустановках напругою $\sim 220\text{В}$ / $\sim 380\text{В}$. В якості додаткових засобів захисту застосовуються діелектричні рукавички, діелектричні калоші і діелектричні килими.

Забороняється проводити на ходу, без зупинки машин і механізмів, чищення і змащення рухомих частин, ремонт і заміну окремих деталей.

Всі датчики повинні бути справними, мати чітке клеймо із зазначенням дати перевірки та опломбованими. Забороняється проведення ремонтних робіт на апаратах і комунікаціях, які знаходяться під тиском, на робочому і холостому ходу, наповнених робочими газами, парою, рідинами і т.д.

Перед ремонтом обладнання, механізмів, зчеплених з електродвигунами, обов'язково повинна бути розроблена електрична схема і вивішений попереджувальний плакат «Не включати, працюють люди!».

Перед ремонтом необхідно переконатися в наявності заглушок на вході і виході газу або рідини з обладнання і комунікацій. Заглушки встановлюють з хвостиками, щоб їх можна було бачити. Запобіжники в пристроях автоматики необхідно знімати тільки при відключеному напрузі. Кожен робітник повинен пам'ятати, що електричний струм небезпечний для життя: сила струму $0,1\text{А}$ - смертельна для людини.

Захисного заземлення підлягають металеві неструмоведучих частини електрообладнання, які внаслідок несправності можуть виявитися під напругою і до яких можливий дотик людей. При цьому в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також в зовнішніх пристроях заземлення обов'язково при номінальній напрузі вище 36 В змінного струму і 110 В постійного струму. При напрузі 500 В і вище змінного і постійного струму заземлення обов'язково в усіх випадках, а у вибухонебезпечних приміщеннях захисне заземлення здійснюється при будь-яких напругах змінного і постійного струму.

Відповідно до типових правил пожежної безпеки організація пожежної безпеки покладається на керівників об'єктів, які зобов'язані:

- організувати на підвідомчих об'єктах вивчення і виконання типових правил усіма працівниками підприємства;
- організувати проведення протипожежного інструктажу і заняття з пожежно-технічного мінімуму;
- встановити у всіх приміщеннях підприємства строгий протипожежний режим і контролювати його дотримання;
- періодично перевіряти стан пожежної безпеки об'єкта, наявність і справність технічних засобів боротьби з пожежею.

Пожежну безпеку окремих підрозділів підприємства (цехів, лабораторій, майстерень, складів і т.п.) забезпечують їх безпосередні керівники, які зобов'язані:

- забезпечити дотримання на підпорядкованих їм ділянках встановленого протипожежного режиму;
- стежити за справністю виробничого обладнання та негайно вживати заходів до усунення несправностей, що призводять до пожежі;
- стежити за тим, щоб після закінчення роботи прибиралися спаленні відходи, відключалися електроприймачі;

- забезпечити постійну готовність до дії засобів пожежогасіння, зв'язку та сигналізації.

Усі робітники і службовці промислових підприємств проходять спеціальну протипожежну підготовку, яка складається з протипожежного інструктажу (первинного і повторного) і занять з пожежно-технічного мінімуму, що проводяться за спеціальною програмою.

Для кожного цеху, майстерні та інших об'єктів повинні бути розроблені протипожежні інструкції, погоджені з пожежною охороною підприємства або з місцевими органами державної пожежної охорони. У цих інструкціях визначаються місця і порядок утримання засобів пожежогасіння, пожежної сигналізації і зв'язку; обов'язки працівників при виникненні пожежі, правила виклику пожежної команди, зупинки і відключення устаткування.

У приміщеннях і на території підприємства, як правило, куріння дозволяється тільки в спеціально відведених для цього місцях. Забороняється застосування відкритого вогню (паяльні лампи, факели та ін.) для обігрівання трубопроводів із замерзлими або застиглими рідинами. Забороняється захащувати підходи до технологічного устаткування, засобів зв'язку і пожежогасіння, а також проходи і виходи з приміщення.

На кожному об'єкті повинні бути схеми пожежного водопроводу із зазначенням місць встановлення пожежних кранів і гідрантів, місця їх установки повинні бути позначені спеціальними значками і написами «ПК» і «ПГ».

На підприємствах встановлюється електрична пожежна сигналізація, яка служить для швидкого сповіщення служби пожежної охорони про яка виникла пожежі в будь-якому приміщенні або спорудженні підприємства. Особливо небезпечні виробництва мають бути оснащені засобами автоматичного пожежогасіння: пінного, водяного, порошкового.

Висновки за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1500.

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу вирощування дріжджів. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом.

ВИСНОВКИ

1. Дріжджовирощувальний апарат як об'єкт керування має статичні властивості. Ідентифікація моделей каналів ОК, доступних для цілеспрямованої дії, проводилася методом активного експерименту із віртуальним ОК з нанесенням на вхід каналу 10%-ї ступінчастої дії. Для параметричної ідентифікації моделей першого і другого порядку каналу управління застосовувалась програма System Identification.

Для реалізації моделей неконтрольованого збурення були використані генератор псевдобілого шуму та фільтр низької частоти, у якого було встановлено певну частоту зрізу.

Відтворення отриманих моделей у середовищі імітаційного моделювання здійснювалося в програмі SIMULINK/MATLAB і підтвердило їх адекватність експериментальним даним.

2. В результаті виконання роботи були набуті практичні навички у постановці та вирішенні комплексу завдань по синтезу ефективних алгоритмів керування для системи автоматичного регулювання та їх аналізу з позиції задоволення вимог регламентів проведення технологічного процесу вирощування дріжджів.

Була розроблена САР базової структури за принципом замкнутого керування, яка отримує інформацію про поточний стан об'єкта. Переваги даного принципу: можна забезпечити високу точність стабілізації регульованої змінної при дії на об'єкт керування неконтрольованих збурень. Властивості об'єкта необхідно знати тільки по каналу керування.

Зважаючи на властивості об'єкту керування, був зроблений висновок про доцільність розгляду структурних схем САР тільки з ПІ - і ПІД-регуляторами, причому під час моделювання САР з ПІД-регулятором показала кращі показники якості.

В результаті синтезу САР підвищеної динамічної точності була запропонована каскадна структура системи керування, показники якості якої мають більш високу динамічну точність в порівнянні з САР базової структури. Відповідно, така структура САР може бути рекомендована до впровадження.

3. В результаті виконання 4-го розділу для даного технологічного процесу були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки системи логічного керування (СЛК) електроприводами дріжджевиросщувального апарату. Для дослідження СЛК апарату обране моделювання із застосуванням програм Simulink та Stateflow середовища Matlab. Результати моделювання СЛК в програмі Simulink показують, що система керування працює коректно як в нормальному режимі, так і в передаварійному.

4. В 5-му розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом вирощування дріжджів. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

5. В результаті виконання 6-го розділу були вивчені основні характеристики контролерів фірми Siemens сімейства S7-1500 та принципи їх програмування.

Отримано навички використання документації виробника, правильного вибору необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання.

6. У 7-й частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом вирощування дріжджів. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування, які може використати в своїй роботі наладчик САК.

Тестування системи в цілому продемонструвало її роботоспроможність у всіх режимах роботи.

7. В ході виконання 8-го розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1500.

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу вирощування дріжджів. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом.

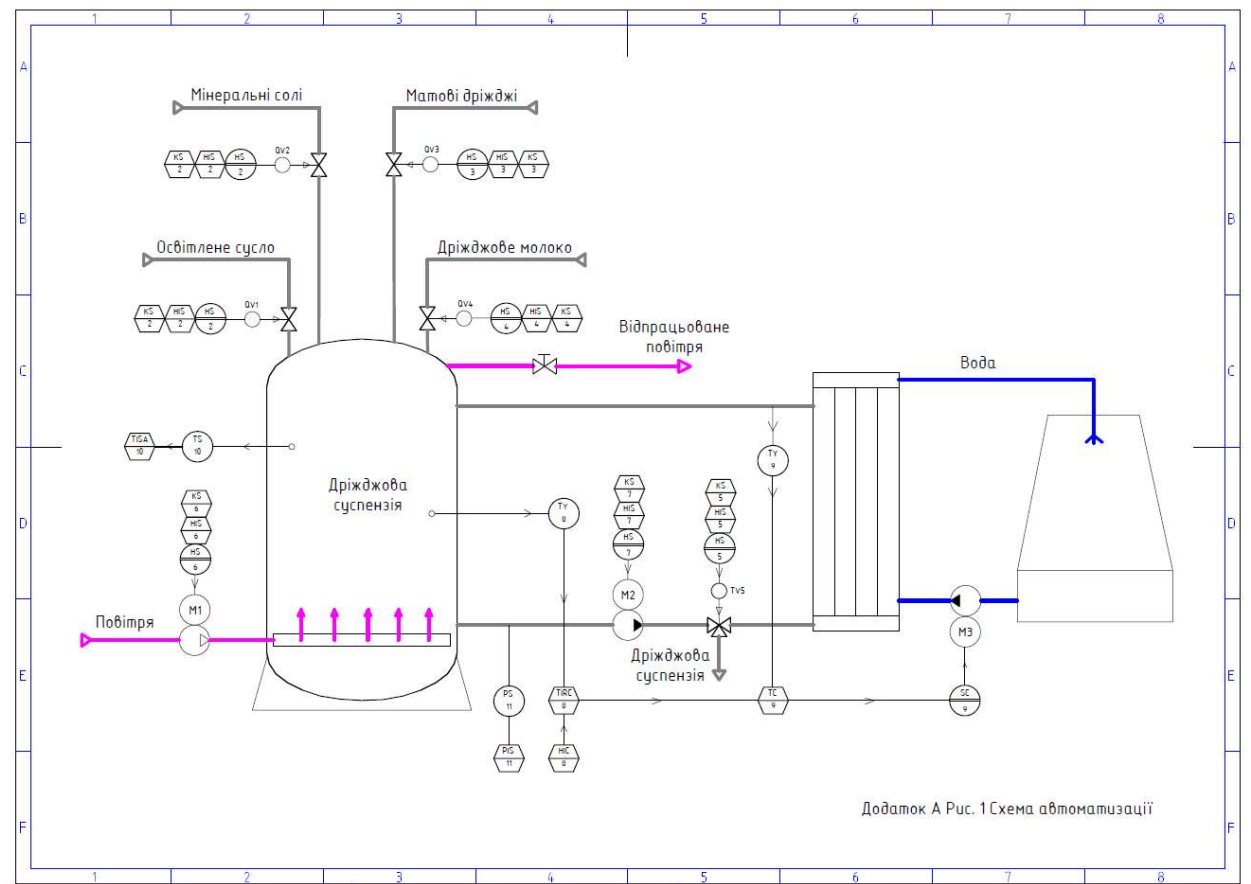
СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. <https://www.systopt.com.ua/article-vyrobnyctvo-drizhdzhiv-syrovyna-i-osnovni-stadiyi-tehnologichnogo-procesu?srsltid=AfmBOoqo-UPOEbnBOtWi8vAssXgo6Ofjs0M7FBPRbJsbylyxVrM3z-9b>
2. Конспект лекцій з курсу дисципліни "Теорія автоматичного керування" (частина I) - Хобін В.А. ОНАХТ. Одеса - 2012 р.
3. Конспект лекцій з курсу дисципліни "Теорія автоматичного керування" (частина II) - Хобін В.А. ОНАХТ. Одеса - 2012 р.
4. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с.
5. Савицький, Володимир Костянтинович. Технічні засоби автоматизації [Текст] : навч. посіб. / В. К. Савицький, Р. М. Федоришин ; Нац. ун-т "Львівська політехніка". — Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2018. 292 с.
6. Левінський, Валерій Михайлович. Конспект курсу лекцій з курсу "Технічні засоби автоматизації". Розділ "Виконавчі пристрої" [Електронний ресурс] : для студентів спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехн. систем. — Одеса : ОНАХТ, 2018. 150 с.
7. Павловський, Сергій Миколайович. Основи автоматизованого проектування : лабораторні роботи в середовищі AutoCAD [Текст] : навч. посіб. / С. М. Павловський, А. В. Бабков. — Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. — 598 с. : табл., рис. ISBN 978-966-289-453-0
8. Проектування мікропроцесорних систем керування [Електронний ресурс] : навч. посіб. / І. Р. Козбур, П. О. Марущак, В. Р. Медвідь та ін. ; Тернопіл. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. — Тернопіль, 2022. — 324 с. ISBN 978-966-305-120-8

Додатки
Додаток А Документація до схеми автоматизації

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
TY/8 TY/9	Датчик температури JUMO 902820/50	2	
TS/10	Реле температури KP61	1	
PS/11	Реле тиску 611GE	1	
SC/9	Перетворювач частоти SINAMICS G120C	1	
QV/1 QV/5	Електромагнітний клапан CEME 8617	5	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
TC/8 TC/9 KS/1... KS/7	Центральний процесор CPU 1513 1 PN	1	
HIC/8 HIS/1... HIS/7 TISA/10 PIS/11	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
HS/1... HS/7	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	7	
	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	7	



ДОДАТОК Б Документація до принципів електричних схем

Таблиця Б1 – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	Електропривід		
Q1	Автомат захисту двигуна Schneider Electric GV3P65	1	
KM1	Контактор Schneider Electric LC1E65M5	1	
K2	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24V DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	1	
S4	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	1	
S3	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	1	
S2	Кнопка 22 мм, кругла, пластикова, 1 червона, без фіксації, 1H3 Siemens: 3SU1100-0AB20-1CA0	1	
H1	Індикатор світловий, метал, 24V AC / DC, Білий Siemens: 3SU1132-0AD60-3AA0	1	
	Схема живлення		
Q4	Автоматичний вимикач Siemens: 5SL6210-6	1	
USB	Smart-UPS LogicPower-1000 PRO	1	
G1, G2	PS 60W 24/48/60VDC (6ES7505-0RA00-0AB0)	2	
Q5	MITSUBISHI CP-S-2P-0.05A	1	
F2, F3	TELEMECANIQUE ABE7FU630	2	
	<u>DI</u>		
PLC1	DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)	1	
F1	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
TS/10	Реле температури KP61	1	

PS/11	Реле тиску 611GE	1	
	<u>DO</u>		
PLC2	модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)	1	
QV1 QV2	Реле проміжне Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24B DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	5	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
	<u>AI</u>		
PLC3	Модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00- 0AB0)	1	
TY/8 TY/9	Датчик температури JUMO 902820/50	2	
	<u>AO</u>		
PLC4	Модуль AO 2xU/I/6ES7 (532-5NB00- 0AB0)	1	

